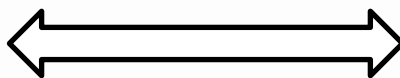


# Проблемы термической утилизации муниципальных отходов

И.Г. Донской  
к.т.н., с.н.с. лаб. 72

# Традиционная структура доклада о переработке отходов

- Угрожающая статистика
- Как хорошо за рубежом
- Как плохо у нас
- Робкие надежды на лучшее



# Структура моего доклада

1. Введение: определения, общая ситуация
2. Существующие способы утилизации и место термических методов среди них
3. Производство энергии из отходов (waste-to-energy, WTE)
4. Технические/экологические вопросы
5. Перспективы для РФ
6. Перспективные научных направления для ИСЭМ СО РАН



# Возобновляемость отходов

## Определения

- ВИЭ: неисчерпаемость в человеческих масштабах
- ГОСТ Р 54531-2011



## Законодательство

- ФЗ от 04.11.2007 №250: поправки к ФЗ от 26.03.2003 №35 «Об электроэнергетике»
- Постановления Правительства от 28.02.2017 №240, от 27.09.2018 №1145

# Основные пункты

- ТБО это ВИЭ: можно повысить долю ВИЭ в энергетике на фоне низкой генерации от солнца и ветра
- Меры поддержки ВИЭ: повышение инвестиционной привлекательности ТЭС на ТБО
- Непонятно, кто кроме госкомпаний этим займется
- Технические и экологические требования для специфики ТБО еще не разработаны

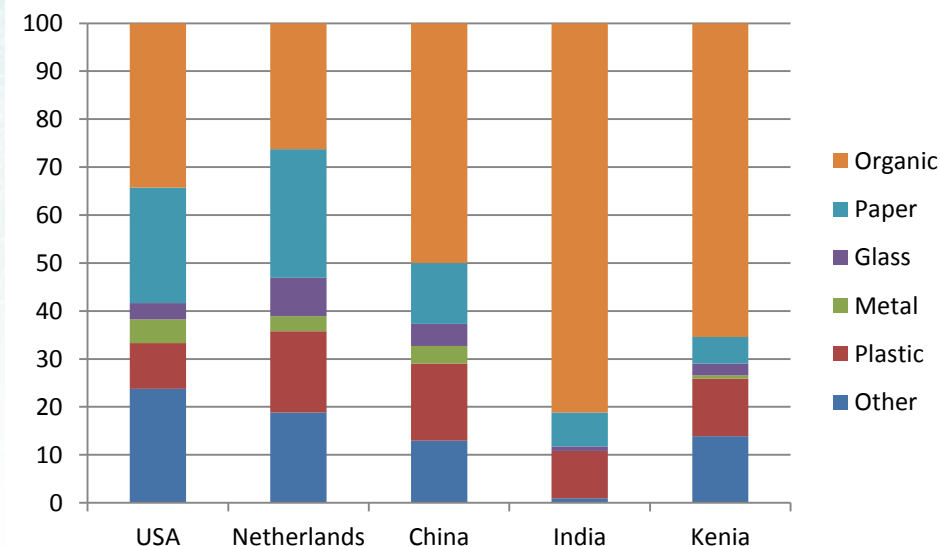
# Что относится к муниципальным отходам

- Бытовые отходы
  - Отходы жилых помещений
  - Отходы общественных зданий
  - Отходы дворовых территорий (смёт)
- Отходы коммунальных предприятий (например, шламы водоочистки)
- Растительные отходы (например, опавшие листья)



# Состав отходов

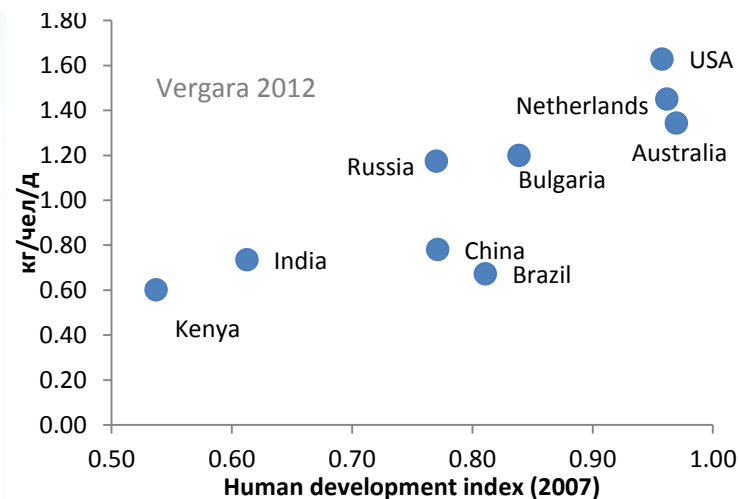
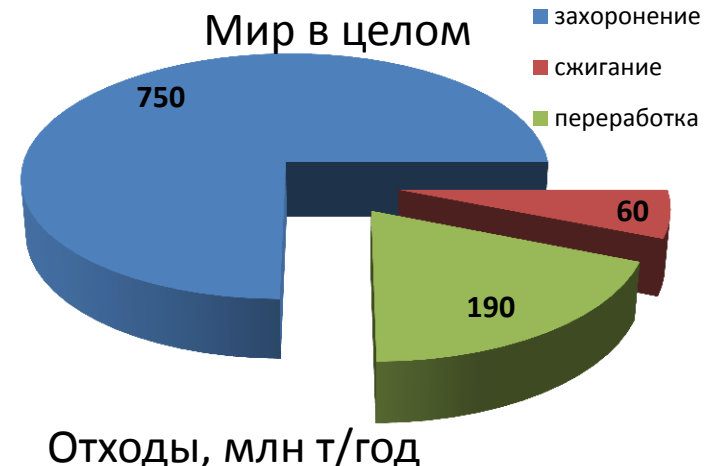
- Влажность до 50%
- Негорючий остаток: до 25%
- Органические вещества (бумага, полимеры, ткани, пищевые отходы)
- Металлы
- Стекло
- Строительные материалы
- Крупногабаритный мусор (white goods)
- Отражает уровень технологического развития и качество жизни в стране



