

ИННОВАЦИОННЫЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

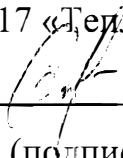
МАГИСТРАТУРА

Кафедра «Теплоэнергетика и металлургия»

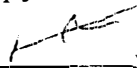
Магистерская диссертация

Разработка системы утилизации твердых отходов

6N0717 «Теплоэнергетика»

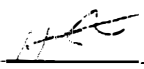
Исполнитель  Кучер Е.О.
(подпись, дата)

Научный руководитель

Профессор, к.т.н.  5.3.08 Никифоров А.С.
(подпись, дата)

Допущена к защите:

Зав. кафедрой «ТиМ»

Профессор, к.т.н.  Никифоров А.С.

Павлодар, 2006

РЕФЕРАТ

Диссертация магистра теплоэнергетики, 60 с., 5 рис., 6 табл., 27 источник.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

Объектом исследования являются высокотемпературные процессы сжигания твердых бытовых отходов (ТБО).

Цель работы заключается в разработке комплексной установки для сжигания ТБО.

Приведен анализ состава твердых бытовых отходов, предложена и исследована схема термического уничтожения твердых отходов с последующим дожигом уходящих газов. Также в работе приведен расчет сжигания твердых отходов (расчет выброса вредных веществ), тепловой расчет топки, камеры дожига, котла-утилизатора, воздухоподогревателя.

Предложена система очистки дымовых газов включающая в себя три сгруппированных элемента: батарейный циклон – распылительный абсорбер – тканевый фильтр.

Содержание	стр
Введение.....	4
1 Анализ состава твердых бытовых отходов.....	6
2 Выбор технологии утилизации твердых отходов.....	14
3 Описание технологической схемы установки.....	16
4 Система очистки дымовых газов.....	23
5 Расчет выбросов вредных веществ.....	30
6 Тепловой расчет	
6.1 Расчет топки.....	37
6.2 Расчет камеры дожигания.....	43
6.3 Тепловой расчет котла-утилизатора Г – 445 б.....	45
6.4 Расчет воздухоподогревателя.....	51
Заключение.....	58
Список использованных источников.....	59

Введение

В последнее время активно ведется поиск источников энергии, альтернативных природному топливу. При этом все чаще и чаще взоры обращаются на использование в качестве топлива твердых бытовых отходов (ТБО). Преимущество ТБО заключается в том, что их не надо искать, не надо добывать, но в любом случае их надо либо уничтожать, либо использовать. Период их уничтожения, т. е. складирования на полигонах, прошел - наступил период их активного использования, в том числе и в виде топлива.

Сегодня и в Казахстане проблема переработки ТБО, особенно вблизи больших городов, становится очень актуальной: ухудшается экология, полигоны приходится организовывать все дальше от городской черты, что увеличивает расходы на вывоз отходов и поддержание города в чистоте.

Проблема полного уничтожения или частичной утилизации твердых бытовых отходов — бытового мусора — актуальна, прежде всего, с точки зрения отрицательного воздействия на окружающую среду. Твердые бытовые отходы это богатый источник вторичных ресурсов (в том числе черных, цветных, редких и рассеянных металлов), а также — "бесплатный" энергоноситель, так как бытовой мусор возобновляемое углеродсодержащее энергетическое сырье для топливной энергетики.

Однако для любого города и населенного пункта проблема удаления или обезвреживания твердых бытовых отходов всегда является в первую очередь проблемой экологической. Весьма важно, чтобы процессы утилизации бытовых отходов не нарушали экологическую безопасность города, нормальное функционирование городского хозяйства с точки зрения общественной санитарии и гигиены, а также условия жизни населения в целом.

Как известно, подавляющая масса ТБО в мире пока складывается на мусорных свалках, стихийных или специально организованных в виде "мусорных полигонов". Однако это самый неэффективный способ борьбы с

ТБО, так как мусорные свалки, занимающие огромные территории часто плодородных земель и характеризующиеся высокой концентрацией углеродсодержащих материалов (бумага, полиэтилен, пластик, дерево, резина), часто горят, загрязняя окружающую среду отходящими газами. Кроме того, мусорные свалки являются источником загрязнения как поверхностных, так и подземных вод за счет дренажа свалок атмосферными осадками.

Твердые бытовые отходы или «твердые муниципальные отходы» (Municipal Solid Waste), как их принято называть на Западе, исторически называли отходы, захоронением которых занимались городские власти. Однако в настоящее время в развитых странах значительное количество бытовых отходов собирается и перерабатывается не городскими коммунальными службами, а частными предприятиями, которые также имеют дело с промышленными отходами. По мере роста количества и разнообразия отходов, усложнения отношений, связанных с их утилизацией, были выработаны различные классификации и определения типов отходов. Некоторые из них были положены в основу национальных законов, регламентирующих порядок обращения с различными типами отходов [1].

1 Анализ состава твердых бытовых отходов

Отходы можно классифицировать как по происхождению: бытовые, промышленные, сельскохозяйственные и т.д., так и по свойствам. Самое известное разделение по свойствам, принятое в законодательствах большинства стран – это деление на «опасные» (т.е. токсичные, едкие, воспламеняющиеся и проч.) и «неопасные» отходы [2].

Муниципальные отходы, о которых пойдет речь, имеют различное происхождение (именно поэтому термин «муниципальные отходы» предпочтительнее термина «бытовые отходы»: первый, кроме отходов, производимых населением, включает также отходы, производимые ресторанами, торговыми предприятиями, учреждениями, муниципальными службами) и различные свойства: часть муниципальных отходов, например, относится к опасным, – однако их объединяет то, что ответственность за их утилизацию ложится на городские власти.

Следующий используемый термин, который требует пояснения – «управление отходами» (waste management). Он шире понятий «переработка», «утилизация» и даже «обращение с отходами», так как включает в себя организацию сбора отходов, их утилизацию (включая переработку, сжигание, захоронение и т.д.), а также мероприятия по уменьшению количества отходов.

Состав и объем бытовых отходов чрезвычайно разнообразны и зависят не только от страны и местности, но и от времени года и от многих других факторов. Объемы бытовых отходов для некоторых стран приведены на рисунках 1.1 и 1.2 (состав ТБО в среднем по Казахстану приведен на Рисунке 1, сравнение состава ТБО в странах с различным уровнем дохода – на Рисунке 2). Бумага и картон составляют наиболее значительную часть ТБО (до 40% в развитых странах) [3]. Вторая по величине категория в Казахстане – это так называемые органические, в т.ч. пищевые, отходы; металл, стекло и

пластик составляют по 7-9% от общего количества отходов. Примерно по 4% приходится на дерево, текстиль, резину и т.д [4].

Количество муниципальных отходов в Казахстане увеличивается, а их состав, особенно в крупных городах приближается к составу ТБО в западных странах с относительно большой долей бумажных отходов и пластика.

Таблица 1.1 Производство бытовых отходов

Страна	Всего в год, тонн	На душу населения в день, кг
США (1988)	180,000,000	1.82
США (1995,)	200,000,000	1.91
США (2006, прогноз)	216,000,000	2.00
СССР (1989)	57,000,000	0.23
Республика Казахстан (2000)	26,000,000	0.17
Западная Европа	123,300,000	-
Великобритания	18,000,000	0.9

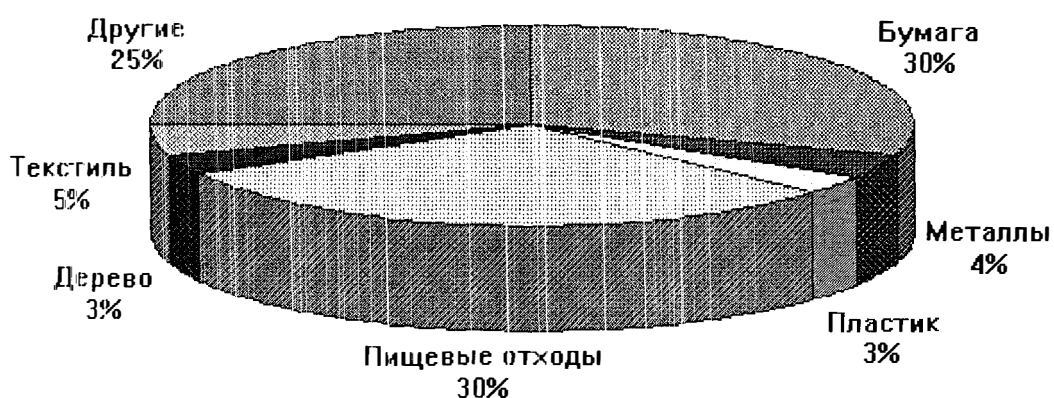


Рисунок 1.1 - Примерный состав ТБО в Казахстане в 2000 г.

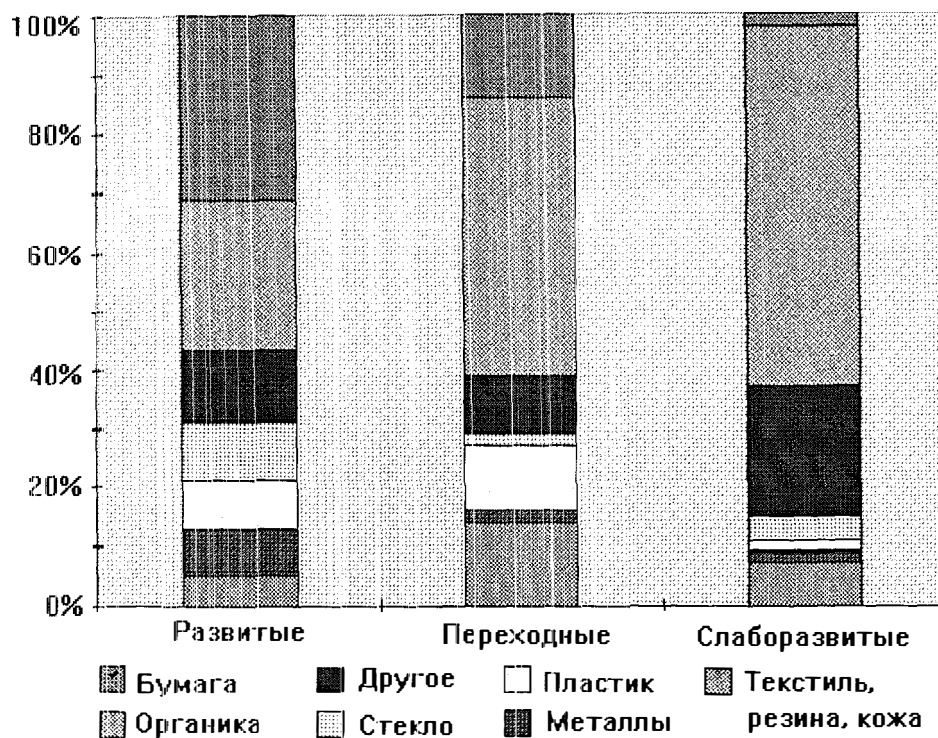


Рисунок 1.2 - Распределение отходов по категориям в различных странах

Существуют другие взаимосвязанные аспекты проблемы ТБО, которые делают ее насущной именно в наше время:

Объем ТБО

... непрерывно возрастает как в абсолютных величинах, так и на душу населения;

Состав ТБО

... резко усложняется, включая в себя все большее количество экологически опасных компонентов;

Отношение населения

... к традиционным методам сваливания мусора на свалки становится резко отрицательным;

Законы

... ужесточающие правила обращения с отходами, принимаются на всех уровнях правительства;

Новые технологии

... утилизации отходов, в том числе современные системы разделения, мусоросжигательные заводы-электростанции и санитарные полигоны захоронения, все более широко внедряются в жизнь;

Экономика

... управления отходами усложняется. Цены утилизации отходов резко возрастают. Современное управление отходами невозможно представить без частных предприятий и крупных инвестиций [5].

