

Кальницкий Петр Владимирович

магистрант

ФГБОУ ВПО «Омский государственный

технический университет»

г. Омск, Омская область

ОБЗОР И АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАСШИРЕНИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА В ТУРБОДЕТАНДРЕ С ОБРАЗОВАНИЕМ ТВЕРДОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Аннотация: в данной статье приведен обзор литературных источников по теме: «Исследование процесса расширения продуктов сгорания топлива в турбодетандере с образованием твердого диоксида углерода». Представлены ученые, которые занимались данным вопросом, а также анализ основных результатов их исследований.

Ключевые слова: расширение, продукты сгорания топлива, твердый диоксид углерода, турбодетандер, литературный обзор, теплохладоэнергетический агрегат.

Исследование процесса расширения смеси газов, в состав которой входили пары диоксида углерода, проводил В.П. Суетинов [9]. Была создана методика расчета процесса вымораживания. Получено, что при степенях расширения $\pi = 2 - 3$ энергозатраты минимальны, а, соответственно, холодильный коэффициент газовых холодильных машин максимален.

В работе [4] проведена оптимизация относительной экономии условного топлива при различных температурах газов перед расширением в турбодетандере. Было установлено, что при температурах, близких к температуре насыщения паров диоксида углерода (CO_2) в продуктах сгорания топлива, рациональное значение степени расширения $\pi = 2 - 2,5$.

При степени расширения в турбодетандере $\pi = 1,8 - 2,3$ и массовой концентрации диоксида углерода в газовой смеси $g_{\text{CO}_2} = 0,04 - 0,14$ достигается минимум удельных энергетических затрат на производство 1 кг CO_2 [5].

Работа турбодетандера в условиях фазового перехода части рабочего вещества (т.е. когда есть возможность образования крупных кристаллов CO_2 в проточной области) является главной особенностью процесса вымораживания твердого диоксида углерода.

Теоретическое исследование К.И. Страховича и Г.Е. Ожигова [8] – одна из первых работ, в которой рассматривается процесс расширения двухфазного потока в турбодетандере. В ней была решена система уравнений энергии, сплошности, движения, конденсации, и на основании решения этой системы получены данные о расширении азота с частичной его конденсацией в центростремительном турбодетандере. Анализ данных показал, что бурная конденсация происходит скачкообразно с заметным повышением температуры и давления. Скачок конденсации наблюдался в рабочем колесе на значительном удалении от его входа.

Методика расчета параметров газожидкостного двухфазного потока в проточной части радиального турбодетандера была разработана в МВТУ им. Баумана В.И. Ардашевым, Д.И. Плачендовским и А. Жолшараевым [1]. Авторами рассматривался внешнеадиабатный процесс расширения без потерь энергии. Была составлена система уравнений движения, энергии, состояния, неразрывности и конденсации, которая описывала одномерное течение парогазовой смеси. При выводе уравнения сделаны следующие допущения: объем, занимаемый жидкой фазой, пренебрежимо мал; отстаивание жидких частиц относительно газовой фазы отсутствует; рост частиц обусловлен только законами теплообмена; коагуляция (слипание) частиц не происходит. Расчеты проводились для однокомпонентного воздуха. Анализ данных расчета показал: процесс расширения происходит с переохлаждением пара (степень расширения в турбодетандере рабочего вещества $\pi = 0,57$); первые частицы жидкости образуются в рабочем колесе; процесс ядрообразования идет в сравнительно малой области $(2,4 - 3,8) \cdot 10^{-3}$ м проточной части детандера.

С целью определения количества полученного твердого вещества, размеров образовавшихся частиц диоксида углерода, а также места скачка кристаллизации

авторами в работе [2] была предложена система уравнений для расчета изоэнтропийного расширения парогазовой смеси в радиальном турбодетандере. Течение одномерного двухфазного потока было описано уравнениями состояния идеального газа, количества движения, неразрывности, сохранения энергии и кристаллизации.

Стоит отметить: уравнения количества движения и сохранения энергии не учитывают работу сил трения, которая имеется в проточной части турбодетандера, и теплоту трения; уравнение неразрывности не отражает изменение массы твердой фазы вдоль проточной части машины.

М.М. Даниловым в работе [6] были составлены математическая модель, основанная на кинетике фазового перехода «пар – кристалл», и алгоритм расчета процесса вымораживания CO_2 в турбодетандере из смеси газов. Образующиеся частицы твердого диоксида углерода при решении математической модели рассматривались как кристалл – зародыш, который имеет форму куба.