Vergara 2012

# Положение вещей

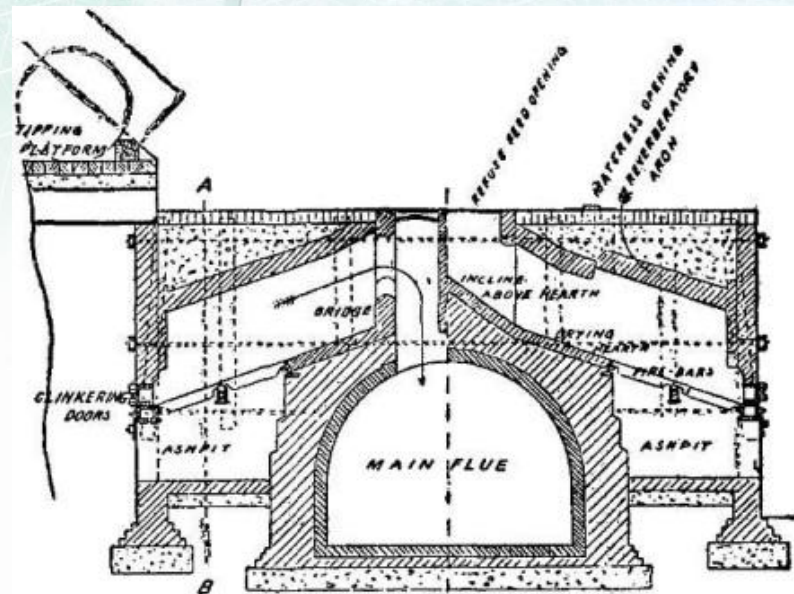
- На 2013 год: 6.7 млрд людей, производится 1 млрд т отходов в год
- Прогноз на 2025 год: 2.2 млрд т отходов в год
- На одного человека в развитой стране приходится 400-500 кг отходов в год
- Мировые темпы прироста мощностей по переработке: 2.5%/год
- Нужные темпы для устойчивого развития при фиксированных темпах образования отходов: 7.5%/год
- 2000 станций мощностью от 70 тыс. т/год
- 600 станций со сжиганием (единичная мощность до 70 МВт)





# Немного истории

- Первая установка для сжигания отходов: 1876, Манчестер (проработала 30 лет)
- В 1890 была построена установка для сжигания отходов в Нью-Йорке
- До 1950 года не было острой необходимости в утилизации



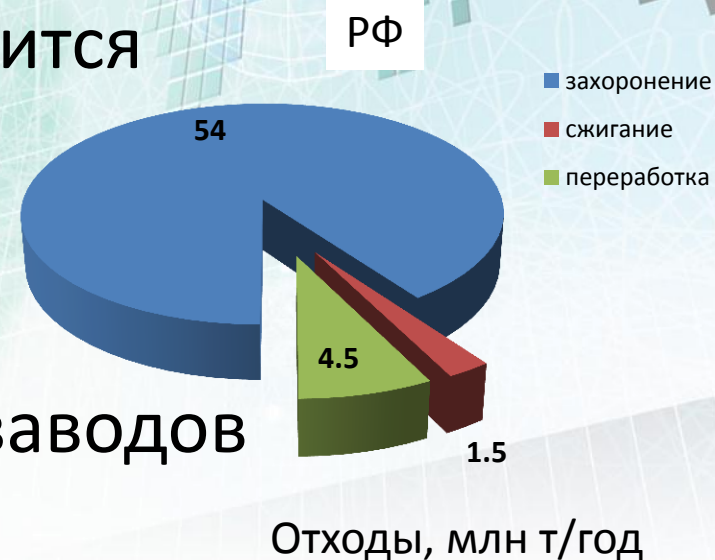
Alfred Fryer, Patent No. 3125

# Немного истории

- В 1955 году в США вышел закон об охране окружающей среды
- В 1960-х повсюду строились станции для сжигания отходов
- В конце 1960-х вышел закон об охране воздуха
- В 1970-х обнаружили многократное превышение ПДК по диоксидам в дымовых газах
- Ужесточились требования к сжиганию отходов, но строить заводы не перестали