Все эти аспекты проблемы завязаны в узел, который затягивался в развитых странах на протяжении последних 20-30 лет все туже и туже.

Традиционно бытовые отходы вывозились на свалки, расположенные вблизи населенных пунктов, и работающие за счет муниципальных бюджетов. Со временем вследствие постоянной угрозы здоровью населения, исходившей от свалок (отравление грунтовых вод, размножение переносчиков заболеваний, неприятный запах, дым от частых самовозгораний), во многих странах стали принимать более строгие правила их размещения, конструкции и эксплуатации. Отрицательное отношение населения и новые стандарты делали открытие новых свалок (или «полигонов по захоронению ТБО», как они стали именоваться) все более сложным делом.

В это время как раз и заговорили о ранее упоминавшемся кризисе свалок. Хотя кризис свалок – это проблема скорее «политическая», чем «физическая», однако, независимо от того, является ли нехватка места «реальной» или «кажущейся», строительство новых полигонов в определенный момент резко дорожает: в США, например, только получение лицензии на строительство полигона (еще до того как куплен участок) может обойтись в \$500,000 [6].

Оценка потоков ТБО и постановка задач

В прошлом, когда весь мусор просто свозился на городскую свалку, оценка потоков муниципальных отходов не была фундаментальным аспектом

утилизации ТБО. Сегодня же многие современные технологии, ошибки при проектировании которых могут дорого обойтись, требуют беспрецедентного количества информации о потоках отходов. Поэтому точную информацию о количестве и качестве мусора трудно переоценить. Эти данные могут применяться, например, при выборе автомашин и контейнеров для вывоза мусора, при определении размеров станции промежуточного хранения отходов, при маркетинге вторсырья, определении энергетической мощности мусоросжигателя или выборе для нее конкретного оборудования.

Оценка отходов включает сбор информации по тому кем (Таблица 1.2), сколько и каких (Таблица 1.3) отходов производится, какие применяются методы утилизации отходов и какие существуют или могут возникнуть проблемы, а также выработку прогноза объема и состава потока отходов на будущее [7]. Обычно приблизительную информацию о количестве городских отходов можно найти у руководителей соответствующих коммунальных предприятий, однако для планирования программ могут понадобиться более точные данные о составе и источниках отходов, также как и об их сезонных вариациях. Как и всякий этап исследования состава отходов требует планирования. Особенно стоит подчеркнуть, что оценка ТБО не должна быть одноразовым процессом, так как состав и количество отходов могут резко меняться, так же как и области применения информации о них.

Исследования ТБО могут проводиться как дорогими методами, включающими обычно отбор образцов, сортировку по категориям, взвешивание, так и более дешевыми, например, экстраполяцией результатов уже существующих исследований. При проведении экстраполяции необходимо выбирать область, в которой уже были проведены исследования по возможности близкую по географическим и экономическим условиям к интересующей области. При этом стоит иметь в виду, что достоверные данные по ТБО в бывшем СССР и в Казахстане практически отсутствуют. Информация о ТБО, попадавшая на страницы Национальных докладов о состоянии окружающей среды неполна и, видимо, не вполне точна. Так, в

Государственном докладе СССР 1989 года верхние и нижние оценки определенных категорий отходов в общем составе ТБО различаются в 2-3 раза [10]. В одних официальных источниках данные по количеству ТБО приводятся в тоннах, в других – в м3. В 1989 году была проведена межведомственная Государственная экспертиза проблемы утилизации ТБО, в результате которой было собрано и обобщено достаточное количество информации по всему СССР, однако ее результаты, по-видимому, остались невостребованными и даже неопубликованными.

Таблица 1.2 - Источники муниципальных отходов

Жилые	Индивидуальные и многоквартирные дома
Хозяйственные	Учреждения Магазины Культурные заведения Предприятия общепита Гостиницы Бензоколонки
Коммунальные службы	Снос и строительство зданий Уборка улиц Зеленое строительство, парки, пляжи Остаточные продукты мусоросжигания
Учреждения	Школы Больницы Тюрьмы
Промышленность	
Сельское хозяйство	

Таблица 1.3 - Примеры категорий отходов

Бумага	Бумага Газеты Офисная бумага Глянцевые журналы Бумага для компьютеров Картон
Пластик	РЕТ (бутылки из-под газированной воды) Смешанный пластик Пенопласт Другой пластик (полиэтилен, ПВХ)
Металл	Ферромагнетики (стальные банки и т.д.) Алюминий Другие неферромагнетики
Стекло	Прозрачное Коричневое ("янтарное") Зеленое Другое (лампы, оконное и т.д.)
Растительные отходы	Листья Трава Ветки
Деревянные отходы	
Покрышки	
Другие резиновые отходы	
Кожа	
Пищевые отходы	
Неорганика (камни, керамика)	

Окончание таблицы 1.3

Мелкие материалы (проходящие через 1.5 см сетку)	
Текстиль	
Строительный мусор	
Вещи, выброшенные целиком (холодильники, телевизоры)	
Остаточные материалы (зола, ил)	
Опасные бытовые отходы (растворители, ядохимикаты)	

Поскольку оценка отходов может обойтись дорого (например, от \$35,000 до \$500,000 в США [11]), очень важно правильно поставить цели исследования, которые могут, например, состоять в том, чтобы осуществить информированный выбор наиболее приемлемого из возможных вариантов утилизации ТБО (в этом случае нужны данные очень общего характера, которые можно собрать без особых затрат). Напротив, если проектируется высокотехнологичное предприятие по утилизации отходов (например, современный МСЗ), то может потребоваться большое количество очень точных данных об объеме и составе ТБО. Сбор слишком большого количества ненужных данных или не нахождение необходимой информации могут дорого обойтись [12].

2 Выбор технологии утилизации твердых отходов

Термическая переработка ТБО — универсальный процесс. Ее можно использовать как для переработки всей массы ТБО, так и для переработки любого следа отходов [13].

Как наиболее технически и экономически целесообразный из термических процессов в настоящее время используется процесс сжигания при температурах 850-1000 °С [14]. Сжигание ТБО широко распространено в европейских странах, и утверждения некоторых авторов о всеобщем закрытии мусоросжигающих предприятий в Европе не соответствует действительности.

В настоящее время в западноевропейских странах от 36% (Франция) до 80% (Швейцария) ТБО сжигается, тогда как компостированием перерабатывается от 2% (Германия) до 15% (Нидерланды) [15]. Широкое распространение процесса сжигания ТБО определили его достоинства:

- в результате высокотемпературной обработки ТБО биологические загрязнения уничтожаются полностью;
- объемы вторичных отходов (зола, шлак, пыль) в 6-20 раз меньше объемов ТБО, поступающих на термическую переработку. Вторичные отходы высокотемпературной переработки ТБО могут быть утилизированы в производстве строительных материалов;
- содержащиеся в ТБО опасные соединения «тяжелых» металлов под воздействием высоких температур и окислительной среды разлагаются. Конечные продукты термообработки содержат фактически нерастворимые в почвенных электролитах окислы этих металлов.

В процессе термической переработки только при определенных условиях и только органические вещества ароматической группы, содержащие хлор, могут образовывать высокотоксичные вещества (диоксины, фураны и др.) [17]. В настоящее время выработаны режимы

сжигания ТБО, содержащие хлорорганику, позволяющие исключить возможность образования диоксинов и дибензофуранов. Сжигать ТБО надо при температуре, превышающей 850°C , дымовые газы должны выдерживаться при этой температуре не менее 2 секунд, сжигание должно проводиться на беспровальной подине, исключающей возможность провалов из зоны термообработки недожженных зольных отходов [18]. Содержание остаточного кислорода в дымовых газах должно быть не менее 6 %. Дымовые газы также должны быть подвергнуты специальному режиму охлаждения, при котором исключается возможность реакций синтеза диоксинов.

Эксплуатация с соблюдением такого режима ряда установок сжигания ТБО в ФРГ и Швеции показывает, что нагрузка на окружающую среду от данных установок не превосходит нагрузки, которые имеют место при эксплуатации энергетических установок, работающих на обычном твердом или жидком топливе [4].

Однако на всех установках, на которых сжигаются ТБО, системы очистки дымовых газов более сложные, чем на установках, работающих на обычном топливе. Это обусловлено необходимостью страхования риска образования диоксинов в переходные периоды эксплуатации установки, т.е. при остановке процесса или выхода на режим после простоя.

Системы газоочистки на установках сжигания ТБО дополнительно оснащаются узлами абсорбции и фильтрации. Все эти мероприятия обеспечивают экологическую безопасность установок сжигания ТБО.

3 Описание технологической схемы установки

Установка для сжигания отходов работает непрерывно. Отходы доставляются к установке на автомашинах и сгружаются на площадку хранения, откуда перегружаются на транспортер для подачи на цепную колосниковую решетку.

Мусор должен взвешиваться и, частично, сортироваться. В настоящее время, особенно в больших городах, в мусор попадает много алюминия, если его не отделять, то при одновременном попадании значительного количества алюминия в зону горения, возможен тепловой взрыв [1].

Бункер для хранения резервного запаса мусора, необходимого для ритмичной работы установки, представляет собой объект повышенной опасности. Хранение мусора в течение многих дней и, даже, недель помимо нарушения санитарно-гигиенических условий труда, приводит к появлению взрывоопасного метана. Правильная конструкция бункера должна предусматривать:

а) разгрузку через низ бункера, что позволит избежать длительного хранения мусора;

В тех случаях, когда нет технического решения для разгрузки мусора через низ бункера, необходимо предусмотреть полную очистку бункера не реже, чем раз в неделю.

б) мощную принудительную вентиляцию мусора, чтобы предотвратить создание взрывоопасной концентрации метана;

в) воздух после бункера должен поступать в печь сжигания, а не выбрасываться в трубу.

Чешуйчатая колосниковая решетка служит для подачи отходов в топку, передвижения в топочной камере и удаления зольных остатков. Для уменьшения присосов при загрузке отходов в топку, предохранения обслуживающего персонала от воздействия топочных газов и теплового излучения загрузочное окно уплотняется лепестковым затвором.

Под цепную решетку подается горячий воздух от воздухоподогревателя. Для оптимального сжигания отходов решающее значение имеет соотношение топливо - воздух. Представляется целесообразным подавать воздух по всей ширине топливного слоя. Во избежание образования максимумов температур и излишнего загрязнения дымовых газов летучей золой, скорость дымовых газов на выходе должна быть минимальной. Общий объем первичного и вторичного воздуха регулируется путем изменения числа оборотов (преобразователь частоты) вентиляторов. Для подачи воздуха предусматриваются радиальные воздуходувки

Газо-мазутные горелки, расположенные в боковых стенах топки разогревают топку и камеру дожигания до температуры 850 °С, затем при устойчивом горении отходов на цепной решетке, горелки отключаются.

Требования к горелкам [6]:

- при сжигании отходов температура в зоне дожигания как минимум должна составлять 850 °С в течении 2 секунд,
- загрузка установки отходами разрешается только после достижения температуры 850 °С работой вспомогательных горелок,
- при отключении установки минимальная температура должна поддерживаться включением вспомогательных горелок.

В случае понижения заданных значений автоматически зажигаются горелки, чтобы обеспечить полное выгорание. Для этого они всегда в готовности и вентиляторами запирающего воздуха в зоне среза сопла охраняются от радиации топки. Горелки оснащены собственным блоком управления, а зажигание и пламя контролируются соответствующими устройствами. Кроме того, они имеют отдельные вентиляторы для воздуха сжигания и запирающего воздуха.

Отходы поступают непрерывно, по мере перемещения цепной решетки в топочной камере, они воспламеняются под воздействием излучения топочных газов, кладки печи и сгорают. С цепной решетки зола сбрасывается

в водоохлаждаемый зольный бункер. Откуда по мере накопления через пневмошибер выгружаются на транспортер.

