

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУЖЕЕВА»**

Кафедра «Тепловые энергетические установки»
Специальность 6М071700 -Теплоэнергетика

Допущен к защите
Зав. кафедрой ТЭУ _____ А.А.Кибарин

« _____ » _____ 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема: Разработка теплогенератора с низкими выбросами вредных веществ с применением современных средств моделирования

Магистрант	подпись	<u>Тастанбеков А.М.</u> (Ф.И.О.)
Руководитель диссертации	подпись	<u>Умышев Д.Р.</u> (Ф.И.О.)
Рецензент	подпись	<u>Тютебаева Г.М.</u> (Ф.И.О.)

Алматы, 2020г.

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА»**

Институт теплоэнергетики и теплотехники

Специальность 6М071700 -Теплоэнергетика

Кафедра Тепловые энергетические установки

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту

Тастанбекову Алибеку Маратовичу
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации: Разработка теплогенератора с низкими выбросами вредных веществ с применением современных средств моделирования

утверждена Ученым советом университета №122 от « 25» октября 2019г.

Срок сдачи законченной диссертации

« » _____

Цель исследования Целью исследования является определение наиболее эффективного исполнения теплогенератора обеспечивающего наиболее эффективное использование ископаемого топлива.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

Диссертация состоит из введения, 3 глав, выводов. Во введении представлена актуальность рассматриваемой проблемы, определены основные цели, показана научная новизна.

В первой главе представлен результат анализа современных теплогенераторов и тенденций из развития. Полученный результат позволил определить задачи исследования.

Вторая глава посвящена численному моделированию процессов теплообмена в теплогенераторе. Представлены результаты.

В третьей главе представлены разработки созданные на основе математического моделирования.

В заключении сделаны общие выводы по работе.

Рекомендуемая основная литература

1 Глобальная энергетика и устойчивое развитие (Белая книга) / Под ред. Бушуева В.В., Мастепанова А.М. – М.: Изд. МЦУЭР, 2009. – 374 с

2 Jacobson M.Z. Atmospheric Pollution. Cambridge University Press, 2002. 216 pages.

3 Francesco Asdrubali and Umberto Desideri. Handbook of Energy Efficiency in Buildings A Life Cycle Approach. – London: Elsevier, 2018 – 853 p.

4 Lefebvre A.H., Dilip R. Ballal. Gas turbine combustion: Alternative Fuels and Emissions. – third edition. – London: Taylor & Francis, 2010. – 537 p.

5 Gurjar B.R., Molina L.T., Ojha Ch.S.P. Air Pollution: Health and Environmental Impacts. - CRC Press, 2010. — 518 p.

Г Р А Ф И К
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Патентный поиск теплогенераторов	15.04.2020	
2. Анализ работы теплогенераторов работающих по принципу преобразования кинетической энергии потока	30.04.2020	
3. Анализ работы теплогенераторов работающих сжигающих органическое топливо	15.05.2020	
4. Численное моделирование процессов горения в теплогенераторе	15.05.2020	
5. Разработка патента на получение полезной модели	25.05.2020	

Дата выдачи задания 20.09.2019

Заведующий
кафедрой _____ (_____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель
диссертации _____ (_____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению
магистрант _____ (_____)
(подпись) (Ф.И.)

Аннотация

В магистерской диссертации представлено исследование конструкции теплогенератора при помощи программы ANSYS Fluent. Определены основные показатели теплогенератора: размеры, температуры газов, зависимости концентрации оксидов азота в уходящих газах и другие параметры. При исследовании использовалась 3-D модель теплогенератора, разработанная на базе проведенного патентного анализа. Показано, что использование такого теплогенератора позволит значительно повысить эффективность использования топлива и снизить образование токсичных веществ. В заключении приведено возможность практического применения теплогенератора – представлена схема для подачи заявки на получение патента.

Аңдатпа

Магистрлік диссертацияда ANSYS Fluent бағдарламасын пайдаланып жылу генераторының конструкциялары бойынша зерттеулер нәтижелері келтірілген. Жылу генераторының негізгі өлшемдері, газ температурасы, шығарылған газдардағы азот концентрациясына және басқа параметрлерге тәуелділіктер сияқты негізгі параметрлер анықталып көрсетілген. Зерттеуде патенттік талдау негізінде жасалған жылу генераторының үш өлшемді моделі қолданылды. Мұндай жылу генераторын пайдалану отынның тиімділігін едәуір арттырып, улы заттардың түзілуін төмендететіні көрсетілген. Жұмыстың қорытындысында патентке өтінім беру схемасы берілген.

Annotation

The master's thesis uses research on the designs of the heat generator using the ANSYS Fleunt program. Dimensions, gas temperature, dependence on the concentration of nitrogen in the exhaust gases and other parameters. The study used a three-dimensional model of a heat generator, developed on the basis of the patent analysis. It is shown that the use of such a heat generator will significantly increase the fuel efficiency and reduce the formation of toxic substances. The application contains a scheme for filing applications for a patent.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
РАЗДЕЛ 1. ОБЗОР ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ И ТОПЛИВОСЖИГАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛА.....	10
1.1 Теплогенераторы на основе механической энергии движения.	10
1.2 Теплогенераторы на основе сжигания топлива	15
1.3 Общие выводы по теплогенераторам	32
2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЕ	38
2.1 Численное моделирование влияния изменения расхода топлива на процессы горения и образования токсичных веществ	38
2.3 Исследование теплогенератора с уголковыми стабилизаторами	44
2.4 Изучение полуперфорированных уголковых стабилизаторов для использования в теплогенераторе	47
2.4 Исследование влияния изменения угла входного регистра на процессы горения.	59
2.5 Исследование влияния изменения угла входного регистра на процессы горения	63
2.6 Заключение по разделу	66
3. ПРЕДЛАГАЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА НА БАЗЕ ПРОВЕДЕННЫХ РАСЧЕТОВ	67
3.1 Полезная модель на теплогенератор.....	67
3.2 Заключение по разделу	69
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ	70
ЛИТЕРАТУРА	71

Введение

Вопросы эффективного использования природных ресурсов при снижении отрицательного влияния на окружающую среду являются актуальными в целом для мира [4, 5] и в частности для строительного [6] агротехнического [7], энергетического [8], и военного секторов [9].

Использование ископаемого топлива в виде керосина, мазута, бензина, природного и попутного газов неизбежно приводят к загрязнению окружающей среды токсичными веществами, в частности оксидами азота (NO_x) и соединениями углерода (CO и CO_2). Часто сложность проектирования топливосжигающих устройств сопряжено со сложностью процессов горения и существующим обратными закономерностями образования различных веществ, в частности увеличение полноты сгорания топлива приводит к снижению образования монооксида углерода, но в то же время к повышению концентраций оксидов азота в виду их экспоненциальной зависимости от температуры в зоне горения.

Вопросам рационального использования ископаемого топлива и повышения эффективности сжигания, снижения вредных выбросов уделяется достаточно много внимания. К зарубежным авторам занимающимся этими вопросами можно отнести Леннера, Крамлих, Лефевр, Чеон Хиеон, Массимо и ряда других ученых [7, 10-13]. Проведенный широкий анализ показал достаточно малое исследование теплогенераторов зарубежных авторов.

На постсоветском пространстве разработкой теплогенераторов занимается достаточно много авторов: Яковлев Ю.В., Рюмин А.Э. [14], Рустамов Г.А. [15] и др. [16-18].

В Европе и в странах СНГ разработкой компактных теплогенераторов занимаются такие компании как АО «Конструкторское бюро химавтоматики», немецкий концерн Webasto AG, Финансово-промышленная компания «Космос-Нефть-Газ», ЗАО «Росинтерстрой», «Сибртех».

Перспективы развития топливосжигающих технологий и теплогенераторов в частности связан с двумя факторами: экологические показатели и энергоэффективность технологии, а также разработка и исследование новых топливосжигающих технологии является приоритетными и значимыми не только для энергетической отрасли, но и для строительной индустрий и оборонной промышленности. В агропромышленном комплексе важнейшей задачей является разработка теплогенератора для сушки зерна, так как влажное зерно может быстро испортиться. Существуют химический и физический способ сушки. Химический метод сушки применяется чаще всего для плодов бобовых, однако данный метод имеет достаточно серьезные недостатки в виде малой скорости сушки и дороговизны сушильных материалов. К физическим методам относятся: контактный, радиационный и конвективный методы сушки. Контактный метод в силу своих особенностей имеет достаточно

малый масштаб применения, радиационный же метод возможен для использования лишь в ограниченном масштабе в виду наличия областей с относительно малой солнечной радиацией. Наиболее эффективным и универсальным методом является использование генератора тепла – теплогенератора для конвективного подогрева зерна. Теплогенераторы также используются для обогрева рабочих сортировочных, складских и подсобных помещений, парников и теплиц.

В строительстве важным моментом является скорость сооружения и ввод в эксплуатацию объекта. Во время строительства часто необходимо время для сушки различных материалов, в частности сушка штукатурки в зимнее время, обогрев помещения для строительных работ. В данном случае использование конвективного метода сушки при помощи теплогенератора является наиболее приемлемым.

Актуальным является использование теплогенераторов для нужд армии, в частности обогрев тентов и временных сооружений с длительным нахождением людей, тренировочных палаток, полевых госпиталей, палаток для организации убежищ и других временных сооружений для армии.

Широкое применение теплогенераторов возможно для Министерства Чрезвычайных Ситуации РК, а также для различных экспедиций – геологоразведочных, нефтяных, где отсутствует электроснабжение но существует необходимость отопления и обогрева помещений различного назначения.

Основную конкуренцию теплогенераторам составляют ТЭЦ, районные котельные и другие установки децентрализованного теплоснабжения. Особое внимание заслуживают крышные генераторы тепла. По некоторым данным, децентрализованное теплоснабжение дает снижение потерь тепла во время транспортировки и сокращения систем теплоснабжения. Сокращение потерь за счет использования более современных технологий.

Другим преимуществом теплогенераторов является значительное сокращение капитальных вложений в сравнении с прокладкой тепловых сетей, их текущего и капитального ремонтов, связанных с различными процессами в виде разрушения дорог, селей.

Отсутствует необходимость использования узлов регулирования отпуска и потребления тепловой энергии.

Использование малогабаритных теплогенераторов:

- не требует изготовления труб большого диаметра, часто бывающими дефицитными, не требует большого количества теплоизоляционных и строительных материалов, что требуется при строительстве традиционных систем отопления;

- отсутствует необходимость отвода земель для сооружения объектов теплоэнергетики;

- снижение потребления топлива за счет высокого КПД;

- снижение вредных выбросов за счет снижения потребления топлива;

- снижает затраты на системы отопления здания.

Следует отметить, что с применением теплогенераторов растет ответственность потребителей, что очевидно вызывает необходимость организации системы учета и расчета с потребителями.

Согласно некоторым данным, в Казахстане, как и в большинстве стран СНГ существует большой потенциал возможности применения децентрализованного теплоснабжения и источников тепла для различных отраслей промышленности. Особое внимание следует уделить установкам с единичной мощностью от 0,1 до 5 МВт. Для этих целей автономные, мобильные теплогенераторы являются наиболее подходящими. Учитывая, что существует возможность создать теплогенераторы работающие на различных видах топлива от твердого до газообразного, применение теплогенераторов имеет достаточно большой потенциал.

Много исследований и работ было посвящено изучению горения плохообтекаемых тел [1-7]. Например, в [1] изучен процесс сгорания за сферическим телом в камере сгорания с микрогенератором. Результаты показывают, что использование блефового тела увеличивает стабилизацию пламени. В [2] изучаются блефовые тела; В целом, результаты показывают увеличение эффективности сгорания и стабилизации пламени. В [3-5] исследованы процессы сжигания водорода или топливовоздушных смесей с добавкой водорода.

В настоящее время наиболее важным научным инструментом в науке является моделирование с учетом возможности предварительного анализа конструкции, в данном случае теплогенератора.

Вопросы эффективного использования природных ресурсов при одновременном снижении негативного воздействия на окружающую среду актуальны в целом для мира [4, 5] и, в частности, для строительства [6], агротехники [7], энергетики [8], военного сектора. [9].

Основными конкурентами теплогенераторам являются тепловые электростанции, районные котельные и другие децентрализованные тепловые пункты. Крышные теплогенераторы заслуживают особого внимания. По некоторым данным, децентрализованное теплоснабжение снижает потери тепла при транспортировке и уменьшает количество систем теплоснабжения. Снизить потери за счет использования более современных технологий.

Еще одним преимуществом теплогенераторов является значительное сокращение капитальных вложений по сравнению с прокладкой тепловых сетей, их текущим и капитальным ремонтом, связанным с различными процессами в виде разрушения

На настоящий момент отсутствует достаточное количество данных по расчету и организации эксплуатации теплогенераторов, что затрудняет их разработку и определяет необходимость проведения исследований.

В связи с чем была поставлена задача разработки и исследования теплогенератора для использования в теплоснабжении, строительстве и других промышленных секторах.

Для исследования теплогенераторов были использованы современные методы моделирования. Особенностью новых исследованных конструкций теплогенераторов является простота исполнения, высокая интенсивность теплообмена. Численное моделирование позволило определить основные показатели теплогенератора, в частности теплопроизводительность, удельный расход топлива, коэффициент полезного действия.

Актуальность Актуальность работы заключается в использовании новейших программ моделирования, в расчете и сравнении характеристик оборудования. В работе проведен анализ влияния различных устройств для повышения эффективности теплообмена между воздухом и уходящими газами, в том числе оребрение, турбулизация.

Цель и задачи исследования: Целью исследования является определение наиболее эффективного исполнения теплогенератора обеспечивающего наиболее эффективное использование ископаемого топлива.

Объект и предмет исследования: Объектом исследования является теплогенератор состоящий из камеры сгорания, корпуса и других основных элементов.

Методы исследования: Метод исследования состоит из численного моделирования процессов горения

Научная новизна: Научная новизна диссертации заключается в создании нового теплогенератора на базе современных эффективных топливосжигающих технологий, который обеспечивает высокую эффективность сжигания топлива и низкие выбросы оксидов азота.

Основные положения работы, выносимые автором на защиту: Результаты численного моделирования различных вариантов теплогенераторов; анализ полученных результатов; анализ результатов зависимости концентрации оксидов азота от вида теплогенератора. Теплогенератор разработанный на базе проведенных исследований.

Практическая значимость работы: Результаты магистерской диссертации могут быть использованы при составлении методических указаний для работы в программе ANSYS Fluent, а также будут полезны при изучении проблем загрязнения окружающей среды и работ по повышению эффективности работы энергооборудования.

Структура и объем диссертации: диссертация состоит из введения, 3 глав, выводов. Во введении представлена актуальность рассматриваемой проблемы, определены основные цели, показана научная новизна.

В первой главе представлен результат анализа современных теплогенераторов и тенденций их развития. Полученный результат позволил определить задачи исследования.

Вторая глава посвящена численному моделированию процессов теплообмена в теплогенераторе. Представлены результаты.

В третьей главе представлены разработки созданные на основе математического моделирования.

В заключении сделаны общие выводы по работе.

РАЗДЕЛ 1. ОБЗОР ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ И ТОПЛИВОСЖИГАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛА

1.1 Теплогенераторы на основе механической энергии движения.

На постсоветском пространстве имеется достаточно много разработок в области теплогенераторов. Интересной выглядит работа [28] в которой описан теплогенератор и устройство для нагрева жидкости. Схема теплогенератора представлена на рисунке 1. Теплогенератор относится к теплотехнике и может быть использован для нагрева жидкостей в промышленных объектах, ЖКХ, в сельском хозяйства, а также в строительстве для быстрой осушки различных строительных материалов.

Теплогенератор состоит из следующих основных элементов, это блок для ускорения движения частиц жидкости, в виде улиток, которые в свою очередь расположены в блоке в параллельном исполнении на равном расстоянии друг от друга. С другой стороны блока имеется соединение с вихревыми трубами, которые состоят из трапецеидальных пластин и дна. Каждый улиточный элемент оснащен втулкой для ускорения, которая закрепляется на крышечной части блока. Поперечное сечение втулки составляет 0,25-0,2 от отношения входного сечения [28].

Нижняя часть втулки расположена на уровне верхнего торца вихреобразующей трубы, а верхний торец втулки расположен в нижней плоскости коллектора. Также устройство содержит электрический сетевой насос, который соединяется с подающим трубопроводом. Дополнительно устанавливается глушитель, который представляет из себя цилиндр. Сам глушитель соединяется с верхним и нижним трубопроводом. Инжекционный патрубок содержит вихревую трубку и дроссель, который соединен с насадкой. Во внутренней части вихревого патрубка размещен завихритель в виде шнека [28].

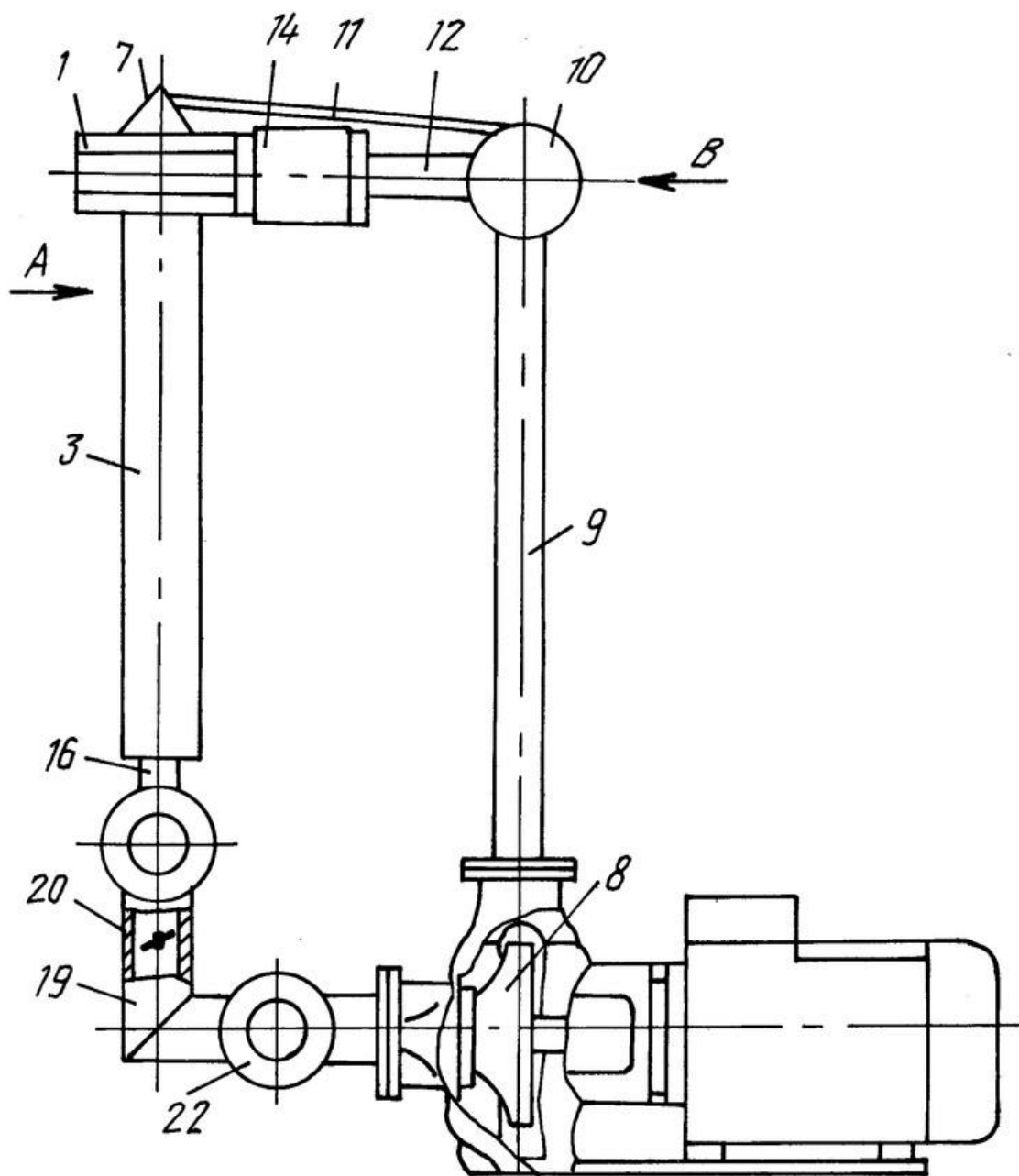


Рисунок 1 – Продольный вид теплогенератора [28]

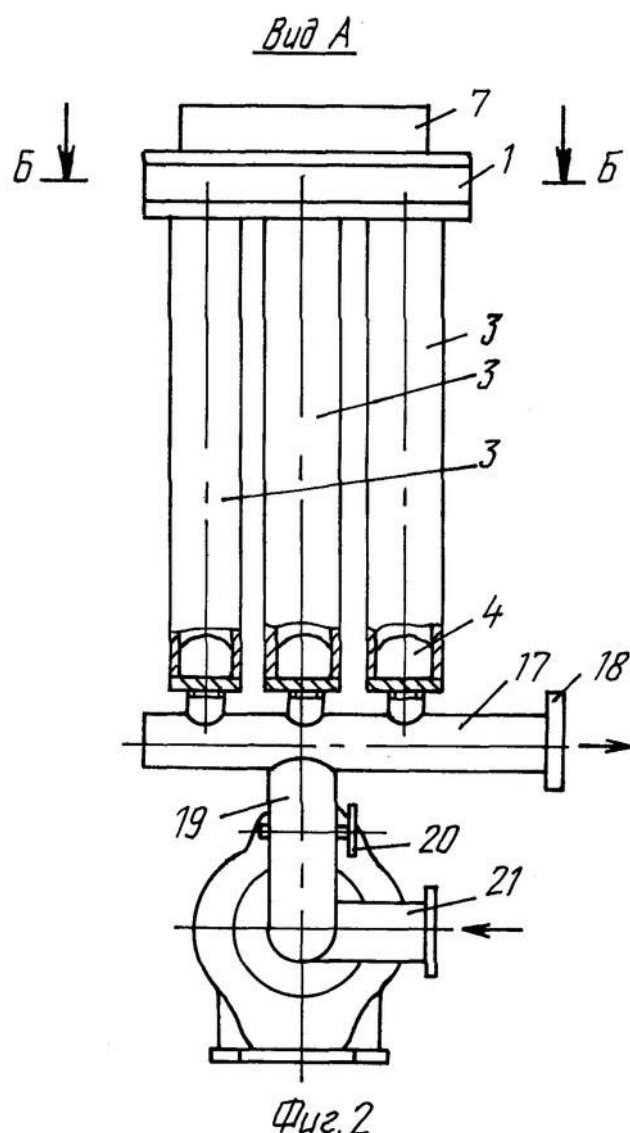


Рисунок 2 – Поперечный вид теплогенератора [28]

Принцип работы генератора в следующем: включается электрический насос посредством которого жидкость через подающий трубопровод поступает в глушитель, в котором колебания жидкости образуют волновое движение. Противофазное движение приводит к гашению волн и выделению теплоты. После глушителя жидкость разделяется на отдельные потоки. Часть жидкости по верхнему трубопроводу поступает в коллектор, а другая часть проходит в ускоритель. Затем, в коноидальной насадке создает разрежение которое приводит к появлению пузырьков, при всхлопывании которых создает тепловая энергия.

Такой тип теплогенератор возможно использовать не только в качестве источников тепловой энергии, но как вакуумный насос. Авторы устройства сделали опытный образец, тепловой мощностью 15,7 кВт.

Известен также вихревой теплогенератор «Рязань» [29]. Теплогенератор состоит из корпуса с центральным патрубком и тангенциальным патрубком. В корпусе установлен ротор с внутренней полостью, с центральным отверстием, а также канал с углублением, служащим для подогрева жидкости. Сами

углубления могут иметь различную форму, могут использоваться как прямые так и изогнутые углубления. Отличительной особенностью насосов является то, что они могут использоваться как в одноступенчатом, так и в многоступенчатом исполнении. Общий вид теплогенератора представлен на рисунках 4 и 5.

Теплогенератор работает следующим образом: Для того, чтобы насос вращался необходимо в первую очередь привод, которым может служить ветро- или гидроколесо, а также необходим потребитель тепла. Вал раскручивает ротор, а нагреваемая жидкость через всасывающую участок поступает в корпус и попадает в каналы в которых установлены углубления. В этих углубления на жидкость действуют центробежные силы и силы инерции. Так как жидкость течет постоянно, то содержимое углублений обновляется постоянно, что является источником тепловой энергии.