# Положение вещей

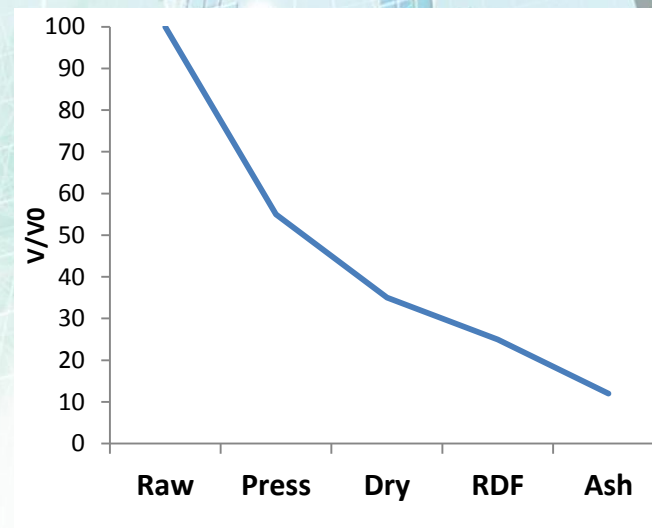
- В России ежегодно производится около 60 млн т отходов
- Из них перерабатывается порядка 10%, сжигается 2.5%
- Мусороперерабатывающих заводов 243 (крупных 7), из них мусоросжигающих 10 (крупных 1)
- Накоплено ок. 35 млрд т ТБО на 4 млн га (ок. 4 тыс. объектов), прирост 0.4 млн га/год (офиц.)





# Методы утилизации отходов

- Захоронение (landfill): малонаселенные и непригодные для обработки территории, отсутствие денег на что-то другое
  - Прессование: уменьшение объема ~2 раза
- Вторичная переработка: отдельный сбор отходов, высокая доля пластика
  - Сушка, удаление вторсырья, прессование: уменьшение объема ~3-4 раза
- Термические методы: высокая плотность населения, опасные отходы
  - Сушка, сжигание, использование золы: уменьшение объема до 10 раз



# Захоронение (landfill)

## The Complete Landfill Cell



Правильное захоронение  
не так уже дешево:

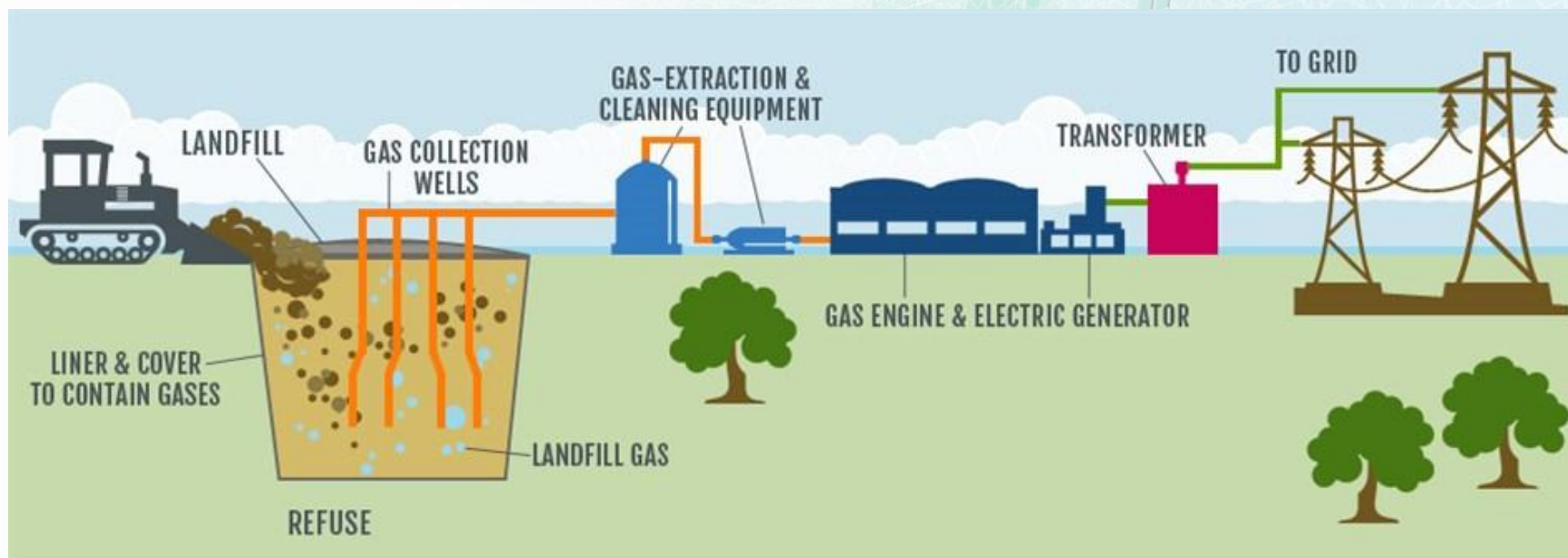
- Прессование
- Закапывание
- Защитные покрытия
- Отчуждение территорий
- Контроль газовыделения и пожаров

