А. И. Игнатенкова

**ВИХРЕВОЕ СМЕШИВАНИЕ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ
С РАЗЛИЧНЫМИ ГАЗООБРАЗНЫМИ
И АЭРОЗОЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ,
КАК ЧАСТЬ ПРОЦЕССА «УМНОГО» СГОРАНИЯ**

Учебно-методическое пособие

Москва
2019

УДК 544.452, 62-614, 62-62, 62-69

ББК 30.605, 30.606

И26

Рецензенты:

Варыбок Дмитрий Иванович – ведущий научный сотрудник.

Федоров Павел Владимирович – ведущий научный сотрудник.

Игнатенкова А. И.

И26

Вихревое смешивание горючих газов с различными газообразными и аэрозольными добавками, как часть процесса «умного» сгорания: учебно-методическое пособие / А. И. Игнатенкова. – М.: Евроазиатская научно-промышленная палата, 2019. – 14 с.

ISBN 978-5-6043109-5-3

DOI 10.17513/np.373

Вихревая труба, сформированная из потоков горючих газов перед впрыском в камеру сгорания, позволяет значительно улучшить термодинамические параметры процесса горения. В книге приводится информация об особенностях и порядке тестирования устройства для смешивания в динамике природного газа со сжатым воздухом и перегретым паром, перед подачей смеси в камеру сгорания промышленного бойлера. Рассмотрено устройство для вихревого смешивания газообразных компонентов и аэрозолей и весь сквозной процесс испытаний, исходя из условий и характеристик указанного устройства. Целью испытаний является проверка в реальных условиях характера воздействия вихревой трубы из газообразных топливных компонентов на все основные параметры процесса сгорания. В книге показано, что применение устройств вихревого смешивания практически не создаёт каких-либо ограничений на функционирование топливных магистралей бойлера, в которых монтируется это устройство и не ограничивает на входе количество компонентов топливной смеси газов или аэрозолей. В качестве иллюстраций показан общий вид устройства для вихревого смешивания топливных смесей. Показанное устройство формирует при смешивании вихревую трубу из газообразных компонентов топлива и может работать онлайн в прямой инсталляции в термодинамическом оборудовании. В качестве иллюстраций показаны диаграмма контрольных точек температуры для любой конфигурации испытательного стенда, диаграмма требуемого испытательного стенда, в случае, если второй материал смеси – перегретый пар, диаграмма испытательного стенда для случая, когда второй материал смеси – сжатый воздух.

© Игнатенкова А. И., 2019

© Евроазиатская научно-промышленная палата

ISBN 978-5-6043109-5-3

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цель и порядок испытаний	4
Список используемых материалов:	13

Формирование из потоков горючих газов перед впрыском в камеру сгорания вихревой трубы из различных газообразных компонентов и аэрозолей, позволяет значительно улучшить термодинамические параметры процесса горения.

Так как такой подготовительный процесс является достаточно новым, автор счёл важным привести информацию об особенностях и порядке тестирования устройства для смешивания в динамике природного газа со сжатым воздухом и перегретым паром, перед подачей смеси в камеру сгорания промышленного бойлера.

Представим, что мы располагаем устройством для вихревого смешивания газообразных компонентов и аэрозолей, и весь процесс испытаний готовим, исходя из условий и характеристик указанного устройства.

Цель и порядок испытаний

Целью испытаний является проверка в реальных условиях характера воздействия вихревой трубы из газообразных топливных компонентов на все основные параметры процесса сгорания.

В качестве объекта, на котором предполагается провести испытания, предложен бойлер с выходной мощностью в 50 киловатт.

Газообразную топливную смесь предполагается приготовить в режиме онлайн из потока горючего газа, смешанного в процессе подачи в камеру сгорания с перегретым паром.

Смешивание и формирование вихревой трубы из газообразного топлива и перегретого пара предполагается вести в специальном устройстве (которое должно содержать более двух вихревых генераторов, подключённых последовательно) и подсоединённого к генератору перегретого пара, который также должен быть подобран, исходя из технической характеристики специального устройства.