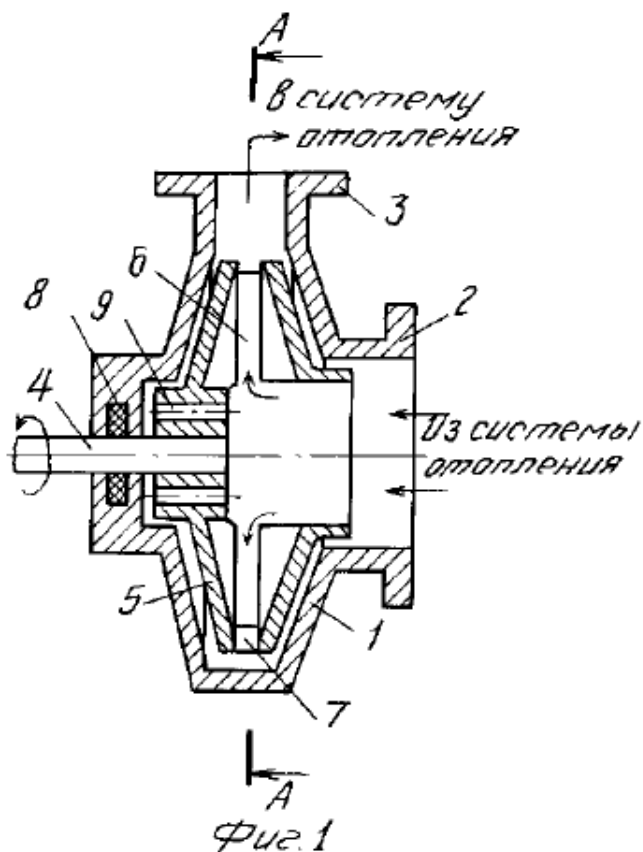
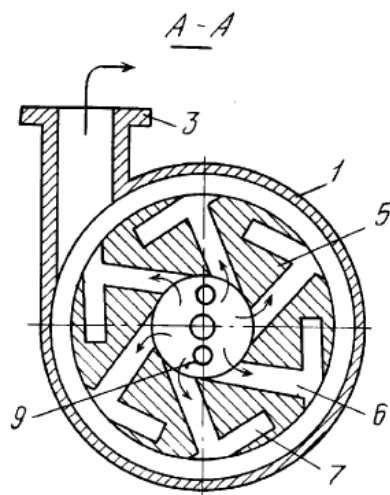
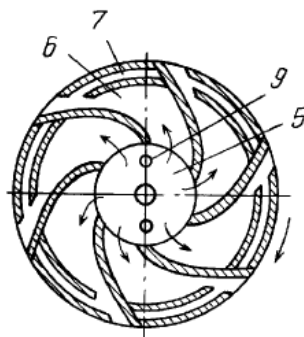


Рисунок 3 – Насос теплогенератор. Продольный вид [29]



Фиг. 2



Фиг. 3

Рисунок 4 – Насос теплогенератор. Поперечный вид [29]

Другим известным теплогенератором является [30]. Теплогенератор содержит циклон, который соединен с цилиндрической частью корпуса. Напротив циклона установлено тормозное устройство содержащее ребра закрепленные на втулке. В корпусе за тормозным устройством расположено выходное отверстие и дно соединенное выходным патрубком. Устройство имеет электрической насос и инжекционный патрубок. Выходной патрубком соединен с магистральную, которая в свою очередь соединена с теплообменниками. Сам трубопровод соединен с насосом и через запорный вентиль соединен трубопроводом.

Теплогенератор работает следующим образом. Жидкость через инжекционный патрубок 12 поступает в ускоритель жидкости 1, где растет механическая энергия потока, после чего жидкость попадает в цилиндрическую часть 2. За счет того, что выходной участок 13 ускорителя имеет диаметр значительно меньший, чем диаметр цилиндрического участка, скорость увеличивается, а затем снижается, при этом повышается давление жидкости, что по законам термодинамики приводит к росту температуры. Затем жидкость двигается к тормозному участку 3 где снижается скорость и

растет температура, что приводит к росту температуры. Таким образом работает теплогенератор.

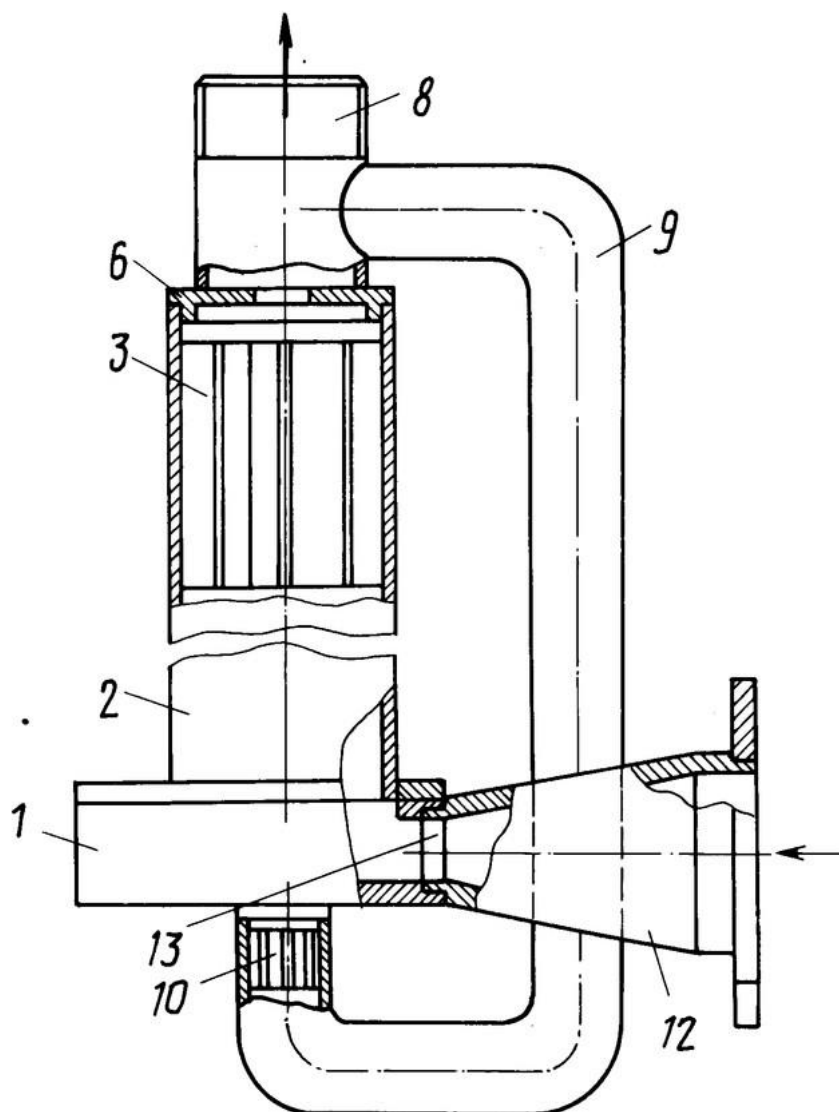


Рисунок 5 – Теплогенератор. Поперечный вид [30]

1.2 Теплогенераторы на основе сжигания топлива

Известны устройства [31] мобильного исполнения которые применяются, в частности, в транспортных средствах в качестве автономных или дополнительных подогревателей. В таких устройствах топливо с воздухом используется для получения тепла. Для этого в мобильных теплогенераторах используются камеры сгорания. В качестве топлива могут использоваться дизельные топлива, бензин, этанол или газообразное топлива в виде природного или сжиженного газа.

В целом теплогенераторы мобильного исполнения на жидкостные и воздушные. В жидкостных теплоносителем является жидкость, чаще всего вода, в воздушных воздух. Известно, что воздушные теплогенераторы обычно выполняются таким образом, чтобы выделяемое тепло посредством

теплообменника передавался воздуху, который в свою очередь использовался для отопления.

Конструкция теплогенератора представлена на рисунке 6. Теплогенератор состоит из камеры сгорания 10 для осуществления процесса сжигания топлива, теплообменник для теплопередачи, устройства для подачи топлива, воздушный компрессор, нагнетатель теплоносителя, сенсор необходимый для контроля расхода теплоносителя. Система управления обеспечивает возможность изменять коэффициент избытка топлива в камере сгорания. Система управления может быть подключена к датчикам температуры на выходе из теплогенератора, для того, чтобы эффективно расходовать топлива для поддержания необходимой температуры теплоносителя. К примеру, в случае работы теплогенератора в системе воздушного отопления, система управления может быть соединена с температурными датчиками комнаты или здания, и подавать топливо с воздухом в соответствии с необходимой температурой.

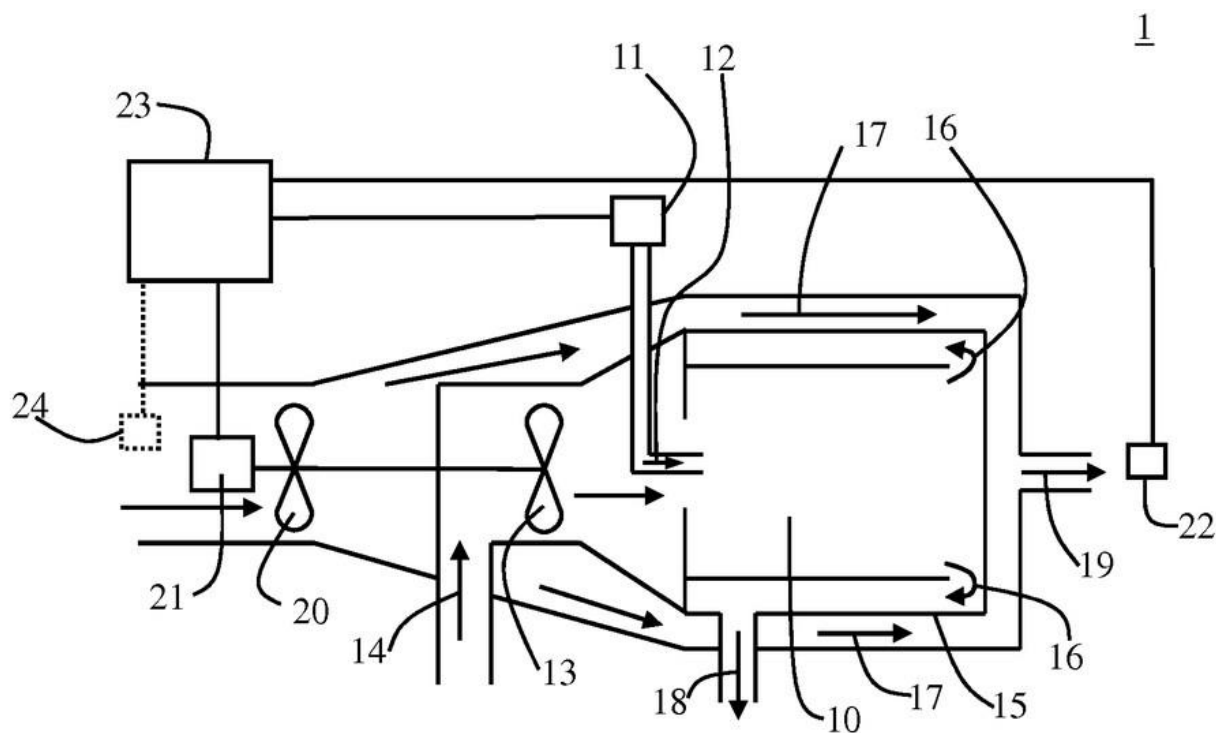


Рисунок 6 – Теплогенератор. Поперечный вид [31]

Известен другой теплогенератор, схема которого представлена на рисунке 7 [32]. Теплогенератор состоит из следующих основных элементов:

- a) 1 - горелка с вентилятором;
- b) 2 - корпус камеры сгорания;
- c) 3 - жаровая труба камеры сгорания;
- d) 4 и 5 - отверстия для ввода воздуха;
- e) 6 - кольцевой канал камеры сгорания;
- f) 7 - камера дожигания;

- g) 8 - дожигатель (каталитическая кассета);
- h) 9 - вентилятор вторичного воздуха;
- i) 10 - завихритель;
- j) 11 - воздухозаборник;
- k) 12 - вентилятор подогретого воздуха;
- l) А - первичная жаровая камера;
- m) Б - вторичная жаровая камера;
- n) В - полость камеры дожигания [23].

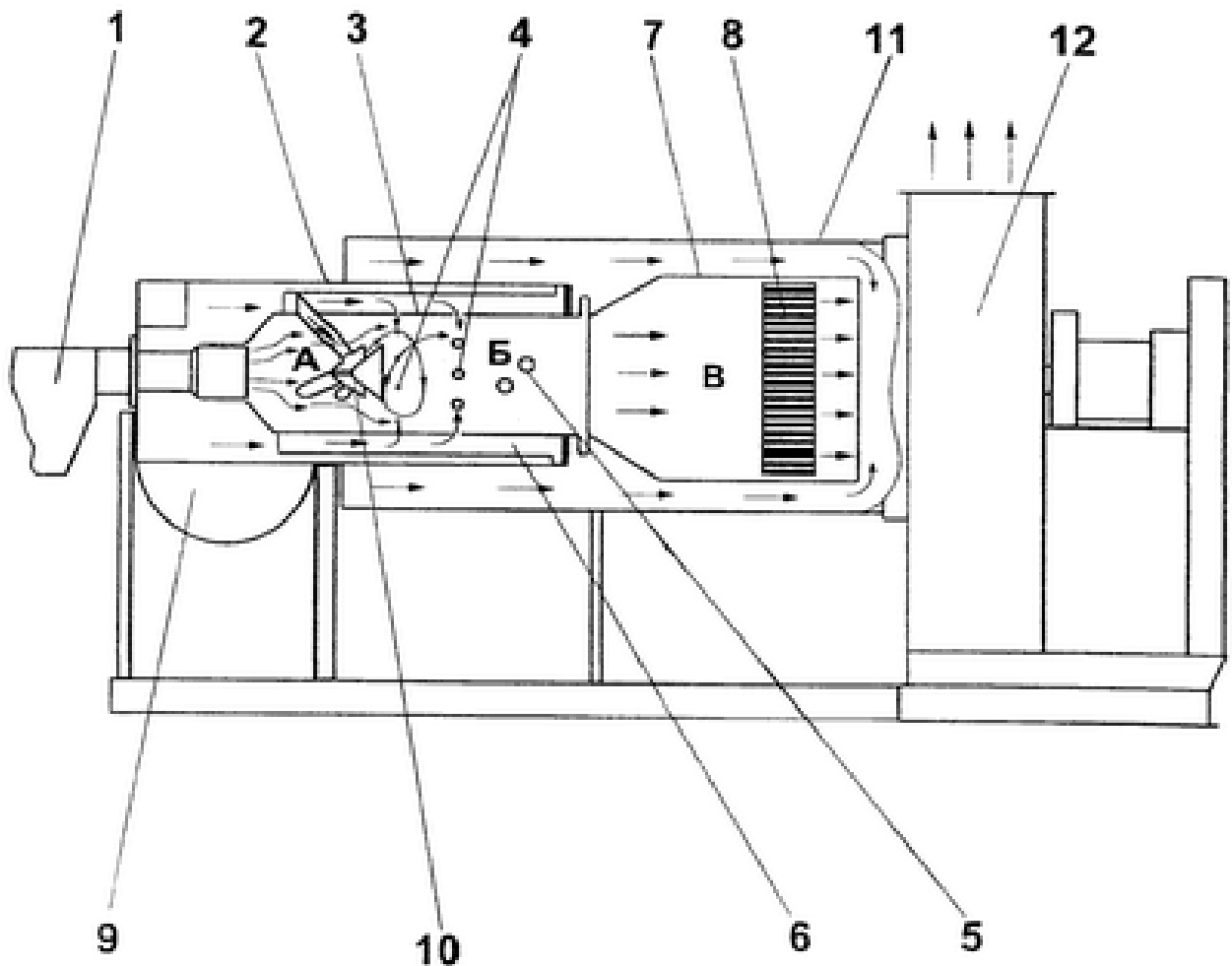


Рисунок 7 – Теплогенератор [31]

Теплогенератор работает следующим образом: жидкое или газообразное топливо под определенным давлением подается в горелочное устройство, в которую подается так называемый первичный воздуха. В первичной жаровой камера А происходит первая стадия процесса горения, причем горение осуществляет диффузионным способом. Коэффициент избытка воздуха в этой камере сгорания равен 0,3-0,4. Затем газы направляются на завихритель, после завихрителя газы попадают в камеру Б. Завихритель необходим для того, чтобы эффективно распределить газы по сечению жаровой трубы. Вторичный воздух подается в кольцевой канал расположенный между корпусом и

жаровой трубой. Основная масса воздуха поступает на завихритель и соединяется с потоком газов который течет в камеру сгорания Б.

Путем регулировки расхода воздуха в горелочном устройстве и расхода вторичного воздуха поддерживается температура в зоне горения не превышающей 1800°С, что многократно снижает вероятность образования окислов азота. Подготовка сжигания топлива начинается во вторичной камере сгорания, куда же подается воздух для сжигания.

Известен также теплогенератор [32] который содержит корпус с входным патрубком для воздуха, система сжигания топлива и со вставкой для смешения воздуха с топливом. На рисунке 8 представлен теплогенератор, состоящий из корпуса 1, входного патрубка 2, патрубка для подвода свежего воздуха, плиты 4 состоящей из модулей 5, причем каждый модуль 5 состоит из вставку 7 для смешения воздуха с топливом, которая соединяется с камерой сгорания 6. Также установлены газоподводящий 8 с соплами 9, с входным регистром 10. На выходе из вставки 7 установлен регистр 11, который закручивает поток в обратную сторону. Дополнительно для придания закручивающего движения в патрубке 2 установлен аксиальный лопастной завихритель 12, между стенками корпуса и жаровой трубой образована полость 13, сообщенная с входным патрубком 2 и камерой сгорания 6 с другой.

Теплогенератор работает следующим образом: начальный воздух от нагнетателя через патрубок 3 поступает в корпус 1 теплогенератора. На входе воздух разделяется на первичный и вторичный, причем первичный воздух подается непосредственно в камеру сгорания 6, вторичный воздух между корпусом и жаровой трубой. В камере сгорания установлены модули 5 в которых воздух закручивается при помощи завихрителей 10. А через газоподводящий патрубок 8 подают топливо, после чего происходит интенсивное перемешивание топливо-воздушной смеси. Полученная топливо-воздушная смесь, поступает в завихритель 11, после чего топливо попадает в камеру сгорания, где осуществляется процесс горения.

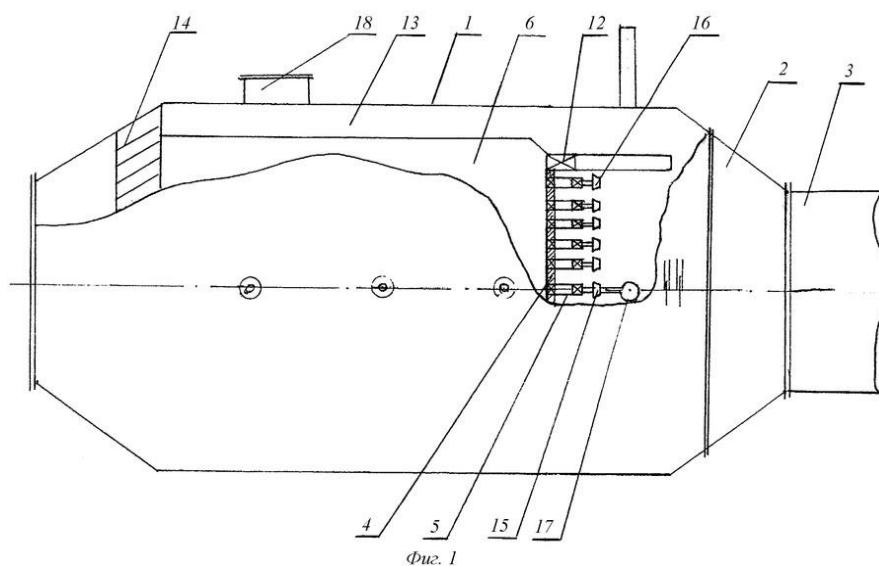


Рисунок 8 – Теплогенератор [32]

Известен теплогенератор [33], состоящий из корпуса 1, камеры сгорания 2, рециркуляционной вставки 3, ребер жесткости 4, горелочного камня 5, газогорелочной системы 6. Работает теплогенератор следующим образом: газовоздушная смесь при помощи газогорелочной системы 6 подается в камеру сгорания 2, в которой происходит процесс горения в рециркуляционной вставке 3. Выходя из камеры сгорания, продукты сгорания разбавляются подаваемым через подающий коллектор воздухом. Проходя по каналу между корпусом и камерой сгорания, воздух частично подогревается, тем самым охлаждая камеру сгорания. После этого газовоздушная смесь подается на обогрев. Камера сгорания и рециркуляционная вставка крепятся соосно с корпусом 1 ребрами жесткости 4. За счет введения в камеру сгорания рециркуляционной вставки 3 образуется обратный поток дымовых газов под воздействием вытекающей в топочный объем топливовоздушной струи и происходит подсос продуктов сгорания к корню факела. Это позволяет снизить содержание оксидов азота путем снижения максимальной температуры горения.

Особенностью теплогенератора является использование горелочного камня 5, который в процессе сжигания топлива образует фронт горения, а также обеспечивает наилучшие условия для воспламенения топлива, подогревает воздуха на входе.

Данный теплогенератор может быть использован для снабжения теплом промышленных предприятий, зданий общего пользования, а также может быть использован в процессах сушки, нагрева.

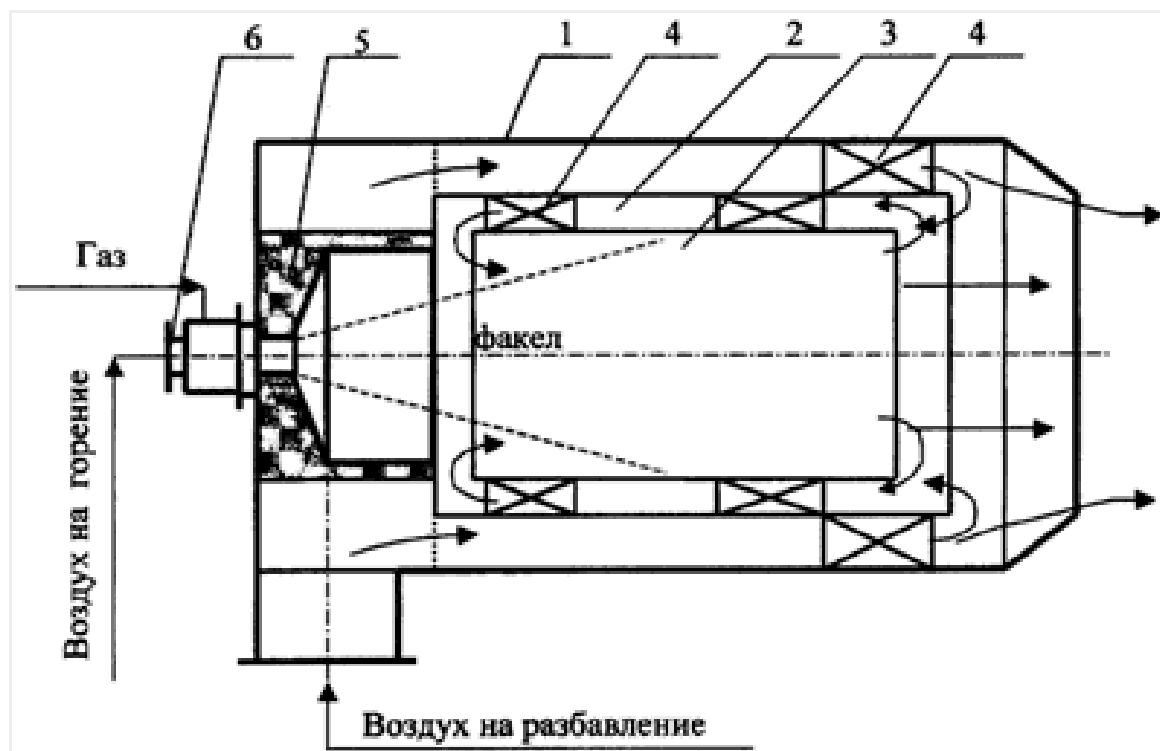


Рисунок 9 – Теплогенератор [33]

Известен теплогенератор [34] содержащий цилиндрический корпус 4, который снабжен патрубком для подвода воздуха 3. Во внутренней части

коаксиально установлен перфорированный цилиндр 5, в котором установлена камера нагрева газов. В полости корпуса камеры нагрева газов 6 установлен коаксиально перфорированный цилиндр подвода холодных газов с входным патрубком холодных газов 8.

Работает устройство следующим образом: воздушный поток поступает в воздушную камеру, которая образуется корпусом и цилиндром. Через перфорированный цилиндр воздух направляется перпендикулярно камере нагрева. Через патрубок топливо направляется вдоль перфорированного цилиндра и подсасывается воздухом и поступает в камеру.

Во фронтальной части камеры сгорания диффузионные факелы организуют горение топлива на поверхности корпуса 6 плотностью теплового потока к поверхности при минимальном образовании оксидов азота в условиях горения с общим избытком воздуха меньше единицы, а в хвостовой части проходит дожигание несгоревших продуктов сгорания. В хвостовой части коэффициент избытка топлива выше единицы, для обеспечения эффективного выгорания остатков.

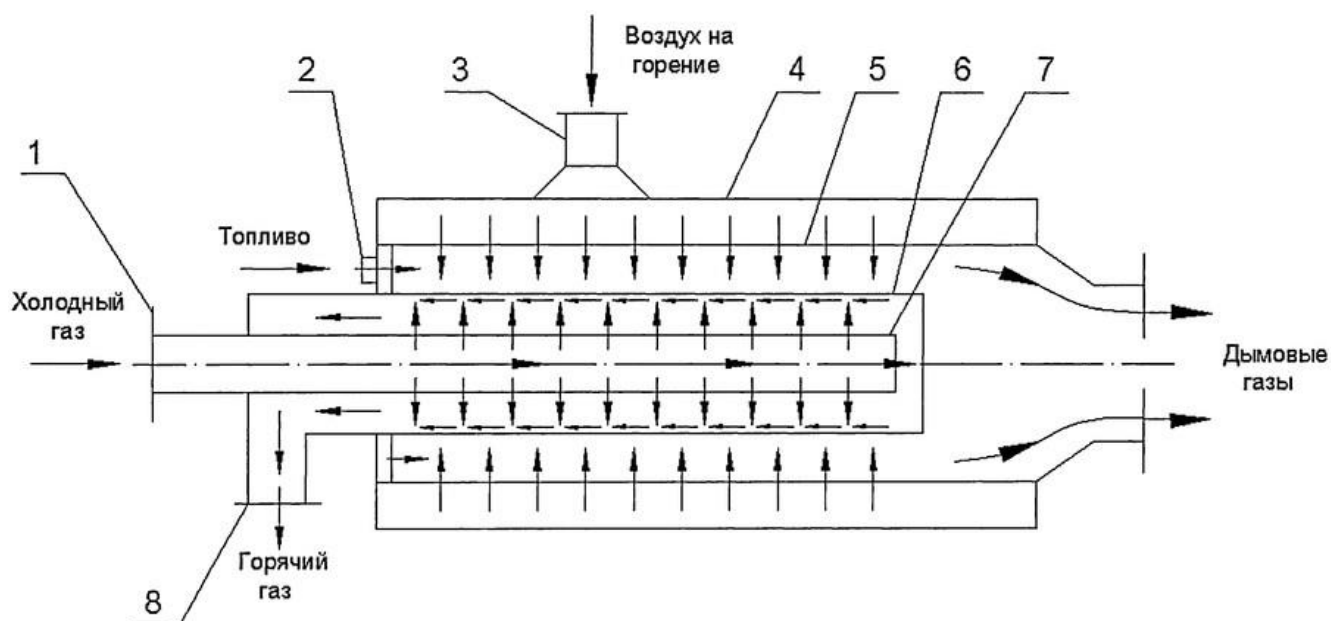


Рисунок 10 - Теплогенератор

Известен теплогенератор [34] для нагрева воздуха, который содержит цилиндрический корпус 1 с установленным в нем цилиндром 2, в полости которого установлена воздушная камера 3. Камера выполнена перфорированной, т.е. с отверстиями 4 по всей длине. Цилиндр 2 также выполнен перфорированным 2. Между камерой 3 и цилиндром 2 образована кольцевая поверхность, в которой установлена перегородка 6 с сопловыми отверстиями 7, которая сообщена с кольцевой стенкой 8 газовой камеры и патрубком подвода газа 10. В теплогенератора установлена рабочая камера 11, в которой установлено запальное устройство 12 и контрольный электрод 13.