<https://www.geofabrics.com/landfill/>



# Свалочный газ (landfill gas)

Естественное гниение; биохимическая переработка



<https://www.advanceddisposal.com>



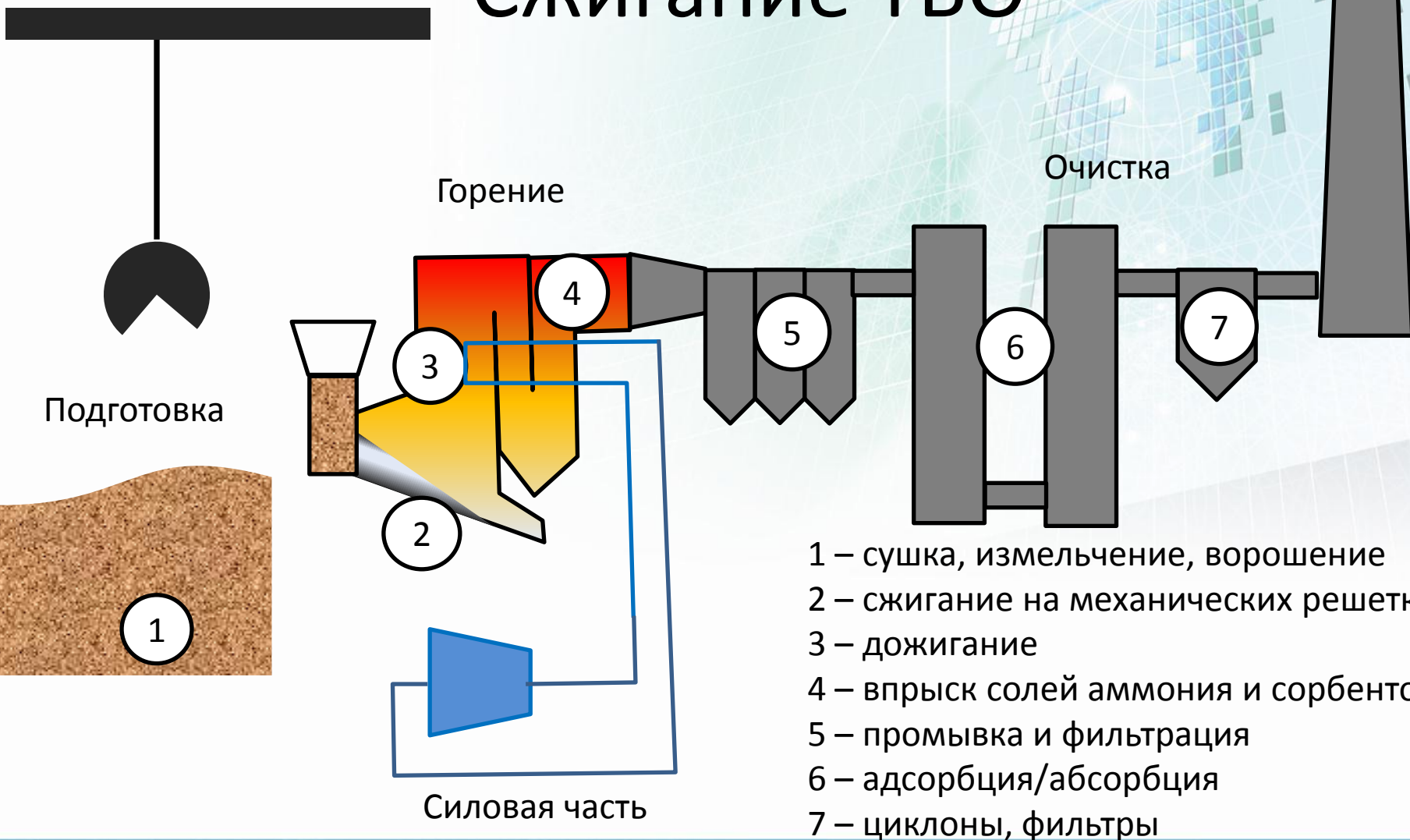
# Сжигание и переработка

- Существует мнение: «Если все сжигать, не будет стимулов к вторичной переработке»
- На самом деле нет:
  - Получение refuse-derived fuel, RDF (сжигаем то, что не можем переработать; удаляем все, что нельзя сжигать)
  - По статистике, объемы вторичной переработки выше в регионах, где уже есть мусоросжигательные заводы

# Waste-to-Energy

- 80% это сжигание, паровой цикл; наиболее совершенная технология на настоящий момент (средний  $\text{КПД}_{\text{эл}}$  ок. 25%); 600 станций во всем мире
- Landfill gas (малые мощности)
- Газификация: действуют ок. 25 станций общей мощностью 1.2 млн т в год (суммарно на ТБО и с/х-отходы)
- Пиролиз: распространен в Японии, часто как одна из стадий ступенчатого сжигания
- СЖТ из ТБО (Enerkem)

