

**Высшая школа технологии и энергетики**

Санкт-Петербургский Государственный Университет  
Промышленных Технологий и Дизайна

**Кафедра промышленной теплоэнергетики**

# **Оптимизация системы термического обезвреживания твердых бытовых отходов**

Студент: Кулаченков Д.С.

Руководитель: доцент, к.т.н. Иванов А.Н.

В результате жизнедеятельности в СПб по *официальным сведениям* образуется в год около 4 млн тонн отходов:

- ⊙ коммунальные отходы – 1,5 млн тонн;
- ⊙ коммерческие отходы – 1 млн тонн;
- ⊙ отходы строительства и сноса – 1,5 млн тонн.

# Классификация отходов

- ⊙ **Отходы производства** — остатки материалов, сырья, полуфабрикатов, образовавшиеся в процессе изготовления продукции и утратившие полностью или частично свои полезные физические свойства;
- ⊙ **Отходы потребления** — непригодные для дальнейшего использования по прямому назначению и списанные в установленном порядке машины, инструменты, бытовые изделия.

# Класс опасности

1. **Чрезвычайно опасные.** Отходы, содержащие ртуть и её соединения, в том числе сулему ( $\text{HgCl}_2$ ), хромовокислый и цианистый калий, соединения сурьмы, в том числе трёххлорную сурьму ( $\text{SbCl}_3$ ), бенз-а-пирен и др.;
2. **Высокоопасные.** Отходы, содержащие хлористую медь, сульфат меди, щавелевокислую медь, трёхокисную сурьму, соединения свинца;
3. **Умеренноопасные.** Отходы, содержащие оксиды свинца ( $\text{PbO}$ ,  $\text{PbO}_2$ ,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ), хлорид никеля, четырёххлористый углерод;
4. **Малоопасные.** Отходы, содержащие сульфат магния, фосфаты, соединения цинка, отходы обогащения полезных ископаемых флотационным способом с применением аминов.

# Классификация отходов по возможности использования

- ◎ **Утилизируемые** – существует технология переработки и вовлечения в хозяйственный оборот;
- ◎ **Неутилизируемые** – в настоящее время технология переработки отсутствует.

# Утилизация ТБО

- ◎ Страны ЕС – 38 %,
- ◎ США – 25 %,
- ◎ Санкт-Петербург – 8 %,
- ◎ Россия – 3-4 %,
- ◎ Свалки – депонирование –  
огромные площади + вредные выбросы

# Традиционное отношение к проблеме ресурсосбережения

- ◎ Страна богата ресурсами, и их надолго хватит...
- ◎ На долго ли?...