Устройство работает следующим образом: воздух нагнетателем подается в воздушную камеру 3 и в зазор между корпусом 1 и перфорированным цилиндром 2, откуда через отверстия 5 цилиндра 2 в виде системы встречных струй подается в рабочую камеру 11. Через патрубок 10 осуществляется подача газа в газовую камеру 9, где газ, распределяясь по объему этой камеры, через систему сопловых отверстий 7, в перегородке 6 подается в рабочую камеру 11, где происходит зажигание газо-воздушной смеси запальным устройством 12.

На выходном участке сопловых отверстий 7 происходит воспламенение запальным устройством 12, после чего образуется система факелов которые направлены параллельно стенкам камеры 11, струи же воздуха, подаются перпендикулярно в камере 11. После этого подогретые газы покидают теплогенератор.

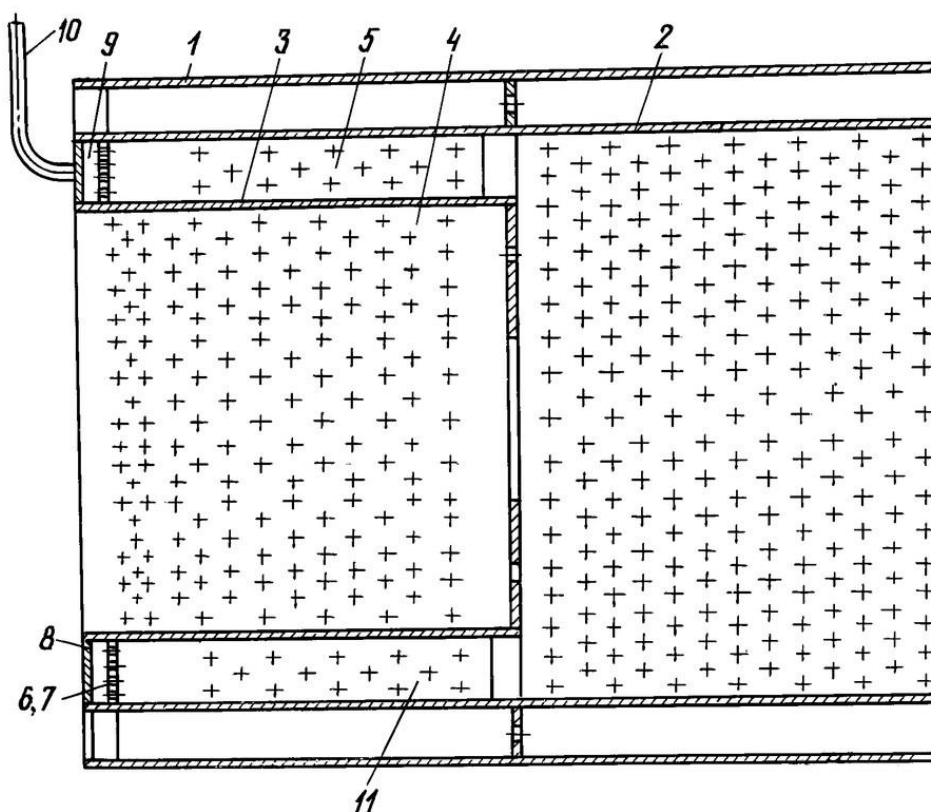


Рисунок 11 - Теплогенератор

Воздушный теплогенератор [35] 10 с селективным непрямым и непосредственным обдувом в соответствии с настоящим изобретением имеет секцию 12 пожарной трубы и оболочки. Секция 14 воздуходувки, которая может быть обычного спирального типа. Центробежный вентилятор, как показано, разъемно соединен с секцией 12 и предназначен для перемещения через него воздуха. Предусмотрено множество нагревательных блоков 16 и 18. Каждый блок 16, 18 имеет горелку 17, 19, соответственно, предназначенную для сжигания топлива другого типа и предназначенную для избирательного соединения с секцией 12 для прохождения газов сгорания в свою жаровую

трубу. Каждая горелка 17, 19 расположена в кожухе 20, который также может содержать органы управления для конкретного блока 16, 18. Горелки 17, 19 и органы управления для них имеют традиционную природу, и, следовательно, они будут не будут обсуждаться подробно здесь. Блок 16 может быть, например, блоком сжигания жидкого топлива и получать свое топливо из топливного бака 22. Блок 18 может представлять собой, например, блок сжигания газа и принимать сжиженный газ, такой как пропан, из одной или нескольких баллонов со сжиженным газом (не показаны), помещенных, например, в камеру 24 баллона со сжиженным газом.

Секция 12 нагревателя 10 имеет корпус 34, снабженный по существу цилиндрической стенкой 36, образующей трубку шины, имеющую впускное отверстие 38 и выпускное отверстие 40, позволяющие газам сгорания из горелки 17, 19 нагревательного блока 16, 18 проходить через пожарная труба. Стенка 36 может быть изготовлена, например, из нержавеющей стали. Оболочка 42 снабжена по существу цилиндрической стенкой 44, расположенной вокруг стенки 36. Стенки 36 и 44 образуют по существу кольцевой канал для потока жидкости, имеющий впускное отверстие 46 и выпускное отверстие 48. Преимущественно, конусообразный диффузор 49 соединен с выпускным отверстием. отверстие 48 для направления нагретого воздуха в секцию 14 вентилятора.

Как ясно показано на чертежах, корпус 34 и корпус 42 расположены соосно, выпускное отверстие 38 и входное отверстие 46 расположены в соответствующей стенке 36, 44 в направлении друг от друга от общей оси корпуса 34 и корпуса 42 и лежат в общей радиальной плоскости. Конец корпуса 34 рядом с выпускным отверстием 40 закрыт пластиной 50, а конец корпуса 42 рядом с входным отверстием 46 имеет крышку 51, расположенную на нем и снабженную входным отверстием 38.

Поток воздуха и газообразных продуктов сгорания обозначен на чертежах стрелками потока. С помощью нагревателя нагревательный блок может быть установлен из стандартного набора компонентов, который является оптимальным для конкретного местоположения и легко перемещается к нему. Может быть выбран нагревательный блок 16, 18, который сжигает топливо, которое наиболее желательно для конкретной ситуации. Воздуходувная секция 14 будет втягивать воздух через трубу 60 и канал для потока жидкости, чтобы запуститься либо косвенно, либо напрямую, и нагреваться продуктами сгорания из нагревательного блока..

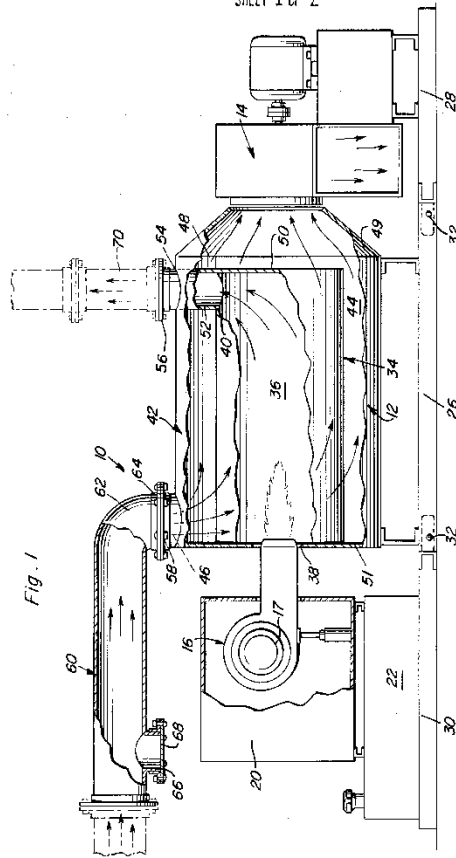


Рисунок 12 - Теплогенератор

Известен теплогенератор [36] который включает в себя двигатель Стирлинга 1, к которому тепло подается горелкой 14. Тепло передается в головку системой 3 ребер. Теплогенератор содержит водонагреватель 15, выполненный с возможностью нагрева потока воды 16 вспомогательной горелкой 17. Выхлопной газ выпускается через выхлопную трубу 18.

Общая линия подачи газа 19 предусмотрена как для первой горелки 14, так и для вспомогательной горелки 17. Этот поток газа управляется одним многофункциональным клапаном 20. В состав многофункционального клапана может быть включено устройство управления горелкой для управления зажиганием. Газ в многофункциональном клапане 20 поступает в смесительную камеру 21 в виде коллектора Вентури и смешивается с воздушным потоком 22, который протекает через воздуходувку. Затем газоздушная смесь подается в разделительный клапан 23, через который один вход 24 ведет к первому выходу 25 горелки и ко второму выходу 26 горелки. Относительный поток к каждому выпускному отверстию регулируется заслонкой 27, которая может вращаться вокруг оси 28.

Положение заслонки 27 устанавливается контроллером установки, и до этого положения она приводится в движение, например, серводвигателем.

Топливозвоздушная смесь, подаваемая в двигатель Стирлинга 1, обтекает обтекатель 29, окружающий горелочное устройство, и таким образом нагревается потоком горячего газа, выходящим из горелки. Выхлопной газ, который отдает часть тепла входной смеси, выходит и через канал 30 выхлопных газов и поступает в водонагреватель 15, где он нагревается до определенной степени охладителем 31 двигателя Стирлинга и приводится в контакт с потоком воды 16 для дальнейшего предварительного нагрева потока 16 воды перед вспомогательной горелкой 17. Вспомогательная горелка 17 зажигается при необходимости для обеспечения автономного нагрева потока воды 16. Выхлопной газ от первой горелки 14 выходит из водонагревателя 15 через выхлопную трубу 18 вместе с выхлопным газом от вспомогательной горелки 17.

Работа водонагревателя 15 заключается в следующем. Вода течет по водоводу 41 по спиральному пути от первого конца до второго конца. Вспомогательная горелка 17 зажигается в камере 47, а отработавший газ поступает на вход 42 и проходит в камеру 43. Эти два горячих потока радиально проходят через зазор между соседними змеевиками в водоводе 41 и текут во внешнюю кольцевую камеру 51, образуя комбинированный поток. Затем этот комбинированный поток течет обратно через водовод 41, примыкающий к первому концу, обозначенному стрелкой 52. Таким образом, поступающая вода первоначально нагревается этим комбинированным потоком. По мере того как вода течет дальше ко второму концу, она сталкивается с выхлопным газом двигателя Стирлинга из камеры 43 и дополнительно нагревается. Наконец, вода подвергается воздействию горячего газа из вспомогательной горелки 17 для обеспечения нагрева третьей ступени.

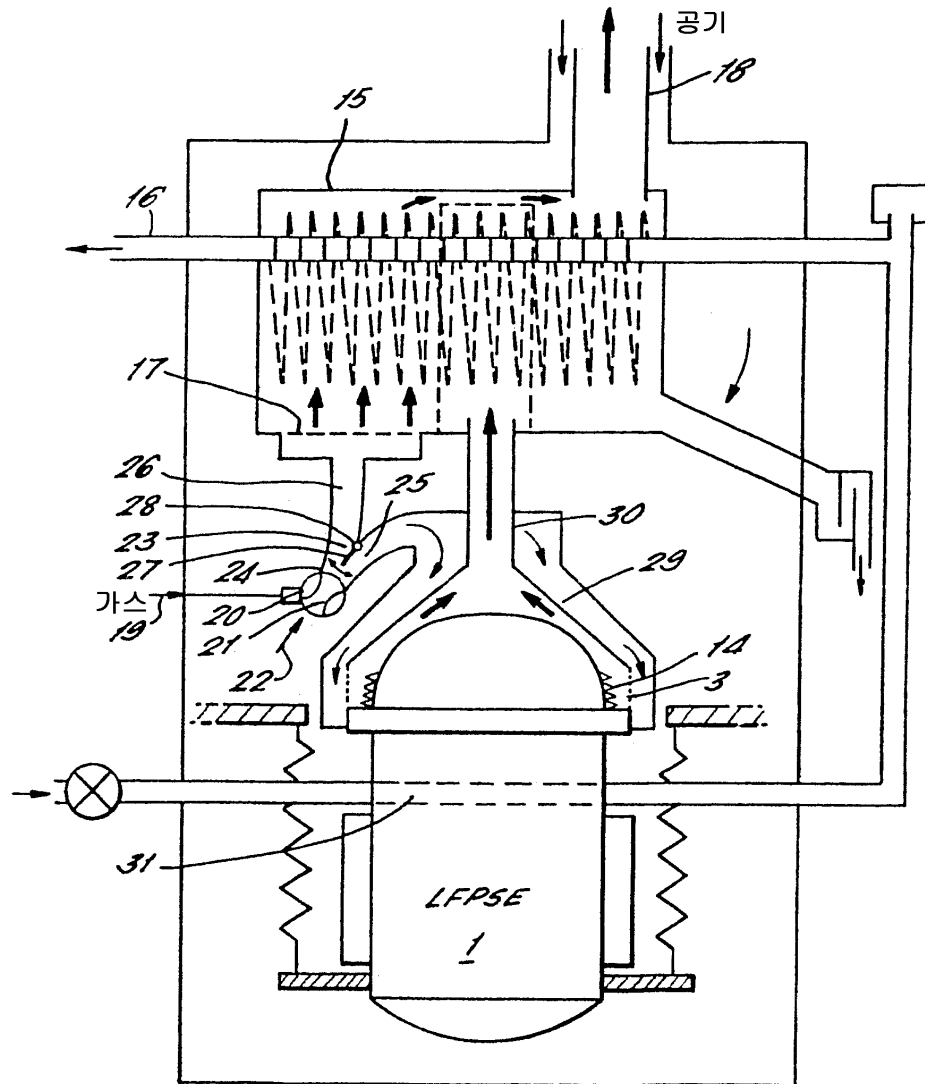


Рисунок 13 - Теплогенератор [36]

Известен теплогенератор [37], в котором топливно-газовая смесь 10 подается через коллектор 12. Коллектор имеет множество выпускных отверстий 14, соответствующих количеству теплообменников 16, используемых в печи. Между теплообменниками и выпускными отверстиями коллектора расположено множество горелок 18, выполненных в соответствии с числом теплообменников один к одному. Горелки могут быть обычной конструкции типа, указанного в патенте США. Нет. 6,196,835, которая включена в настоящий документ посредством ссылки для всех целей. Каждая горелка включает в себя устройство Вентури, которое обеспечивает надлежащую смесь воздуха и топлива. Воздух и топливо объединяются на одном конце горелки 18, примыкающей к коллектору 12, и воздушно-топливная смесь воспламеняется на противоположном конце горелки 18 на торце горелки 18а. горячие газы сгорания поступают в каждый теплообменник и заставляются течь по извилистому пути внутри каждого теплообменника.

Индивидуальное расположение горелки / теплообменника более конкретно показано в патенте США. № 4.467.780 и в целом описан здесь со ссылкой на фиг. 2. Как показано на фиг. 2, типичная печь 20 горячего воздуха имеет наружное покрытие 22 из листового металла, которое включает в себе серию из пяти теплообменников 24, воздуходувку 26, горелки 28, одну горелку для каждого теплообменника 24 и регулятор давления 30. Газовоздушная смесь впрыскивается горелкой 18 в открытый конец теплообменника 24. В процессе инъекции в теплообменник 24 втягивается дополнительный воздух, так что газ может быть полностью сожжен внутри теплообменника 24. Коллектор 32 соединен с выпускной частью каждого из теплообменников 24, причем коллектор 22 также соединен с индукционным вытяжным вентилятором 34, который создает отрицательное давление через теплообменники 24 и положительное давление выхлопа для отвода газов, образующихся в результате сгорания, через отверстие 36 в выпускной дымоход. Воздуходувка 26 принимает холодный воздух помещения из области, которая должна быть нагрета, нагнетает этот воздух над поверхностями теплообменника в направлении, указанном стрелкой 38, а затем собирает воздух и возвращает его в нагреваемые помещения.

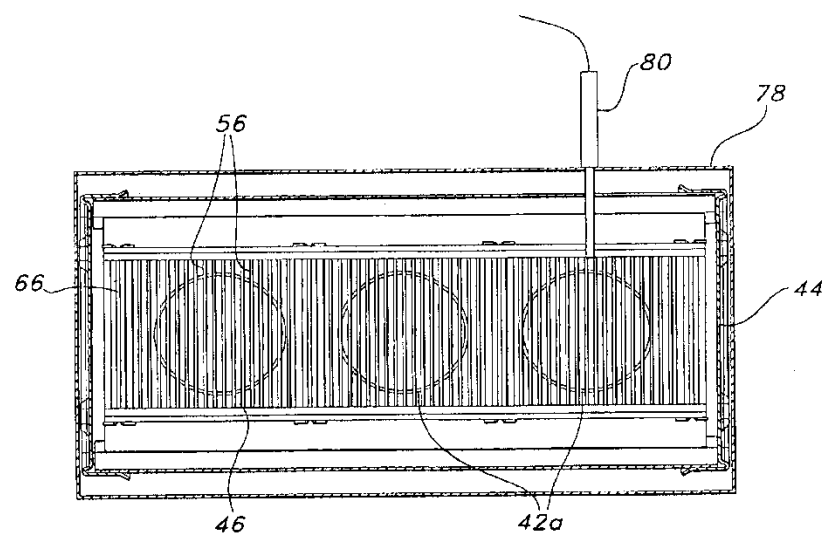
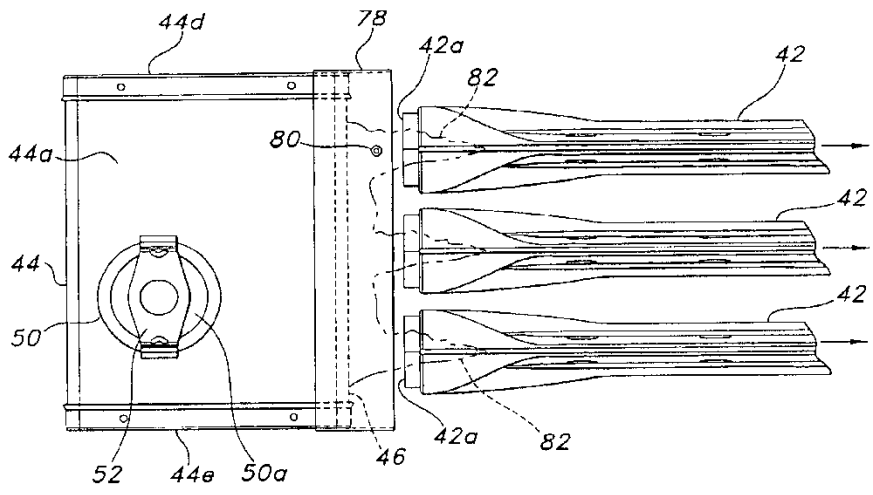


Рисунок 14 – Теплогенератор [37]

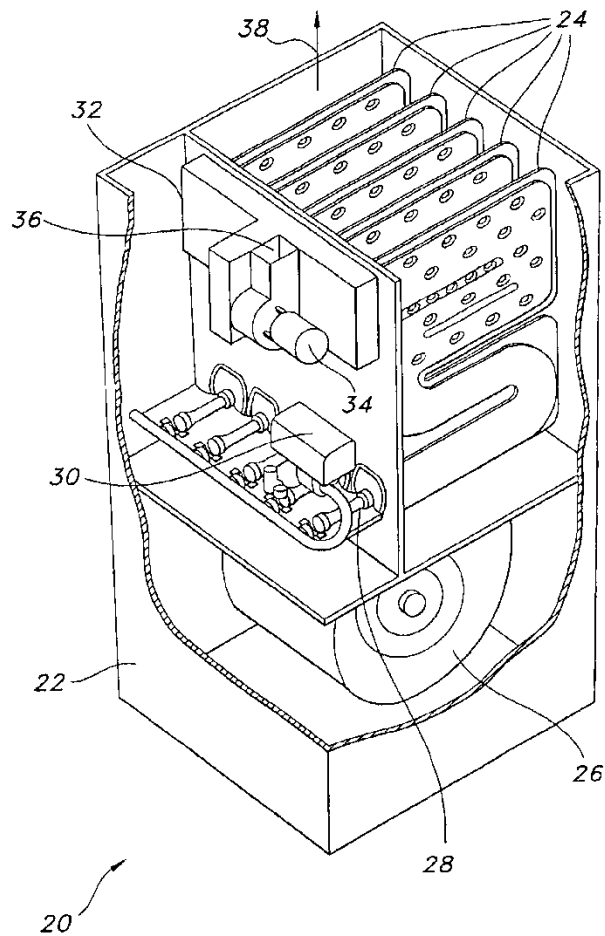


Рисунок 15 – Теплогенератор [37]

На фиг. 1 схематически изображена специально спроектированная система 10 сгорания топливного нагревательного прибора, представляющая собой воздушную нагревательную печь 12. 1 и включает в себя, слева направо, как показано на фиг. 1, первичная топливоздушная смесительная структура 14, вторичная топливоздушная смесительная структура 16 и структура горения топливоздушной смеси 18, к которой функционально присоединено множество теплообменных трубок 20 (репрезентативно пять в количестве), как описано ниже.

Известен теплогенератор [38], состоящая из первичной топливоздушной смесительной конструкции 14, которая расположена на левом конце системы 10 сгорания, которая содержит прямоугольную корпусную конструкцию 22, имеющую наружную часть 22а и внутреннюю часть 22б, телескопически вдавленную во внешнюю часть 22а, как это видно на фиг. Наружная часть корпуса 22а имеет входную торцевую стенку 24 и открытый выходной торец 26. Центральное кольцевое отверстие 28 образовано во входной торцевой стенке 24 и окружено кольцевым торцевым отверстием 30, радиально пересекающую расположенную по окружности решетку вихревых лопастей 32. Внутренняя часть корпуса 22б имеет открытые

входные и выходные концы 3436 и в боковом направлении описывает структуру 38 Вентури, имеющую увеличенные открытые входные и выходные концевые участки 40 и 42.

Структура 38 Вентури имеет перфорации 44, образованные в ее боковой стенке. Представительно, что перфорации 44 образуются только во входной концевой части 40 конструкции 38 Вентури, но при желании могут быть расположены на дополнительных или других участках боковой стенки конструкции Вентури. Как показано на фиг. 1 и 2А, продольная ось 46 проходит в центре через внутреннюю часть конструкции 38 Вентури. Когда внутренняя часть 22b корпуса телескопически входит во внешнюю часть 22А корпуса, ось 46 проходит в центре через центральное отверстие 28 стенки корпуса, а выходные концы 26,36 частей 22А, 22b корпуса в совокупности определяют открытый выходной конец 48 общей структуры смешения первичного топлива и воздуха 14. Внутренняя часть корпуса 22b образует звукопоглощающую камеру 50, которая с боков окружает конструкцию 38 Вентури и сообщается с ее внутренней частью через перфорацию 44 боковой стенки Вентури. В собранном общем корпусе 22 радиальная топливная форсунка 52 оперативно установлена в центральной части отверстия 28 стенки корпуса и выступает в осевом направлении в открытую входную концевую часть 40 конструкции 38 Вентури для целей, описанных ниже.

По сравнению с обычными топливовоздушными смесительными конструкциями первичная топливовоздушная смесительная конструкция 14 на основе Вентури обеспечивает ряд преимуществ. Например, благодаря технике впрыска поперечного потока, использующей воздух для горения 74 а, закручивающийся через внутреннюю часть Вентури в сочетании с радиально направленными внутренними топливными струями 78, в структуре 38 Вентури достигается улучшенная степень смешения топлива и воздуха. Эта повышенная степень смешения топлива и воздуха дополнительно повышается за счет использования вторичной структуры смешения топлива и воздуха 16, которая служит для дальнейшего смешивания топлива и воздуха, обеспечивая дополнительное время “пребывания” топливовоздушной смеси, созданной в структуре 38 Вентури, прежде чем она войдет в корпус 62 горелки топливовоздушной смеси для сжигания в ней.

Кроме того, конструкция первичного топливовоздушного смесителя 14 существенно снижает шум смешивания топлива и воздуха как при пуске, так и при установившемся режиме работы печи 12. В качестве основного топлива/смешение структура воздуха 14 с перфорацией 44 в боковине конструкции Вентури 38 разрежение/топливно-воздушной смеси, работающих в ней, чтобы войти и заполнить камеру 50, регламентирующих структуру Вентури 38. Это создает внутри камеры 50 объем демпфирования текучей среды, который поглощает и гасит шумовые колебания давления текучей среды во внутреннем пространстве Вентури, тем самым желательнее снижая рабочий уровень шума первичной топливовоздушной смесительной структуры 14. Кроме того, усиленное перемешивание сжигаемой

топливовоздушной смеси желательна снижает уровень выбросов NO_x , создаваемых печью 12 при ее обжиге.

Как это лучше всего видно на рис. 4, вентилятор 72 индуктора тяги репрезентативно центрирован в направлении слева направо внутри коллекторной коробки 70 и по отношению к пяти иллюстративно изображенным трубам 20 теплообменника. Соответственно, всасывающая сила вентилятора 72 аналогично центрируется относительно массива трубок теплообменника 20. Без включения в топку 12 впоследствии описанного признака настоящего изобретения результат будет заключаться в том, что поток горячего горючего газа 82 на каждую трубу будет больше для центральных труб 20в, чем для концевых труб 20а. В свою очередь, это создало бы нежелательное неравномерное распределение температуры по всей решетке труб теплообменника, причем центральные трубы 20 В имеют более высокие рабочие температуры, чем концевые трубы 20 а.

