

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Разработка печи для сжигания твёрдых отходов с теплоутилизатором
на основе использования методики расчёта теплообмена с учетом
переменности физических свойств теплоносителя**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 431 группы
направления 18.03.01 «Химическая технология»
код и наименование направления, специальности
Института химии

Кузнецовой Анны Сергеевны

Научный руководитель

Профессор, д.т.н., профессор

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 2025

ВВЕДЕНИЕ

Бакалаврская работа содержит 56 страниц, 6 таблиц (в т.ч. 1 в приложениях), 8 рисунков (включая 3 в приложениях), 41 литературный источник, технологическую схему компоновочного решения и чертёж теплообменника-теплоутилизатора.

С каждым годом количество твердых отходов, образующихся в ходе производства и потребления, только увеличивается, вследствие чего проблема обращения с отходами ощущается всё более остро. В настоящее время в РФ традиционным вариантом обращения, например, с твердыми коммунальными отходами (ТКО) является их размещение на полигонах. Сжигание отходов может значительно снизить объемы захороняемых отходов, что приведет к снижению площадей, выделяемых под создание полигонов и свалок. При этом сжигание должно сопровождаться очисткой выбросов для снижения негативных последствий для окружающей среды, а теплота сгорания отходов может быть использована для получения, например, тепловой энергии.

Если говорить о процессах химической промышленности и нефтепереработки, среди них нет ни одного, который обошелся бы без тепловой обработки исходной и продуктовой смеси. Температура влияет на выход продуктов реакции, обуславливает наличие или отсутствие побочных реакций, скорость реагирования и необходимые размеры реактора. От температуры могут зависеть физические и физико-химические свойства веществ (вязкость, теплоемкость, парциальные давления паров, растворимость, равновесные составы многокомпонентных смесей и т. п.). Для изменения значения температуры вещества или веществ, поддержания нужной температуры в реакторе или в ином аппарате необходимо подводить или отводить соответствующие количества теплоты.

В настоящее время с интенсивным развитием компьютерных технологий особое значение приобретает математическое моделирование различных физических процессов. В задачах тепло- и массообмена численный эксперимент приобрел сейчас значение, сравнимое со значением натурального эксперимента.

Однако зачастую расчет проводится без учета переменности свойств теплоносителей, что значительно упрощает моделирование процесса, хотя учет переменности свойств теплоносителей позволяет более точно описать реальные процессы и получить более точные результаты, что помогает при выборе и проектировании наиболее подходящего оборудования.

Вышеизложенное определяет цель бакалаврской работы.

Цель: разработка печи для сжигания твердых отходов с утилизацией выделяющейся теплоты на основе использования методики расчета теплообмена с учетом переменности свойств теплоносителя.

В связи с этим, при выполнении бакалаврской работы основными задачами были:

- Изучить современные принципы обращения с отходами;
- Изучить современный подход к расчёту теплообменных процессов;
- Определить оптимальное количество интервалов для расчёта теплообменных процессов с участием дымовых газов;
- Выполнить расчет теплообменника-теплоутилизатора;
- Разработать блок-схему расчёта теплообменных процессов с учётом переменности физических свойств теплоносителя.

Бакалаврская работа состоит из двух глав: «Литературный обзор» и «Практическая часть. Разработка компоновочного решения».

Литературный обзор состоит из четырёх подразделов:

1. Отходы. Обращение с отходами
2. Печь для сжигания отходов
3. Общие сведения о теплообмене
4. Расчёт теплообмена

Практическая часть состоит из четырёх подразделов:

1. Расчёт теплоутилизатора
2. Расчёт печи для сжигания твердых отходов
3. Расчёт вспомогательного оборудования
4. Блок-схема и методика расчёта

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе бакалаврской работы осуществлен поиск литературных данных по современным подходам к обращению с отходами, а также нынешними методикам расчёта теплообмена.

Отходы производства и потребления (отходы) – вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления, которые удаляются, предназначены для удаления или подлежат удалению в соответствии с Федеральным законом от 24.06.1998 №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления"».

Обращение с отходами – это комплексное понятие, которое включает все виды процессов, через которые проходит мусор от сбора до утилизации: накопление; хранение; обеззараживание; транспортировка; обработка; обезвреживание; утилизация; захоронение. Кроме перечисленных процессов в правила обращения с отходами также входит оформление всей необходимой документации, создание схем и регламентов.

В настоящее время в РФ традиционным вариантом обращения, например, с твердыми коммунальными отходами (ТКО) является их размещение на полигонах. Однако, с учетом прогнозных уровней прироста населения и количества образующихся ТКО, необходимость выделения всё больших площадей под полигоны для захоронения отходов и их санитарно-защитные зоны будет расти. При этом в соответствии с Комплексной стратегией обращения с твердыми коммунальными отходами в Российской Федерации, утвержденной, традиционное размещение отходов на полигонах является наименее приоритетным направлением обращения с ТКО.