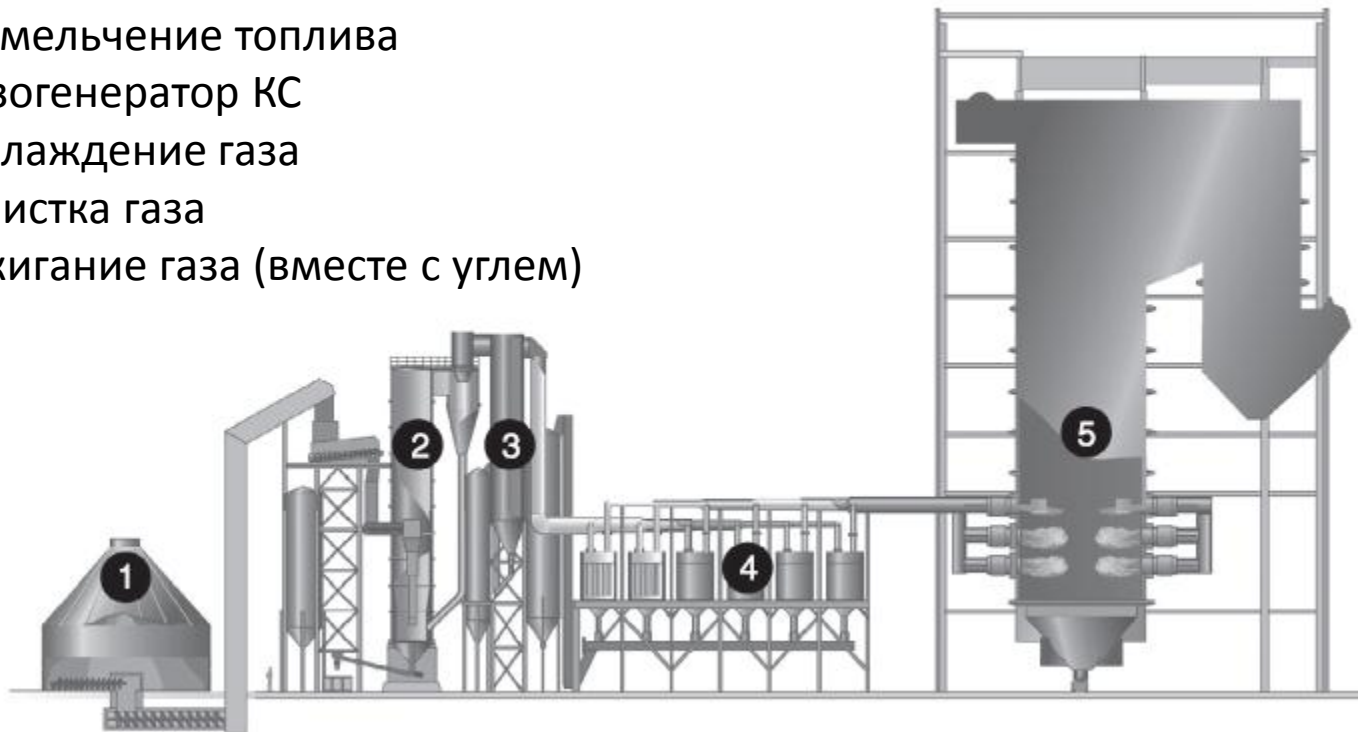
# Сжигание ТБО





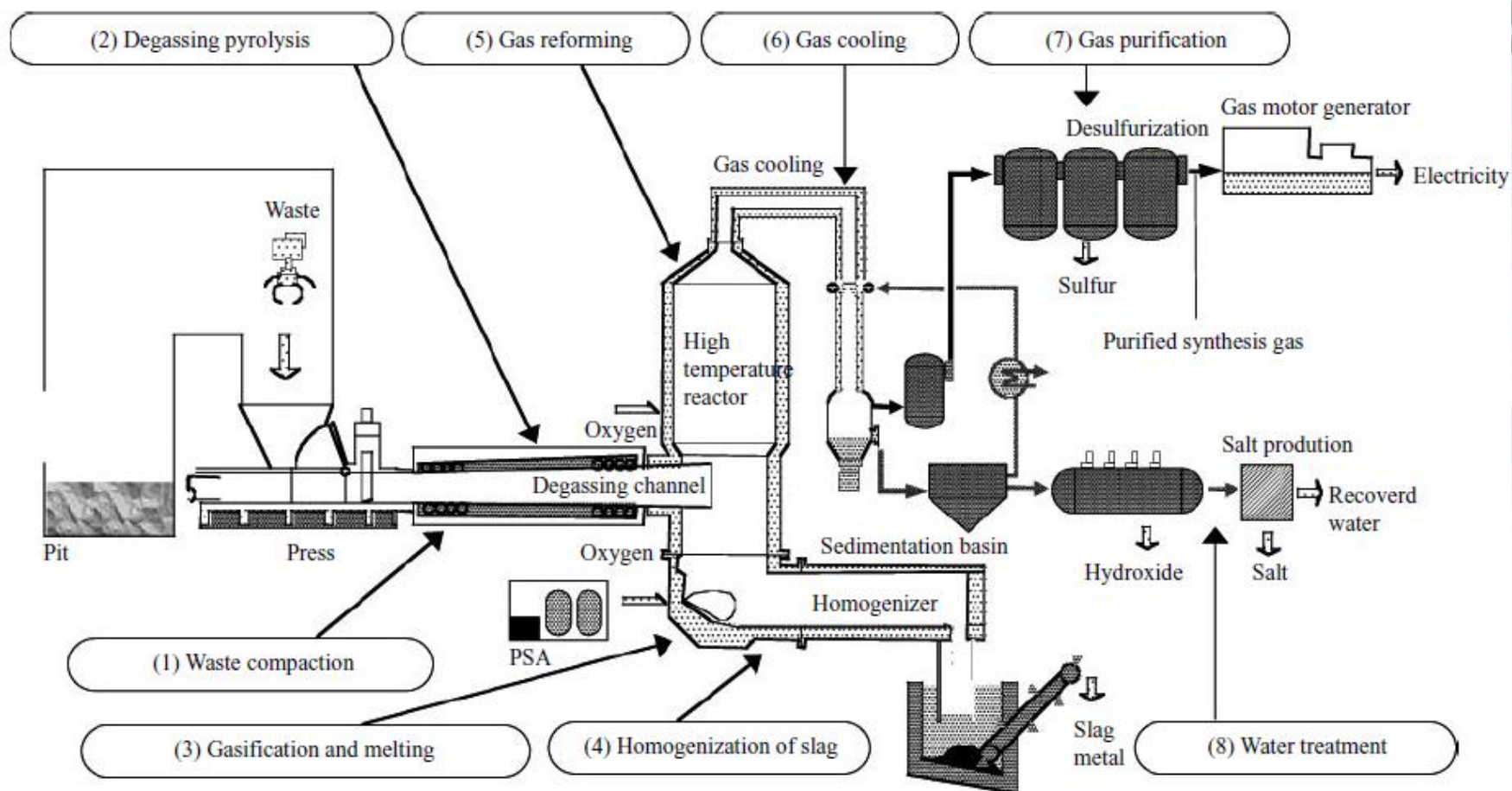
# Газификация отходов

- 1 – Измельчение топлива
- 2 – Газогенератор КС
- 3 – Охлаждение газа
- 4 – Очистка газа
- 5 – Сжигание газа (вместе с углем)



Vainikka et al. 2013 (VTT, Finland)

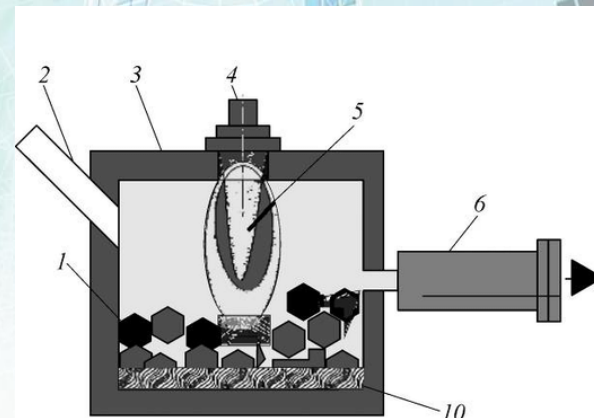
# Пиролиз отходов



Thermoselect process (Yamada et al. // JFE Tech Rep 2004)

# Высокотемпературные процессы

- Плазменные источники
  - Конверсия в расплавах солей
  - Кислородное дутье