Со ссылкой теперь на фиг. 1 и 3, ранее упомянутая диффузорная пластина 64, установленная на стыке между корпусом 54 вторичного топливовоздушного смесителя и корпусом 62 горелочной коробки, репрезентативно имеет удлиненную прямоугольную форму и по существу совмещена с открытыми входными концами трубок 20 теплообменника. Вдоль практически всей длины диффузорной пластины 64 образуется ряд относительно небольших перфораций 86 (см. фиг. 3), причем относительно большие перфорации 88 дополнительно формируются через противоположные концевые части диффузорной пластины 64. Эта схема перфорации, как можно видеть, обеспечивает противоположные концевые участки диффузорной пластины 64 (которые обычно выровнены с входными отверстиями концевых трубок 20а теплообменника) с большими площадями сквозного потока топливовоздушной смеси, чем площади сквозного потока топливовоздушной смеси диффузорной пластины, выровненные с входными отверстиями трубок 20в Центрального теплообменника.

Соответственно, во время обжига печи 12 наличие диффузорной пластины 64 уменьшает поток горячего горящего газа 82 через центральные теплообменные трубы 20 В и увеличивает поток горячего горящего газа 82 через концевые теплообменные трубы 20 а, при этом перфорационный рисунок в диффузорной пластине 64 функционирует таким образом, чтобы существенно облегчить неравномерное распределение температуры по массиву труб теплообменника, которое могло бы произойти в противном случае. Как легко видеть, принципы настоящего изобретения обеспечивают простое и достаточно недорогое решение потенциальной проблемы неравномерного распределения температуры по всей Трубной решетке теплообменника. Кроме того, при разработке настоящего изобретения было обнаружено, что использование неравномерно перфорированной диффузорной пластины 64 также обеспечивает дальнейшее перемешивание топливовоздушной смеси 80, поступающей в корпус 62 горелочной коробки, обеспечивая тем самым дополнительное полезное снижение уровня NO_x отводимого горючего газа 82 а.

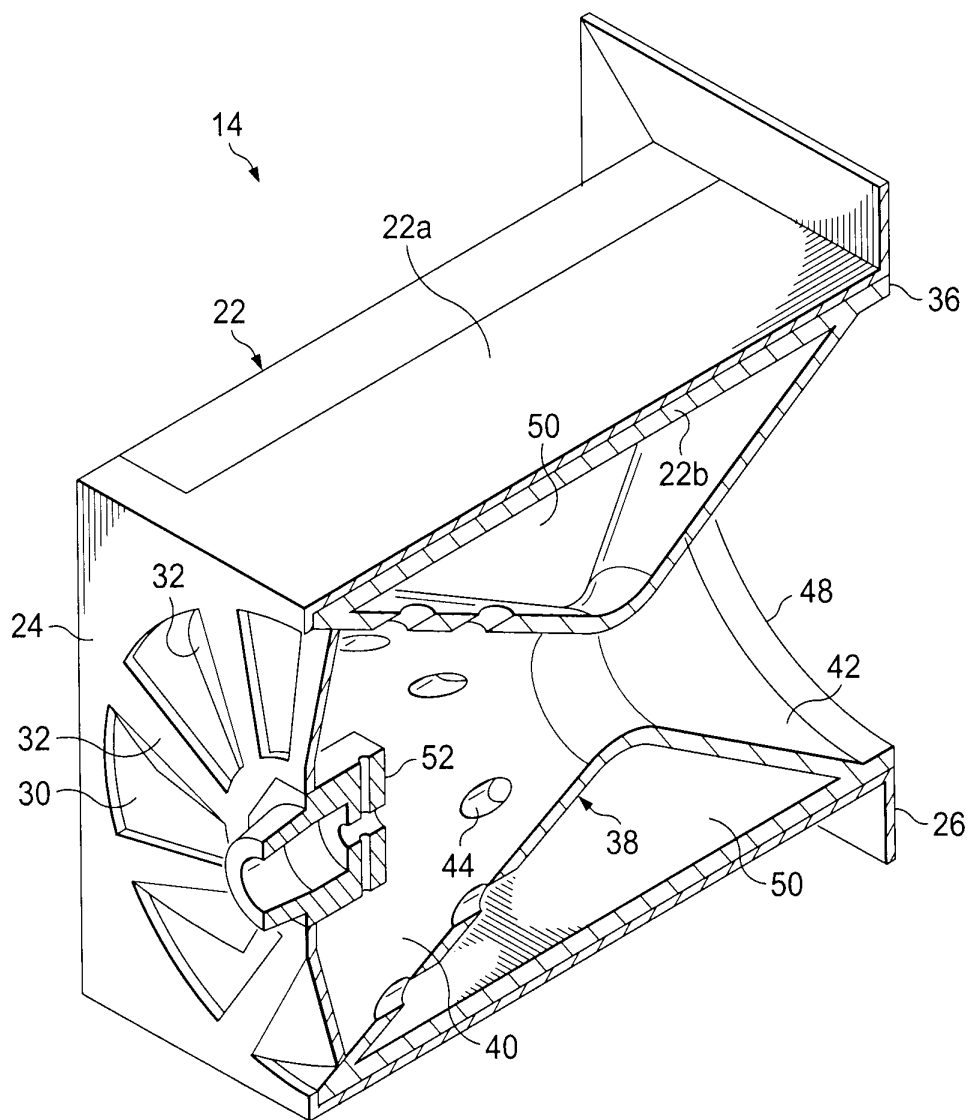


Fig. 2

Рисунок 16 – Теплогенератор [38]

Известен теплогенератор разработанный в КНР [39] состоящий из специальная конструкция системы сгорания основное устройство для смешения топлива и воздуха конструкция 14, трубчатый теплообменник 20 (обозначается как 5). Теплогенератор имеет прямоугольную конструкцию 22 корпуса, которая имеет внешнюю секцию 22a и внутреннюю часть. Наружная часть 22a корпуса имеет входную торцевую стенку 24 и отверстие выпускного конца 26.

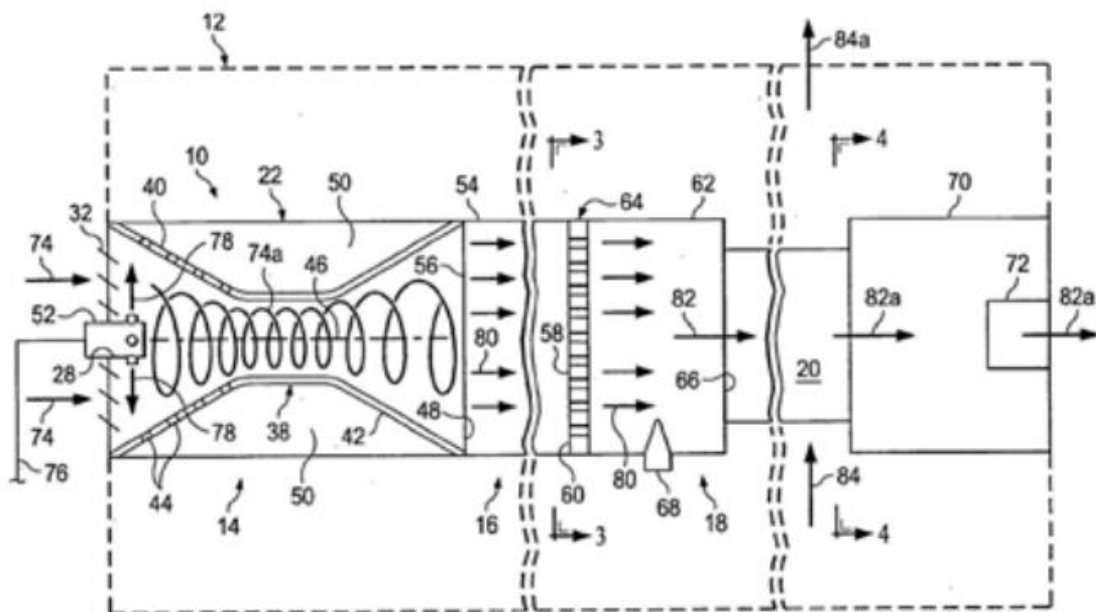


Рисунок 17 – Теплогенератор [39]

1.3 Общие выводы по теплогенераторам

Теплогенераторы состоят из трех основных компонентов: нагревательный элемент, корпус и оборудование для сжигания, чаще всего камера сгорания. На рисунке 17 представлен вид в поперечном разрезе теплогенератора используемого в промышленности. Камера сгорания или топка состоит из труб, соединенных последовательно, которые несут нагреваемое тело. Тепло передается теплоносителю, проходящему через трубы. Корпус состоит из топки. Это стальная конструкция, облицованная огнеупорным материалом, который удерживает выделяемое тепло. Горелки создают тепло путем сгорания топлива.

Трубы поглощают тепло в основном за счет лучистой теплопередачи и конвективной теплопередачи от дымовых газов, которые выходят в атмосферу через дымовую трубу. Горелки расположены на дне или боковых стенках. Воздух для горения берется из атмосферы. Для увеличения рекуперации тепла воздушный подогреватель или котел-утилизатор устанавливаются после конвекционной секции. На рис. 18 показаны различные типы конфигураций теплогенераторы.

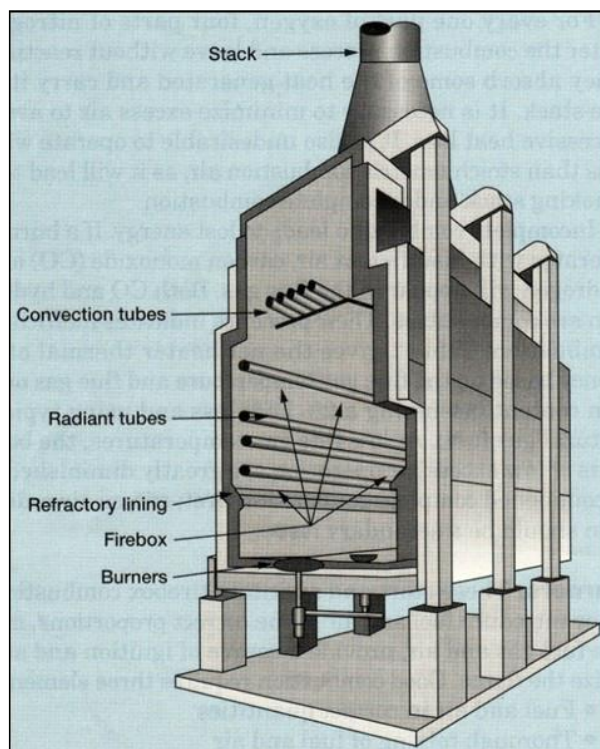


Рисунок 18 – Конструкции промышленных теплогенераторов

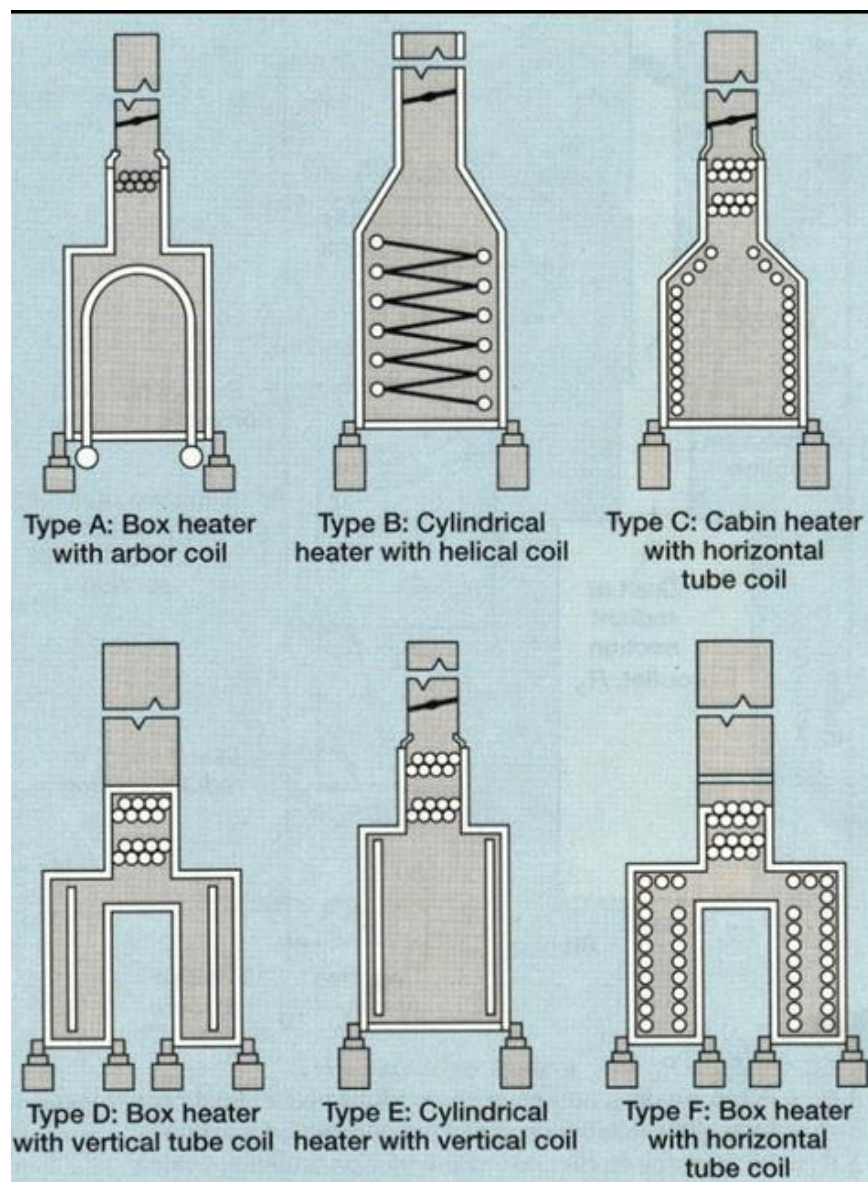


Рисунок 19 – Конструкции различных промышленных теплогенераторов

Горение – это экзотермическая реакция, возникающая в результате быстрой реакции окисления топлива. Большинство видов топлива содержат углеводороды и немного серы. Поскольку идеальное смешивание топлива и воздуха невозможно, избыточный воздух необходим для обеспечения полного сгорания топлива. Избыток воздуха выражается в процентах от теоретического количества воздуха, необходимого для идеального сгорания.

Неполное сгорание приводит к потере энергии. Если горелка работает с недостаточным количеством воздуха, в дымовых газах появляется угарный газ (CO) и водород. Их наличие свидетельствует о неэффективном сгорании. При низких температурах дымовых газов преимущества работы с низким избытком воздуха значительно уменьшаются.

Горелочные устройства теплогенераторов служат для осуществления и поддержания горения в камерах сгорания теплогенераторов. Они вводят топливо и воздух в правильных пропорциях, смешивают топливный газ и

воздух, обеспечивают источник воспламенения и стабилизируют пламя. Хорошее сгорание требует трех элементов:

- Топливо и воздух в правильных количествах
- Тщательное смешивание топлива и воздуха
- Длительное воспламенение этой смеси

Регистры воздуха и газовые наконечники контролируют количество воздуха и топлива, впрыскиваемого в горелку. Давление топливного газа и тяга воздуха обеспечивают энергию для смешивания топлива и воздуха. Типичный эскиз горелки показан на рисунке 18.

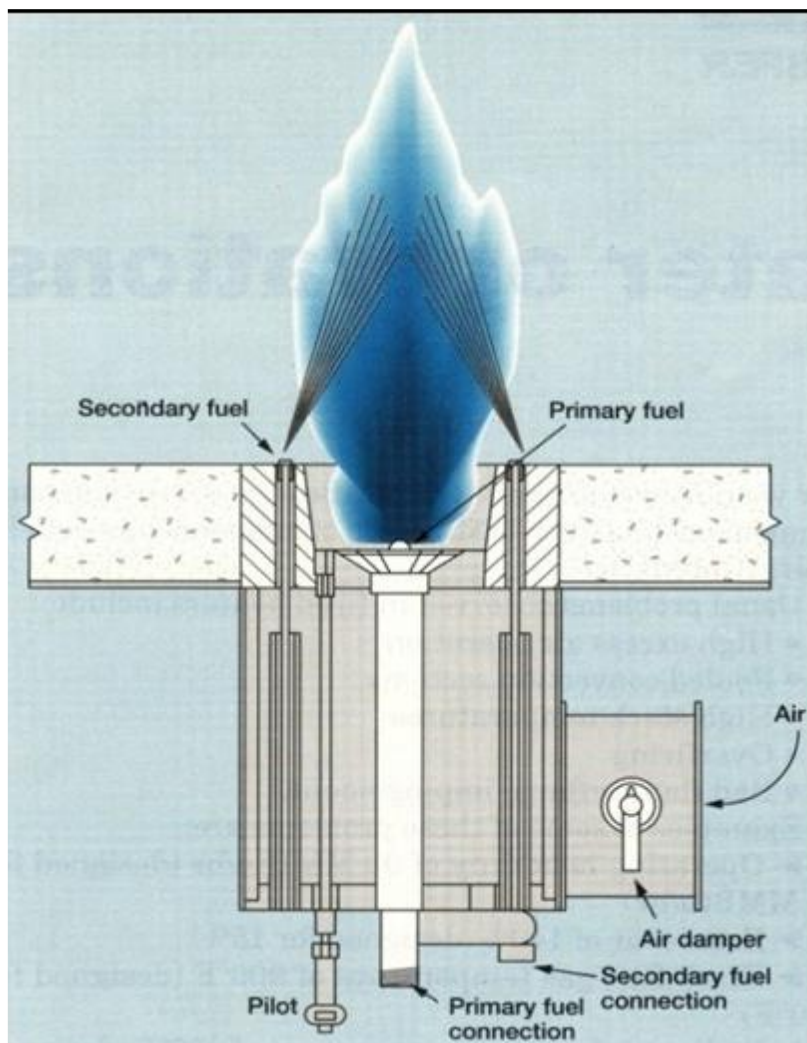


Рисунок 20 – Конструкции различных промышленных теплогенераторов

Тяга - горячие дымовые газы внутри топки и дымовой трубы легче, чем холодный окружающий воздух. Это приводит к слегка отрицательному давлению внутри печи. Воздух для горения всасывается в горелки, и горячий газ выходит из дымовой трубы благодаря этой разности давлений. Проходя через конвективную часть и дымовую трубу, дымовые газы сталкиваются с гидравлическим сопротивлением.

Натуральная тяга является наиболее распространенным типом. Воздух втягивается в печь через тягу, созданную стеклом. Чем выше стек, тем больше

доступной тяги. Принудительная тяга - в системе этого типа воздух подается центробежным вентилятором, обычно известным как вентилятор с принудительной тягой. Это обеспечивает высокую скорость воздуха, лучшее смешивание воздуха и топлива и меньшие размеры горелок.

Индукцированная тяга - Когда высота дымовой трубы недостаточна для соответствия требованиям тяги, можно использовать вентилятор с принудительной тягой для отвода дымовых газов из нагревателя. Отрицательное давление внутри печи обеспечивает подачу воздуха к горелкам из атмосферы. Сбалансированная тяга - когда вентиляторы используются с нагревателем, это называется системой сбалансированной тяги. Большинство установок предварительного нагрева воздуха имеют сбалансированную тягу.

1.3 Заключение по разделу. Проведенный анализ показывает, что существует различные варианты генерации тепла. К примеру в первом подразделе представлены теплогенераторы генерирующие теплоты при помощи трансформации кинетической энергии потока в тепловую. Такие генераторы имеют достаточно широкий спектр применения, они чаще всего имеют высокую мобильность, достаточны компактны. В недостаткам таких теплогенераторов можно отнести значительное потребление электроэнергии на приведение в движение электрического насоса, а также других элементов. К тому же, достаточно сложно использовать подобные теплогенераторы при относительно холодных температурах. Другими типами теплогенераторов являются классические, т.е. использующие теплоту сгорания топлива. Такие генераторы широко распространены. Достаточно посмотреть перечень патентов. К преимуществам таких теплогенераторов относятся: простота использования, широкий диапазон стабильного горения, возможность работы на различных топливах.

В нагревательных приборах, работающих на топливе, таких как, например, печи, известный способ обжига заключается в подаче топливовоздушной смеси в конструкцию горелочной коробки, в которой расположено подходящее воспламенительное устройство для сжигания топливовоздушной смеси и тем самым создания горячих газов сгорания, используемых для нагрева воздуха (или другой жидкости, в зависимости от случая) для доставки в место, обслуживаемое нагревательным прибором. Горячие газы сгорания пропускаются через ряд труб теплообменника, через которые протекает нагреваемая жидкость, а затем выпускаются из нагревательного устройства в дымоход. Из-за различных конфигурационных характеристик нагревательного прибора во время нагрева прибора может происходить нежелательный неравномерный нагрев трубок теплообменника, получающих продукт сгорания, так что в общей решетке труб теплообменника присутствует нежелательное неравномерное распределение температуры.

В дополнение к этой потенциальной проблеме неравномерности теплообмена другие проблемы, которые могут возникнуть при проектировании топливных нагревательных приборов, включают нежелательный уровень шума, возникающий при создании топливовоздушной

смеси, подаваемой в горелочную коробку, нежелательно низкий уровень смешивания топлива и воздуха и нежелательно высокий уровень NO_x, образующийся в процессе сгорания топливовоздушной смеси.

Как видно, существует необходимость в устранении вышеуказанных проблем, связанных с обычными отопительными приборами различных типов, работающими на топливе. Именно на эту потребность в первую очередь и направлено настоящее изобретение.

Исходя из проведенного анализа, существует необходимость разработки теплогенератора позволяющего использовать различные виды топлива, которые имел бы достаточно эффективную конструкцию позволяющую передавать значительное количество тепла вторичному теплоносителю – воздуху, который имеет относительно низкую теплоемкость.

2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЕ

2.1 Численное моделирование влияния изменения расхода топлива на процессы горения и образования токсичных веществ

В разделе представлены результаты численного моделирования процессов горения топлива в теплогенераторе. Схема теплогенератора представлена на рисунке 1.

В разделе представлены следующие расчеты. 1 расчет по формулам представленным в [1-5]. Учитывая, что расчетные методы рабочего процесса в камерах сгорания ГТУ имеют недостаточную степень точности и достоверности, существует необходимость проводить расчеты при помощи численного моделирования. При расчетах необходимо рассчитывать совместные процессы горения и теплообмена, которые достаточно сложны. Другой сложностью является совместный учет и влияние этих процессов на друг-друга.

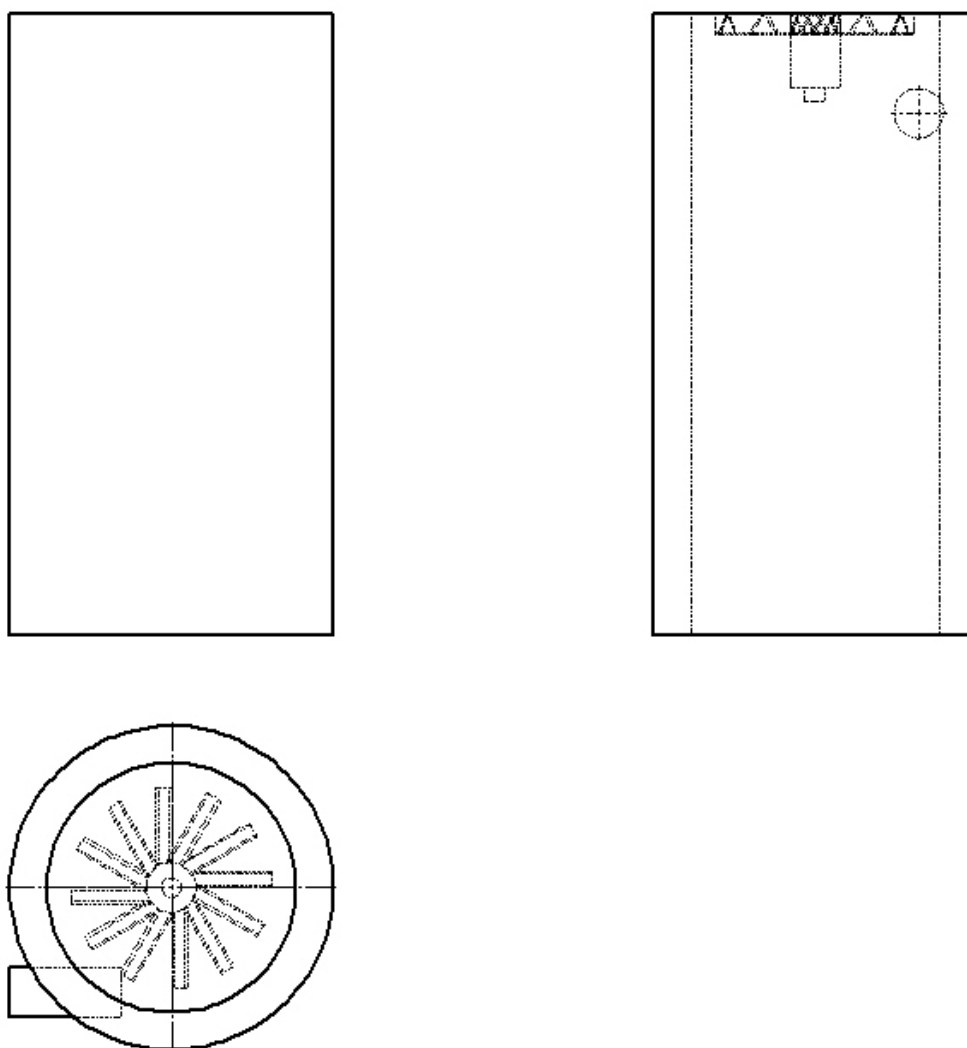


Рисунок 21 – Схема теплогенератора

Существуют различные методы расчета влияние геометрии и конструктивных характеристик камеры сгорания, а также режимных параметров на интенсивность горения и выгорания топлива по длине и поперечному сечению КС, однако они имеют достаточно абстрактный характер.