Для отсоса испарений над участком разгрузки мокрого шлакоудалителя предусмотрена механическая вытяжная установка из кислотостойкого стального листа. Отсасываемые испарения с помощью воздухоудвки подают в топку.

Продукты сгорания из топки попадают в камеру дожигания, имеющую в верхней части расширение для гравитационной сепарации, где происходит дожигания топочных газов и частиц уноса, затем дымовые газы поступают в газотрубный котел, воздухоподогреватель, батарейный циклон и далее в дымовую трубу. Температура в камере дожигания регулируется скоростью движения цепной решетки и разрежением создаваемым дымососом.

Для обеспечения полного выгорания в камере дожигания с вертикальным движением газового потока сечение равномерно увеличивается. Уменьшается скорость движения дымовых газов, вследствие чего не полностью сгоревшие частицы, имеющие относительно большие размеры, будут выпадать из потока или зависать на определенной высоте и догорать. По мере выгорания частиц их масса будет уменьшаться, они будут подниматься выше в зону, где установлен дополнительный подвод воздуха, пока полностью не догорят.

Схематически установка представлена на рисунках 3.1, 3.2, 3.3.

Мощность установки

Общее количество отходов, подлежащих сжиганию, составляет 20 тонн в час (6500 тонн в год). Установка для сжигания отходов вырабатывает 6 тон пара в час с давлением 1,4 МПа.

В результате сжигания отходов образуются следующие побочные продукты:

- зола из топочной камеры в количестве 100 кг/ч;
- зола уноса из батарейного циклона в количестве 13 кг/ч.

Характеристика топлива:

Из общей массы отходов можно выделить несколько основных компонентов представленных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные компоненты ТБО

Бумага	34%;
Пищевые отходы	30%;
Текстиль	5%;
Стекло и камни	4%;
Отсев размером <15 мм	4,5%;
Металл	5%;
Пластмасса	10%;
Кожа и резина	1,6%;
Древесина	4%;
Кости	0,5%;
Прочее	0,5%.

Таблица 3.2 – Элементарный состав топлива на рабочую массу

W^P	34,76%;
A^P	31,09%;
S^P	0,11%;
C^P	17,4%;
H^P	2,24%;
N^P	0,55%;
O^P	13,85%
Q_H^P	7,82 МДж/кг

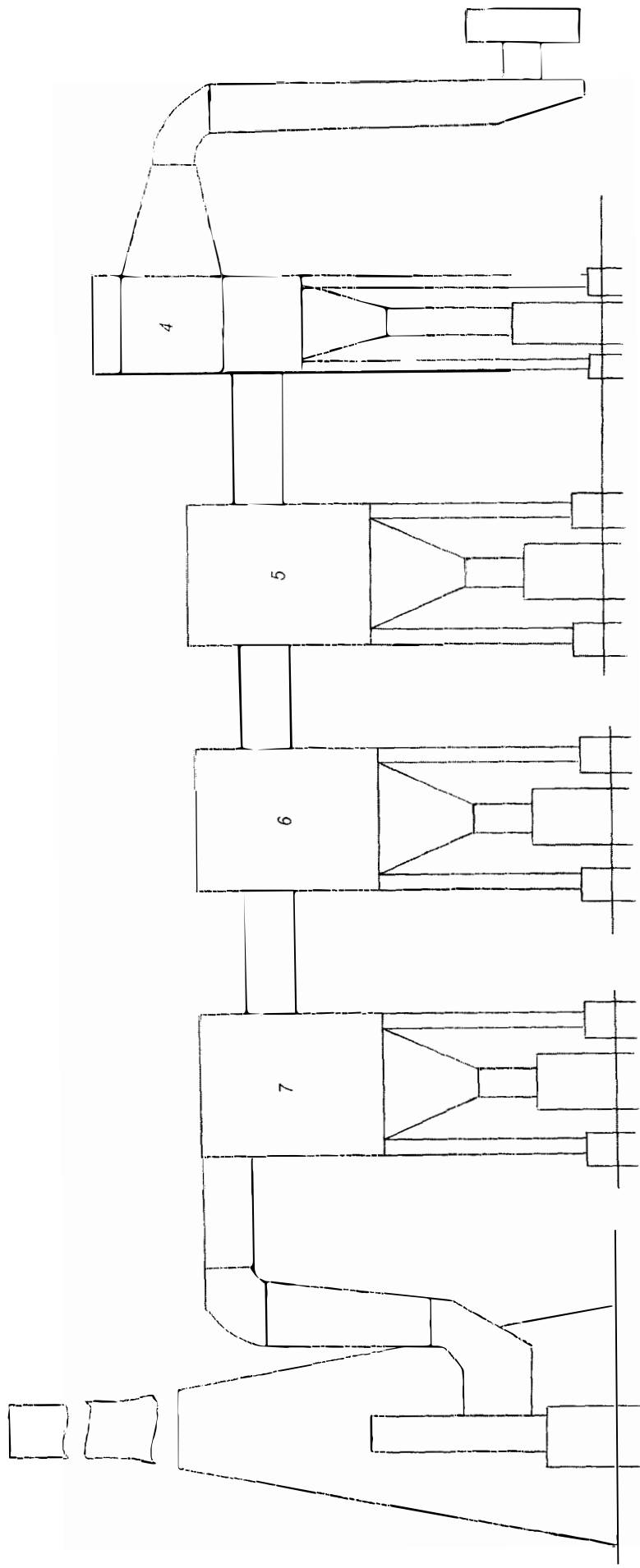


Рисунок 3.1 – Схема очистки дымовых газов

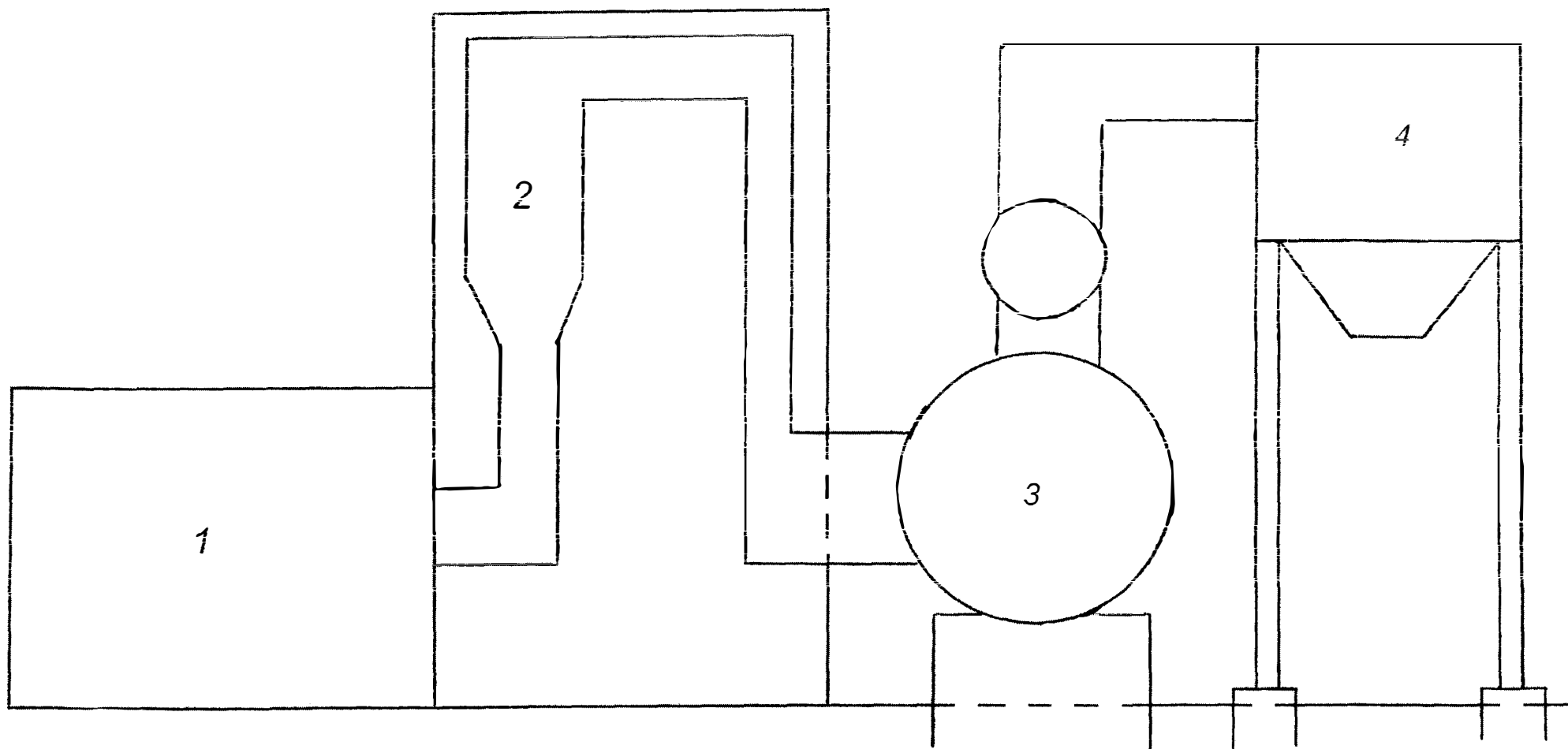


Рисунок 3.2 – Схема установки термической утилизации ТБО

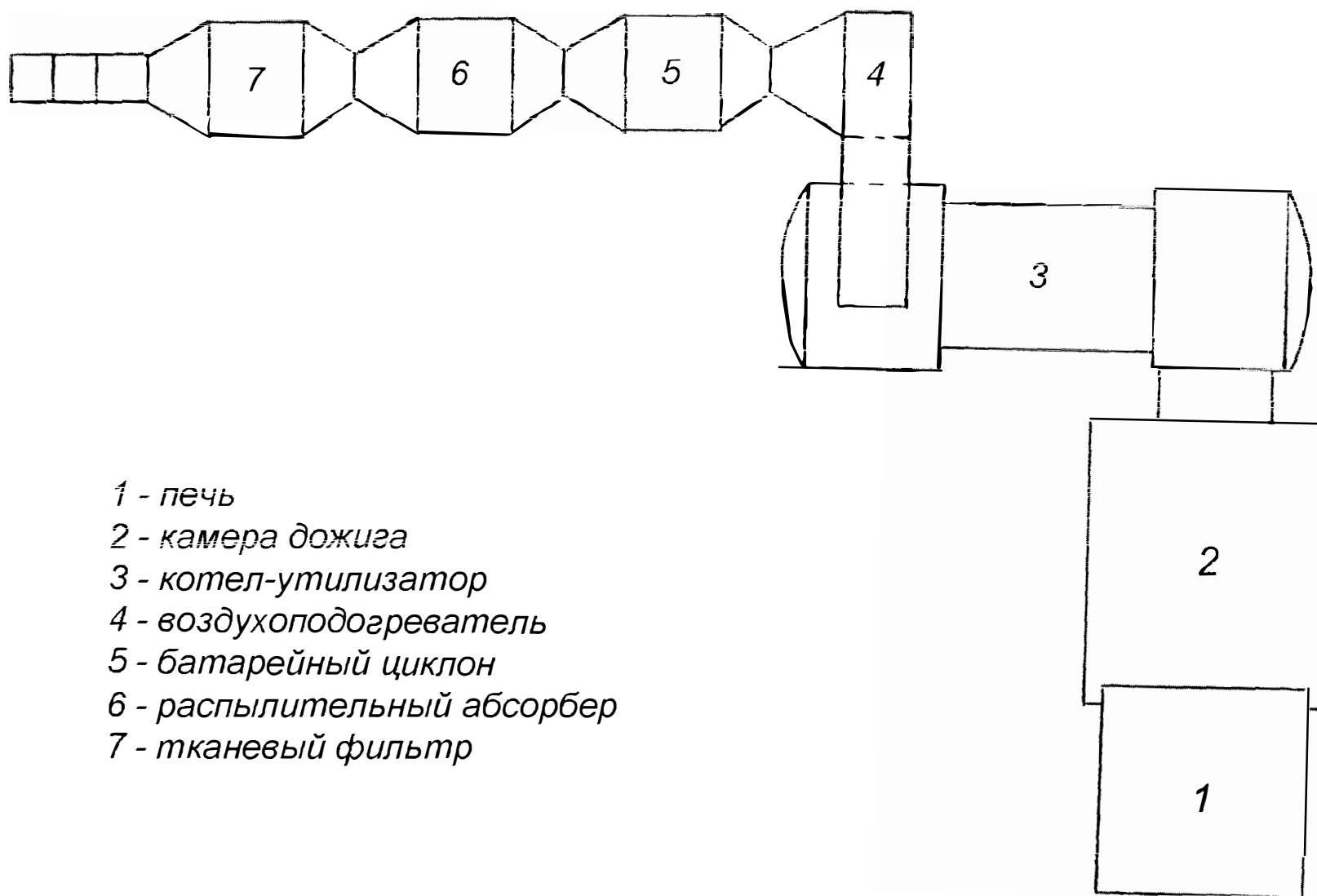


Рисунок 3.3 - Общий вид установки термической утилизации ТБО

4 Система очистки дымовых газов

Система очистки дымовых газов в принципе состоит из трех технологических ступеней, а именно из:

- ступени золоулавливания в батарейном циклоне,
- ступени высокоэффективной квазисухой распылительной абсорбции,
- ступени отделения веществ в фильтровальном кеке (лепешке) тканевого фильтра

Сущность технологической концепции квазисухой очистки дымовых газов заключается в следующем:

Выходящие из котлов дымовые газы прямо и без предварительного отделения пыли поступают в распылительный абсорбер, в котором они с помощью распыления сорбента очищаются от значительной части вредных веществ.

В этой связи для нейтрализации и абсорбции вредных кислых газов в распылительном абсорбере применяется суспензия гидроокиси кальция с прибавленным активированным углем [20].

Для обеспечения максимального отделения SO_2 , HCl и HF требуется выполнение следующих предпосылок:

- идеальное перемешивание распыленной жидкости с дымовыми газами, загрязненными вредными веществами,
- достаточное время пребывания дымовых газов в абсорбере для обеспечения приближения друг к другу потенциальных компонентов реакции и содействия происхождения желаемых химических реакций,
- производство сухого и сыпучего остаточного продукта,
- в результате адсорбции на поверхности активированного угля в дополнительном порядке отделяются тяжелые металлы, а также диоксины и фураны.

Во время реакции известкового молочка с вредными веществами производится также испарение воды, содержащейся в суспензии. Вследствие этого уменьшается температура дымового газа, причем заранее выбранная температура очищенного газа регулируется через количество подаваемой технической воды.

Температура газа на выходе из распылительного абсорбера обеспечивает не только высокую степень отделения вредных веществ, а, более того, большая разница между ней и точкой росы и соответствующая теплоизоляция исключают низкотемпературные коррозии. В дополнение к этому конус распылительного абсорбера обогревается [22].

То обстоятельство, что температура дымовых газов не понижаются ниже точки росы, а также влияние конструктивного решения на условия потока газов исключает прилипание, которое способно нарушить бесперебойную работу установки.

Вредные газы HCl , HF и SO_2 связываются после реакции с гидроксидом кальция и появляются в виде сухих остаточных продуктов вместе с летучей пылью и плавильным коксом, причем отделение сухих компонентов производится в последующем тканевом фильтре.

На фильтровальном кеке, образующемся на ткани фильтра, происходит дополнительное отделение газообразных вредных веществ.

В дальнейшем, отдельные транспортеры обеспечивают перемещение конечного продукта к накопителям остаточных продуктов.

Следующий обзор дает упрощенное описание химических и физических процессов в абсорбере [23]:

Вредное газообразное вещество	Сорбент в виде суспензии	Продукт реакции (сухой)
SO_3	$+ \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow$	$\text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
SO_2	$+ \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow$	$\text{CaSO}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$
2HCl	$+ \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow$	$\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
2HF	$+ \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow$	$\text{CaF}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$

Данная технология предоставляет следующие преимущества:

- отсутствие сточных вод,
- высокая степень отделения пыли, HCl , SO_2 , HF и тяжелых металлов, а также диоксинов и фуранов,
- благополучные показатели в отношении потребности в CaO , благодаря низкой рабочей температуре,
- разумный и экономичный объем технического оборудования, требующего лишь незначительного технического обслуживания

Распылительный абсорбер

Распылительный абсорбер представляет собой сердцевину процессов "очистки дымовых газов без образования сточных вод".

Горячие дымовые газы подаются в распылительный абсорбер через испытанную во многих отношениях насадку для подачи горячего воздуха. Это устройство оснащено направляющими листами и поворотными завихрителями, которые создают предпосылки для интенсивного перемешивания реакционного газа с распыленной жидкостью.

Для распыления суспензии гидроокиси кальция применяется распылительный диск, специальный разработанный для данной технологии, конструкция которого в сочетании с соответствующим устройством распределения жидкости обеспечивает высококачественное распыление, так что эрозия на дне диска приводится к минимуму.

Привод распылительного диска осуществляется специальным агрегатом, состоящим в основном из планетарной передачи и электродвигателя. Распылительный агрегат можно заменить во время эксплуатации установки. Для смены агрегата требуются прилб. 15 минут.

В зависимости от содержащихся в дымовых газах вредных веществ HCl и SO_2 , известковое молочко подается с регулированием количества. Соответствующее регулирующее устройство допускает принятие других мер по оптимизации процесса.

В дополнение к этому добавляется техническая вода через регулятор температуры, что в значительной мере позволяет поддерживать температуру на выходе на уровне прим. 140 ° вне зависимости от температур на входе [24].

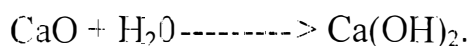
Обеспечение известковым молочком

Квазисухая очистка дымовых газов осуществляется с помощью химически весьма активной гидроокиси кальция, которая выпускается в внутренних сооружениях на основе негашеной извести (CaO).

Для приготовления гидроокиси кальция требуются гашение предоставленной негашеной извести (CaO) и ее разбавление водой до желаемой концентрации.

Для обеспечения оптимальной температуры при гашении извести процесс производится на двух этапах:

На первом этапе осуществляется гашение извести в 25%-ной суспензии согласно формуле



Поскольку реакция происходит экзотермически, в ее ходе достигается температура около 60 °C [25].

На втором этапе суспензия гидроокиси кальция снижается до концентрации 10 %, причем на этом этапе также добавляется необходимое количество активированного угля.

После окончания процесса гашения и разбавления известковая суспензия с помощью питательного насоса перекачивается из накопителя через кольцевой трубопровод к распылительным агрегатам, установленным на крыше абсорбера. Лишнее известковое молочко подается обратно в накопитель.

Бункер для CaO заполняется через загрузочный трубопровод с помощью компрессора машины, доставляющей его. Для отвода сжатого

воздуха для пневмотранспорта CaO из бункера на потолке бункера предусматривается установка фильтра вытяжного воздуха.

Обеспечение сорбентом (активированным углем)

Для достижения лучшей степени отделения ртути и диоксинов и фуранов предусматривается оснащение системы очистки дымовых газов так называемым "узлом уменьшения вредных выбросов".

Технологическая концепция узла уменьшения выбросов базируется на добавке сорбента (активированного угля) в суспензию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с последующим его распылением по потоку дымовых газов в абсорбере.

Накопленный в течение много лет опыт в связи с работой коммерческих установок по очистке дымовых газов показывает, что адсорбционные процессы на поверхности активированного угля обеспечивают высокие степени по очистке от ртути, а также от диоксинов и фуранов, что позволяет соблюдение требований о воздействии вредных веществ на окружающую среду и даже понижение выбросов ниже требований.

В распылительном абсорбере и в последующем тканевом фильтре обеспечивается интенсивный контакт высокодисперсного активированного угля. При этом отделяемые от дымовых газов вредные вещества связываются сорбентом и, после этого, выносятся вместе с ним и другими твердыми продуктами реакций. Данный процесс происходит при температуре 140° , стоящей обычно в абсорбере и тканевом фильтре.

Подача пылеобразного активированного угля в известковую суспензию происходит в накопителе установки по подготовке известкового молочка. После прохождения накопителя оба суспендированных вещества поступают через распылительный диск в абсорбер, где они вступают в контакт с газообразными вредными веществами.

Тканевый фильтр

После прохождения распылительного абсорбера дымовые газы температурой 140 ° пропускаются через тканевый фильтр для сепарации пыли.

Тканевый фильтр состоит из некоторых параллельных фильтровальных камер, последовательно расположенных друг за другом по пути газа.

Корпус фильтра с помощью изолированных перегородок разделен на камеры неочищенного и очищенного газов.

Камеры отделены друг от друга герметичной промежуточной изоляцией.

Комбинированный канал неочищенного и очищенного газа размещен сбоку от фильтра и связан с отдельными камерами фильтра присоединительными коробами

Особенности: Предоставляется возможность при работе установки запирать отдельные камеры фильтра и заменить отдельные рукава фильтра без отключения установки

Газ, подлежащий очистке, попадает через канал подачи неочищенного газа в камеру предварительной сепарации. Газы протекают сквозь фильтровальные рукава снаружи внутрь, причем твердые частицы остаются на наружной стороне материала -нетканого изделия. Опорные корзины, вставленные в рукава, не дают рукавам обвиснуть.

Очищенные газы попадают изнутри фильтровальных рукавов в расположенную над ними камеру очищенного газа и в канал-сборник очищенного газа.

Для очистки фильтровальных рукавов кратковременно открывают мембранный клапан, и сжатый воздух из накопителя через сопло протекает на соответствующий ряд фильтровальных рукавов.

Рукавные фильтры представляют собой пылеуловители с полностью автоматизированной двухступенчатой очисткой импульсами сжатого газа. Сжатый воздух вытекает почти со скоростью звука и благодаря

инжекторному действию захватывает с собой очищенный газ в качестве вторичного газа. Весь поток продувочного газа, состоящий из сжатого газа и очищенного газа, рывком входит в фильтровальный рукав, кратковременно прерывая нормальный фильтровальный поток, и рукав, который до сих пор был звездообразно втянут внутрь, оставаясь открытым благодаря опорной корзине, теперь резко раздувается. Лепешка из пыли, осевшая с наружной стороны, разламывается и отваливается.

Одновременно с этим по фильтровальному рукаву протекает сильный поток продувочного газа, поэтому и внутри рукава сепарированные пылевые частицы отделяются от его поверхности и выносятся потоком.

Снятая пыль падает вниз в пылеприемный бункер.

Этому процессу способствует горизонтальное, с небольшим наклоном вниз, течение потока неочищенного газа на фильтровальные элементы [26].

Обеспечение известью и активированным углем

Гидроокись кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и активированный уголь поставляются автоцистернами и подвергаются промежуточному складированию в отдельных бункерах для обеспечения обеих линий очистки дымовых газов.