Предварительные расчёты параметров генератора пара, исходя из параметров бойлера с выходной мощностью в 50 киловатт, должны быть промоделированы при помощи методов компьютерного моделирования в рамках возможностей компьютерных программ, по которым выполнялось проектирование устройства и всего испытательного стенда.

Для формирования достоверной базы для сравнения результатов, предполагается выполнить базовые тесты и испытания на бойлере

такой же мощности с таким же газообразным горючим материалом (топливом), который предполагается смешивать с паром в тестируемом устройстве для вихревого смешивания.

Базовые тесты предполагается выполнить при малой, средней и максимальной нагрузке бойлера.

При базовом тесте необходим четкий контроль и максимально возможное точное измерение концентраций всех веществ в выхлопных газах в соответствии с требованиями действующих стандартов. Все приборы для измерений должны быть аттестованными в соответствующих контрольных и измерительных лабораториях.

При базовом тесте необходимо предельно возможное, точное измерение параметров процесса горения в камере сгорания бойлера, в том числе такие параметры и показатели, как:

- расход топлива;
- расход воздуха;
- расход избыточного воздуха;
- температура пламени;
- температура выхлопных газов;
- полученная выходная мощность;
- тепловые потери;
- температура окружающей среды;
- влажность воздуха;
- атмосферное давление;
- давление газа в магистрали.

При базовом тесте, также отдельно проверяется работа генератора перегретого пара, и измеряются его параметры.

Для этого теста также все приборы для измерений должны быть поставлены от независимой лаборатории и должны соответствовать требованиям и спецификациям действующих стандартов, технических условий и утверждённых технических требований. Все приборы и контрольно-измерительное оборудование должны иметь сертификацию и рабочие паспорта с отметками об предыдущих проверках и аттестациях.

Крайне желательно иметь возможность проверить параметры горения при использовании форсунок различного типа и метода распыления, фотографировать факел распыла для различных форсунок и факел пламени для различных форсунок.

Первая стадия контрольного тест – процесса (обязательная).

Все вышеизложенные контрольные операции необходимо повторить при опытном и при контрольном тестировании:

- при подаче того же топлива;
- при подаче того же топлива, но смешанного с перегретым паром в различных пропорциях смешивания с газообразным топливом;
- при подаче того же топлива, смешанного с перегретым паром в тех же пропорциях, но для различных типов нагрузки бойлера (низкой);
- при подаче того же топлива, смешанного с перегретым паром в тех же пропорциях, но для различных типов нагрузки бойлера (средней);
- при подаче того же топлива, смешанного с перегретым паром в тех же пропорциях, но для различных типов нагрузки бойлера (высокой).

Вторая стадия контрольного тест – проекта (опциональная).

Все вышеизложенные операции необходимо повторить при контрольном тестировании:

- при подаче того же топлива;
- при подаче того же топлива, но смешанного со сжатым воздухом в различных пропорциях смешивания с газообразным топливом;
- при подаче того же топлива, но смешанного со сжатым воздухом в тех же пропорциях, но для различных типов нагрузки (низкой);
- при подаче того же топлива, но смешанного со сжатым воздухом в тех же пропорциях, но для различных типов нагрузки (средней);
- при подаче того же топлива, но смешанного со сжатым воздухом в тех же пропорциях, но для различных типов нагрузки (высокой).

По результатам контрольных тестов должен быть составлен тест-протокол со сравнительными диаграммами, согласованный и подписанный всеми участниками тест-проекта (обязательно).

По результатам тестов должен быть составлен аналитический отчёт, согласованный и подписанный всеми участниками тест-проекта (опционально).

Рис. 1. Полученные в условиях серийного производства на станках и обрабатывающих центрах – детали минимального размера устройства для вихревого смешивания газов и аэрозолей

Как видно из рисунка, устройство содержит 4 последовательно расположенных вихревых генератора. Каждый вихревой генератор содержит 8 тангенциальных каналов, каждый из которых формирует одну вихревую спираль, из которых формируется общая вихревая труба.

Практически на каждый вихревой генератор можно подавать другой компонент смеси, так как 8 вихревых спиралей достаточно, чтобы получить устойчивую вихревую трубу на выходе и входе в камеру сгорания бойлера.