  - Термическое растворение
- 
- Формально это не всегда WTE: затраты превышают производство
  - Некоторые отходы (медицинские) иначе не переработать

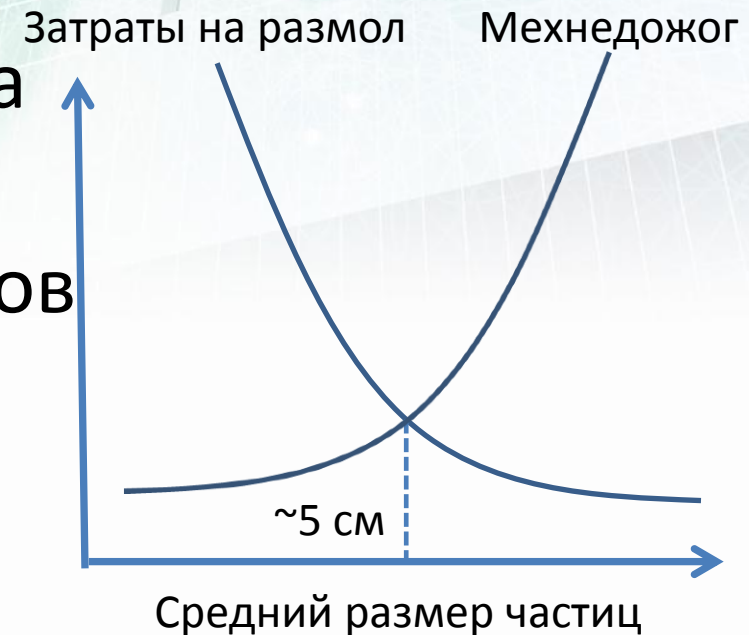


Messerle et al. 2016



# Коррозия и износ

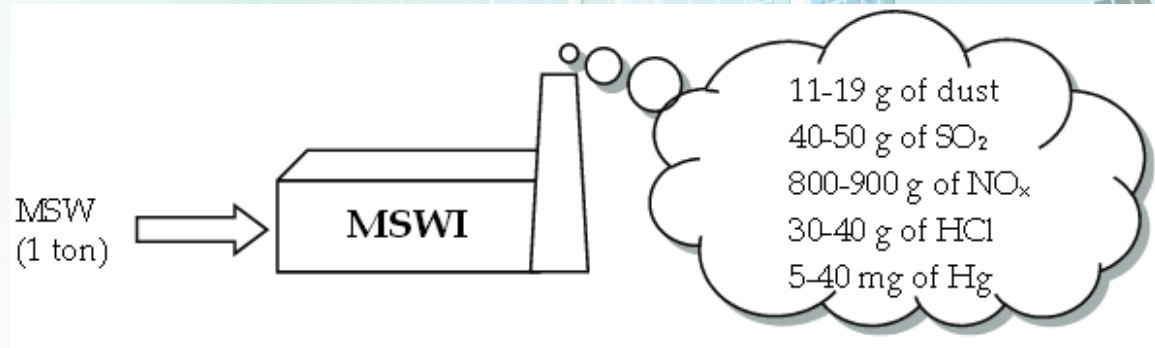
- В продуктах горения есть  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$
- Отложения солей
- Скорость коррозии на поверхностях теплообмена до 1-3 мм/год
- Очистка и замена элементов в системах транспорта и измельчения:  
>1 останова в сутки