5 Расчет выбросов вредных веществ

Расчет выбросов твердых частиц летучей золы и недогоревшего топлива (т/год, г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами установки в единицу времени при сжигании топлива:

$$\Pi_{mv} = B \cdot A^p \cdot \chi \cdot (1 - \eta), \quad (5.1)$$

где B – расход топлива, г/с;

A^p – зольность топлива, %; $A^p = 31,09$

η - доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях, %, $\eta = 0,8$

χ - доля золя в уносе, принимаем 0,02

$$\Pi_{mv} = 278 \cdot 3.3 \cdot 0.02 \cdot (1 - 0.8) = 0,37 \text{ г/с}$$

Оксиды серы

Расчет выбросов оксидов серы в пересчете на SO_2 (т/год, т/час, г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами установки в единицу времени

$$\Pi_{SO_2} = 0.02 \cdot B \cdot S^p \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}), \quad (5.2)$$

где S^p - содержание серы в топливе, %;

η''_{SO_2} - доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива, %, для сухих золоуловителей принимаем $\eta''_{SO_2} = 0$

η'_{SO_2} - доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива, %

$\eta'_{SO_2} = 0,5$

$$P_{SO_2} = 0.02 \cdot 278 \cdot 0,11 \cdot (1 - 0.5) \cdot (1 - 0) = 0,38 \text{ г/с}$$

Оксид углерода

Расчет выбросов оксида углерода в единицу времени (т/год, г/с)

$$P_{CO} = 0.001 \cdot B \cdot C_{CO} \cdot \left(1 - \frac{q_n}{100}\right), \quad (5.3)$$

где q_n - потери тепла от механического недожога, %, $q_n = 2,7\%$

C_{CO} - выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q_n^p \quad (5.4)$$

где q_3 - потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, %, $q_3 = 0,013\%$

R - коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной наличием в продуктах сгорания оксида углерода. Для твердого топлива $R = 1$.

Q_n^p - низшая теплота сгорания ТБО, МДж/кг, $Q_n^p = 7,8$ МДж/кг

$$C_{CO} = 0.013 \cdot 1 \cdot 7.8 = 0,1 \text{ кг/т}$$

$$P_{CO} = 0.001 \cdot 278 \cdot 0,1 \cdot \left(1 - \frac{2,7}{100}\right) = 0,095 \text{ г/с}$$

Оксиды азота

Количество оксидов азота (в пересчете на NO_2), выбрасываемых в единицу времени (т/год, г/с),

$$P_{NO_2} = .001 \cdot B \cdot Q_n^p \cdot k_{NO_2} (1 - \beta) \quad (5.5)$$

где k_{NO_2} - параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на 1 ГДж тепла, кг/ГДж, $k_{NO_2} = 0,12$ [19]

β - коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов оксидов азота в результате применения технических решений, $\beta = 0$ [19]

$$P_{NO_2} = .001 \cdot 278 \cdot 7,8 \cdot 0,12 \cdot 1 = 0,3 \text{ г/с}$$

Расчет рассеивания из единичного источника

Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ C_m для выброса нагретой газовой-воздушной смеси из одиночного источника с круглым устьем при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии X_m от источника определяем по формуле

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^3 \cdot \sqrt[3]{\Delta T \cdot V_{yx}}} \quad (5.6)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе. Принимаем для Казахстана $A = 200$ [19];

M – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. Для газообразных веществ $F = 1$;

m, n – безразмерный коэффициент, учитывающий условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;

H – высота источника над уровнем земли, $H = 44$ м;

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси $T_g = 200$ °С и температурой окружающего атмосферного воздуха $T_a = 25$ °С; $\Delta T = 175$ °С;

V_{yx} – объем газовой смеси, м³/с;

D – диаметр устья источника выброса, м

$$V_{yx} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \omega_o \quad (5.7)$$

Объем уходящих газов установки для сжигания изношенных шин (по расчету горения)

$$V_{yx} = 18,87 \cdot 0,23 \left(\frac{273 + 200}{273} \right) = 7,24 \text{ м}^3/\text{с}$$

Средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса, м/с, диаметр трубы 1,8 м

$$\omega_o = \frac{4 \cdot V_{yx}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 7,24}{3,14 \cdot 1,8^2} = 2,84 \text{ м/с}$$

Величина безразмерного коэффициента m определяется по формуле

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \quad (5.8)$$

$$f = 10^3 \frac{\omega_o^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = 10^3 \frac{2,84^2 \cdot 1,8}{44^2 \cdot 175} = 0,043 \quad (5.9)$$

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1\sqrt{0.04} + 0.34\sqrt[3]{0.04}} = 1.22$$

Коэффициент n определяется в зависимости от величины параметра v_M , вычисляемого по формуле

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{yx} \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{7,24 \cdot 175}{44}} = 2,01 \quad (5.10)$$

при $v_M > 2$ $n = 1$ [19]

Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ C_M при неблагоприятных метеорологических условиях достигается на оси факела выброса на расстоянии X_M от источника выброса. Величина X_M определяется по формуле

$$X_M = d \cdot H \quad (5.11)$$

где d – безразмерная величина, определяется по формуле

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_M} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) = 7\sqrt{2,01} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{0,04}) = 11,2 \quad (5.12)$$

$$X_M = 11,2 \cdot 44 = 492,2$$

Величина опасной скорости ветра u_M , на уровне флюгера, при которой имеет место наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ с атмосферном воздухе C_M принимаем

$$u_M = v_M (1 + 0,12\sqrt{f}) = 2,01 \cdot (1 + 0,12\sqrt{0,04}) = 2,07 \text{ м/с} \quad (5.13)$$

Определим максимальные концентрации вредных веществ

Твердые частицы

$$C_{M_1} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{yx}} \cdot \Delta T} = \frac{200 \cdot 0,37 \cdot 2,5 \cdot 1,22 \cdot 1}{44^2 \cdot \sqrt[3]{7,2 \cdot 175}} = 10,5 \cdot 10^{-3} \text{ мг/м}^3$$

Оксиды серы

$$C_{M_2} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{yx}} \cdot \Delta T} = \frac{200 \cdot 0,38 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1}{44^2 \cdot \sqrt[3]{7,2 \cdot 175}} = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ мг/м}^3$$

Оксид углерода

$$C_{M_3} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{yx}} \cdot \Delta T} = \frac{200 \cdot 0,095 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1}{44^2 \cdot \sqrt[3]{7,2 \cdot 175}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ мг/м}^3$$

Оксиды азота

$$C_{M_4} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_{yx}} \cdot \Delta T} = \frac{200 \cdot 0,3 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1}{44^2 \cdot \sqrt[3]{7,2 \cdot 175}} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ мг/м}^3$$

Результаты расчета выбросов вредных веществ установкой для сжигания твердых бытовых отходов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Выбросы вредных веществ

Наименование параметра	Твердые частицы	SO_2	CO	NO_2
Масса выброса, М, г/с	0,37	0,38	0,095	0,30
Максимальная приземная концентрация, C_m , мг/м ³	$10,5 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Предельная допустимая концентрация (ПДК), мг/м ³ [21]	3- 0,5	0,5	3	0,085

Результаты расчетов показывают, что величина наибольшей концентрации каждого вредного вещества в приземном слое атмосферного воздуха меньше величины максимальной разовой предельно допустимой концентрации каждого вещества в атмосферном воздухе.

6 Тепловой расчет

6.1 Расчет топки

Исходные данные для расчета

Суточная производительность установки 20 т/сутки

Часовая производительность установки 833 кг/ч

Секундная производительность установки 0,232 кг/с

Усредненный состав отходов

$$\begin{array}{llll} W^P = 34,76\%; & A^P = 31,09\%; & S^P = 0,11\%; & C^P = 17,4\%; \\ H^P = 2,24\%; & N^P = 0,55\%; & O^P = 13,85\% & Q_H^P = 5,82 \text{ МДж/кг} \end{array}$$

Топка с колосниковой решеткой с нижней подачей воздуха.

В первом приближении температуру горячего воздуха после воздухоподогревателя принимаем $t_{ГВ} = 110^\circ \text{C}$.

Эту температуру уточняем после расчета воздухоподогревателя.

Теоретическая температура горения $t_m = 1100^\circ \text{C}$.

Потери тепла в окружающую среду через ограждения топki $q_5 = 1,2\%$.

Потери тепла со шлаком $q_{\text{шл}} = 1,5\%$.

Присосы холодного воздуха в топку $\Delta\alpha_m = 0,5$

Коэффициент избытка воздуха за топкой

$$\alpha_m^{\text{yx}} = \alpha_m + \Delta\alpha_m = 2,0 + 0,5 = 2,5 \quad (6.1)$$

Расчет количества и состава продуктов сгорания (при нормальных условиях на 1 кг отходов)

Теоретический расход воздуха

$$\begin{aligned} V^o &= 0,0889 \cdot (C^p + 0,375S^p - 0,265H^p - 0,0333O^p) = \\ &= 0,0889 \cdot (17,4 + 0,375 \cdot 0,11 + 0,265 \cdot 2,24 - 0,0333 \cdot 13,85) = 7,31 \text{ м}^3 / \text{кг} \end{aligned} \quad (6.2)$$

Действительный расход воздуха

$$V^d = V^o \cdot \alpha_m = 7,31 \cdot 2,0 = 14,62 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad (6.3)$$

Теоретический объем азота

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot V^o + 0,8 \cdot \frac{N^p}{100} = 0,79 \cdot 7,31 + 0,8 \cdot \frac{0,55}{100} = 5,78 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad (6.4)$$

Объем сухих трехатомных газов

$$V_{RO_2} = 1,866 \cdot \frac{C^p + 0,375 \cdot S^p}{100} = 1,866 \cdot \frac{17,4 + 0,375 \cdot 0,11}{100} = 1,52 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad (6.5)$$

Теоретический объем водяных паров

$$\begin{aligned} V_{H_2O}^o &= 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V^o = \\ &= 0,111 \cdot 2,24 + 0,0124 \cdot 34,76 + 0,0161 \cdot 7,31 = 5,93 \text{ м}^3 / \text{кг} \end{aligned} \quad (6.6)$$

Действительный объем водяных паров

$$\begin{aligned} V_{H_2O} &= V_{H_2O}^o + 0,0161 \cdot (\alpha_m - 1) \cdot V^o = \\ &= 5,93 + 0,0161 \cdot (2,0 - 1) \cdot 7,31 = 7,11 \text{ м}^3 / \text{кг} \end{aligned} \quad (6.7)$$

Объем продуктов сгорания

$$\begin{aligned} V_{\text{ПГ}} &= V_{\text{RO}_2} + V_{\text{N}_2}^0 + V_{\text{H}_2\text{O}} + (\alpha_m - 1) \cdot V^0 = \\ &= 1,52 + 5,78 + 7,11 + (2,0 - 1) \cdot 7,31 = 22,32 \text{ м}^3 / \text{кг} \end{aligned} \quad (6.8)$$

Избыточный объем воздуха

$$\Delta V_{\text{в}} = (\alpha_m - 1) \cdot V^0 = (2,0 - 1) \cdot 7,31 = 7,3 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad (6.9)$$

В том числе избыточный объем азота

$$\Delta V_{\text{N}_2} = 0,79 \cdot V^0 = 0,79 \cdot 7,31 = 5,77 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad (6.10)$$

Действительный объем азота

$$V_{\text{N}_2} = V_{\text{N}_2}^0 + \Delta V_{\text{N}_2} = 5,78 + 5,77 = 11,55 \text{ м}^3 / \text{кг} \quad (6.11)$$

Объемный состав продуктов сгорания в %

$$\text{RO}_2 = \frac{V_{\text{RO}_2}}{V_{\text{ПГ}}} \cdot 100 = \frac{1,52}{22,32} \cdot 100 = 9,95\% \quad (6.12)$$

$$\text{N}_2 = \frac{V_{\text{N}_2}}{V_{\text{ПГ}}} \cdot 100 = \frac{11,55}{22,32} \cdot 100 = 75,29\% \quad (6.13)$$

$$\text{O}_2 = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{ПГ}}} \cdot 100 = \frac{1,54}{22,32} \cdot 100 = 10,1\% \quad (6.14)$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\text{ПГ}}} \cdot 100 = \frac{7,11}{22,32} \cdot 100 = 4,66\% \quad (6.15)$$

Объемный доли трехатомных газов

$$r_r = \frac{V_{RO_2}}{V_{ПГ}} + \frac{V_{H_2O}}{V_{ПГ}} = 0,1 + 0,047 = 0,147 \quad (6.16)$$

Концентрация уноса в продуктах сгорания (безразмерная)

$$\mu_{зг} = \frac{A^p \cdot \alpha_{зг}}{100 \cdot G_z} = \frac{31,09 \cdot 0,1}{100 \cdot 20,1} = 0,96 \cdot 10^{-3} \text{ кг/кг} \quad (6.17)$$

где $\alpha_{зг} = 0,1$ (доля золы, уносимой с газами). Для слоевых топок с цепной решеткой [27].