Другой сложностью является то, что существуют различные конструкции и режимные параметры, однако они не обладают достаточной универсальностью, поэтому использование их в других расчетах камер сгорания ограничено.

2.1.1 Математическая модель. Для определения процессов горения и тепломассообмена в камерах сгорания, как и в любых топливосжигающих установках необходимо учитывать уравнения неразрывности, уравнение сохранения энергии и массы. Математический вид этих законов описывается следующими уравнениями:

$$\frac{d\omega}{d\tau} + \omega \operatorname{div} \omega = g \left(1 - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p \right) + v \left(\nabla^2 \omega + \frac{1}{3} \operatorname{grad} \operatorname{div} \omega \right) \quad (2.1)$$

$$\frac{dc}{d\tau} + \omega \operatorname{div} c = \omega_{\text{исп}} - \omega_x + \operatorname{div}(D \operatorname{grad} c) \quad (2.2)$$

$$\frac{dt}{d\tau} + \omega \operatorname{grad} t = -Q_{\text{исп}} + Q_x + \operatorname{div}(a \operatorname{grad} t) \quad (2.3)$$

где $\omega_{\text{исп}}$ – удельная скорость испарения топлива (в случае жидкого топлива), ω_x – удельная скорость химической реакции, $Q_{\text{исп}}$ – удельная скорость расхода теплоты, Q_x – удельная скорость прохода теплоты.

Известно, что горение жидкого топлива происходит в виде пара, поэтому в процессе испарения распыленного топлива образуются продукты пирогенетического разложения, а при химической реакции они исчезают, т.е. выгорают. Из уравнения 4.2 видно, что при испарении тепло затрачивается, а при горении выделяется.

Для определения параметров в камере сгорания требуется решение вышеприведенных уравнение при соответствующих граничных условиях. Однако аналитическими методами решением представляется достаточно сложными, поэтому более эффективно использовать численные методы моделирования. Для этого была использована программа ANSYS Fluent 13 [5,6].

2.1.2 3D модель теплогенератора. В тепловой части рассматривается сжигание жидкого керосина, а также природного газа в камере сгорания газовой турбине, стабилизация в которой осуществляется за счет закрутки потока во входном регистре. 3-D модель жаровой трубы камеры сгорания представлена на рисунке 4.1. Чертеж жаровой трубы представлен на рисунке 4.2.

Теплогенератор состоит из следующих основных элементов:

- 1) Корпуса 1;
- 2) Сопла для подачи газообразного топлива 2;
- 3) Лопаточного завихрителя 3;
- 4) Камеры сгорания 4;
- 5) Кольцевой канал 5;
- 6) Выходного участка 6.

Теплогенератор работает следующим образом: воздух поступает в КС проходя через входной регистр состоящий из 10 плоскостенных лопаток под углом 45° к оси. Топливо подается через центральное отверстие находящееся на оси КС. Процесс горения осуществляется в центральной части КС, после чего поток газов поступает в область смешения.

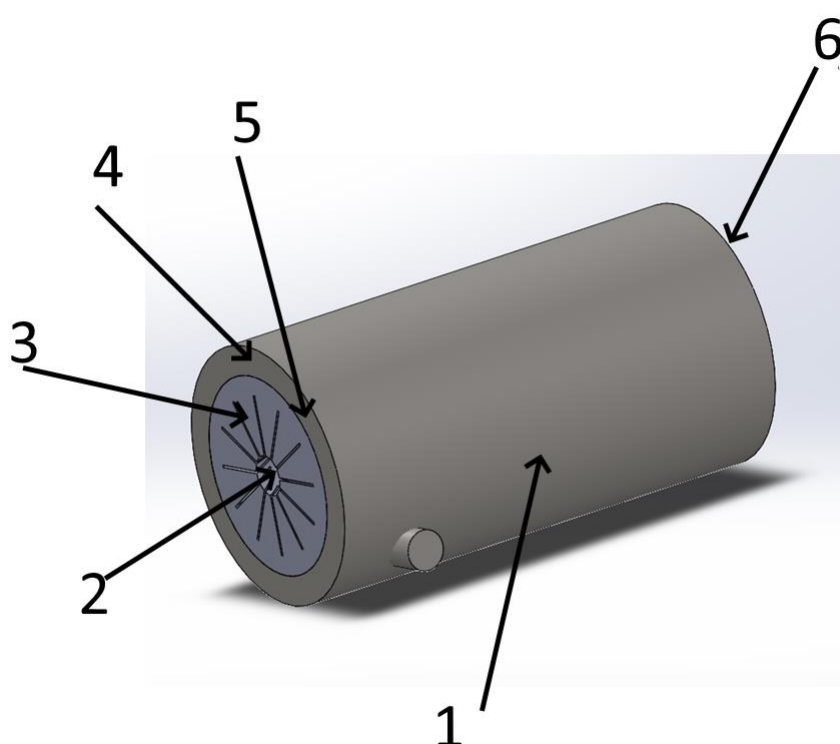


Рисунок 22 – Изометрический вид на теплогенератор

В таблице 1 представлены начальные условия для моделирования. При моделировании использовалась модель турбулентности k-ε, т.к. она позволяет адекватно моделировать процессы течения жидкостей при относительно низких затратах мощностей.

Таблица 1 – Граничные условия моделирования

№	Расход воздуха, кг/с	Расход топлива, кг/с	Число элементов
1	10	0,5	200000
2	10	1,0	200000

2.1.3 Результаты. На рисунке 21 представлены контуры температур газов в теплогенераторе при различных расходах топлива. Как видно из рисунка, увеличение расхода газа приводит к расширению факела в хвостовой части, причем, заметно, что при расходе топлива 1 кг/с температура имеет максимальные значения. Это объясняется тем, что такое отношение 1 кг топлива на 10 кг топлива является стехиометрическим соотношением, при таком отношении достигается максимальные температуры. Дальнейшее увеличение расхода топлива приводит лишь к увеличению недожога топлива.

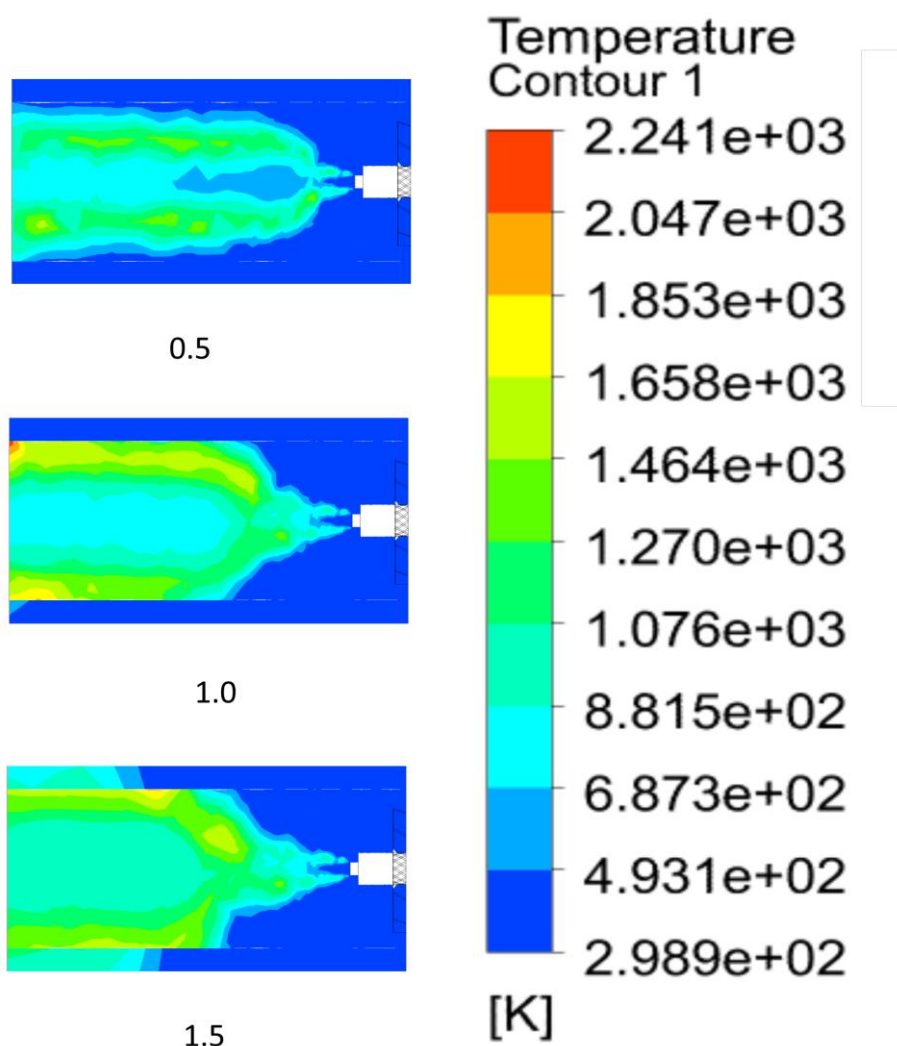
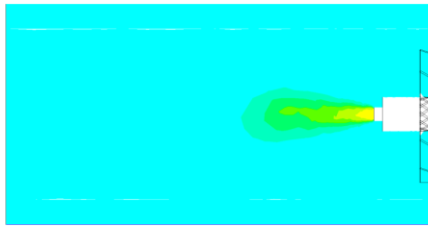


Рисунок 23 – Контуры температур при различных расходах топлива, кг/с

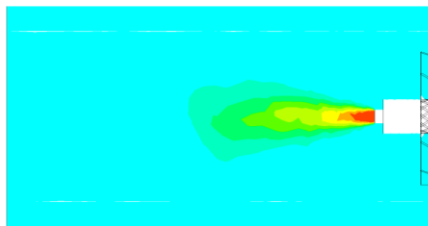
На рисунке 22 представлены контуры скоростей при различных расходах топлива, из рисунка видно, что максимальные скорости достигаются при максимальном расходе топлива истекающего из сопла. Учитывая значительные скорости истечения газа, не удалось просмотреть контуры скоростей воздуха. Из чего следует, что необходимо пересмотреть расходы воздуха.



0.5



1.0



1.5

Рисунок 24 – Контуры температур при различных расходах топлива, кг/с

На рисунке 23 представлена зависимость концентрации оксидов азота от расхода топлива в теплогенераторе. Очевидно, что увеличение расхода приводит к увеличению температуры газов в камере сгорания теплогенератора. Известно, что увеличение температуры приводит к экспоненциальному увеличению образования оксидов азота, за счет диссоциации кислорода в составе воздуха. Результаты моделирования подтверждаются многочисленными исследованиями в этой области.

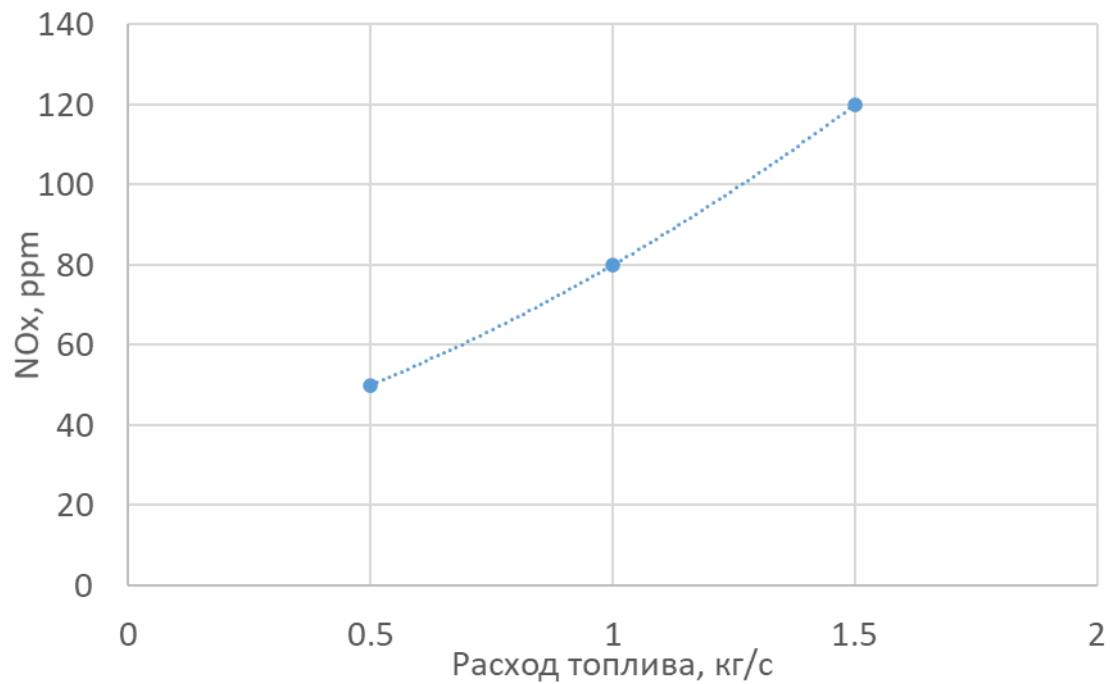


Рисунок 25 – Зависимость концентрации оксидов азота в уходящих газах на выходе от расхода топлива

На рисунке 24 представлены зависимости температуры уходящих газов от в зависимости от расхода топлива. Температура уходящих газов пропорционально зависит от расхода топлива в камеру сгорания теплогенератора. Однако существует область максимальных температур которая достигается при приближении к $\alpha=1$.

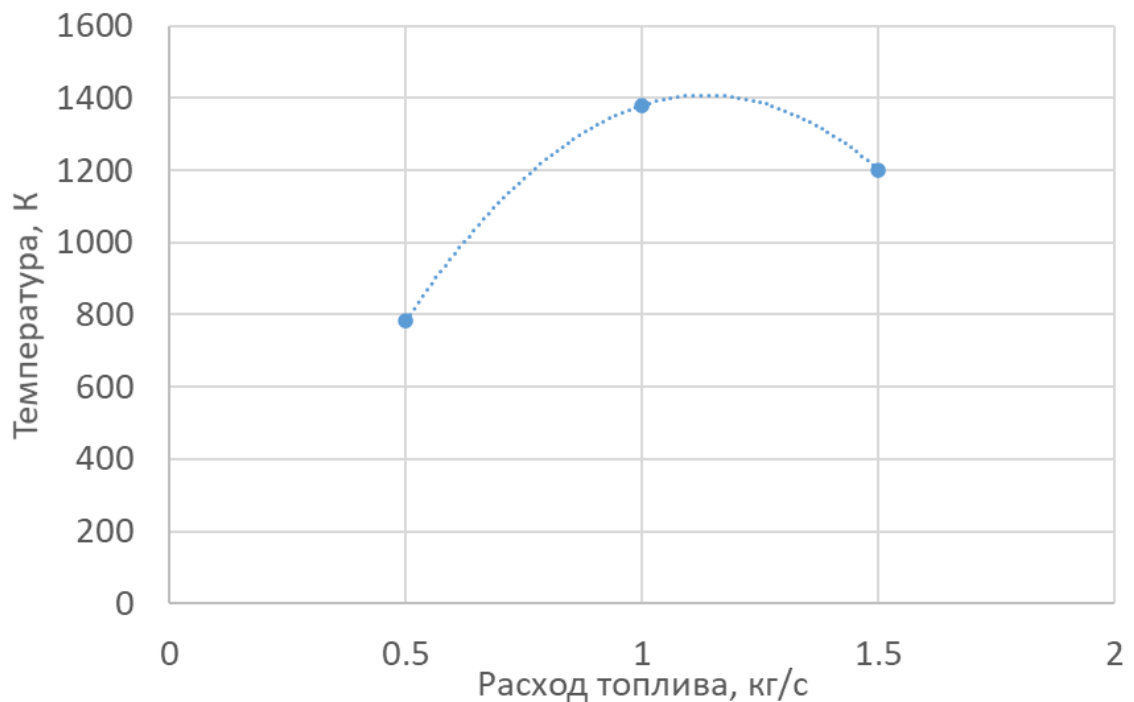


Рисунок 26 – Зависимость температуры газов на выходе от расхода топлива

2.3 Исследование теплогенератора с уголковыми стабилизаторами

В данной главе представлены результаты исследования теплогенератора на базе уголковых стабилизаторов с различными вариантами подачи топлива. В первом варианте топливо подается с основания уголковых стабилизаторов, во втором случае топливо подается вдоль высоты камеры сгорания.

В настоящее время большее распространение получило газовое воздушное отопление. Отличительная характеристика системы отопления - быстрая нагреваемость помещений зданий. Сам процесс осуществления такой системы, как воздушное газовое отопление здания объясняется циркуляцией потоков горячих и теплых потоков воздуха. Для максимально правильного осуществления данного процесса, обязательно требуется наличие такой установки, как теплогенератор. Одним из вариантов применения уголковых стабилизаторов, помимо тепловых двигателей – газовых турбин, является тепловые генераторы. Тепловые генераторы представляют из себя устройства позволяющие превращать химическую энергию топлива в теплоту теплоносителя.

При моделировании использовалась модель турбулентности k-ε, т.к. она позволяет адекватно моделировать процессы течения жидкостей при относительно низких затратах мощностей.

Таблица 2 – Граничные условия моделирования

№	Расход воздуха, кг/с	Расход топлива, кг/с	Число элементов
1	10	0,5	200000
2	10	1,0	200000

На рисунках 1,2 показаны изометрические виды теплогенераторов.

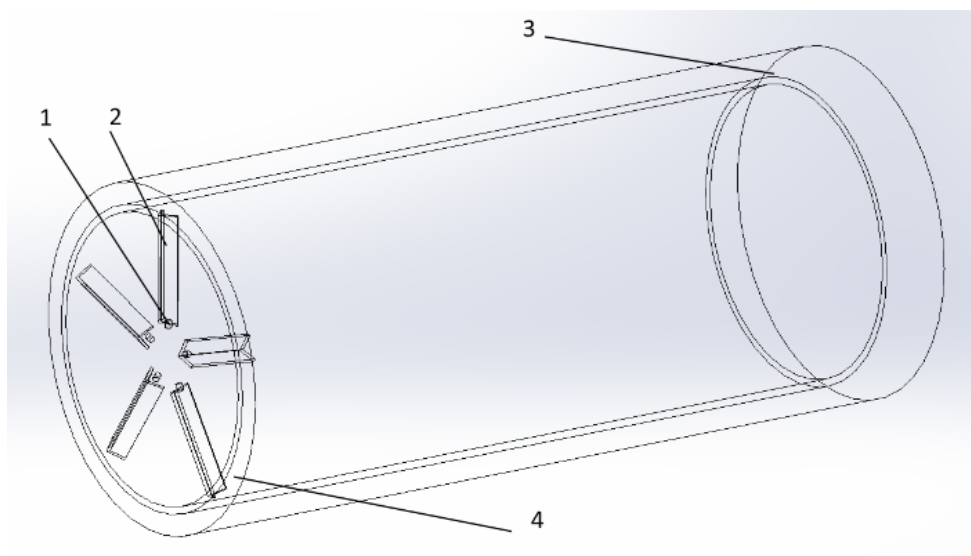


Рисунок 27 – Изометрический вид на теплогенератор с подачей с нижней части уголков

Изометрический вид теплогенератора с подачей снизу клинового желоба
(А).

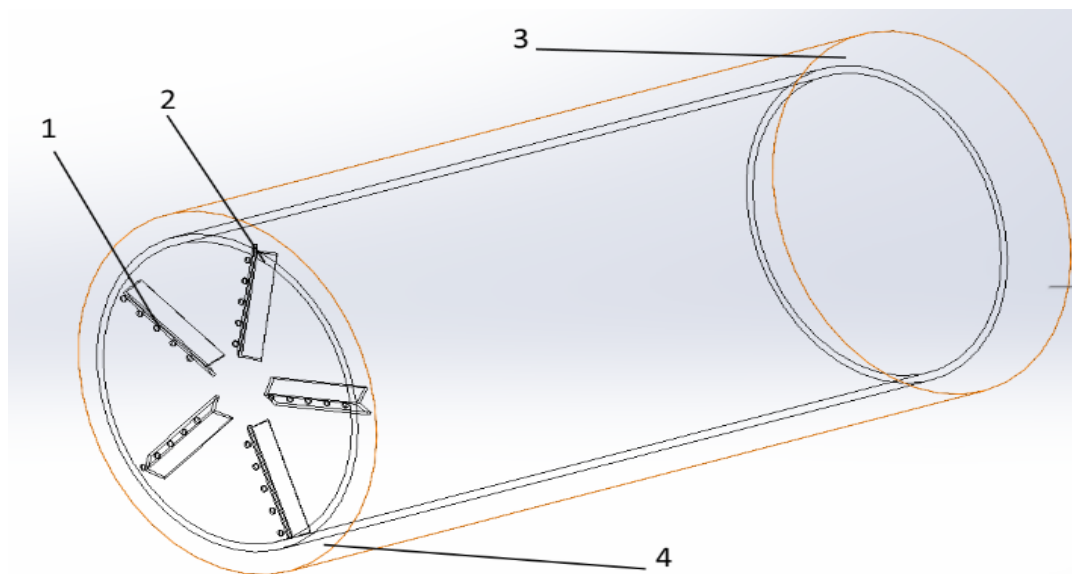


Рисунок 28 – Изометрический вид на теплогенератор с подачей по высоте уголка

Область моделирования состоит из форсунок для подачи топлива 1, держателей пламени v-желоба, расположенных радиально вокруг оси теплогенератора, вращающейся части камеры сгорания 3 и выходной части 4.

Теплогенератор работает следующим образом: топливо подается, в зависимости от метода, на ось симметрии или снизу, прямо в зону рециркуляции. Воздушный поток образует зону рециркуляции за клиновыми желобами, в которые смешивается топливо. За пределами держателей пламени V-образного желоба происходит процесс сгорания, и в результате горячие продукты сгорания нагревают воздух или другую охлаждающую жидкость. После этого продукты сгорания покидают объем теплогенератора через дымовую трубу (не показано на рисунке).

Граничные условия моделирования представлены в таблице 1.

При моделировании использовалась k-ε реализуемая модель турбулентности, которая согласно [9] является наиболее оптимальным решением. Сетка, показанная на рисунке 3, состоит из 252 000 элементов.

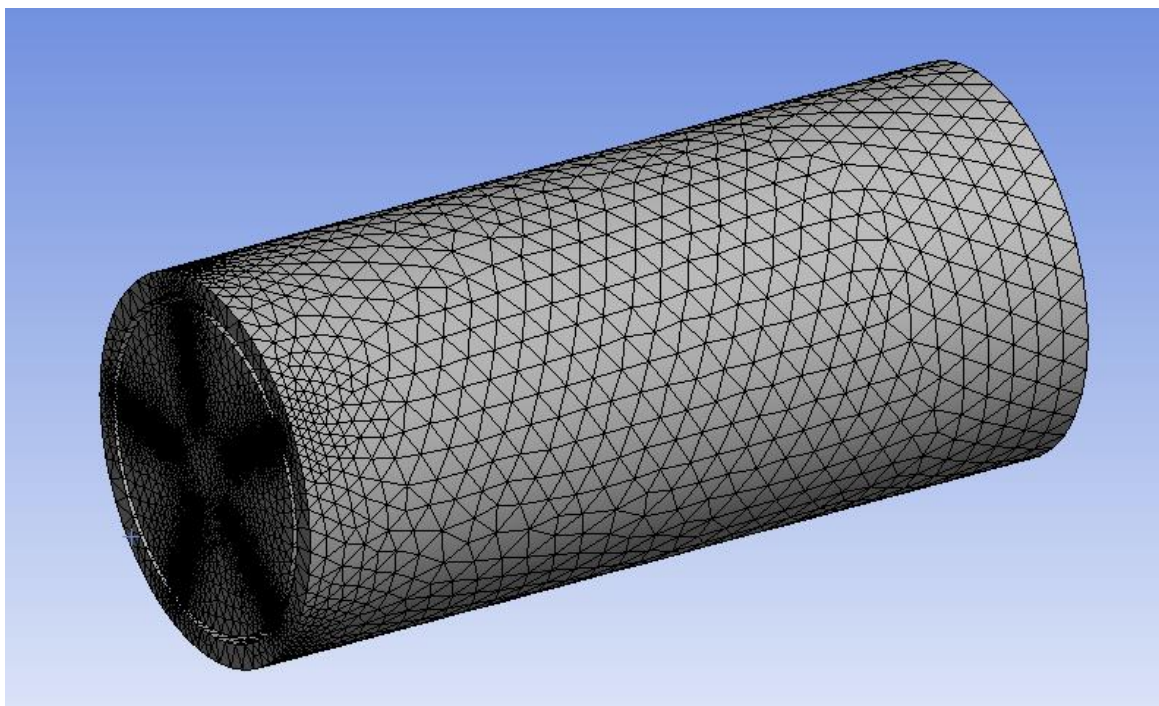


Рисунок 29 – Сетка исследуемой модели

2.3.1 Температурные контуры

На рисунке показано, что подача топлива [тип В] (ось Y) обеспечивает симметричный температурный отсчет по отношению к оси Y. Это обстоятельство позволяет говорить о равномерном распределении температуры по зоне горения и, соответственно, о положительном влиянии процессов теплообмена между газами и воздухом. Важной проблемой при проектировании теплогенераторов с вращающимися экранами являются тепловые напряжения, возникающие непосредственно во вращающейся части, ввиду возможности их накопления, что может привести к быстрому износу металла. Как видно из рисунка, при правильном распределении топлива высокотемпературная зона не достигает поворотного участка.

В случае высокого расхода топлива самые высокие температуры находятся во вращающейся части. Это обстоятельство требует более детального изучения того, что можно сделать в будущем.

2.3.2 Выбросы NOx. Результаты показаны на рис. 4. Максимальные концентрации оксидов азота соответствуют варианту В, что связано с тем, что топливо недостаточно смешивается с воздухом из-за потока из нижней части клиновидных желобов. Часть топлива подается в хвостовую часть горелки, где он горит в высоких концентрациях, как это видно на рисунке 4б. Снижение расхода топлива приводит к приближению к стехиометрическому соотношению и снижению уноса топлива, что положительно влияет на повышение температуры в зоне сгорания. Это подтверждается температурными контурами, представленными на рисунке 4.

