

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Разработка каталитической твердопливной печи и моделирование
протекающих в ней процессов.**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента (ки) 2 курса 252 группы

направления 18.04.01 «Химическая технология»

код и наименование направления, специальности

Института химии

Макагон Андрея Николаевича

Научный руководитель

профессор, д.т.н.

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Ю.Я. Печенегов

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

подпись, дата

Р.И. Кузьмина

инициалы, фамилия

Саратов 2020 год

Выпускная квалификационная работа содержит 56 страниц, 6 таблиц, 12 рисунков, 34 литературных источников.

Цель работы: Разработка высокоэффективного каталитического твердотопливного теплогенератора, лишенного недостатков традиционных печей.

Актуальность темы связана с исключительной важностью отопительных аппаратов в жизни и быту человека. Отсутствие централизованного отопления в ряде населенных пунктов и ухудшающаяся экологическая обстановка приводит к необходимости внедрения экономически выгодных теплогенераторов с улучшенным теплообменом и экологически чистыми выбросами отходящих газов. Такая проблема остро поставлена в дачных поселках, гаражных кооперативах, частном секторе, а так же местности, отдаленной от теплоцентралей. Особенности расчёта печей связаны с выбором в качестве топлива угля, как следствие, котел относится к виду твердотопливных. Второй же, важной особенностью является – использование катализатора для полного окисления оксида углерода и восстановления оксидов азота. Третьей особенностью является детальное произведение расчетов, таких как расчет горения топлива, тепловой, гидравлический, экономический.

Повышение К.П.Д. отопительных печей основывается на детальном продумывании дымогазового тракта для максимального теплообмена с отапливаемой средой. В домашних печах, чаще всего, ими выступают вода и воздух. Интенсификацию теплообмена в дымогарных трубках изучали многие исследователи и теоретическим, и практическим путями. Очевидно, что для экономичности расчетов и возможности быстро сравнивать полученные данные был выбран теоретический метод. В связи с этим при выполнении выпускной квалификационной работы основными задачами были:

- Провести литературный и патентный обзор по данной теме.
- Произвести анализ проблем и недостатков теплогенераторов.
- Разработать методику проектирования печей.

- Разработать новую конструкцию комбинированной печи с экологически безопасными выбросами продуктов горения, лишенной выявленных недостатков.
- Выполнить экономический расчет.

Как результат – был проведён сравнительный анализ полученных данных и были предложены многофункциональный каталитический воздухонагревательный теплогенератор для отопления помещений разного объема.

Выпускная квалификационная работа состоит из двух разделов: «литературный обзор» и «расчётная часть».

Литературный обзор состоит из двух подразделов:

1. Обогрев помещений с помощью переносных печей;
2. Разработка обогревательной каталитической твердотопливной переносной печи;

Расчётная часть состоит из семи подразделов:

1. Математическое моделирование теплогидравлических процессов, протекающих в печи;
2. Экспериментальное исследование теплообмена и гидравлического сопротивления в дымогарных трубах печи;
3. Техничко-экономические показатели обогрева помещений с помощью разработанной печи;

Разработанная нами методика расчета теплогенераторов основывается на формулах, наилучшим образом, описывающих поведение газовых потоков при их прохождении по дымогазовому тракту и охлаждении в секции теплообмена. По ним рассчитываются коэффициенты теплоотдачи со стороны дымового газа и гидравлического сопротивления трению по всему тракту от топki до выхода из дымовой трубы. Следствием расчетов стали стоимость аппарата и его содержания.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

При стационарном режиме работы печи выполняется равенство между потерей давления газового потока, обусловленной сопротивлением трения и местными сопротивлениями на пути движения потока, и движущей силой самотяги, создаваемой дымовой трубой.

Основное сопротивление потоку оказывает слой зернистого катализатора, поэтому с приближением можно записать

$$\Delta P_K \approx \Delta P_T, \quad (1)$$

где потеря давления потока дымовых газов в слое катализатора определяется по обобщенной формуле Эргуна:

$$\Delta P_K = \left[150 \frac{(1-\varepsilon)^2 \mu w}{\varepsilon^3 d_T^2} + 1.75 \frac{1-\varepsilon \rho w^2}{\varepsilon^3 d_T} \right], \quad (2)$$

а движущая сила, создаваемая дымовой трубой

$$\Delta P_T = (\rho_0 - \rho_T) g H. \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) обозначено: ε – порозность слоя катализатора, принимается равной 0,4; μ – динамический коэффициент вязкости газа; w – скорость газа, отнесенная ко всему сечению слоя; ρ – плотность газа; индексы «0» и «Т» указывают на условия в окружающей среде и в дымовой трубе соответственно.