Масса продуктов сгорания

$$G_z = 1 - \frac{A^p}{100} + 1,306 \cdot \alpha_m \cdot V^o = 1 - \frac{31,09}{100} + 1,306 \cdot 2,0 \cdot 7,31 = 20,1 \quad (6.18)$$

Количество продуктов сгорания (часовое)

$$\sum V_{ПГ} = B_{\text{ч}} \cdot V_{nз} = 12762 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (6.19)$$

Секундный расход продуктов сгорания

$$\nu_{nз} = \frac{\sum V_{nз}}{3600} = 3,55 \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.20)$$

Количество продуктов сгорания и их состав на выходе из топки

$$V_{N_2}^o = 1,52 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{RO_2} = 5,7 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V_{H_2O} = 5,9 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$\Delta V_6^{yx} = (\alpha_m^{yx} - 1) \cdot V^o = (2,5 - 1) \cdot 7,31 = 10,97 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Объем продуктов сгорания

$$V_{\text{пр}} = V_{RO_2} + V_{N_2}^o + V_{H_2O}^o + \Delta V_6^{yx} = 1,52 + 5,78 + 5,9 + 10,9 = 23,8 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (6.21)$$

Объем водяных паров (действительный)

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + 0,0161 \cdot (\alpha_m^{yx} - 1) \cdot V^o = 5,93 + 0,0161 \cdot (2,5 - 1) \cdot 7,31 = 6,14 \quad (6.22)$$

Действительный объем азота

$$V_{N_2} = V_{N_2}^o + 0,79 \cdot \Delta V_6^{yx} = 5,78 + 0,79 \cdot 10,97 = 14,45 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (6.23)$$

Объем кислорода в продуктах сгорания

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot \Delta V_6^{yx} = 0,21 \cdot 10,97 = 2,28 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (6.24)$$

Состав продуктов сгорания на выходе из топки в %

$$RO_2 = \frac{V_{RO_2}}{V_{n_2}^{yx}} \cdot 100 = 8,06\% \quad (6.25)$$

$$N_2 = \frac{V_{N_2}}{V_{n_2}^{yx}} \cdot 100 = 76,58\% \quad (6.26)$$

$$O_2 = \frac{V_{O_2}}{V_{n_2}^{yx}} \cdot 100 = 10,06\% \quad (6.27)$$

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V_{n_2}^{yx}} \cdot 100 = 5,3\% \quad (6.28)$$

Секундный и часовой расход продуктов сгорания на выходе из топки

$$V_{n_2}^{yx} = B \cdot V_{n_2}^{yx} = 4,38 \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.29)$$

$$\sum V_{n_2}^{yx} = 3600 \cdot V_{n_2}^{yx} = 15768 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (6.30)$$

Действительная температура с учетом потерь тепла

$$t_d = 0,973 \cdot 1100 \cdot (1 - 0,05) = 1020 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.31)$$

Количество присосов холодного воздуха

$$\Delta V_m^g = 0,232 \cdot (\alpha_m^{yx} - \alpha_m) \cdot \Delta V_g = 0,232 \cdot (2,5 - 2,0) \cdot 7,31 = 0,848 \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.32)$$

$$\Delta V_m^g = 3053 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Температура уходящих газов за топкой с учетом присосов холодного воздуха

$$t_{d,m}^{yx} = \frac{B_q \cdot C_{n_2} \cdot t_d \cdot V_{n_2}}{(\sum V_{n_2} + \Delta V_m^g) \cdot C_{n_2}} = \frac{833 \cdot 1,53 \cdot 1020 \cdot 22,32}{(12762 + 3053) \cdot 1,53} = 947 \text{ }^\circ\text{C} \quad (6.33)$$

Теплонапряжение зеркала горения

$$\frac{B \cdot Q_u^p}{R} = \frac{0,232 \cdot 7800}{16,2} = 320 \text{ кВт/м}^2 \quad (6.34)$$

Теплонапряжение топочного объема (объемная тепловая плотность)

$$\frac{B \cdot Q_H^p}{V_m} = \frac{0.232 \cdot 7800}{51.9} = 121.6 \text{ кВт/м}^3 \quad (6.35)$$

6.2 Расчет камеры дожигания

Температура продуктов сгорания на входе в камеру дожигания

$$t'_{\kappa\partial} = t_{\partial m}^{yx} = 947 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Энтальпия продуктов сгорания

$$I_{\kappa\partial} = 18,87 \cdot 1,53 \cdot 947 = 27341 \text{ кДж/кг}$$

Присосы в камере дожигания $\Delta\alpha_{\kappa\partial} = 0,1$ [27]

Коэффициент избытка воздуха в камере дожигания

$$\alpha_{\kappa\partial} = \alpha_m^{yx} + \Delta\alpha_{\kappa\partial} = 2,5 + 0,1 = 2,6 \quad (6.36)$$

Количество продуктов сгорания при $\alpha_{\kappa\partial} = 2,6$

$$\begin{aligned} V_{RO_2} &= 1,52 \text{ м}^3/\text{кг} & V_{O_2} &= 2,46 \text{ м}^3/\text{кг} & V_{N_2} &= 15,03 \text{ м}^3/\text{кг} \\ V_{H_2O} &= 6,14 \text{ м}^3/\text{кг} & V_{n_2}^{\kappa\partial} &= 19,6 \text{ м}^3/\text{кг} \end{aligned}$$

Состав продуктов сгорания на выходе из камеры дожигания

$$RO_2 = 7.7\%$$

$$N_2 = 76.7\%$$

$$H_2O = 3.1\%$$

$$O_2 = 12.5\%$$

Объемная доля трехатомных газов

$$r_n = r_{CO_2} + r_{H_2O} = 0,077 + 0,031 = 0,108 \quad (6.37)$$

Часовой расход продуктов сгорания на выходе из камеры дожигания

$$\sum V_{n2}^{KO} = B_u \cdot V_{n2}^{KO} = 833 \cdot 19,6 = 16,327 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (6.38)$$

Секундный объем продуктов сгорания

$$\nu_{n2}^{KO} = B \cdot V_{n2}^{KO} = 0,232 \cdot 19,6 = 4,55 \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.39)$$

Температура продуктов сгорания на выходе из камеры дожигания с учетом потерь тепла в окружающую среду ($q_5 = 2\%$)

$$t_{\partial}^{KO} = 0,98 \cdot 9,47 = 928^{\circ} \text{C}$$

Окончательная температура продуктов сгорания на выходе из камеры дожигания с учетом присосов холодного воздуха составит

$$t_{KO}^{yx} = \frac{B_u \cdot C_{n2}^{ex} \cdot t_{\partial}^{KO} \cdot V_{n2}^{yx}}{(\sum V_{n2}^{yx} + \Delta V_{\partial}^{KO}) \cdot C_{n2}^{yx}} = \frac{833 \cdot 1,47 \cdot 928 \cdot 18,87}{(15768 + 610) \cdot 1,464} = 894^{\circ} \text{C} \quad (6.40)$$

где прососы холодного воздуха

$$\Delta V_{\partial}^{KO} = (2,6 - 2,5) \cdot 7,31 \cdot 0,232 \cdot 3600 = 610 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (6.41)$$

Принимаем окончательную температуру продуктов сгорания на выходе из камеры дожигания $t_{\kappa\partial}^{yx} = 894^{\circ}\text{C}$

Энтальпия продуктов сгорания на выходе из камеры дожигания при $t_{\kappa\partial}^{yx}$

$$J_{\kappa\partial}^{yx} = V_{n_2}^{\kappa\partial} \cdot C_{n_2}^{\kappa\partial} \cdot t_{\kappa\partial}^{yx} = 19,6 \cdot 1,46 \cdot 894 = 25583 \text{ кДж/кг} \quad (6.42)$$

Объемная тепловая плотность (теплонпряжение объема) камеры дожигания

$$B \cdot \frac{J_{\kappa\partial}}{V_{\kappa\partial}} = \frac{0,232 \cdot 25583}{41} = 145 \text{ кВт/м}^3 \quad (6.43)$$

6.3 Тепловой расчет котла-утилизатора Г – 445 Б

Исходные данные для расчета

Котел вырабатывает насыщенный пар

Давление насыщенного пара -- 1,4 МПа

Температура насыщенного пара -- 194°C

Температура питательной воды -- 105°C

Поверхность нагрева котла -- 445 м^2

Диаметр труб --- 50 x 3 мм; число труб -- 648

Площадь живого сечения для прохода газов

$$F_z = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot N = \frac{3,14 \cdot 0,044^2}{4} \cdot 648 = 0,985 \text{ м}^2 \quad (6.44)$$

Длина труб

$$l = \frac{H}{\pi \cdot d_{\text{нор}} \cdot N} = \frac{445}{3,14 \cdot 0,050 \cdot 648} = 4,37 \text{ м} \quad (6.45)$$

Целью расчета является определение температуры газов за котлом и определение паропроизводительности котла.

Температуру газов на выходе в котел принимаем равной температуре продуктов сгорания на выходе из камеры дожигания

Температура газов на выходе $t_{\Gamma}' = 894^{\circ}\text{C}$

Энтальпия газов на входе на 1 кг сжигаемых отходов $J_{\Gamma}' = 25583 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

Энтальпия на 1 м³ продуктов сгорания $J_{\Gamma} = 1305 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$

Задаемся температурой газов на выходе из котла $t_{\Gamma}'' = 240^{\circ}\text{C}$

Энтальпия газов на выходе из котла

$$J_{\Gamma}'' = V_{\text{нз}}^{\text{кд}} \cdot C_{\Gamma}'' \cdot t_{\Gamma}'' = 19,6 \cdot 1,355 \cdot 240 = 6474 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{отх}} \quad (6.46)$$

$$\begin{aligned} C_{\Gamma}^{240} &= r_{\text{RO}_2} \cdot C_{\text{RO}_2} + r_{\text{N}_2} \cdot C_{\text{N}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{O}_2} \cdot C_{\text{O}_2} = \\ &= 0,077 \cdot 1,82 + 0,767 \cdot 1,303 + 0,031 \cdot 1,532 + 0,125 \cdot 1,345 = 1,355 \end{aligned} \quad (6.47)$$

Состав газов

$$\text{RO}_2 = 7,7 \%; \text{N}_2 = 76,7 \%; \text{H}_2\text{O} = 3,1 \%; \text{O}_2 = 12,5 \%$$

Теплоемкости отдельных газов приняты по таблице III [27]

Тепловосприятие поверхности нагрева котла по балансу

$$Q_{\text{к}}^6 = \varphi \cdot (J_{\Gamma}' - J_{\Gamma}'') = 0,988 \cdot (25583 - 6374) = 18978,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{отх}} \quad (6.48)$$

Средняя температура газов

$$t_z^{cp} = \frac{t_z' + t_z''}{2} = \frac{894 + 240}{2} = 567 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (6.49)$$

Средняя скорость газов в котле

$$\omega_z^{cp} = \frac{B \cdot V_{\kappa z} \cdot (t_z^{cp} + 273)}{F_z \cdot 273} = \frac{0,232 \cdot 19,6 \cdot (567 + 273)}{0,985 \cdot 273} = 14,2 \text{ м/с} \quad (6.50)$$

Объем продуктов сгорания на 1 кг сжигаемых отходов

$$V_{\kappa z} = V_{\pi z}^{\kappa \partial} = 19,6 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Средний температурный напор