Увеличение расхода топлива приводит к значительному недожогу, это особенно заметно на рис. 4а, где пламя имеет асимметричную форму из-за избытка топлива и большого «разброса». Большая концентрация топлива

приводит к тому, что оно уносится в хвостовую часть и не загорается в начальной части. Это обстоятельство показывает, что распределение топлива из нижней части имеет недостатки и имеет более ограниченный диапазон стабильной работы по сравнению с распределением по высоте клиновидного желоба.

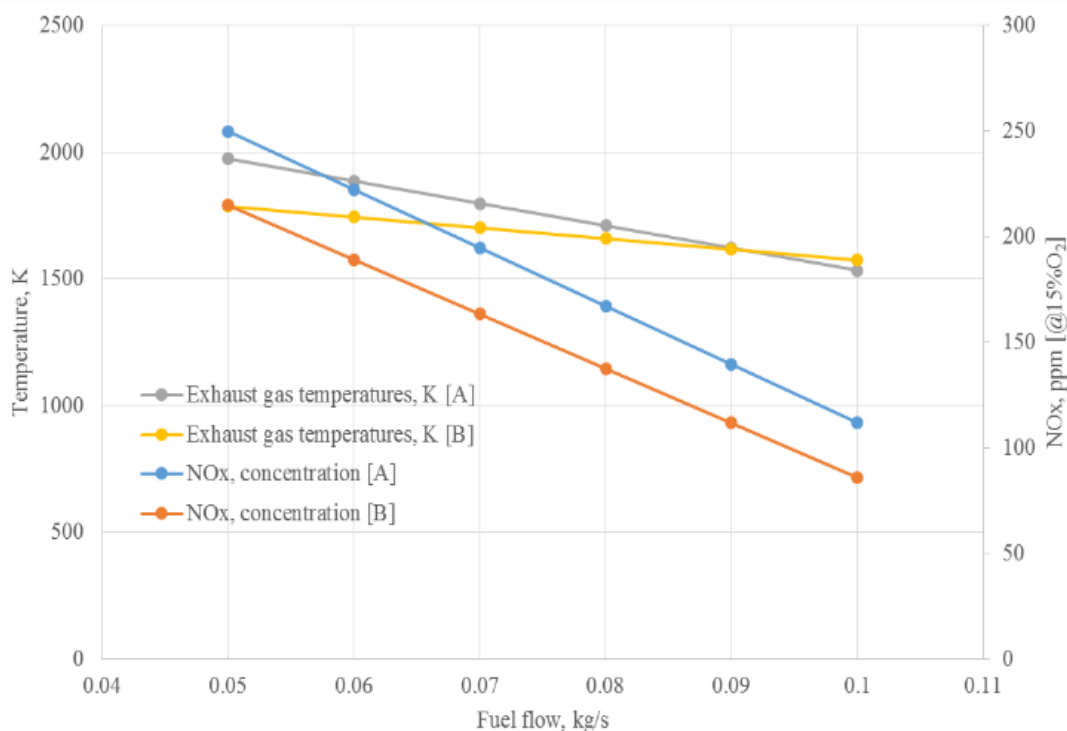


Рисунок 30 - Зависимость температур оксидов азота и выхлопных газов от расхода топлива.

Выводы по подразделу

Анализ показывает, что подача топлива непосредственно по высоте клиновидных желобов позволяет снизить концентрацию оксидов азота на 16%, а температуру выхлопных газов - на 4%. Использование новых типов горелок позволяет значительно снизить капитальные затраты и снизить вредные выбросы отопительного оборудования при заметном уменьшении их образования.

Учитывая стоимость сбора в размере 50 тысяч тенге (129 долларов США) за тонну оксидов азота, а также средний расход топлива 36 кг / час, ежегодная экономия за счет снижения сборов может потенциально составить 8000 долларов в год. в зависимости от масштаба установки.

2.4 Изучение полуперфорированных уголкового стабилизаторов для использования в теплогенераторе

Изучению процессов горения уголкового стабилизаторов посвящено достаточно много работ. Изучение работ по бедному срыву за уголковыми стабилизаторами при использовании «бедного» метано-воздушного

предварительного перемешанного топлива показали, что «бедный» срыв в рециркулирующих пламенах происходит дольше времени нахождения в рециркуляционной зоне. Турбулентные предварительно перемешанные топлива горящие за плохообтекаемыми телами изучались давно, с начала 50-х годов прошлого века. Однако литературой недостаточно широко описаны процессы стабилизации пламени и нередко информации недостаточно. Еще одним направлением является изучение влияния плохообтекаемых тел на процесс стабилизации различных топлив. Изучение влияния жидкого попутного газа с добавлением водорода на температуру газа и выбросы оксидов азота показали, что увеличение добавления водорода снижает длину факела. Также было продемонстрировано снижение оксидов азота при увеличении коэффициента загромождения и увеличении молярной массы водорода. Ньюболд экспериментально изучал влияние использования плохообтекаемых стабилизаторов в диффузионных факелах. Сильная рециркуляционная зона стабилизаторов уменьшала образования оксидов азота, однако увеличивало образование СО. Ким и Ху при симуляции горения CH_4/H_2 что радиационные потери при использовании уголковых стабилизаторов мало влияют на эмиссию оксидов азота при диффузионном горении пламени. Особый интерес вызывают исследования струйно стабилизаторного процесса горения за уголковыми стабилизаторами. Такие устройства и процессы горения на базе их изучались Киевским политехническим университетом. Суммируя их работы можно сказать, что данный способ горения позволяет обеспечить высокую стабильность горения, низкие выбросы оксидов азота и высокую полноту сгорания. Однако в их работе не изучались перфорированные и полуперфорированные уголковые стабилизаторы. Айву Фан и др. провели глубокое изучение процессов горения, стабилизации, теплообмена за плохообтекаемыми телами. Было доказано, что процесс стабилизации значительно зависит от ЗОТ образующимся за уголковыми стабилизаторами. На процесс образования ЗОТ влияют многие факторы, такие как расход топлива, скорость воздуха и другие. В экспериментах было показано, что увеличение размеров стабилизатора также увеличение концентрации водорода в топливно-воздушной смеси приводит к увеличению стабильного горения. Интересными выглядят работы по изучению процесса стабилизации в узком канале, авторы пришли к заключению, что после приближения к «бедному» срыва, пламя начинает «мигать» в некоторых зонах рециркуляционной зоны. В работе изучался процесс стабилизация пламени за плохообтекаемым телом при ламинарном течении для различных материалов. Показано что пламя предварительно перемешанного топлива стабилизируется там, где находятся наиболее подходящие условия для зажигания пламени. Такой регион обладает высокой температурой из-за высокого теплообмена между плохообтекаемым телом и реагирующим потоком.

Одной из проблем стоящей перед энергетиками это система теплоснабжения. Суть проблемы систем теплоснабжения состоит в месте выработки и способе распределения теплоносителя нужных параметров в требуемых количествах. В связи с этим современная тенденция развития систем теплоснабжения заключается в повышении надежности и эффективности существующих централизованных систем, а также широкое применение автономных систем теплоснабжения.

Внедрение автономного теплоснабжения обеспечивает решение следующих проблем:

- обеспечение теплоснабжением, при строительстве новых жилых районов, не имеющих доступа к тепловым сетям;
- возможность самостоятельно регулировать потребление тепла, а следовательно, и затраты на отопление и ГВС].

1. Результаты и обсуждение. Образование NOx. На рис. 1 представлена зависимость эмиссии оксидов азота от коэффициента избытка воздуха (equivalence ratio) ϕ . Как видно из рисунка значительной разницы между подачей топлива на уголок или под уголком нет. Однако следует учесть, что эмиссия оксидов азота будет иметь значительную разницу при увеличении масштабов установка.

Однако не смотря на близость значений, можно с уверенностью говорить, что подача топлива на уголок позволяет иметь несколько меньшие значения эмиссии оксидов азота. Более низкие показатели эмиссии говорят о более лучшем перемешивании топлива с воздухом. Это происходит за счет: 1) вокруг уголкового стабилизатора за счет градиента давлений образуется рециркуляционная зона, поэтому топливо обтекая уголок всасывается во внутреннюю зону уголка вместе с воздухом. Данное обстоятельство приводит к хорошему перемешиванию и снижению «богатых» зон во внутренней зоне уголка; 2) Перфорации на кромках уголка позволяют проникать части топлива во внутреннюю зону уголка. Это позволяют обеспечить стабильное горение, и хорошее перемешивание топлива.

При подаче топлива по варианте №2 (с нижней части) то происходит несколько процессов. Во-первых топливо смешивается с воздухом непосредственно уже в рециркуляционной зоне, где происходит горение. По сути это снижает время необходимое для полного перемешивания топлива с воздухом. Во – вторых топливо подается вертикально, что увеличивает время нахождения газов в зоне горения. Сумма этих факторов приводит к относительно завышенным показателям образования оксидов азота.

Учитывая что на базе уголковых стабилизаторов планируется разработка теплогенератора, оксиды азота являются важным показателем, т.к. неустанно ведется борьба с вредными выбросами.

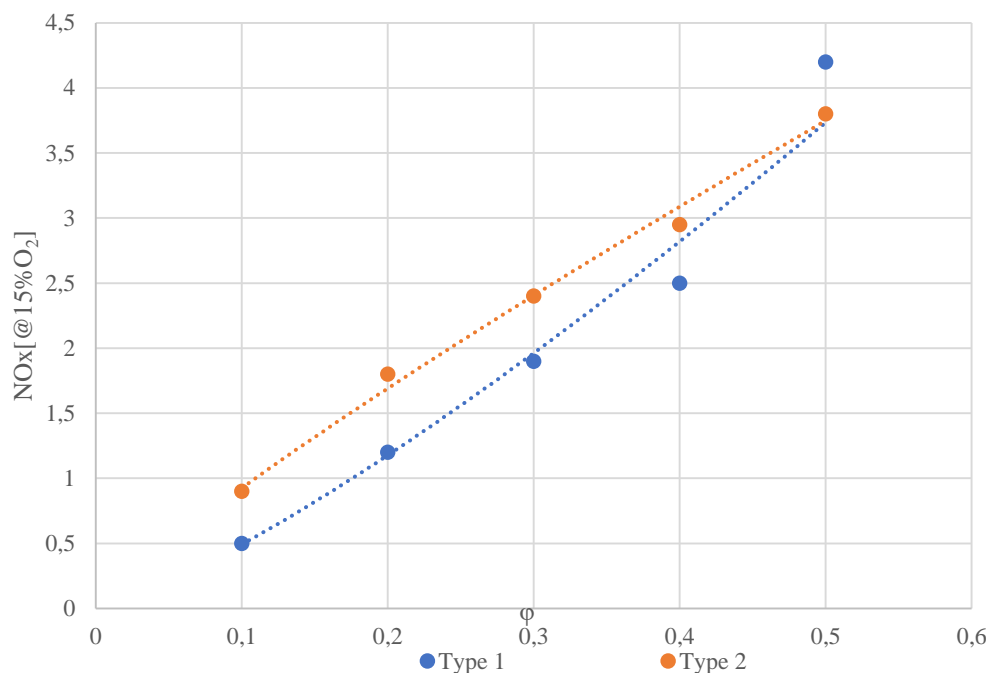


Рисунок 31- Зависимость эмиссии оксидов азота от избытка воздуха

Температура. Одним из важнейших показателей теплогенератора является температура на выходе из установки, т.к. объем нагретого воздуха зависит от температуры газов. Как видно из рис. 3 наибольшей температурой обладает способ подачи топлива №2. Что объясняет несколько высокие значения эмиссии оксидов азота. Однако можно заметить что при наибольшем избытке воздуха $\varphi=0,5$ эмиссия оксидов азота выше у варианта подачи топлива №1.

Более высокая температура при использовании второго варианта подачи топлива объясняется следующим: топливо подающееся из нижней части уголка, входит в зону рециркуляции перпендикулярно, что приводит к снижению времени нахождения газов в зоне горения, т.к. топливо находится меньшее время по сравнению с вариантом подачи №1. По этой причине, образуются локальные зоны с «богатой» концентрацией топлива, что приводит к образованию зон с высокой температурой. Такие зоны повышают общую температуру пламени, что и показано на рис. 3.

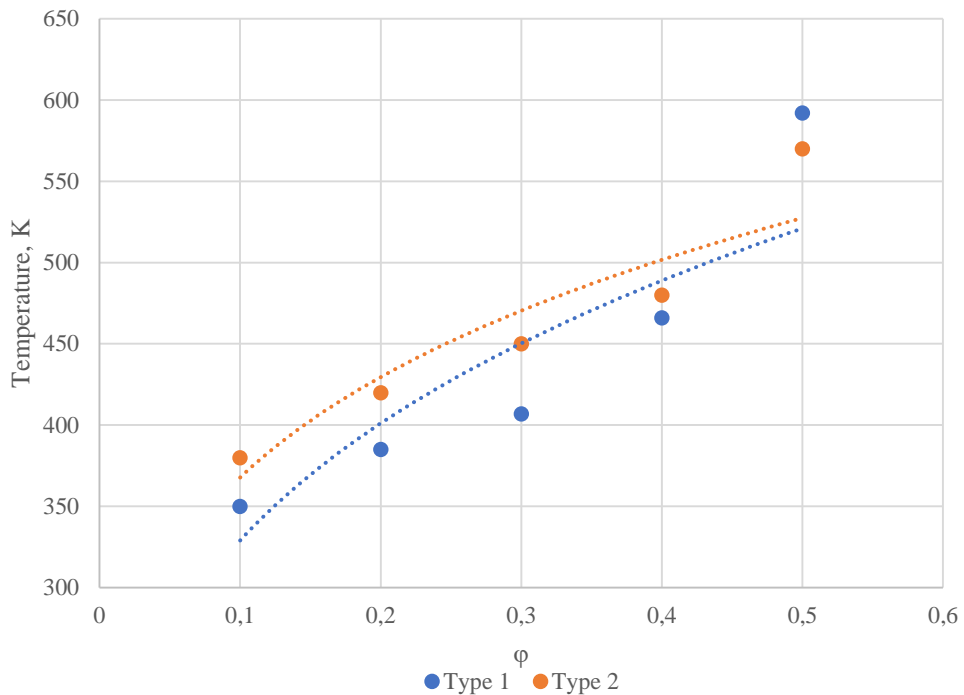


Рисунок 32 - Зависимость температуры уходящих газов от избытка воздуха

Полнота сгорания. С точки зрения экономии топлива и энергосбережения полнота сгорания топлива играет значимую роль. Учитывая что все микрофакельные устройства обеспечивают высокую полноту сгорания в широких диапазонах горения, необходимо сравнить максимально достижимые значения. Зависимость полноты сгорания от избытка воздуха представлена на рис.4 Видно что подача топлива по типу 2 имеет определенные преимущества, однако следует учитывать что разница между одним и другим вариантом подачи топлива не более 1-2%. Более высокая полнота сгорания обеспечивается за счет особенности подачи топлива. В таком виде топливо находится дольше в зоне горения что и повышает полноту сгорания.

Следует отметить, что максимальная полнота сгорания достигается при значении $\varphi=0,3$ для всех типов подачи топлива. Данный факт говорит о том, что при данном расходе топлива, появляется наиболее оптимальное соотношение топливо-воздух и рециркуляционной зоны. Низкая полнота сгорания до $\varphi=0,3$ объясняется недостаточностью воздуха в рециркуляционных зонах. А в случае после $\varphi=0,3$, создается сильный воздушный поток, который увеличивает унос топлива.

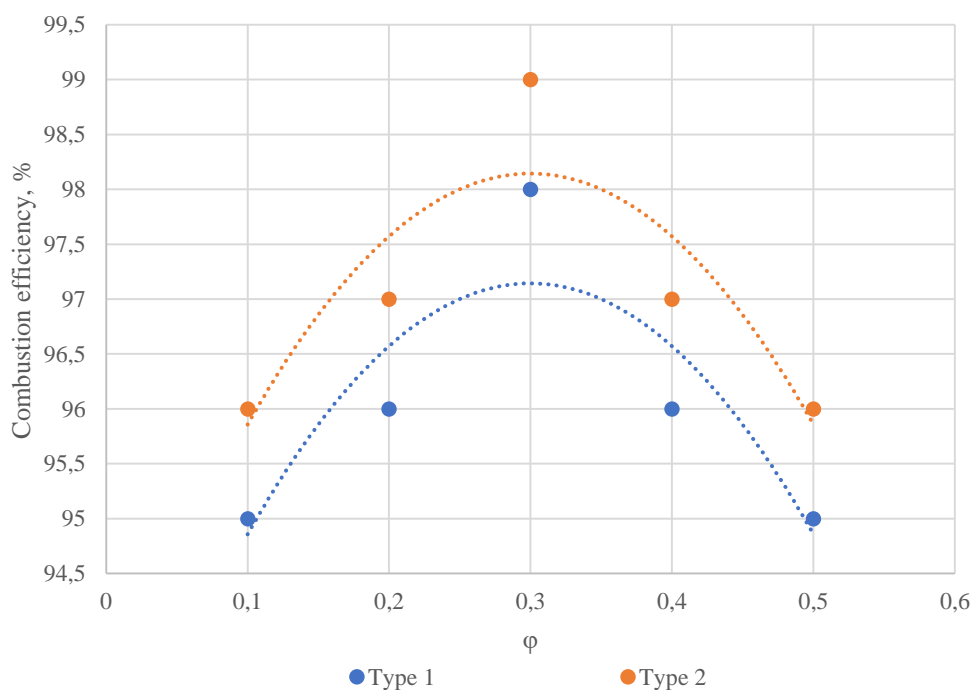


Рисунок 33 - Зависимость полноты сгорания от избытка воздуха

«Бедный» срыв. Бедный срыв очень важен с точки зрения обеспечения непрерывной работы теплогенератора и обеспечения теплом. Как видно из рисунка 5, диапазон срыва уменьшается с увеличением расхода (скорости) воздуха. Однако вариант подачи топлива №2 имеет некоторые преимущества. Обеспечение бесперебойного горения является важным и показывает надежность оборудования.

«Бедный» срыв топлива при варианте №1 происходит за счет снижения времени контакта сгоревшего топлива и свежей топливно-воздушной смеси. Также вторичным фактором является увеличение зоны рециркуляции за счет увеличения скорости воздуха. Увеличение зоны рециркуляции приводит к большему захвату воздуха в зону горения и снижению концентрации топлива. Сумма этих факторов приводит к «бедному» срыву топлива.

Во втором варианте мы имеем более низкие показатели «бедного» срыва за счет особенности подачи топлива. Как уже отмечалось выше, при таком варианте подачи топлива, происходит недостаточное смешение топлива что и является основным фактором, из-за которого имеется более низкая стабилизация пламени.

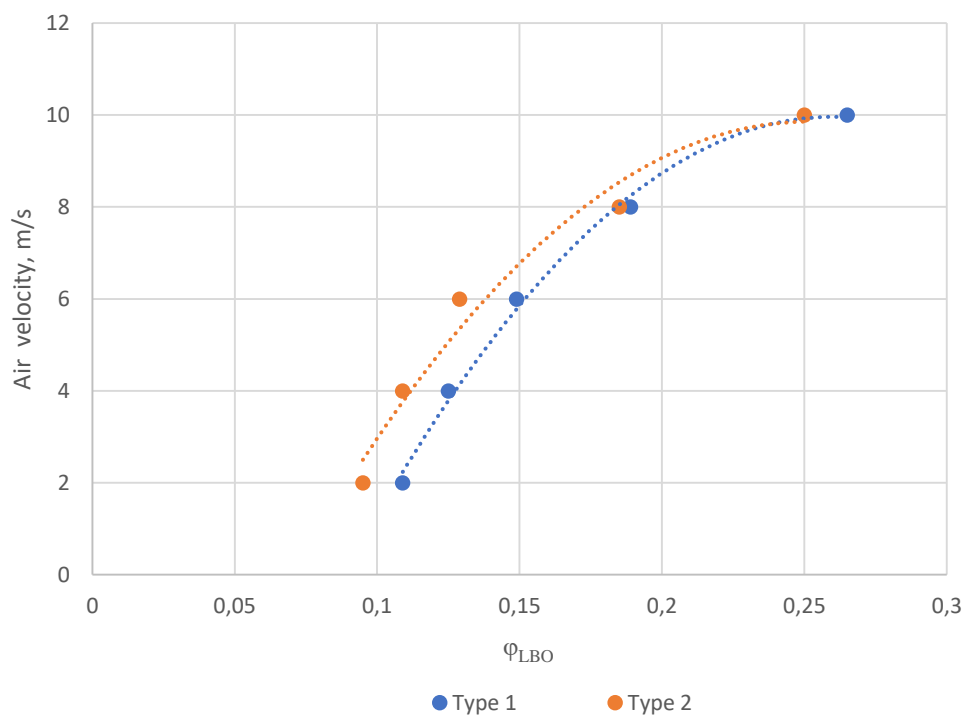
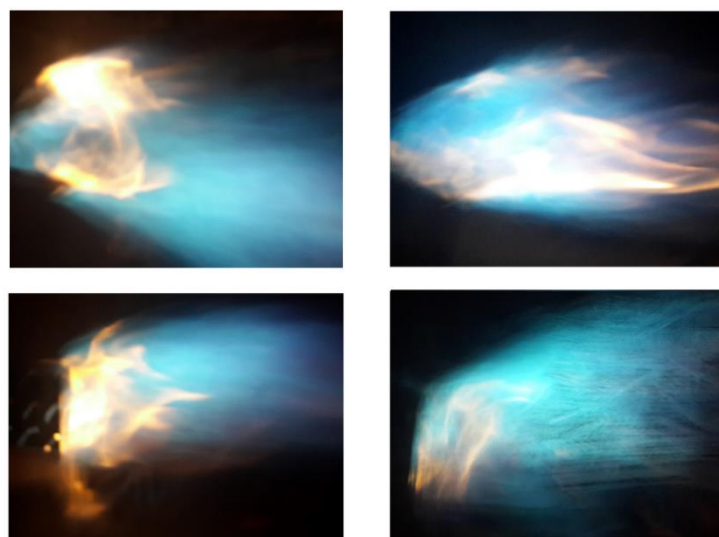


Рисунок 34 - Зависимость «бедного» срыва от расхода воздуха

На рис. 35 представлены фотографии сделанные при горении за уголковыми стабилизаторами. Снимки сделаны при $\phi=0,3$. Как видно из фотографий уголки с подачей топлива с нижней части (тип 2) имеют меньшую светимость факела. Это говорит о более высокой полноте сгорания. Полнота сгорания обеспечивается за счет более долгого нахождения газов в зоне горения, за счет особенности подачи топлива. Также немаловажную роль играет рециркуляционная зона. Также можно заметить при профильной съемке, что факел у уголка с подачей топлива с нижней части (тип 2) факел находится немного выше, что связано с особенностью подачи топлива.

Подача топлива на ось симметрии уголка (тип 1) имеет большую светимость. Это говорит о несколько меньшей полноте сгорания, что подтверждается полученной зависимостью полноты сгорания от избытка воздуха (equivalence ratio). На полноту сгорания влияют достаточность окислителя и время нахождения газов в зоне горения. Но стоит иметь в виду что данные факторы также влияют на образование оксидов азота. В данном случае, можно сказать что меньшее время нахождения газов в зоне горения приводит к увеличению образования оксидов азота и некоторому снижению полноты сгорания.



Type 1

Type 2

Рисунок 35- Процесс горения за уголковыми стабилизаторами

Численное моделирование. Для подкрепления результатов полученных при эксперименте, авторы провели численное моделирование процесса горения за уголковыми стабилизаторами используя программный продукт ANSYS Fluent 13.0 [22,23]. При моделировании была использована рекомендованная модель [22,23] турбулентности – $k-\epsilon$ realizable с функцией enhanced wall treatment и с поправкой на кривизну линий тока, позволяющая более эффективно рассчитывать газодинамические показатели сильно закрученных реагирующих потоков. Согласно [22,23] сетка была выбрана из тетраэдров и состояла из 800000 элементов. Начальные условия при численном моделировании аналогичны проведенному эксперименту. Схема модели представлена на рис. 36.

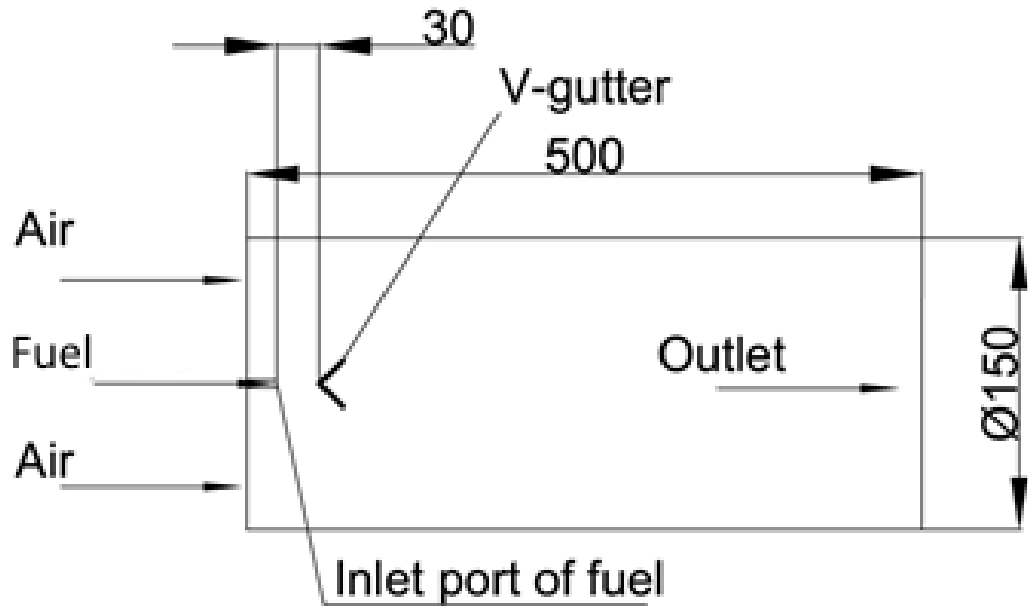


Рисунок 36 - Продольный разрез моделируемой области

На рисунке 37 представлены температурные контуры процесса горения за уголковыми стабилизаторами. За уголковыми стабилизаторами образуется зона обратных токов, в которых происходит процесс горения. Это особенно видно при относительно «богатой» концентрации топлива $\varphi=0,5$. Увеличение расхода (скорости) воздуха приводит к сужению пламени и появлению зоны высоких температур в центре факела. Это особенно видно при $\varphi=0,1$.