# Образование вредных веществ

- Традиционные

- CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>
- Летучая зола, сажа



Quina MJ et al. 2011

- Специфические

- N-, S-соединения (гетероатомные)
- Галогенсодержащие соединения
- Полиароматические углеводороды, диоксины (дожигание при 1350-1450°C)
- Тяжелые металлы (особенно из сточных вод)

# Управление выбросами

## Активное (на стадии сжигания)

- Удаление прекурсоров
- Добавление связывающих компонентов
- Впрыск реагентов, сорбентов
- Повышение температуры
- Образование  $\text{NO}_x$ , минеральная часть

## Очистка (после сжигания)

- Сорбция, фильтрация
- Каталитическая очистка
- Промывание водой, растворами
- Снижение скорости движения дымовых газов
- Утилизация сорбатов, сточных вод



# Как покрыть/уменьшить затраты?

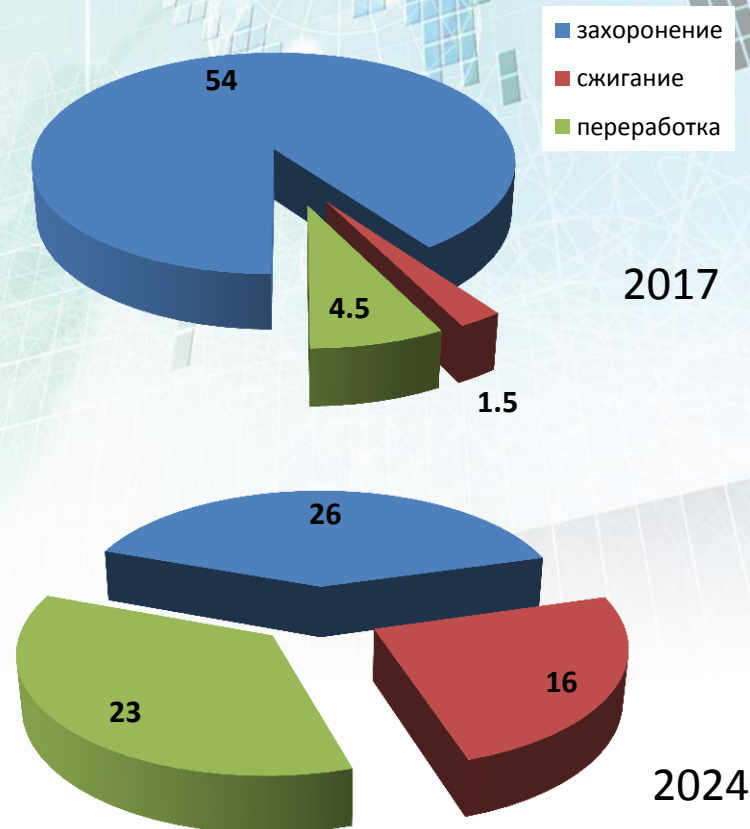
- Утилизация отходов – это практически всегда убыточное мероприятие (50-100 евро/т)
- Использование качественных топлив (уголь, газ)
- Плата за ввоз (тарифы)
- Налоговые льготы и дотации
- Оптимизация процессов и тепловых схем

# Мусоропереработка:

- Это сложный энерготехнологический комплекс
- Это жесткий контроль за всеми стадиями
- Это дорогое мероприятие
- Не делается с нуля за 5 лет (на современном уровне)
- Требуется обратной связи с производителями

# Перспективы в РФ

- ТБО это ВИЭ
- Нацпроект «Экология»  
210 МПЗ к 2024 г
- Минпромторг: озвучено  
78 млрд руб, х(2–3)
- Требования к  
локализации  
оборудования: >50%