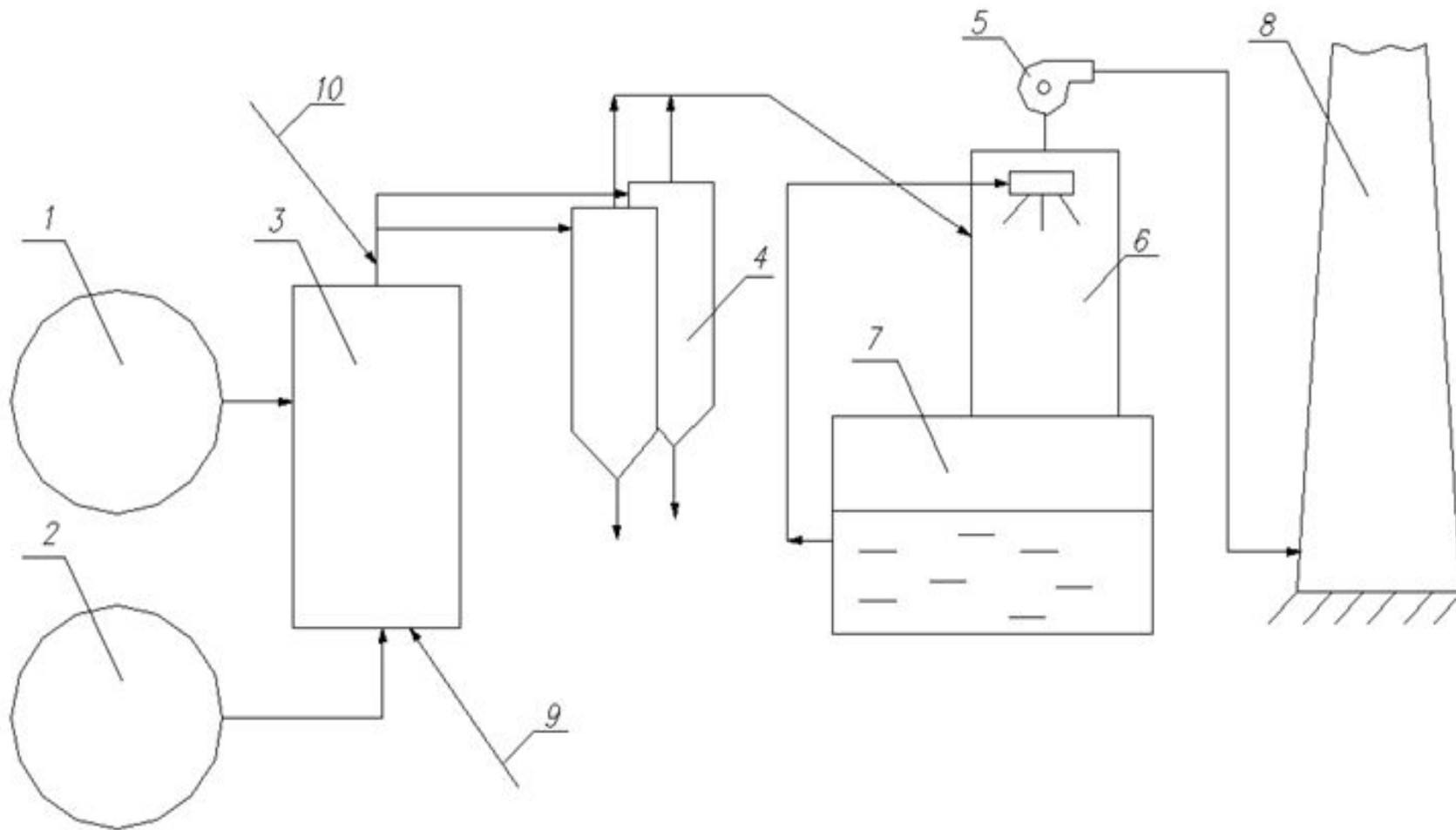
# Методы очистки

В зависимости от физико-химических свойств продуктов, загрязняющих окружающую среду, применяются различные методы очистки:

- ⦿ механические,
- ⦿ сорбционные,
- ⦿ химические,
- ⦿ биологические,
- ⦿ термические,
- ⦿ комбинированные.



# Технологическая схема установки по термическому обезвреживанию ТБО



- Отходы подаются в сушильный барабан диаметром  $D = 2,8$  м и длиной  $L = 35$  м, стоящий под уклоном  $1^\circ$  и вращающийся с частотой  $n = 1$  об/мин. Внутри барабан футерован огнеупорным шамотным кирпичом. Сушка производится за счёт тепла дымовых газов, образующихся при сжигании природного газа в камере сгорания сушильного барабана.
- Движение отходов и дымовых газов в сушильном барабане осуществляется по прямоточной схеме. За время нахождения в барабане в течение 2,5–3 ч сырьё высушивается до остаточной влажности не более 5 %.
- Высушенные отходы по течке самотёком поступают во вращающийся барабан пиролиза, расположенный под сушильным барабаном и имеющий те же размеры, что и сушильный барабан. В пиролизном барабане за счёт тепла дымовых газов, получаемых при сжигании природного газа, в течение 2,5–3 ч происходит термическое разложение (пиролиз) основной части некомпостируемых бытовых отходов.
- Процесс пиролиза твёрдых отходов должен осуществляться в бескислородной (восстановительной) среде. В результате процесса пиролиза сырьё образуется парогазовая смесь и твёрдый углеродистый материал (продукт) – пирокарбон.
- В случае утилизации автомобильных покрышек в работе находится только пиролизная печь.