Соотношение (1), рассматриваемое вместе с уравнениями (2) и (3), может быть использовано для определения основных термогидравлических характеристик печи. Для этого используем температурную зависимость коэффициента динамической вязкости дымовых газов среднего состава.

$$\mu = 15,8 * 10^{-6} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,727}, \text{ Па*с} \quad (4)$$

и зависимостью для плотности дымовых газов

$$\rho = 1,3 \left(\frac{T_0}{T}\right), \text{ кг/м}^3, \quad (5)$$

где T – температура газов в слое катализатора, К; $T_0 = 273$ К.

Следуя литературным данным, объем продуктов сгорания при нормальных условиях на 1 кг твердого топлива определим выражением

$$V = 1.25 \frac{Q_H^P}{3800}, \text{ м}^3/\text{кг}, \quad (6)$$

где Q_H^P – низшая теплота сгорания рабочей массы топлива, кДж/кг.

Скорость газа:

$$w = B \frac{V T}{f T_0}, \text{ м/с}, \quad (7)$$

где f – площадь поперечного сечения слоя катализатора.

Температуру газовых продуктов горения в слое катализатора определим выражением

$$T = 273 + \frac{Q_H^P \eta_{\text{пир}}}{V \rho_0 C_p}, \text{ К}, \quad (8)$$

где $\eta_{\text{пир}}$ – пирометрический коэффициент, примем равным 0,9; c_p – средняя теплоемкость газа в интервале температур от 273К до T , К.

Используя зависимость теплоемкости дымовых газов среднего состава от температуры

$$C_p = 1,04 \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,131}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг К}}, \quad (9)$$

и зависимость (6), при $\rho_0 = 1,3 \text{ кг/м}^3$ вместо уравнения (8) получим

$$T = 273 + \frac{4219,65}{T^{0,131}}. \quad (10)$$

Решение уравнения (10) даёт $T = 1848 \text{ К}$ или 1575°С .

Используя полученное значение T и учитывая выражения (4)...(7), вместо (2) запишем

$$\Delta P_K = \left[1.192 * 10^{-4} \frac{Q_T}{d_T^2} + 1.56 * 10^{-5} \frac{Q_T^2}{d_T} \right] h, \quad (11)$$

Где Q_T – тепловая мощность, выделяющаяся при горении топлива, приходящаяся на 1 м^2 площади поперечного сечения слоя катализатора,

$$Q_T = V \frac{Q_H^P}{f}, \text{ кВт/м}^2. \quad (12)$$

Из выражения для КПД печи

$$\eta_n = \frac{T - T_T}{T - T_0} \quad (13)$$

для температуры газов в дымовой трубе имеем

$$T_T = T - \eta_n(T - T_0). \quad (14)$$

Учитывая, что $T = 1848 \text{ К}$, $T_0 = 273 \text{ К}$ и приняв $\eta_n = 0,8$, из (14) получим $T_T = 588 \text{ К}$ или 315°С .

При данной температуре, в соответствии с уравнением (3), имеем $\Delta P_T = 6,83 \text{ Н}$. Используя полученное значение ΔP_T и уравнение (11), на основании связи (1) получим

$$Q_T^2 + \frac{7,641}{d_T} Q_T - 437,82 * 10^3 \frac{H}{h} d_T = 0. \quad (15)$$

Решением уравнения (15) является выражение для удельной тепловой мощности

$$Q_T = \sqrt{\frac{14,6}{d_T^2} + 437,82 * 10^3 \frac{H}{h} d_T} - \frac{3,82}{d_T}, \text{ кВт/м}^2. \quad (16)$$

Из выражения (16) следует, что управляющими факторами, определяющими величину Q_T являются H/h и d_T .

Уравнение (16) и другие приведенные выше соотношения и связи для теплогидравлических характеристик печи в совокупности составляют теоретическую основу для определения основных ее конструктивных параметров при заданной тепловой мощности.

Прежде, чем производить расчет затрат и условную прибыль с печи, стоит указать сферу, для которой предполагается использование данного образца – отопление частных домов, участков, дач, гаражей, прочих зданий. В зависимости от размеров и целей использования печь может обслуживать и различные размеры помещений.

В качестве материала выбрана 3мм сталь. Цена листовой стали, примерно, 200р/кг. Для расчета стоимости конструкции найдем примерную площадь листа стали, на котором помещаются детали, составляющие печи.