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mu}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mu}}} = \frac{(894 - 194) - (240 - 194)}{2,3 \lg \frac{700}{46}} = 240 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (6.51)$$

$$\text{где } \Delta t_{\delta} = t_z' - t_{\pi\pi} = 894 - 194 = 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\mu} = t_z'' - t_{\pi\pi} = 240 - 194 = 46 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Теплофизические характеристики газов при средней температуре

$t_z^{cp} = 567^{\circ}\text{C}$ по таблице IV [27]

$$\lambda_z = 7,13 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \nu_z = 84 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; P_z = 0,71$$

Коэффициент теплоотдачи конвекции

$$\alpha_{\kappa} = 0.023 \frac{\lambda_{\varepsilon}}{\alpha_{\text{вн}}} \left(\frac{\omega_{\varepsilon}^{\text{сп}} \cdot \alpha_{\text{вн}}}{\nu'_{\varepsilon}} \right)^{0.8} Pr^{0.4} =$$

$$0,023 \frac{7,13}{0,044 \cdot 100} \left(\frac{14,2 \cdot 0,044 \cdot 10^6}{84} \right)^{0.8} \cdot 0,71^{0.4} = 40,6 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (6.52)$$

Эффективная толщина излучающего слоя

$$S_{\kappa} = 0,9 \cdot \alpha_{\text{вн}} = 0,9 \cdot 0,044 = 0,0396 \text{ м} \quad (6.53)$$

Суммарное парциальное давление трехатомных газов

$$P_{\text{г}} \cdot S = \dot{F} \cdot Z_{\text{г}} \cdot S = 0,1 \cdot (0,077 + 0,031) 0,0396 = 0,00043 \text{ МПа} \cdot \text{м} \quad (0,0043 \text{ атм} \cdot \text{м})$$

Коэффициент ослабления лучей трехатомными газами Ном. 3 [27]

$$K_{\text{г}} = 5,5$$

Коэффициент ослабления лучей сажистыми частицами (золой)

$$K_{\text{с}} = 0,48$$

Суммарная оптическая толщина газового потока

$$_{\text{кр}} S = 0,043$$

Степень черноты газового потока

$$\alpha \cong 0,05$$

Коэффициент теплоотдачи излучением

$$\alpha_{\text{л}} = \alpha \cdot \alpha_{\text{н}} = 0,05 \cdot 67,5 = 3,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (6.54)$$

Величину $\alpha_{\text{н}} = 67,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ определяем по Ном. 19 [27]

Суммарный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_{\text{кк}} = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}} = 40,6 + 3,4 = 44 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (6.55)$$

Коэффициент теплоотдачи для поверхности нагрева котла составляет

$$K_{\text{к}} = \psi \cdot \alpha_{\text{кк}} = 0,9 \cdot 44 = 39,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (6.56)$$

Тепловосприятие поверхности нагрева котла по уравнению теплопередачи

$$Q_{\text{к}}^{\text{м}} = \frac{K_{\text{к}} \cdot H_{\text{к}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}}{1000 \cdot \epsilon} = \frac{39,6 \cdot 445 \cdot 240}{1000 \cdot 0,232} = 18230 \text{ кДж/кг} \quad (6.57)$$

Невязка

$$\Delta Q = \frac{Q_{\text{к}}^{\text{б}} - Q_{\text{к}}^{\text{м}}}{Q_{\text{к}}^{\text{б}}} \cdot 100 = \frac{18978,5 - 18230}{18978,5} \cdot 100 = 3,94 \% \quad (6.58)$$

Принимаем температуру газов на выходе из котла $t_{\text{г}}'' = 245^{\circ}\text{C}$

Энтальпия газов на выходе из котла

$$J_{\varepsilon}'' = 19,6 \cdot 1,355 \cdot 245 = 6506,7 \text{ кДж/кг}$$

Тепловосприятие нагрева котла по балансу

$$Q_{\kappa}^{\bar{o}} = \varphi \cdot (J_{\varepsilon}' - J_{\varepsilon}'') = 0,988 \cdot (25583 - 6506,7) = 18847 \text{ кДж/кг} \quad (6.59)$$

Средний температурный напор

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_{\varepsilon}' - t_{nn}) - (t_{\varepsilon}'' - t_{nn})}{2,3 \lg \frac{(t_{\varepsilon}' - t_{nn})}{(t_{\varepsilon}'' - t_{nn})}} = \frac{(894 - 194) - (245 - 194)}{2,3 \lg \frac{700}{51}} = 247,7^{\circ} \text{C} \quad (6.60)$$

Тепловосприятие котла по уравнению теплопередачи

$$Q_{\kappa}^m = \frac{K_{\kappa} \cdot H_{\kappa} \cdot \Delta t_{cp}}{1000 \cdot \alpha} = \frac{39,6 \cdot 445 \cdot 247,7}{1000 \cdot 0,232} = 18814,5 \text{ кДж/кг} \quad (6.61)$$

Невязка

$$\Delta Q = \frac{Q_{\kappa}^{\bar{o}} - Q_{\kappa}^m}{Q_{\kappa}^{\bar{o}}} \cdot 100 = \frac{18847 - 18814,5}{18847} \cdot 100 = 0,17 \% \quad (6.62)$$

Окончательная температура газов на выходе $t_{\Gamma}'' = 245^{\circ} \text{C}$

Энтальпия газов $t_{\Gamma}'' = 6506,7 \text{ кДж/кг}$

Общее тепловосприятие в котле

$$Q_{\kappa} = e \cdot Q_{\kappa}^m = 0,232 \cdot 18814,5 = 4364,9 \text{ кВт} \quad (6.63)$$

Энтальпия насыщенного пара $i_{nn} = 2790 \text{ кДж/кг}$ при $p = 1,4 \text{ МПа}$,

$$t_{nn} = 194^{\circ}\text{C}$$

Энтальпия питательной воды $i_{ne} = 440 \text{ кДж/кг}$ при $t_{пв} = 105^{\circ}\text{C}$

Паропроизводительность котла

$$D = \frac{Q_{\kappa}}{i_{nn} - i_{ne}} = \frac{4364,9}{2790 - 440} = 1,8 \text{ кг/с} \quad (6.64)$$

При определении производительности котла продукта не учтена

Часовая производительность котла

$$D_{\text{ч}} = 3600 \cdot D = 3600 \cdot 1,8 = 6479 \text{ кг/ч} \quad (6.65)$$

$$D_{\text{ч}} = 6,5 \text{ т/ч}$$

6.4 Расчет воздухоподогревателя

Исходные данные для расчета

Воздухоподогреватель трубчатый ВП – 228

Конструктивные размеры приняты по чертежу № 00.9029.010 СБ

Поверхность нагрева $H_{ВП} = 228 \text{ м}^2$

Сечение для прохода газов $F_{\Gamma} = 1,45 \text{ м}^2$

Сечение для прохода воздуха $F_{\text{В}} = 1,23 \text{ м}^2$

Диаметр труб 40 x 1,5 мм

Количество труб $n = 1349 \text{ шт.}$

Расположение труб – шахматное

Температура газов на входе в воздухоподогреватель (из расчета котла)

$$t'_{\text{вн}} = t''_{\text{с}} = 245^{\circ} \text{C}$$

Энтальпия газов на входе в воздухоподогреватель

$$J'_{\text{вн}} = J''_{\text{с}} = 6506,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{отх}}$$

Присосы воздуха в воздухоподогреватель

$$\Delta \alpha_{\text{вн}} = 0,1$$

Коэффициент избытка воздуха на выходе из воздухоподогревателя

$$\alpha_{\text{вн}} = 2,6 + 0,1 = 2,7; \Delta V_{\text{в}} = (2,7 - 1) \cdot 7,31 = 12,43 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Объем газов на 1 кг сжигаемых отходов

$$V_{\text{с}}^{\text{вн}} = 1,52 + 5,783 + 0,593 + 12,43 = 20,3 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Действительный объем водяных паров

$$\begin{aligned} V_{\text{H}_2\text{O}} &= V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha_{\text{вн}} - 1) \cdot V^0 = \\ &= 0,593 + 0,0161 \cdot (2,7 - 1) \cdot 7,31 = 0,793 \text{ м}^3 / \text{кг} \end{aligned} \quad (6.66)$$

Действительный объем азота

$$V_{\text{N}_2} = V_{\text{N}_2}^0 + 0,79 \cdot \Delta V_{\text{в}} = 5,783 + 0,79 \cdot 12,43 = 15,6 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (6.67)$$

Объем кислорода в продуктах сгорания

$$V_{O_2} = 0,21 \Delta V_g = 0,21 \cdot 12,43 = 2,61 \text{ м}^3/\text{кг} \quad (6.68)$$

Состав газов за воздухоподогревателем

$$RO_2 = \frac{1,52}{20,3} \cdot 100 = 7,5 \text{ \%}; \quad N_2 = \frac{15,6}{20,3} \cdot 100 = 75,8 \text{ \%}$$

$$H_2O = \frac{0,793}{20,3} \cdot 100 = 3,9 \text{ \%}; \quad O_2 = \frac{2,61}{20,3} \cdot 100 = 12,8 \text{ \%}$$

Принимаем температуру газов за воздухоподогревателем

$$t''_{\text{звн}} = 180^\circ \text{ C}$$

Энтальпия газов за воздухоподогревателем

$$J''_{\text{звн}} = V_g^{\text{звн}} \cdot C_g^{\text{звн}} \cdot t''_{\text{звн}} = 20,3 \cdot 1,35 \cdot 180 = 4933 \text{ кДж/кг} \quad (6.69)$$

Средняя теплоемкость газов

$$C_{\text{звн}} = C_{RO_2} \cdot r_{RO_2} + C_{N_2} \cdot r_{N_2} + C_{H_2O} \cdot r_{H_2O} + C_{O_2} \cdot r_{O_2} =$$

$$= 1,77 \cdot 0,075 + 1,3 \cdot 0,758 + 1,52 \cdot 0,039 + 1,33 \cdot 0,128 = 1,33 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}} \quad (6.70)$$

Тепловосприятие поверхности нагрева со стороны газов по балансу

$$Q_{\text{звн}}^{\text{г}} = \varphi \cdot (J'_{\text{звн}} - J''_{\text{звн}}) = 0,988 \cdot (6506,7 - 4933) = 1555 \text{ кДж/кг} \quad (6.71)$$

Температура воздуха после воздухоподогревателя

$$t''_{\text{свн}} = \frac{Q_{\text{свн}}}{V_{\text{с}} \cdot C_{\text{с}}} + t'_{\text{свн}} = \frac{1555}{1,3 \cdot 14,62} + 20 = 102 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (6.72)$$

Средний температурный напор (противоток)

$$\Delta t_{\text{сн}}^{\text{нрсм}} = \frac{\Delta t_{\text{с}} + \Delta t_{\text{м}}}{2} = \frac{(180 - 20) + (245 - 102)}{2} = 151,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (6.73)$$

Действительный температурный напор

$$\Delta t_{\text{сн}} = \psi \cdot \Delta t_{\text{сн}}^{\text{нрсм}} = 0,89 \cdot 151,5 = 135 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (6.74)$$

Средняя температура газов

$$t_{\text{свн}}^{\text{ср}} = \frac{t'_{\text{свн}} + t''_{\text{свн}}}{2} = \frac{245 + 180}{2} = 212,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (6.75)$$

Средняя скорость газов

$$\omega_{\text{с}}^{\text{сн}} = \frac{B \cdot V_{\text{с}}^{\text{сн}} \cdot (t_{\text{свн}}^{\text{ср}} + 273)}{F_{\text{с}} \cdot 273} = \frac{0,232 \cdot 20,3 \cdot (212,5 + 273)}{1,45 \cdot 273} = 5,78 \text{ м/с} \quad (6.76)$$

Секундный объем газов

$$V_{\text{сн}}^{\text{с}} = B \cdot V_{\text{с}}^{\text{сн}} = 0,232 \cdot 20,3 = 4,71 \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.75)$$