- Выходящая из печи термического разложения парогазовая смесь, в состав которой входят ацетон, бензол, изобутанол, толуол, стирол, фенол, этанол, гексан, бутилацетат, акролеин, формальдегид, углеводороды, твёрдые минеральные частицы, не может быть непосредственно выброшена в атмосферу и направляются в печь дожигания. Печь предназначена для дожигания горючих составляющих дымовых газов и пиролиза формальдегидных и фенольных соединений.
- Частицы размером более 10 мкм предусмотрено улавливать в циклонах, расположенных в схеме очистки отходящих пиролизных газов. Частицы менее 10 мкм полностью выгорают в печи.
- За циклоном установлен мокрый скруббер, в котором происходит дополнительная очистка дымовых газов. После очистки дымовые газы дымососом выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу.
- **Пирокарбон** – однородный, тонко измельчённый порошок чёрного цвета, нетоксичный, инертный материал с высоким содержанием углерода.
- Состав пирокарбона зависит от вида перерабатываемого сырья (городской мусор, отработанные автомобильные покрышки и т.п.).

# Состав пирокарбона

- При работе на покрышках  
80 % чистый углерод,  
18 % зола, 2 % влага
- При работе на бытовых отходах  
70 % углерод,  
20 % зола, 10 % влага

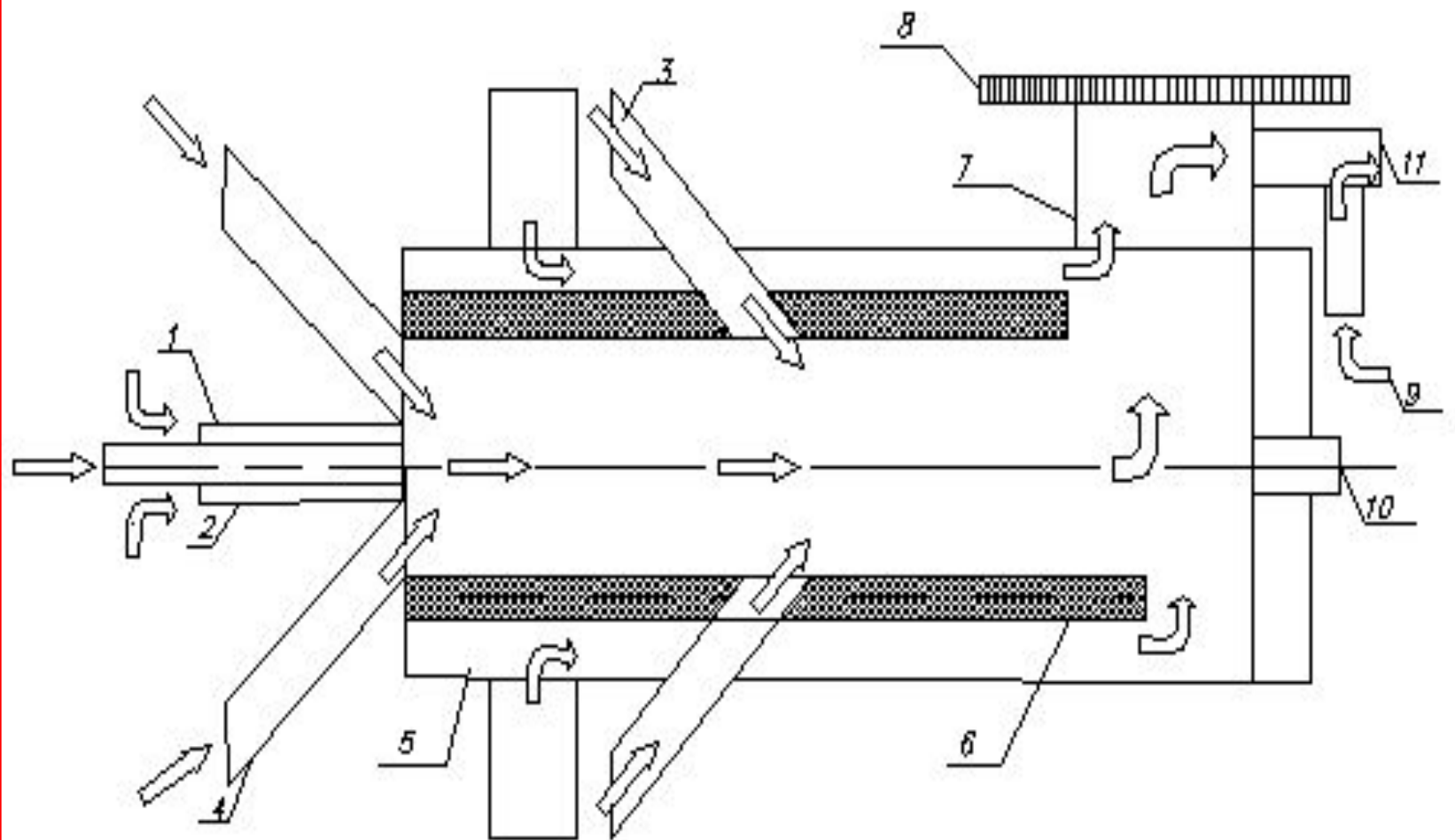
# Область применения пирокарбона

- технический углерод для производства резинотехнических изделий;
- аналог газового углерода К-354 при производстве красителя пластмасс и красок;
- активный уголь для флотации УАФ-А;
- почвоулучшитель АГРОС-А в сельском хозяйстве;
- активный углоль шад-молотый для очистки сточных вод и технических масел, флотации руд полезных ископаемых;
- защитно-смазочная смесь в металлургии;
- **ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО**;
- заменитель известняка при производстве асфальта.

# Недостатки существующей установки

- Печь дожигания расположена на отметке 9,6 м, поэтому должны иметь облегчённую конструкцию.
- Недостаточное разложение смолистых соединений, вследствие чего происходит загрязнение (забивание) тракта газообразных продуктов.