Этот фактор существенно расширяет техническую характеристику устройства, что в свою очередь также расширяет область использования технологии вихревого смешивания.

Таким образом, если устройство содержит 4 вихревых генератора, и каждый вихревой генератор формирует 8 вихревых спиралей, то в совокупности всё устройство формирует вихревую трубу, состоящую из 32 спиралей.

Так как диаметры подводящей трубы и диаметр отводящей трубы составляет только 15 мм, можно считать, что это устройство относится к категории малых, с соответствующей пропускной способностью и габаритными и присоединительными размерами.

Рис. 2. Вихревые генераторы с 8 тангенциальными каналами, для формирования на каждом 8 вихревых спиралей

Рис. 3. Общий вид устройства для вихревого смешивания топливных смесей

Устройство формирует при смешивании вихревую трубу из газообразных компонентов топлива и может работать онлайн в прямой инсталляции в термодинамическом оборудовании.

Применение устройств вихревого смешивания практически не создаёт каких-либо ограничений на функционирование топливных магистралей бойлера, в которых монтируется это устройство и не ограничивает на входе количество компонентов топливной смеси газов или аэрозолей.

Минимальные габаритные размеры устройства – диаметр 15 мм в центральном подводящем природный газ трубопроводе (на самом деле могут быть любые горючие газообразные виды топливных добавок).

Устройство, как уже указывалось выше, включает 4 вихревых генератора, каждый из которых имеет независимый вход газообразных компонентов. Как уже отмечалось, это могут быть – сжатый воздух, перегретый пар и пар, получаемый в самом бойлере.

В случае, когда в устройстве смешиваются различные виды и типы пара, устройство обладает способностью охлаждать поток газа, а в случае смешивания газа со сжатым воздухом, устройство имеет чётко выраженный охлаждающий эффект.

Как уже было отмечено ранее, в вихревых генераторах минимального размера устройства имеется 8 тангенциальных каналов, по которым практически равномерно распределяются потоки газообразных компонентов, подающихся на смешивание и активирование.

Устройство для вихревого смешивания может иметь различное количество вихревых генераторов. При наличии 4 вихревых генераторов суммарное, совокупное число вихревых спиралей составляет – 32, которые создают достаточно стабильную вихревую трубу, демонстрирующую охлаждающий эффект, в соответствии с законом Джоуля – Томсона на периферии вихревой трубы, с законом Ранка – Хилша – в центре вихревой трубы.

Снижение температуры горючих газов, подающихся в камеру сгорания бойлера, положительно влияет на термодинамический баланс процесса сгорания и снижает температуру выхлопных газов, что также, кроме повышения стабильности процесса сгорания, снижает расход топлива и увеличивает общую эффективность бойлера.

Рис. 4. Диаграмма контрольных точек температуры для любой конфигурации испытательного стенда:

- 1 – устройство для вихревого смешивания газов;
- 3 – камера сгорания бойлера; 4 – форсунка или инжектор;
- 5 – регулирующий клапан; 6 – обратный клапан;
- 12 – распределительный трубопровод; 13 – обратный клапан;
- 16 – компрессор или подключение к действующей линии сжатого воздуха;
- 21 – парогенератор или другой источник перегретого пара;
- 22–29 – точки контроля температуры

Все схематические примеры и приведенные детальные диаграммы могут быть реализованы в рамках стандартного дизайнерского процесса при помощи стандартных конструкторских программ.

Все компоненты и приборы испытательного стенда являются стандартными и могут быть собраны, отрегулированы и настроены специалистами среднего уровня и квалификации.

Принципиальные решения, изложенные на диаграммах, позволяют выполнить, при необходимости, весь цикл детального дизайна деталей и элементов испытательного стенда.

Рис. 5. Диаграмма испытательного стенда, в случае, если второй материал смеси – перегретый пар:

- 1 – устройство для вихревого смешивания с формированием вихревой трубы;
- 2 – источник подачи природного газа; 3 – камера сгорания бойлера;
- 4 – форсунка или инжектор; 5 – регулирующий клапан;
- 6 – обратный клапан; 7 – регулирующий клапан;
- 8 – манометр; 9 – датчик расхода – расходомер;
- 10 – линейный термометр; 12 – распределительный трубопровод;
- 13 – обратный клапан; 14 – манометр;
- 15 – обратный клапан; 17 – регулирующий клапан;
- 18 – датчик расхода; 21 – генератор пара

Для управления системой при эксплуатации, система автоматического управления и контроля бойлера, может быть модифицирована и в неё могут быть интегрированы элементы искусственного интеллекта и искусственные нейронные сети, которые могут оптимизировать процесс онлайн управления и контроля параметрами работы бойлера в режиме реального времени.