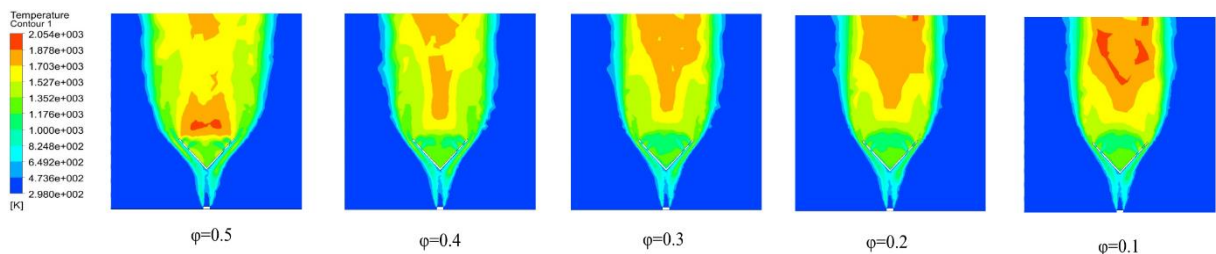


Рисунок 37 - Температурные контуры при различных φ

2. Автономное теплоснабжение зданий на базе микрофакельных элементов

Исходя из проведенных экспериментов, авторы предлагают систему автономного воздушного отопления зданий высших учебных заведений, на базе теплогенераторов с микрофакельными уголковыми стабилизаторами. Схема теплогенератора представлена на рисунке 38. Исходя из проведенного эксперимента, было продемонстрировано что полуперфорированные уголковые стабилизаторы имеют ряд преимуществ, которые могут быть использованы при отоплении зданий. К ним относятся: высокая полнота сгорания, равномерное распределение температур по сечению, низкие выбросы оксидов азота. Все вышперечисленные преимущества играют

большую роль при энергосбережении и обеспечении тепла зданий высших учебных заведений. Такой тип теплогенератора можно использовать также и для систем горячего водоснабжения.

Предлагаемый теплогенератор работает следующим образом. Топливо подается на уголкообразные стабилизаторы, причем оно подается на ось симметрии уголка. После горения продукты сгорания двигаются по газоходу. С внешней стороны газохода в противоположном направлении двигается воздух. Такой «противоточное» движение обеспечивает высокий теплообмен между продуктами сгорания и воздухом. Газоход соединен с выхлопной трубой, через которые продукты сгорания покидают установку. Горячий воздух двигается по трубам соединенными с воздушным компрессором, который подает нагретый воздух непосредственно в систему воздушного отопления здания.

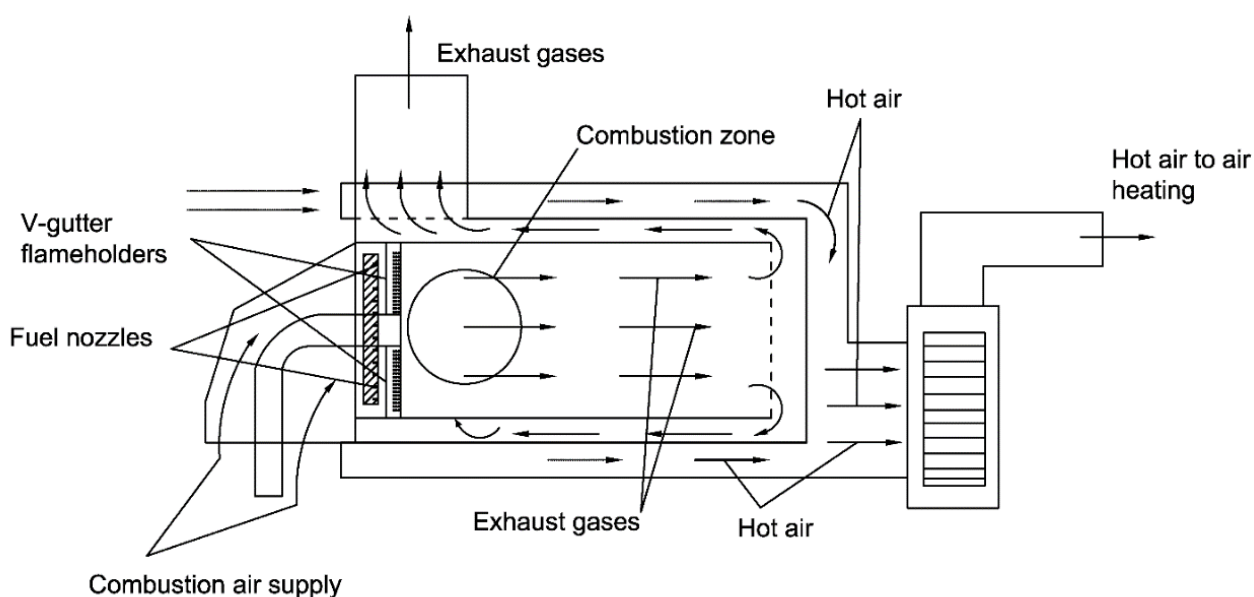


Рисунок 38- Общий вид предлагаемого теплогенератора для автономного воздушного отопления

На рисунках 39,40 приведены расчеты производительности теплогенератора от расхода топлива. Расчет произведен на базе математического моделирования генератора на базе микрофакельных элементов. Основные уравнения для расчета были взяты в [24]. Следует учесть, что данный тепловой расчет имеет цель показать общую характеристику теплогенератора и имеют приблизительный и обобщенный характер. На рис. 10 представлена зависимость производительности теплогенератора от расхода топлива. При расчете учитывалось, что температура воздуха после генератора не должна быть ниже 70 °С, а температура уходящих газов не ниже 70-90°С. Очевидно, что увеличение расхода топлива приводит к увеличению температуры уходящих газов, соответственно увеличивается производительность теплогенератора. Также следует учесть, что полуперфорированные уголки позволяют обеспечить

равномерное распределение температур по сечению, что снижает температурную нагрузку на металл, а также обеспечивает равномерное распределение теплоты по теплоносителю (воздуху).

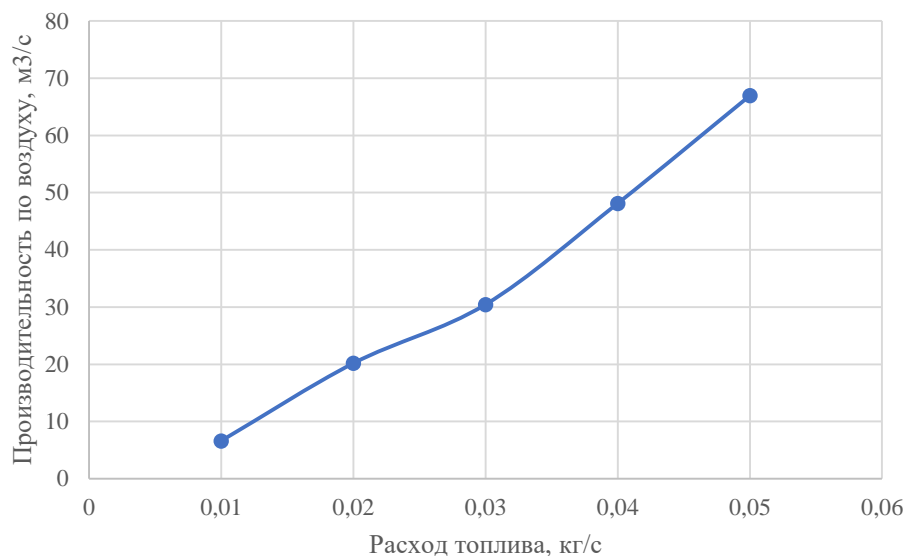


Рисунок 39 - Зависимость производительности теплогенератора от расхода топлива

На рис. 11 представлена зависимость производительности теплогенератора от температуры наружного воздуха при расходе топлива 0,01 кг/с. Как видно из рисунка снижение температуры наружного воздуха приводит к снижению производительности. В Казахстане начало отопительного сезона начинается с температуры 8°C, поэтому расчет велся от 8 градусов до минус 28 градусов цельсия с шагом в 4 °C. При постоянном расходе топлива в 0,01 кг/с, в зависимости от температуры наружного воздуха, производительность может варьировать в диапазоне 6-10 м³/с.

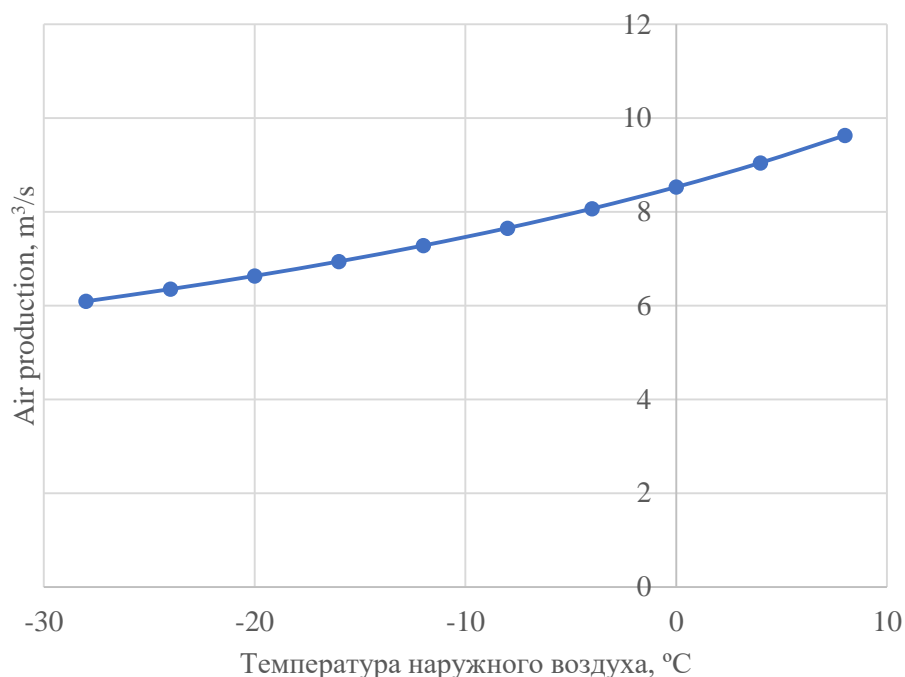


Рисунок 40 - Зависимость производительности теплогенератора от температуры наружного воздуха при постоянном расходе топлива

На основании проведенного эксперимента и численного моделирования, авторами сделаны следующие выводы:

1) На процесс стабилизации пламени значительно влияет расположение перфораций на уголковых стабилизаторах;

2) Подача топлива с нижней части уголка – вдоль оси симметрии приводит к небольшому увеличению эмиссии оксидов азота. Но также, приводит к увеличению полноты сгорания и увеличению температуры уходящих газов. Что является особенно важным при проектировании теплогенераторов для автономного отопления административных зданий, таких как высшие учебные заведения;

3) Представленные фотографии подтверждают полученные замеры данными. Также можно видеть, что на сам факел значительно влияет способ подачи топлива. К примеру при подаче топлива с нижней части уголка, горизонтальное положение факела меняется в верхнюю сторону;

4) Проведенное численное моделирование процесса горения за полуперфорированными уголковыми стабилизаторами подтвердили полученные результаты. Также из численного моделирования было выявлено влияние избытка воздуха (equivalence ratio) ϕ на процесс формирования факела;

5) Также представлена схема теплогенераторной установки, на базе микрофакельных устройств в виде полуперфорированных уголковых стабилизаторов, которая может быть использована в качестве источника теплоснабжения зданий с воздушным отоплением. Модифицированная схема

установки может также применяться в системе горячего водоснабжения зданий, таких как высшие учебные заведения;

б) Проведенные расчеты теплогенераторной установки, говорят о высокой производительности в любой период отопительного сезона.

На основе полученных результатов авторы рекомендуют использовать теплогенераторы на базе полуперфорированных уголкового стабилизаторов в качестве источника для автономного отопления зданий.

2.4 Исследование влияния изменения угла входного регистра на процессы горения.

При моделировании использовалась модель турбулентности k-ε, т.к. она позволяет адекватно моделировать процессы течения жидкостей при относительно низких затратах мощностей.

Таблица 3 – Граничные условия моделирования

№	Угол лопаток	Расход воздуха, кг/с	Расход топлива, кг/с	Число элементов
1	30°	5	0,5	200000
2	45°	5		200000
3	60°	5		200000

На рисунке 41 представлен изометрический вид на лопаточные завихрители и анализируемые углы. Как видно из рисунка, в моделировании использовались различные углы, от 30° до 60°.

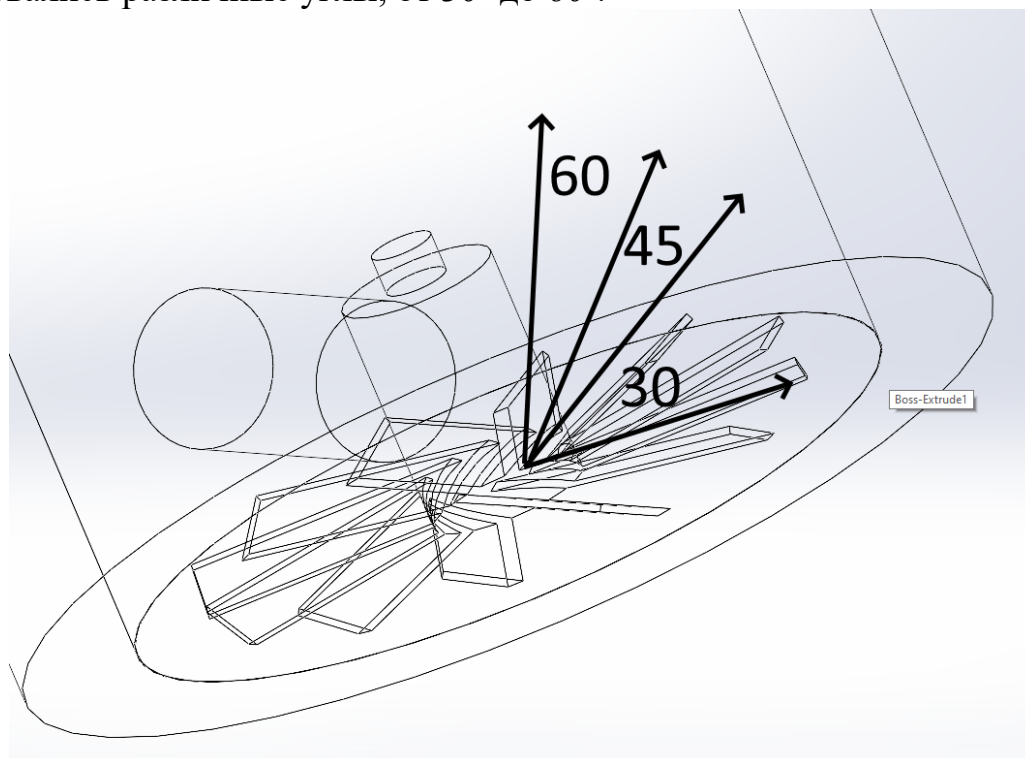


Рисунок 41 – Сетка исследуемой модели

2.4.1 Математическая модель

Математическая модель представлена следующими уравнениями:

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0$$

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial(p)}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

Уравнение энергии:

$$\frac{\partial(\rho u_i h)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda_f \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \sum_j \left[\frac{\partial}{\partial x_i} (D_{j,m} \rho h_j \frac{\partial Y_j}{\partial x_j}) \right] + q$$

здесь h – энтальпия газовой смеси, h_i – энтальпия компонента j^{th} , λ_f – теплопроводность газов, q – теплота выделяемая при реакции [15].

Состояние идеального газа:

$$p = \rho R T \sum_{s=1}^{Ng} \frac{Y_s}{M_s}$$

2.4.1 Результаты. На рисунке 31 представлены контуры температур в зависимости от угла лопаток, т.е. от степени закрутки потока. Как видно из рисунка, закрутка в 30° изменяет поток незначительно. Факел имеет осесимметричную структуру, причем основная часть выгорает в начальной части, а остальная часть выгорает в хвостовой части. При увеличении угла происходит сужение факела, основная часть топлива горит в центральной части теплогенератора.

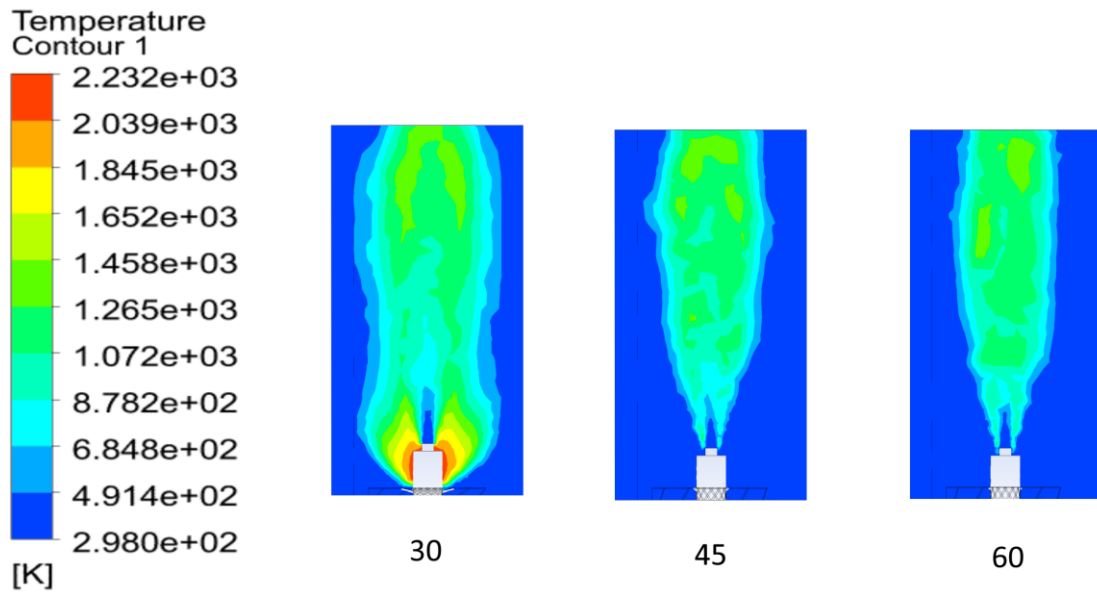


Рисунок 42 – Температурные контуры при различных углах закрутки

На рисунке 43 представлены контуры скоростей при различных углах закрутки, т.е. положения лопаточных завихрителей. Для лучшего показателя, расходы топлива и воздуха были снижены. Как видно из рисунка, максимальные скорости достигаются при минимальном угле закрутки. Скорости истечения из сопла зависят от уровня закрутки.

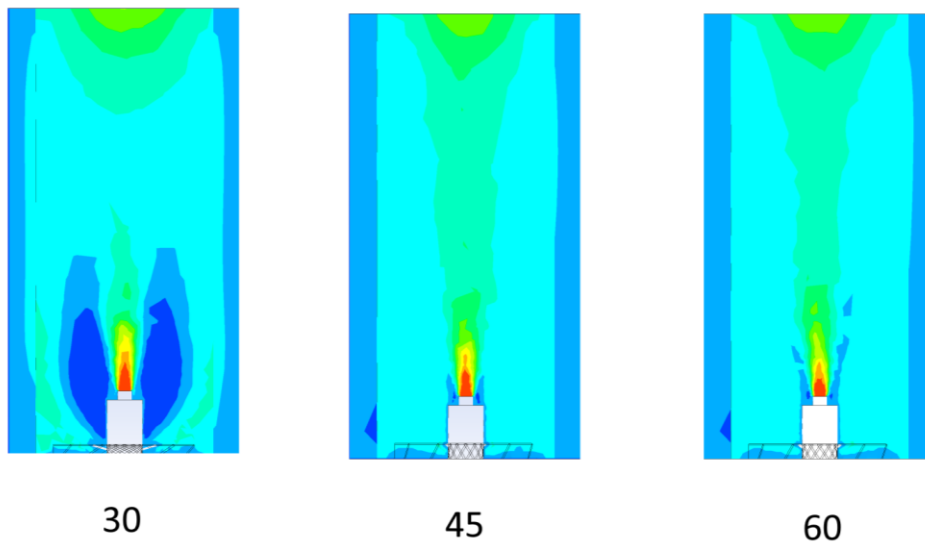


Рисунок 43 – Продольные скоростные контуры при различных углах закрутки

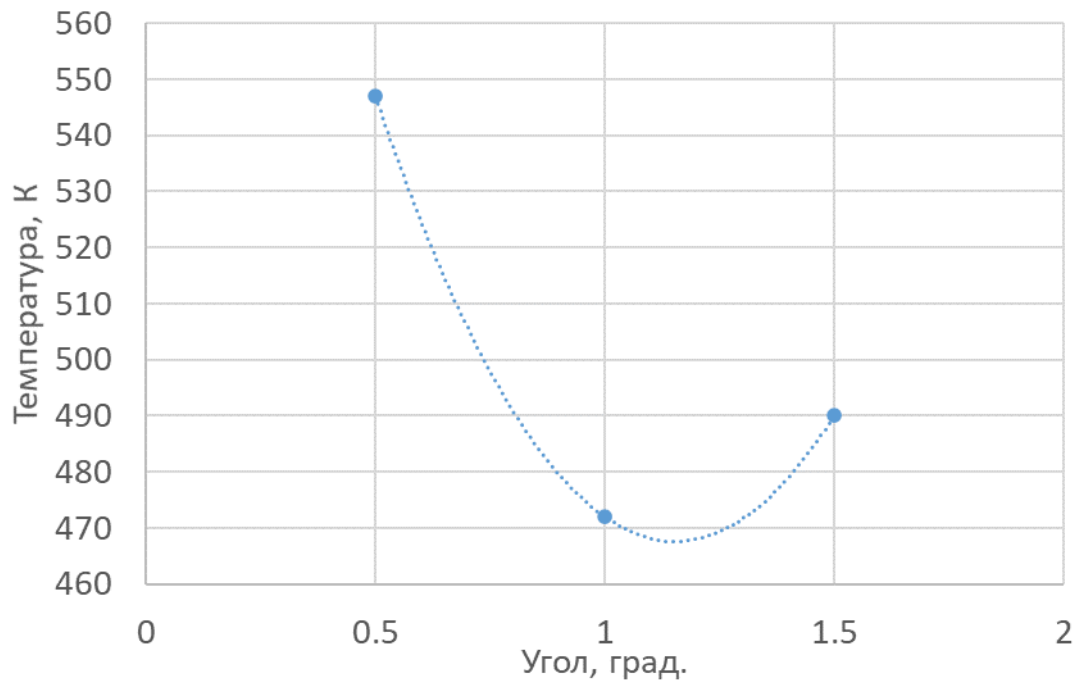


Рисунок 44 – Температурные контуры при различных углах закрутки

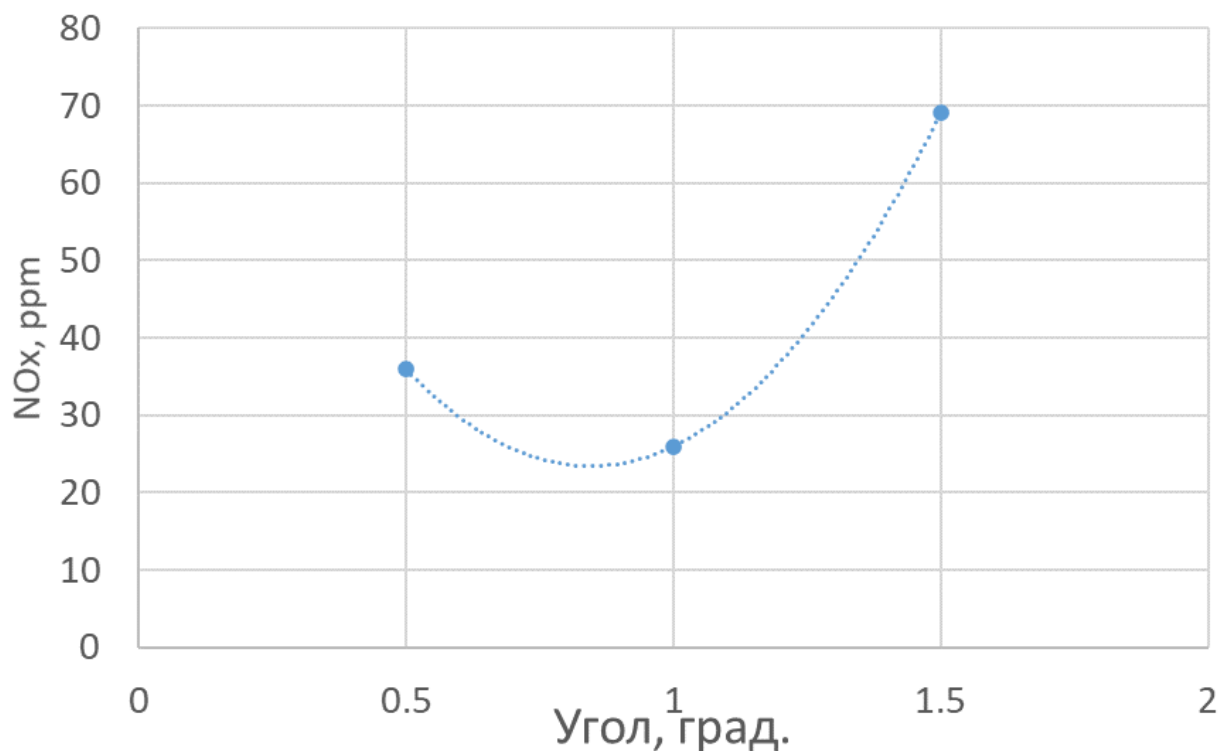
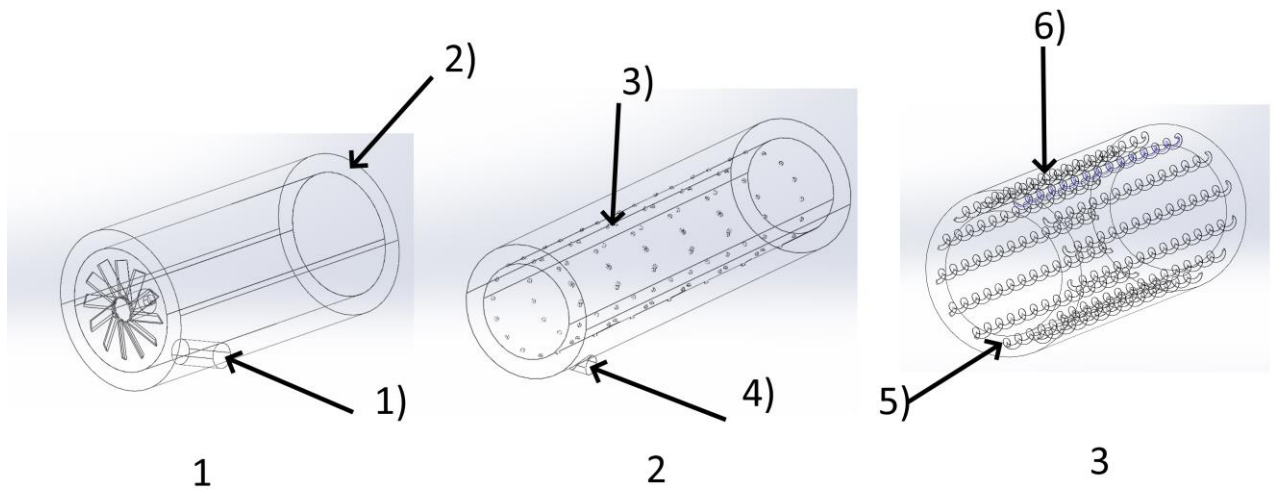


Рисунок 45 – Температурные контуры при различных углах закрутки

2.5 Исследование влияния изменения угла входного регистра на процессы горения

В данной главе представлены результаты численного моделирования процесса течения воздуха в нагреваемом кольцевом канале. На рисунке 33 представлены различные варианты кольцевого канала. В первом варианте воздух подавался тангенциально через патрубок (вариант 1). Во втором варианте топливо подавалось тангенциально, но внутренняя стенка теплогенератора имела оребрение, в третьем варианте воздух подавался по оси, но в канале были установлены спирали – турбулизаторы воздуха.