- Отсутствие утилизации теплоты уходящих газов. В существующей установке осуществляется разбавление отходящих дымовых газов воздухом для снижения температуры до значений, допустимых нормами эксплуатации системы золоулавливания.
- Для предотвращения недостатков предлагается реконструкция печи дожига пиролизных газов и установка теплообменника для утилизации теплоты отходящих газов.

# Печь дожигания



- Печь предназначена для дожига горючих составляющих и пиролиза формальдегидных и фенольных соединений в отходящих газах от вращающихся печей и представляет собой горизонтально расположенный стальной цилиндр диаметром 812 мм и длиной 3250 мм.
- Система охлаждения футеровки предназначена для предохранения футеровки топки от перегрева. Воздух, для охлаждения обмуровки поступает в кольцевой канал 5 (охлаждающая «рубашка»).
- Природный газ, используемый для горения, поступает с торцевой стороны камеры через горелку 1.
- Воздух, предназначенный для горения природного и пиролизного газов, проходит по кольцевому каналу 2.
- Для боковой подачи пиролизных газов предназначены рукава 3.
- Торцевая подача пиролизных газов осуществляется по двум рукавам 4 с наклоном в сторону осевой линии факела.



Усредненный состав продуктов пиролиза,  
подлежащих термическому разложению в камере  
дожига

Наименование компонента	Концентрация, мг/м <sup>3</sup>	ПДКм.р	ПДКс.с
Сернистый ангидрид SO <sub>2</sub>	0,5	0,5	0,05
Оксид углерода CO	2,6	5	3
Диоксид азота NO <sub>2</sub>	35	0,2	0,04
Оксид азота NO	15	0,4	0,06
Углеводороды C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	1925	50	
Формальдегид HCHO	0,31	0,05	0,01
Фенол C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	0,325	0,01	0,003
Стирол C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	17,8	0,04	0,002
Фтористый этил C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> F	0,5		
Пыль	6		
Сажа	363		

# Термическое обезвреживание

КПД печи оценивается по степени выгорания вредных составляющих пиролизных газов:

⊙ углеводороды	95 %
⊙ формальдегид	95 %
⊙ стирол	85 %
⊙ фенол	90 %
⊙ СО	92 %
⊙ сажа $\delta > 10$ мкм	50 %