Сжигание отходов как метод их утилизации, позволяет существенно снизить объемы отходов, отправляемых на захоронение, что в свою очередь приведет к сокращению территорий, выделяемых под создание полигонов и свалок. При этом важно, чтобы сжигание сопровождалось очисткой выбросов для снижения негативных последствий для окружающей среды.

Термическое обезвреживание осуществляется в отношении отходов, содержащих в своем составе органические вещества. В России наиболее часто встречаются технологии термического обезвреживания отходов с использованием методов сжигания, пиролиза, газификации.

Сжигание отходов считается самым простым, известным, технически налаженным и, что самое главное, традиционным способом уничтожения отходов, который применяется человечеством долгое время.

С целью повышения эффективности работы устройств, применяемых для сжигания отходов, и их экологичности была разработана **печь для сжигания твердых отходов** со слоем катализатора для обезвреживания дымовых газов.

Каталитическая печь для сжигания твердых отходов содержит кожух, включающий камеру горения со стенами и сводом, камеру дожигания, отделенную перевальной стенкой от камеры горения; провальную колосниковую решетку на дне камеры горения, зольную камеру, расположенную под колосниковой решеткой; горелку, смотровое окно, люки камеры горения и зольной камеры, установленные на фронтальной стене, бункер с поворотной заслонкой и крышкой, установленной на своде.

Кроме того, предлагаемая печь содержит проницаемый для газов плотный слой зернистого катализатора, расположенный в сечении камеры дожигания, перпендикулярном направлению движения газовых продуктов горения, планку, размещенную в зольной камере, жестко соединенную со штоком, проходящим через стену, с возможностью продольного перемещения.

Печь является частью технологической схемы получения горячей воды, необходимой для теплоснабжения (горячая вода, отопление) производственных и жилых помещений.

Как известно, сжигание твердого топлива в плотном слое неизбежно сопровождается образованием продуктов недожога, которые в составе дымовых газов выходят из топочного пространства.

Дымовые газы при выходе из топки фильтруются через высокотемпературный **слой гранулированного твердого катализатора**, где

осуществляется горение продуктов недожога в газовой фазе. На огнеупорный материал нанесен оксид никеля в количестве 0,5...2,5% и оксид меди в количестве 1...3% от всей массы катализатора. В зависимости от используемой основы катализатор в состоянии выдерживать температуру до 1400...2000 °С.

Процессы тепло- и массообмена с точки зрения механики сплошных сред могут быть описаны системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Эту систему уравнений принято называть уравнениями Навье Стокса.

Для практических инженерных расчетов теоретическое описание реальных сложных процессов может быть существенно упрощено путем введения различных упрощающих предположений, в результате чего схема описания процессов существенно упрощается, методика расчета становится более простой и конкретной, точность расчетов удовлетворяет практическим запросам, т.е. результаты расчетов отличаются от истинных значений в допустимых пределах ($< 5\%$).

На основании допущений производятся расчеты теплотехнологического оборудования, по их результатам проводятся конструкторские разработки и изготавливается оборудование.

В большинстве случаев при расчётах теплообмена течение теплоносителя сводится к изотермическому с постоянными свойствами, что сильно упрощает моделирование и расчет процессов переноса. В реальных условиях теплообмена свойства теплоносителя переменны в сечениях и по длине потока, что обусловлено зависимостью их от температуры. Переменность свойств тем больше, чем выше тепловые нагрузки в теплообменной системе. Характер зависимостей свойств от температуры индивидуален для каждого теплоносителя.

Экспериментальные исследования течения и теплообмена свидетельствуют о достаточно сложном и во многих практических случаях сильном влиянии переменных физических свойств теплоносителей на характеристики интенсивности процессов переноса. Для учета этого влияния

предложены различные эмпирические поправки к характеристикам, рассчитанным при постоянных физических свойствах. Например, одночленные поправки-множители, которые используются для расчётов в практической части работы.

Во второй главе бакалаврской работы производится расчёт компоновочного решения: определяется оптимальное число интервалов для расчёта теплообменных процессов с участием дымовых газов, на основании полученных результатов проектируется теплообменник-теплоутилизатор, рассчитываются геометрические характеристики дымовой трубы. Кроме того, в практической части работы представлена предлагаемая блок-схема расчёта.

Предлагаемый теплообменник-теплоутилизатор содержит 4 дымогарные трубки диаметром $d=57 \times 3,5$ мм длиной 6600 мм; кожух диаметром $D=206 \times 3$ мм; штуцера для входа холодной воды и выхода горячей, ввода дымовых газов в теплообменник и вывода их в дымовую трубу; поворотную и распределительную камеры в нижней части аппарата и сборную камеру – сверху; а также опорные лапы для установки теплообменника-теплоутилизатора на вертикальные опоры или межэтажные перекрытия.