Рис. 6. Диаграмма испытательного стенда для случая, когда второй материал смеси – сжатый воздух:

- 1 – устройство для вихревого смешивания газов;
- 2 – источник природного газа; 3 – камера сгорания бойлера;
- 4 – форсунка или инжектор; 5 – регулирующий клапан;
- 6 – обратный клапан; 7 – регулирующий клапан; 8 – манометр;
- 9 – датчик расхода; 10 – линейный термометр; 11 – регулирующий клапан;
- 12 – распределительный трубопровод или ресивер; 13 – обратный клапан;
- 14 – манометр; 15 – линейный термометр; 16 – компрессор;
- 17 – регулирующий клапан; 18 – датчик расхода; 19 – система трубопроводов для ввода в устройство для вихревого смешивания;
- 20 – система трубопроводов для вывода из устройства для вихревого смешивания

Список используемых материалов:

1. United States Patent Application 20190203626, A1, July 4, 2019, ABHYANKAR Atul S.; RESONANT MIXERS FOR REDUCING REDUCTANT DEPOSITS.
2. United States Patent Application 20180094772, A1, April 5, 2018, SANTOS Pedro T.; VIRTUAL GASEOUS FUEL PIPELINE.
3. United States Patent Application 20060213223, A1, September 28, 2006, WILDING Bruce M.; APPARATUS FOR THE LIQUEFACTION OF NATURAL GAS AND METHODS RELATING TO SAME.
4. United States Patent Application 20150000757, A1, January 1, 2015, BAYLIFF Todd Allan; METHODS AND SYSTEMS FOR REDUCING PRESSURE OF NATURAL GAS AND METHODS AND SYSTEMS OF DELIVERING NATURAL GAS.
5. United States Patent Application 20110061391, A1, March 17, 2011, KENDRICK Donald W.; VORTEX PREMIXER FOR COMBUSTION APPARATUS.
6. United States Patent Application 20100263385, A1, October 21, 2010, ALLAM Rodney J.; GENERATING POWER FROM NATURAL GAS WITH CARBON DIOXIDE CAPTURE.
7. United States Patent Application 20090020456, A1, January 22, 2009, TSANGARIS Andreas; SYSTEM COMPRISING THE GASIFICATION OF FOSSIL FUELS TO PROCESS UNCONVENTIONAL OIL SOURCES.
8. United States Patent Application 20160107890, A1, April 21, 2016, ALLAM Rodney J.; GENERATING POWER FROM A NATURAL GAS WITH CARBON DIOXIDE CAPTURE.
9. United States Patent Application 20100269516, A1, October 28, 2010, BRAUTSCH Andreas; METHOD FOR OPERATING A GAS TURBINE INSTALLATION AND EQUIPMENT FOR CARRYING OUT THE METHOD.
10. United States Patent Application 20150119478, A1, April 30, 2015, BOWE Michael Joseph; GAS-TO-LIQUID TECHNOLOGY.

Учебное издание

Игнатенкова Анна Игоревна

**ВИХРЕВОЕ СМЕШИВАНИЕ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ
С РАЗЛИЧНЫМИ ГАЗООБРАЗНЫМИ
И АЭРОЗОЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ,
КАК ЧАСТЬ ПРОЦЕССА «УМНОГО» СГОРАНИЯ**

Учебно-методическое пособие

Технический редактор Кулакова Г.А.

Подписано в печать 07.10.2019

Бумага офсетная.

Гарнитура NewtonC

Формат 60×84 1/16

Печать трафаретная. Печ. л. 0,88.

Тираж 500 экз. Заказ № 016-19.

Отпечатано в типографии Евроазиатской научно-промышленной палаты,
410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5