# Схема модернизированной установки

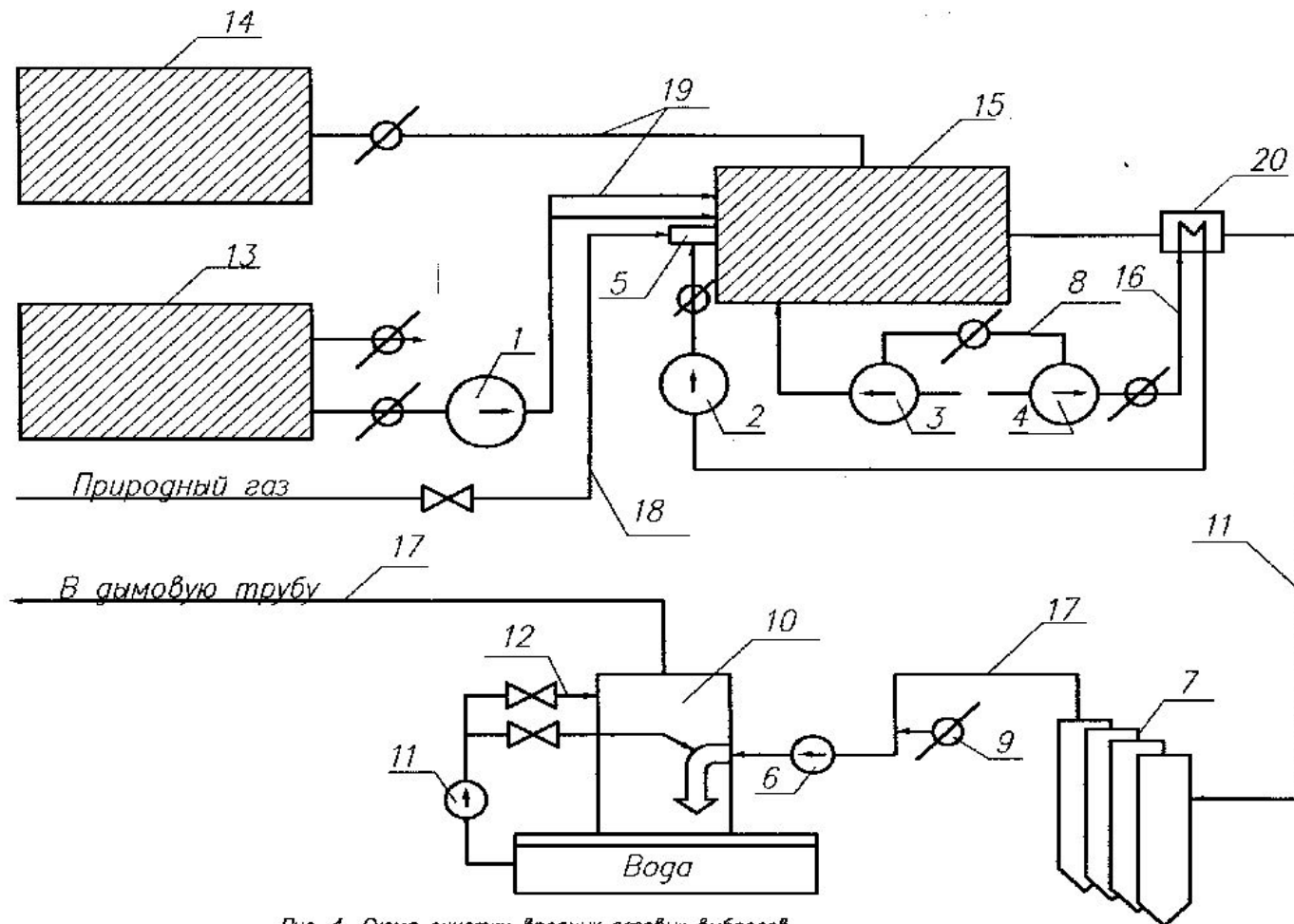


Рис. 4. Схема очистки вредных газовых выбросов

1,6. Дымососы 2,3,4. Вентиляторы 5. Горелка 7. Батарейные циклоны 8. Байпасная линия 9. Поворотный шибер 10. Мокрый скруббер 11. Насос 12. Форсунки 13. Печь пиролиза 14. Сушильная печь 15. Камера сгорания 16. Воздух 17. Дымовые газы 18. Природный газ 19. Пиролизный газ 20. Теплообменный аппарат

# Теплообменник для утилизации теплоты отходящих газов

Установка теплообменника позволит:

- использовать нагретый теплоноситель на нужды цеха;
- повысить экономичность работы цеха, т.е. снизить долю энергетической составляющей стоимости готового продукта (пирокарбона).
- К установке предлагается рекуперативный газо-газовый (газы из камеры дожига – воздух) теплообменный аппарат из профильных листов. Нагретый в нём воздух предполагается направлять на рециркуляцию в камеру дожига как воздух на горение, т.е. теплообменный аппарат будет работать как воздухоподогреватель.

## В рамках работы проведены следующие расчёты:

- расчёт степени (интенсивности) выгорания полициклических органических соединений;
- тепловой расчёт камеры догорания;
- тепловой, конструктивный и аэродинамический расчёты теплообменника;
- аэродинамический расчёт установки термического обезвреживания.

**Спасибо за внимание!**