Часовой объем газов (при нормальных условиях)

$$\sum V_{\text{вн}}^2 = V_{\text{вн}}^2 \cdot 3600 = 4,71 \cdot 3600 = 16956 \text{ м}^3/\text{с} \quad (6.76)$$

Коэффициент теплопередачи конвекций со стороны Ном. 14 [27]

$$\alpha_{\kappa\epsilon}^{\text{вн}} = C_{\phi} \cdot C_{\epsilon} \cdot \alpha_{\text{ч}} = 1,06 \cdot 1,02 \cdot 22,1 = 23,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (6.77)$$

Степень черноты газового потока $a = 0,041$ [27]

Коэффициент теплопередачи излучением (для запыленного потока)

Ном. 19 [27]

$$\alpha_{\gamma}^{\text{вн}} = a \cdot \alpha_{\text{ч}} = 0,041 \cdot 23,3 = 0,96 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (6.78)$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи со стороны газов

$$\alpha_{\epsilon}^{\text{вн}} = \alpha_{\kappa\epsilon}^{\text{вн}} + \alpha_{\gamma}^{\text{вн}} = 23,9 + 0,96 = 24,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (6.79)$$

Средняя температура воздуха

$$t_{\text{вн}}^{\phi} = \frac{t'_{\text{вн}} + t''_{\text{вн}}}{2} = \frac{20 + 102}{2} = 61 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (6.80)$$

Средняя скорость воздуха

$$\omega_{\epsilon}^{\text{ср}} = \frac{B \cdot V_{\phi} \cdot (t_{\text{вн}}^{\text{ср}} + 273)}{F_{\epsilon} \cdot 273} = \frac{0,232 \cdot 14,62 \cdot (61 + 273)}{1,23 \cdot 273} = 3,37 \text{ м/с} \quad (6.81)$$

Коэффициент теплоотдачи конвекций со стороны воздуха Ном. 13 [27]

$$\alpha_n = 46,5 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}; C_z = 1,0; C_s = 0,7; C_{\phi} = 1,01 \quad (6.82)$$

$$\alpha_{кв}^{вн} = \alpha_n \cdot C_z \cdot C_s \cdot C_{\phi} = 46,5 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,01 = 32,9 \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad (6.83)$$

Коэффициент теплопередачи

$$K_{вн} = \sum \frac{\alpha_z^{вн} \cdot \alpha_{кв}^{вн}}{\alpha_z^{вн} + \alpha_{кв}^{вн}} = 0,95 \cdot \frac{24,9 \cdot 32,9}{24,9 + 32,9} = 13,5 \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \quad (6.84)$$

Тепловосприятие поверхности нагрева по уравнению теплопередачи

$$Q_{вн}^m = \frac{K_{вн} \cdot H_{вн} \cdot \Delta t_{вн}}{1000 \cdot \nu} = \frac{13,5 \cdot 228 \cdot 135}{1000 \cdot 0,232} = 1791 \text{ кДж/кг} \quad (6.85)$$

Невязка

$$\Delta Q = \frac{1791 - 1555}{1791} \cdot 100 = 13,18 \% \quad (6.86)$$

Невязка составляет более 2%, поэтому расчет повторяем.

Принимаем температуру газов за воздухоподогревателем

$$\Delta t_{звн}'' = 174^{\circ} \text{С}$$

Энтальпия газов за воздухоподогревателем

$$J_{звн}'' = V_z^{вн} \cdot C_{звн} \cdot t_{звн}'' = 20,3 \cdot 1,35 \cdot 174 = 4768,5 \text{ кДж/кг} \quad (6.87)$$

Тепловосприятие поверхности нагрева со стороны газов по балансу

$$Q_{\text{згн}}^{\text{б}} = \varphi \cdot (J'_{\text{згн}} - J''_{\text{згн}}) = 0,988 \cdot (6506,7 - 4768,5) = 1717,3 \text{ кДж/кг} \quad (6.88)$$

Температура воздуха после воздухоподогревателя

$$t''_{\text{згн}} = \frac{Q_{\text{згн}}^{\text{б}}}{V_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}}} + t'_{\text{згн}} = \frac{1717,3}{14,62 \cdot 1,3} + 20 = 110^{\circ} \text{C} \quad (6.89)$$

Средний температурный напор

$$\Delta t_{\text{сн}} = \psi \cdot \frac{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}}}{2} = 0,89 \cdot \frac{(174 - 20) + (245 - 110)}{2} = 128,6^{\circ} \text{C} \quad (6.90)$$

Коэффициент теплопередачи не пересчитывается, так как изменение температуры газов и воздуха незначительно и не влияет практически на величину его.

Тепловосприятие поверхности нагрева по уравнению теплопередачи

$$Q_{\text{згн}}^{\text{т}} = \frac{K_{\text{сн}} \cdot H_{\text{сн}} \cdot \Delta t_{\text{сн}}}{1000 \cdot \sigma} = \frac{13,5 \cdot 228 \cdot 128,6}{1000 \cdot 0,232} = 1706,2 \text{ кДж/кг} \quad (6.91)$$

Невязка

$$\Delta Q = \frac{1717,3 - 1706,2}{1717,3} \cdot 100 = 0,65 \% \quad (6.92)$$

Окончательная температура газов за воздухоподогревателем

$$t''_{\text{згн}} = 174^{\circ} \text{C}$$

Температура воздуха после воздухоподогревателя

$$t''_{\text{вгн}} = 110^{\circ} \text{C}$$

Заключение

Подводя итог данной работы, можно сказать, что, утилизация и переработка отходов не ведется на должном уровне.

Острота проблемы, несмотря на достаточное количество путей решения, определяется увеличением уровня образования и накопления промышленных и бытовых отходов. Усилия зарубежных стран направлены, прежде всего, на предупреждение и минимизацию образования отходов, а затем на их рециркуляцию, вторичное использование и разработку эффективных методов окончательной переработки, обезвреживания и окончательного удаления, а захоронения только отходов, не загрязняющих окружающую среду. Более эффективно и целесообразно предотвращать образование отходов, начиная со стадии добычи полезных ископаемых и заканчивая потреблением готовой продукции. Достичь этого можно путем разработки и внедрения технологий рационального использования природных ресурсов, выделения ценных компонентов из побочных продуктов производства и отходов.

Многостороннее и глубокое освоение безотходных производств – долговременное и кропотливое дело, которым предстоит заниматься ряду поколений ученых, инженеров, техников, экологов, экономистов, рабочих разного профиля и многих других специалистов. Полностью безотходное производство – далекая перспектива, но необходимо уже сейчас решать эту задачу, как на общеэкономическом уровне, так и в отдельных отраслях хозяйства. Для этого необходимо предельно корректно и профессионально вести учет и оценку промышленных и бытовых отходов начиная со стадии разработки технологических схем, в которых неизбежно образование отходов, и заканчивая мероприятиями по их утилизации, переработке и возможному дальнейшему использованию в данном производственном цикле или в других отраслях.

Список использованных источников

1. <http://www.ecoline.ru>
2. Максимов И.Е. Состояние и перспективы использования экозащитных систем в решении проблем отходов // Муниципальные и промышленные отходы: способы обезвреживания и вторичной переработки - аналитические обзоры. Новосибирск, 1995, серия Экология.
3. Багрянцев Г.И., Черников В.Е. Термическое обезвреживание и переработка промышленных и бытовых отходов // Муниципальные и промышленные отходы: способы обезвреживания и вторичной переработки - аналитические обзоры. Новосибирск, 1995, серия Экология.
4. Бернадинер М.Н., Шурыгин А.П. Огневая переработка и обезвреживание промышленных отходов. М., Химия, 1990.
5. Воловик А.В., Шелков Е.М., Долгоносова И.А. Переработка бытовых и промышленных отходов в высокотемпературной шахтной печи // Экология и промышленность России. – 2001, № 10, с. 9 – 12.
6. Беспмятнов Г.П., Ботушевская К.К., Зеленская Л.А. Термические методы обезвреживания отходов., Л., Химия, 1975
7. Дмитриев В.И., Коршунов Н.Н., Соловьев Н.И. Термическое обезвреживание отходов хлорорганических производств // Химическая технология, 1996, №5.
8. Лукашов В.П., Янковский А.И. Переработка и обезвреживание промышленных и бытовых отходов с применением низкотемпературной плазмы. //Муниципальные и промышленные отходы: способы обезвреживания и вторичной переработки - аналитические обзоры. Новосибирск, 1995, серия Экология.
9. Наркевич И.П., Печковский В.В. Утилизация и ликвидация отходов технологии органических веществ. М.: Химия, 1984.

- 10.Алексеев С.В., Багрянцев Г.И. Экологические проблемы городов, связанные с необходимостью удаления и переработки твердых отходов // Очистка и обезвреживание дымовых газов из установок, сжигающих отходы и мусор: Сб. науч.-техн. ст. - Новосибирск: Ин-т теплофизики СО РАН, 1999. - С.11-22. - Библиогр.: 53 назв
11. Анализ современного состояния и возможные пути решения проблемы твердых бытовых и техногенных отходов (для условий Великого Новгорода) / Гель В.И., Литвинов В.Ф., Мечев В.В. и др. // Ресурсосберегающие технологии: Экспресс-информация / ВИНТИ. - 2004. - N 11. - С.26-32.
- 12.Гарин В.М., Медиокритский Е.Л., Хвостиков А.Г. Утилизация твердых бытовых отходов в крупных городах // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: Межвуз. сб. науч. тр. / Рост.-на-Дону гос. акад. с.-х. машиностроения. - Ростов-н/Д, 1997. - С.14-17
- 13.Гарин В.М., Можарова И.Н., Хвостиков А.Г. Экологическая безопасность городов и твердые бытовые отходы // Безопасность, экология, энергосбережение: Материалы научно-практического семинара. Вып.3. - Ростов-на-Дону: Ростов. гос. строит. ун-т, 2001. - С.132-139. - Библиогр.: 7 назв.
- 14.Грибанова Л.П., Гейсик В.М., Нестеров В.А. Экологический мониторинг Хметьевского полигона твердых бытовых и промышленных отходов // Экол. вестн. Подмосковья. - 1997. - N 4. - С.23-27.
- 15.Санитарные правила по сбору, хранению, транспортировке и первичной обработке вторсырья. СанПиН 2524-82. Минздрав СССР, 22.01.82.
- 16.Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации полигонов захоронения не утилизируемых промышленных отходов. М.: Минздрав, 1977.

- 17.Шпирт М.Л. Безотходные технологии. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. М., Недра, 1986
- 18.Хмельницкий А.Г. Использование вторичных материальных ресурсов в качестве сырья для промышленности // Муниципальные и промышленные отходы: способы обезвреживания и вторичной переработки - аналитические обзоры. Новосибирск, 1995, серия Экология.
- 19.Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Общесоюзный нормативный документ., Л., «Гидрометеиздат», 1987
- 20.Алиев Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. М.:Металлургия, 1986. 544 с.
- 21.Беспамятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Л.: Химия, 1985
- 22.Ганз С.Н., Кузнецов И.Е. Очистка промышленных газов. Киев, 1967
- 23.Защита атмосферы от промышленных загрязнений:Справ.изд.:В 2-х ч. Пер. с англ./Под ред.Калверта С., Инглунда Г.М. М.:Металлургия, 1988.
- 24.Очистка отходящих газов: Обзор отчетов о НИОКР и диссертаций.-М, 1987г
- 25.Очистка промышленных выбросов и утилизация отходов: Сб. науч.тр./Под. ред. Хантургаева Г.А. -Улан-Удэ, 1990.- 1990.-160 с
- 26.Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации циклонов НИИОГАЗ. Ярославль, 1971
- 27.Тепловой расчет котельных агрегатов: нормативный метод /Н.В. Кузнецов, В.В. Митор, И.Е. Дубровский. – 2-е изд., перераб. –М.: Энергия, 1973.-295с.:ил.