Разработанная блок-схема предлагается для расчета теплообменных процессов с учетом переменности физических свойств теплоносителя (дымовых газов). Расчет, согласно методике, учитывает возможность смены режима течения потока обеспечивающего теплоносителя. Также к блок-схеме прилагается описание последовательности выполняемых действий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы произведено определение оптимального количества температурных интервалов для расчета теплообмена с участием дымовых газов с учетом переменности физических свойств теплоносителя.

Приняв во внимание полученные результаты, определены геометрические параметры теплообменника-теплоутилизатора, в котором предполагается производить охлаждение дымовых газов перед выбросом в атмосферу. Охлаждение предлагается осуществлять за счет нагрева воды с 10°C до 70°C, с целью её дальнейшего использования в производственных процессах или для теплоснабжения помещений.

Кроме того, определены геометрические характеристики дымовой трубы для обеспечения работы печи для сжигания твердых отходов со слоем катализатора для обезвреживания дымовых газов в условиях самотяги, а также предложена блок-схема расчета теплообмена с участием дымовых газов с учетом переменности свойств теплоносителя.

Основные результаты ВКР доложены на следующих конференциях:

1. XXX МНТК «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (НИУ «МЭИ», г. Москва, 29 февраля – 2 марта 2024 г.) – получен диплом 2-й степени;
2. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Химия. Экология. Урбанистика» (ПНИПУ, г. Пермь, 17 — 19 апреля 2024 г.);
3. Всероссийская научно-практическая конференция «Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации» (Филиал ФГБОУ ВО «СамГТУ» в г. Белебее Республики Башкортостан; 24 апреля 2024 г.);
4. Всероссийская студенческая научно-техническая конференция «Интенсификация тепло-массообменных процессов, промышленная безопасность и экология» (КНИТУ, г. Казань, 28 мая 2024 г.) – получен диплом 3-й степени;

5. VI Научно-техническая конференция с международным участием «Ядерные технологии: от исследований к внедрению – 2024» (НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, 17-18 октября 2024 г.);

6. XXXI МНТК «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (НИУ «МЭИ», г. Москва, 13-15 марта 2025 г.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов [и др.]; под общ. ред. Ю. И. Дытнерского. - 2-е изд., перераб. и дополн. - М.: Химия, 1991. - 496 с.
- 2 Фролов, В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» / В.Ф. Фролов. - 5-е изд., стереотип. - СПб: Химиздат, 2024. - 608 с.
- 3 Основы вычислительного теплообмена и гидродинамики: Учебное пособие / Л.В. Быков, А.М. Молчанов, Д.С. Янышев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ЛЕНАНД, 2019. - 200 с.
- 4 Федеральный закон от 24.06.1998 №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [Электронный ресурс]. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».
- 5 Курынцева, П. А. Учебное пособие к специальному курсу "Обращение с отходами производства и потребления" / П. А. Курынцева, С. Ю. Селивановская. - Казань: Казан. ун-т, 2018. - 64 с.
- 6 Пат. 2735755 Российская Федерация. Каталитическая печь для сжигания твердых отходов/ Ю. Я. Печенегов, Олискевич В. В., Царюнов А. В. и д.р.- Заявка № 2020117189, от 26.05.2020; опубл. 06.11.2020, Бюл. № 31.
- 7 Пат. 2394643 Российская Федерация. Катализатор для сжигания топлив / Р. И. Кузьмина, Т. Г. Панина. - Заявка № 2009102306/04 от 27.01.2009 ; опубл. 20.07.2010, Бюл. № 20.
- 8 Печенегов, Ю.Я. Расчет физических свойств, теплообмена и гидравлического сопротивления газовых и жидких теплоносителей: Учеб. пособие. / Ю.Я. Печенегов. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. - 116 с.
- 9 Печенегов, Ю. Я. Теплообмен при турбулентном течении в каналах потоков газов разной атомности с переменными физическими свойствами / Ю.Я. Печенегов // Химическое и нефтегазовое машиностроение: научно-технический и производственный журнал. - М.: ООО "Редакция журнала "Химическое и нефтегазовое машиностроение", 2017. - № 4. - С. 8-11.

10 Печенегов, Ю. Я. Гидравлическое сопротивление при течении в трубах неизотермических турбулентных потоков газа и жидкости / Ю.Я. Печенегов // Химическое и нефтегазовое машиностроение: научно-технический и производственный журнал. - М.: ООО "Редакция журнала "Химическое и нефтегазовое машиностроение", 2017. - № 5. - С. 23-26.