В.Д. Галдиным в трудах [3] изучалось течение одномерной парогазовой смеси, которое подчиняется законам сохранения энергии и массы, количества движения и состояния в сочетании с кинетическими представлениями о формировании устойчивых центров кристаллизации и их роста.

В систему уравнений было введено уравнение состояния реального газа, а в уравнении количества движения была введена элементарная работа сил трения для проточной части турбодетандера.

Решение предложенной системы дифференциальных уравнений с помощью метода численного интегрирования последовательно рассчитывает процесс кристаллизации диоксида углерода во всех сечениях проточной части рассматриваемого турбодетандера.

Было получено, что: переохлаждение потока имеет наибольшее значение для процесса кристаллизации CO_2 ; возрастание массовой концентрации твердого диоксида углерода обусловлено увеличением числа образовавшихся зародышей, которое вызвано увеличением переохлаждения потока в турбодетандере; увеличение массовой концентрации CO_2 ведет к снижению переохлаждения потока;

спонтанная кристаллизация частиц диоксида углерода замечается в последней трети рабочего колеса; спектр образовавшихся частиц является полидисперсным; на выходе из рабочего колеса размеры частиц достигают 0,034–0,2 мкм.

Н.В. Кондратьевым в работе [7] была предложена математическая модель процесса расширения продуктов сгорания топлива в осевом турбодетандере с образованием твердых частиц диоксида углерода с учетом коагуляции образованных частиц, включающая уравнения неразрывности, состояния, количества движения, сохранения энергии, кинетической кристаллизации, коагуляции. Из решения системы уравнений получено, что процесс коагуляции: не вызывает значительного роста твердых частиц CO_2 ; не оказывает заметного влияния на характер изменения давления, плотности, скорости, температуры, переохлаждение потока, массовой концентрации твердых частиц, скорости ядрообразования вдоль проточной части турбодетандера; происходит на относительно малой длине рабочего колеса и продолжается за проточной частью турбодетандера.

Список литературы

1. Ардашев В.И. Методика расчета параметров двухфазного потока в турбодетандере / В.И. Ардашев, А. Жолшараев, Д.И. Плачендовский // Глубокий холод и кондиционирование: Тр. МВТУ. – М., 1979. – Вып. 296. – С. 57–61.
2. Варенков С.В. К определению параметров двухфазного потока в турбодетандере / С.В. Варенков, Е.А. Медведков, А.С. Коробченко // Повышение эффективности холодильных машин: Межвуз. сб. науч. тр. – Д.: ЛТИХП, 1983. – С. 91–94.
3. Галдин В.Д. Основы теории и опыт создания теплохладоэнергетических агрегатов: монография / В.Д. Галдин, В.И. Гриценко; ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 176 с.
4. Гриценко В.И. Определение рациональных соотношений давлений в турбомашине теплохладоэнергетической установки / В.И. Гриценко, А.В. Приходченко // Повышение эффективности холодильных машин: Межвуз. сб. науч. тр. – Л., 1982. – С. 106–114.

5. Гриценко В.И. Анализ процесса получения твердой двуокиси в теплохладоэнергетическом агрегате / В.И. Гриценко, Ю.Д. Терентьев // Холодильные и компрессорные машины: Межвуз. сб. науч. тр. – Омск, 1980. – С 8–12.

6. Данилов М. М. Особенности процесса получения твердого диоксида углерода в низкотемпературных турбодетандерах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.04.03). – СПб., 2003. – 16 с.

7. Кондратьев Н.В. Коагуляция частиц твердого диоксида углерода при расширении продуктов сгорания топлива в турбодетандере: Дис. ... канд. техн. наук: 05.04.03: защищена 25.06.04 / Н.В. Кондратьев; ОмГТУ. – Омск, 2004. – 124 с.

8. Страхович К.И. Теоретические исследования расширения влажного пара воздуха в турбодетандере / К.И. Страхович, Г.Е. Ожигов // Достижения и задачи в производстве и применении холода в народном хозяйстве СССР: Сб. докл. конф. – Л.: ЛТИХП, 1960. – С. 213–223.

9. Суетинов В.П. Исследование способа получения твердой двуокиси углерода методом расширения газового потока в турбодетандере: Автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.04.03). – Л., 1978. – 22 с.