Согласно литературным данным, при централизованном отоплении на помещение частного дома площадью 45м² требуется 1.5ГКал тепловой энергии в месяц, что соразмерно с 0.0021 ГКал/час и 2.42КВт.

Имея вышеизложенные уравнения, а так же, рассчитав по ним габариты печи, можно сделать экономический расчет для определения сроков окупаемости печи. Для сравнения был рассмотрен вариант централизованного отопления.

Если учитывать гарантию работы аналогичного печного оборудования – 10 лет, то логично стоимость статических и динамических затрат «растянуть» на этот срок. Так же к ежемесячной стоимости печи, согласно методикам экономического подсчета теплогенераторного оборудования, были добавлены 10% на дополнительные расходы, являющиеся некоторой подушкой безопасности при эксплуатации печи. Данные расчета приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Стоимость эксплуатации печи от времени.

Время эксплуатации	Стоимость, руб.
10 лет эксплуатации	64 497.84
Отопительный сезон (октябрь-апрель) 212 дней	6 449.784
1 месяц	921.4

Сравним данные расчеты со стоимостью централизованного отопления. Учитывая, что отопительный сезон составляет 7 месяцев (октябрь-апрель), стоимость 1 ГКал равняется 2200 рублей, то есть на наше помещение 45 м² необходимо 1.5 ГКал или 3300 рублей в месяц. Произведя ряд не сложных математических подсчетов, имеем следующие цифры (таблица 2).

Таблица 2 – Стоимость централизованного отопления.

Время эксплуатации	Стоимость, руб.
1 месяц	3300
Отопительный сезон (октябрь-апрель) 212 дней	23100
10 лет эксплуатации	231000

Очевидно, что предполагаемая стоимость печного отопления меньше в 3.6 раза. В таком случае, ежемесячная выгода составит:

$$E.V. = 3300 - 921.4 = 2378.6 \text{ рублей} \quad (59)$$

Как следствие, стоимость печи окупится через:

$$O = \frac{27\,216}{2378.6} \approx 12 \text{ месяцев} \approx 2 \text{ отопительных сезона} \quad (60)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зачастую людям приходится жить и работать в местах, отдалённых от городов, газовых сетей, в населенных пунктах без ТЭЦ и котелен, а значит лишённых возможности получать централизованное отопление. Это вызывает необходимость разработки и производства оборудования, предназначенного для обогрева помещений.

В выпускной квалификационной работе в качестве такого оборудования рассматриваются и предлагаются воздухонагревательные печи с каталитическим сжиганием топлива. В качестве топлива выбран уголь. Если сравнивать с нефтью и газом - его более удобно транспортировать в отдалённые и малодоступные участки и более безопасно хранить.

Сжигание предлагается проводить в присутствии катализаторов, обеспечивающих полное сгорание топлива и отсутствие в газах токсичных оксидов азота, угарного газа и прочих вредных для здоровья человека и окружающей среды компонентов.

Одним из преимуществ разработанной печи – является ее многофункциональность. Кроме основополагающего источника тепла, для отопления помещений, разработанная печь имеет в своей конструкции так же духовой шкаф и варочную плиту.

Так же были получены новые формулы и, в которых коэффициент теплоотдачи отнесен к начальной разности температур, а определяющей

является температура стенки, позволяющие, в отличие от известных формул, определять в расчетах конечную температуру нагрева (охлаждения) теплоносителя напрямую, без итераций. Разработанные формулы обеспечивают более точный результат расчета для области малых чисел Рейнольдса в длинных трубах при $T_c = \text{const}$ по сравнению с другими известными из литературы подобными формулами. Следовательно данная формула может быть использована для расчета теплообмена любых газов.

В ходе выполнения работы были рассмотрены различные теплогенерационные установки, а так же рассчитана экономически выгодный многофункциональный теплогенератор для 45 м². Результат расчета, а так же сравнения с централизованным отоплением представлены в таблице 3:

Таблица 3 – Сравнительная таблица различных видов отопления

Время эксплуатации	Стоимость централизованного отопления, руб.	Стоимость печи и отопления углем, руб.	Разница между отоплениями, руб.
1 месяц (31 день)	3300	921.4	2378.6
Отопительный сезон (октябрь-апрель) 212 дней (7 месяцев)	23100	6449.784	16650.22
10 лет эксплуатации	231000	64497.84	166502,2

Окупаемость печи в таком случае наступит через 2 отопительных сезона.

Так же по результатам работы опубликованы:

- 1) Патент RU 2707778 C1, авторы: Печенегов Ю.Я., Макагон А.Н.
- 2) 7 статей в сборниках научных трудов.