1 – тангенциальный подвод воздуха: 1) источник воздуха; 2) выходная область, 2 – 4) тангенциальный подвод воздуха, 3) оребрение, 3 – 5) подвод воздуха, 6) спирали.

Рисунок 46 – Температурные контуры при различных углах закрутки

Математическая модель представлена следующими уравнениями:

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0$$

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial(p)}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

Уравнение энергии:

$$\frac{\partial(\rho u_i h)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\lambda_f \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \sum_j \left[\frac{\partial}{\partial x_i} (D_{j,m} \rho h_j \frac{\partial Y_j}{\partial x_j}) \right] + q$$

здесь h – энтальпия газовой смеси, h_i – энтальпия компонента j^{th} , λ_f – теплопроводность газов, q – теплота выделяемая при реакции [15].

Состояние идеального газа:

$$p = \rho RT \sum_{s=1}^{Ng} \frac{Y_s}{M_s}$$

В таблице 4 представлены граничные условия при проведении моделирования.

Таблица 4 – Граничные условия моделирования

№	Угол лопаток	Расход воздуха, кг/с	Расход топлива, кг/с	Число элементов
1	Тангенциальная подача	5	0,5	200000
2	Оребрение + тангенциальная подача	5		200000
3	Спирали	5		200000

На рисунке 34 представлены результаты моделирования. В качестве определяющего параметра была выбрана средняя температура воздуха на выходе из области моделирования. На рисунке 34 видно, что распределение температур по массе выходящего воздуха говорит о том, что использование спиральной закрутки потока позволяет более эффективно распределить температура по массе теплоносителя. Однако, появляется другая проблема, применение искусственных турбулизаторов потока приводит к повышению гидравлических потерь, что в свою очередь приводит к повышению потребления электрической энергии в случае использования нагнетателей для воздуха и насосов для жидких сред.

Очевидно, что наибольшая температурная неравномерность появляется при отсутствии каких либо турбулизаторов. Это можно увидеть по результатам моделирования.

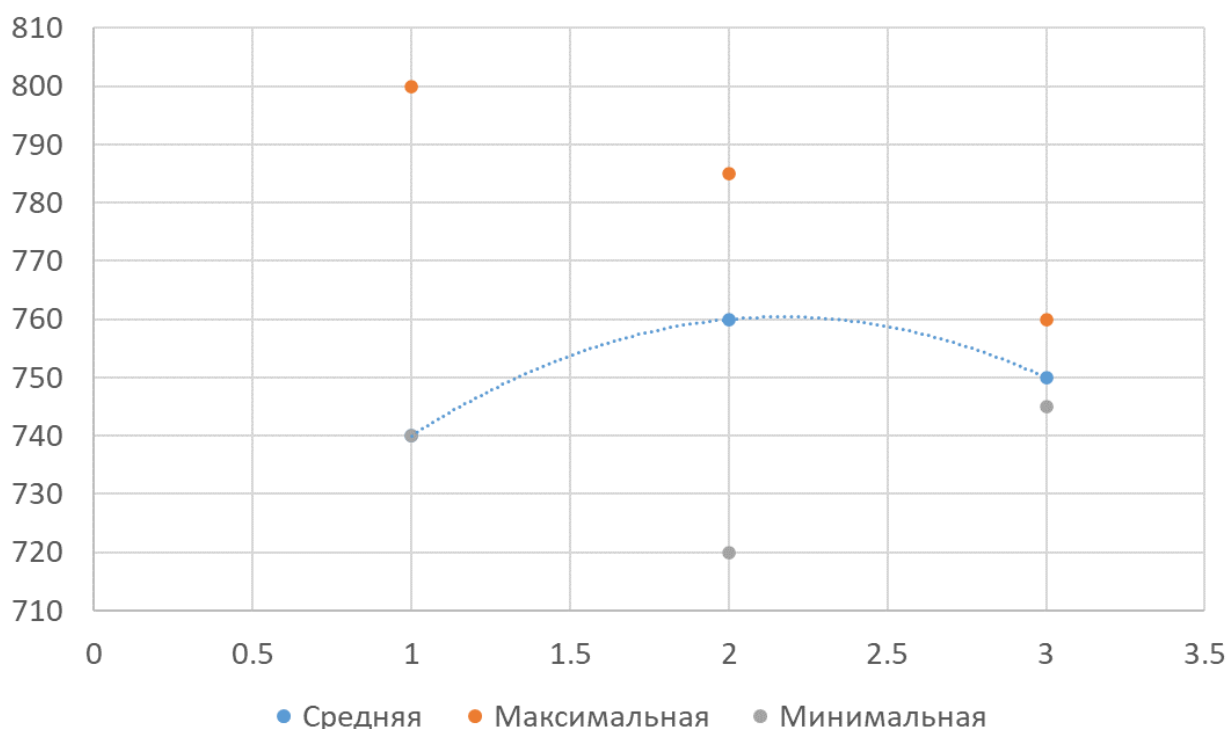


Рисунок 47 – Средние значения температур на выходе из области моделирования

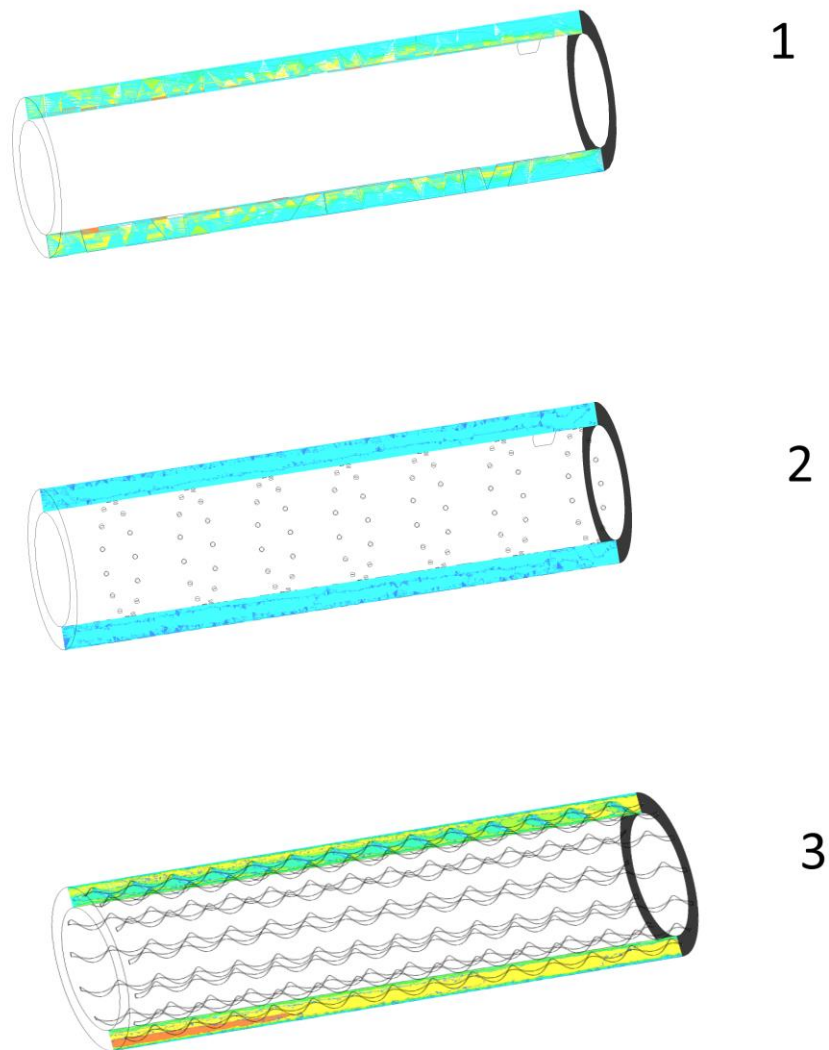


Рисунок 48 – Контуры скоростей при различных вариантах повышения эффективности теплообмена

2.6 Заключение по разделу

В разделе представлены результаты численного моделирования различных вариантов теплогенераторов. В частности представлены результаты численного моделирования различных теплогенераторов с использованием различного расхода воздуха, различного угла установки лопаточного завихрителя на входе в теплогенератор, а также различных вариантов повышения эффективности теплообмена в теплогенераторе. На основе анализа сделан вывод, что наиболее эффективным с точки зрения повышения теплообмена является использование турбулизаторов в виде спиралей установленных в пространстве между внешним корпусом и камерой сгорания.

3. ПРЕДЛАГАЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА НА БАЗЕ ПРОВЕДЕННЫХ РАСЧЕТОВ

3.1 Полезная модель на теплогенератор

На основании проведенных исследований разработана конструкция теплогенератора. Представлено описание и сравнение с аналогами. В качестве прототипа теплогенератора взят теплогенератор газовый смесительного типа (патент РФ №2361150) который имеет металлический цилиндрический корпус, камеру сгорания, систему подвода газа и воздуха, газогорелочную систему. В камере сгорания установлена рециркуляционная вставка, которая закреплена ребрами жесткости к камере сгорания с возможностью образования кольцевого канала для подсосывания продуктов сгорания к корню факела, а между рециркуляционной вставкой и газогорелочной системой имеется зазор, кроме того, установлен горелочный камень, обеспечивающий подогрев воздуха, поступающего по периферии на разбавление продуктов сгорания.

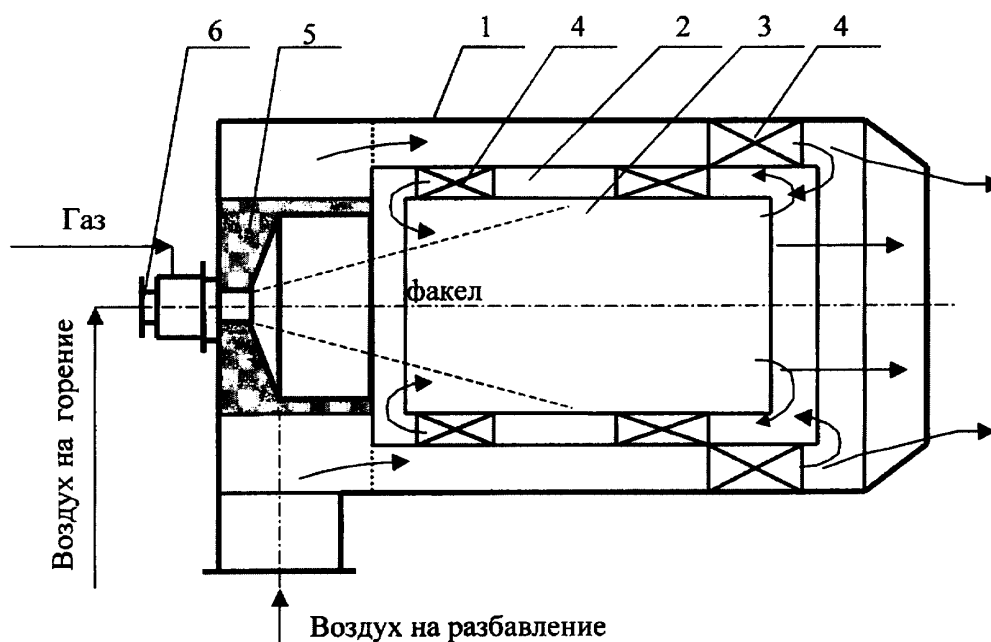


Рисунок 49 - Теплогенератор газовый

Указанный теплогенератор имеет следующие недостатки: неэффективный теплообмен между газами и воздухом, неравномерный контур температур на выходе, относительно большой расход топлива.

Технический результат – уменьшение габаритных размеров, снижение расхода топлива, повышение эффективности теплообмена.

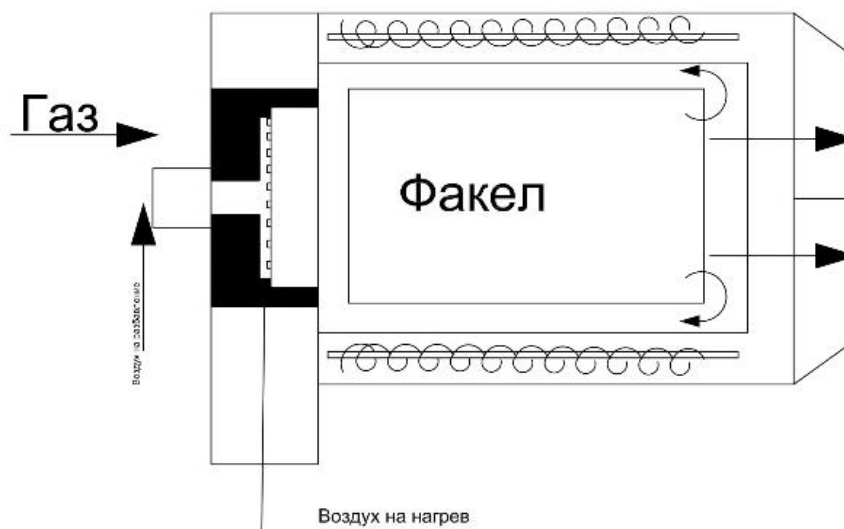


Рисунок 50 - Теплогенератор

Технический результат достигается посредством теплогенератора газового смесительного типа, содержащего металлический цилиндрический корпус, систему подвода газа и воздуха, соосно установленная рециркуляционная вставка. Согласно изобретению содержит горелку микрофакельного принципа, установленную в камере сгорания позволяющую сжигать топливо равномерно и с достаточно быстрой скоростью, а также тепловые трубки установленные в стенке канала между корпусом и камерой сгорания, позволяющие за счет большого объема передаваемой тепловой энергии подогреть воздух значительно быстрее.

На чертеже изображен теплогенератор газовый с микрофакельной горелкой, общий вид. Он состоит из корпуса 1, камеры сгорания 2, рециркуляционной вставки 3, ребер жесткости 4, горелки 5, газогорелочной системы 6.

Теплогенератор в предлагаемой полезной модели работает следующим образом: газоздушная смесь газогорелочной системой подается в камеру к горелке 5, на выходе которой происходит горение вдоль рециркуляционной вставки 3. Выходя из камеры сгорания, продукты сгорания разбавляются подаваемым через подающий коллектор воздухом. Проходя по каналу между корпусом и камерой сгорания, воздух частично подогревается, тем самым охлаждая камеру сгорания. Подогрев воздуха осуществляется путем конвективного теплообмена между тепловой трубкой и горячими газами находящимися в зоне камеры сгорания. И затем газоздушная смесь уже непосредственно подается на обогрев или технологические процессы. Камера сгорания и рециркуляционная вставка крепятся соосно с корпусом 1 ребрами жесткости 4. За счет установки спиральных турбулизаторов со стороны воздуха повышается эффективность теплообмена между горячей стенкой и воздухом, что снижает потребление топлива и потенциально снижение габаритов установки.

3.2 Заключение по разделу

В разделе представлено описание теплогенератора который разработан на базе проведенных исследований при помощи численного моделирования. Заявленный теплогенератор отличается тем, что имеет меньшие габариты, а также сниженное потребление топлива за счет более эффективного теплообмена между нагреваемым воздухом и уходящими газами.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Проведенный патентный анализ показывает, что существует различные варианты генерации тепла. К примеру существуют теплогенераторы которые работают по принципу трансформации кинетической энергии потока в тепловую. Такие генераторы имеют достаточно широкий спектр применения, они чаще всего имеют высокую мобильность, достаточны компактны. К недостаткам таких теплогенераторов можно отнести значительное потребление электроэнергии на приведение в движение электрического насоса, а также других элементов

В нагревательных приборах, работающих на топливе, таких как, например, печи, известный способ нагрева заключается в подаче топливовоздушной смеси в конструкцию горелочной коробки, в которой расположено подходящее воспламенительное устройство для сжигания топливовоздушной смеси и тем самым создания продуктов сгорания, используемых для нагрева воздуха (или другой жидкости, в зависимости от случая) для доставки в место, обслуживаемое нагревательным прибором. Горячие газы сгорания пропускаются через ряд труб теплообменника, через которые протекает нагреваемая жидкость, а затем выпускаются из нагревательного устройства в дымоход.

В разделе численного моделирования представлены результаты численного моделирования различных вариантов теплогенераторов. В частности, представлены результаты моделирования различных теплогенераторов с использованием различного расхода воздуха, различного угла установки лопаточного завихрителя на входе в теплогенератор, а также различных вариантов повышения эффективности теплообмена в теплогенераторе. На основе анализа сделан вывод, что наиболее эффективным с точки зрения повышения теплообмена является использование турбулизаторов в виде спиралей установленных в пространстве между внешним корпусом и камерой сгорания.

В 3 разделе представлено описание теплогенератора который разработан на базе проведенных исследований при помощи численного моделирования. Заявленный теплогенератор отличается тем, что имеет меньшие габариты, а также сниженное потребление топлива за счет более эффективного теплообмена между нагреваемым воздухом и уходящими газами.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Пат. 1734 РК. Теплогенератор газовый с микрофакельной горелкой /Умышев Д.Р., Достияров А.М., Кибарин А.А., Туманов М.Е; опубл. 30.09.2016, Бюл. №12. – 3 с.
- 2 Пат. 2318 РК. Воздушный теплогенератор/Достияров А.М., Кибарин А.А., Ермоленко М.В., Жолбарысов И.А. опубл. 15.08.2017, Бюл. №15. – 3с.
- 3 Положительное заключение о выдаче патента на полезную модель «Воздушный теплогенератор». От «26» апреля 2019, исх.№ 17373
- 4 Глобальная энергетика и устойчивое развитие (Белая книга) / Под ред. Бушуева В.В., Мастепанова А.М. – М.: Изд. МЦУЭР, 2009. – 374 с
- 5 Jacobson M.Z. Atmospheric Pollution. Cambridge University Press, 2002. 216 pages.
- 6 Francesco Asdrubali and Umberto Desideri. Handbook of Energy Efficiency in Buildings A Life Cycle Approach. – London: Elsevier, 2018 – 853 p.
- 7 Lefebvre A.H., Dilip R. Ballal. Gas turbine combustion: Alternative Fuels and Emissions. – third edition. – London: Taylor & Francis, 2010. – 537 p.
- 8 Gurjar B.R., Molina L.T., Ojha Ch.S.P. Air Pollution: Health and Environmental Impacts. - CRC Press, 2010. — 518 p.
- 9 Morris J., Harrison R.M., Hester R.E. Environmental Impacts of Modern Agriculture. - Royal Society of Chemistry, 2012. — 168 p.
- 10 Lenner M., Lingvist O., Rosen A. The NO_i/NO_x 100% ration in emission from casolin-powered gases: high NO₂ percentage in idle Fugine Measurements// Atm. Env. – 1983. - Vol. 17, № 8. - P. 1395-1399.
- 11 Kramlich J.F., Make B.C. Modeling and measurement of sample probe effect on polutant gases drown from flame zones// Combustions Science and Technology. – 1978.- Vol. 18. - P. 91-104.
- 12 Cheon Hyeon Cho, Gwang Min Baek, Chae Hoon Sohn, Ju Hyeong Cho. A numerical approach to reduction of NO_x emission from swirl premix burner in a gas turbine combustor//Applied Thermal Engineering. - 2013. – Vol. 59. P.454-463.
- 13 Paolo G., Massimo M., Andrea T., Andrea L., Giordano T. Calculation of the flow field and NO_x emissions of a gas turbine combustor by a coarse computational fluid dynamics model// Energy. - 2012. - №45. – P. 445-455.
- 14 Пат. РФ 2124167. Теплогенератор/Яковлев Ю.В., Рюмин А.Э. Опубл. 27.12.1998.
- 15 Пат. РФ 2 425 296. Способ получения горячего газообразного теплоносителя и теплогенератор для его осуществления/ Рустамов Г.А., Опубл.27.07.2011 Бюл. № 21
- 16 Пат. РФ 2 502 924. Отопительное устройство/ Отто П., Беккер К., Пенер М. Опубл. 27.12.2013 Бюл. № 36
- 17 Пат. РФ 2 420 697. Передвижной теплогенератор/ Дадыко А.Н., Фокин Ю.И., Янченко В.С., Опубл.10.01.2011 Бюл. № 1.
- 18 Пат. РФ 2 216 696. Передвижной теплогенератор/ Алтухов Р.В. и др., Опубл.20.1 1.2003.

19 Экологические характеристики ГТД при использовании углеводородных топлив и водорода. - Киев: Изд-во Наука и технический прогресс, 1987. -224 с.

20 Тумановский А.Г., Гутник М.Н., Артеменко А.А. Перспективы создания высокотемпературных малотоксичных камер сгорания стационарных ГТУ// Теплоэнергетика. - 2000. - №10. - С.23-26.

21 Richards G.A., McMillian M.M., Gemmen R.S., Rogers W.A., Cully S.R., Issues for low-emission, fuel-flexible power systems// Progress in Energy and Combustion Science. – 2001.- Vol. 27. – P.141–169.

22 Fu Zhenbo, Lin Yuzhen, Li Lin, Zhang Chi. Experimental and numerical studies of a lean-burn internally-staged combustor//Chinese Journal of Aeronautics. – 2014. – Vol. 3, №27. – P. 488-496.

23 Zhang Rongchun, Fan Weijun. Experimental study of entrainment phenomenon in a trapped vortex combustor// Chinese Journal of Aeronautics. - 2013. – Vol. 1, №26. – P. 63-73.

24 Орлов В.Н., Фишбейн Б.Д. Конвертированные газотурбинные двигатели авиационного типа НК-36СТ и НК-37 для народного хозяйства// Тезисы докладов XLII научно-технической сессии «Совершенствование схем ГТУ и ПГУ, их эксплуатация». - М., 1995. - 35 с.

25 Гриценко Е.А., Орлов В.Н., Постников А.М., Цыбизов Ю.И. Снижение выбросов NOx при конвертировании авиационных двигателей// Теплоэнергетика. – 2000. - №8. - С. 61-65.

26 Пат. РФ № 2361150. Теплогенератор газовый смесительного типа/ Щелоков А. И., Бойков А. С. Оpubл. 10.07.2009 Бюл. № 19.

27 Пат. РФ № 2420697. Передвижной теплогенератор/ Дадыко А. Н., Фокин Ю. И., Янченко В. С. Оpubл. 10.06.2011 Бюл. № 16.

28 Пат. РФ 2132517. Теплогенератор и устройство для нагрева жидкости. Мустафаев Р.И. Оpubл. 27.06.1999

29 Пат. РФ 2161289С1. Теплогенератор/В.П. Котельников. Оpubл. 27.12.2000

30 Пат. РФ 2313737С1. Теплогенератор для нагрева жидкости/ Мосалёв С.М. Оpubл. 27.12.2007.

31 Пат. РФ 2502924. Отопительное устройство. Отто П.. Оpubл. 27.12.2013.

32 Пат. РФ № 2306483. Способ сжигания жидкого или газообразного топлива для получения тепла и воздухонагреватель для его осуществления/ Арюпин В. В., Колинко В. П., Колинко П. В. и др. Оpubл. 20.09.2007

33 Пат. РФ № 2514810. Устройство нагрева газов/Курносов В. В., Прибытков И. А., Тихонова В. Р. Оpubл. 10.05.2014.

34 Пат. РФ № 2230256. Способ факельного воздушно-струйного нагрева воздуха и устройство для его осуществления/ Курносов В. В. Оpubл. 10.06.2004.

35 Пат. США. US3779230А. Indirect or direct fired heater/ E.Muckelrath. Оpubл. 18.12.1973.

36 Патент Корея. KR100971674B1. A heating appliance/ Лоури Джеймс.
Опубл. 22.07.2010.

37 Пат. США. US6889686B2. Indirect or direct fired heater/ Werner
Specht. Опубл. 10.05.2005.

38 Пат. США. US10571122B2. Fuel/air mixture and combustion
apparatus and associated methods for use in a fuel-fired heating apparatus/ Amin
Akbarimonfared. Опубл. 25.02.2020.