# Проблемы, которые можно было бы исследовать в ИСЭМ СО РАН

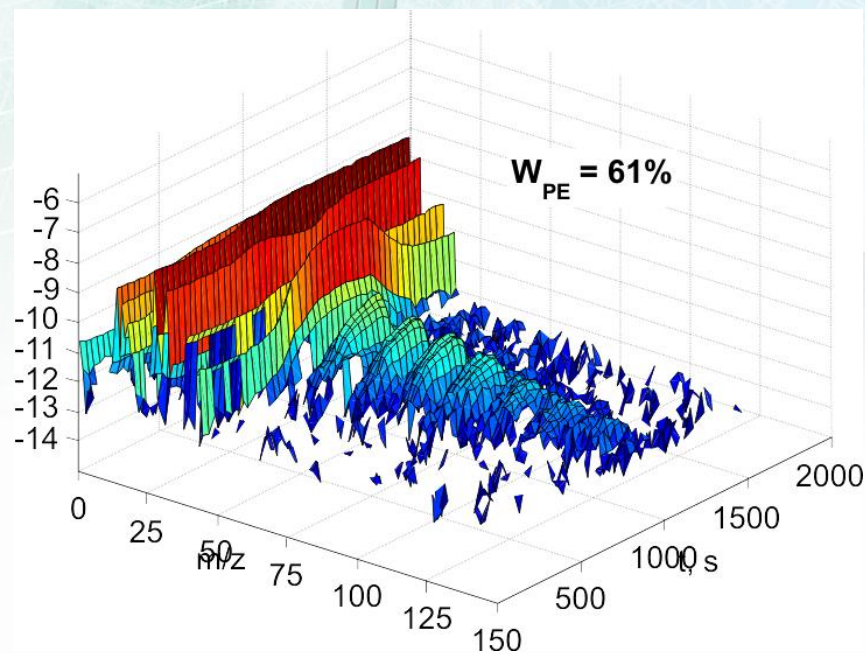
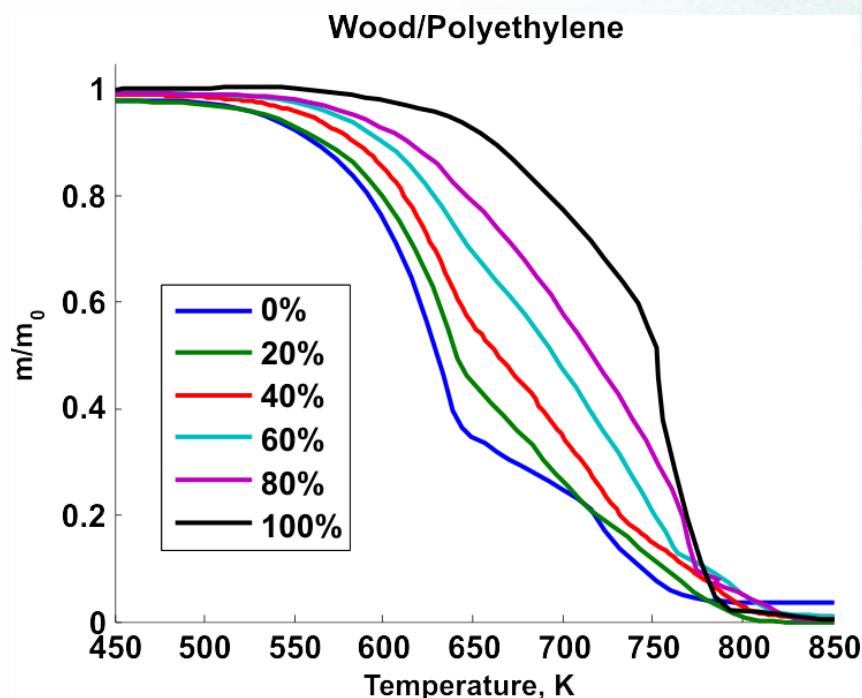
- WTE – это новый энергоисточник; когда он целесообразен и при каких условиях конкурентоспособен
- Реконструкция котельных и ТЭС с (частичным) переходом на WTE
- Государственная и региональная политика в отношении WTE (налоги, тарифы, льготы)
- WTE в составе малых энергосистем
- Крупные и малые WTE: внутри- и межрегиональный транспорт

# Проблемы, которые можно было бы исследовать в ИСЭМ СО РАН

- Оптимизация тепловых схем, параметров циклов
- Оптимизация процессов: горение, теплоотдача, очистка
- Автоматическое распознавание отходов
- Оптимизация экологических мероприятий
- Неопределенность: сезонные и региональные вариации состава, влияние на подготовку и сжигание

# Исследования в Лаборатории Термодинамики

## Инструментальные исследования: ТГА, МС



Kozlov, Penzik et al.



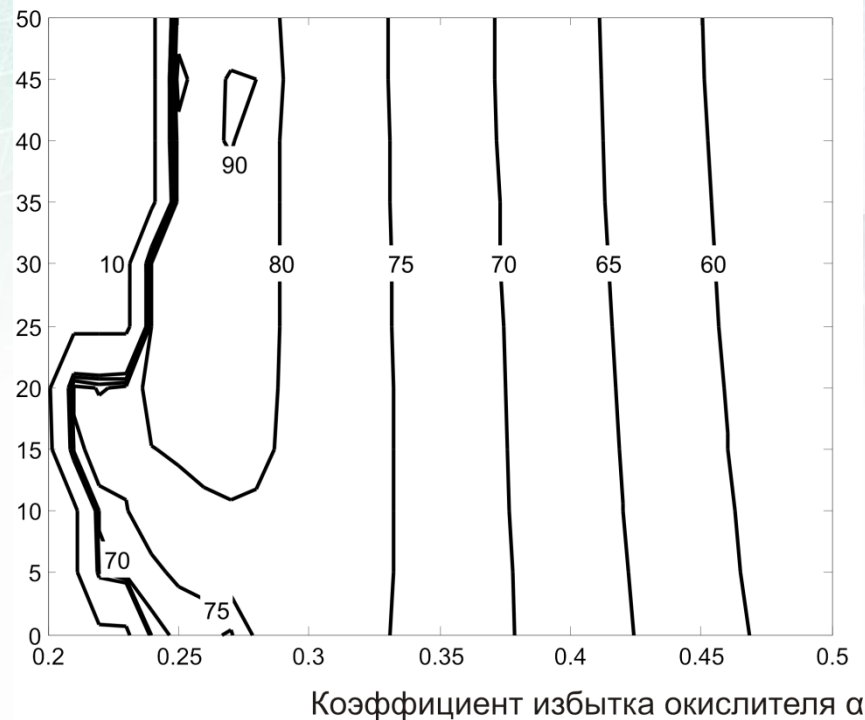
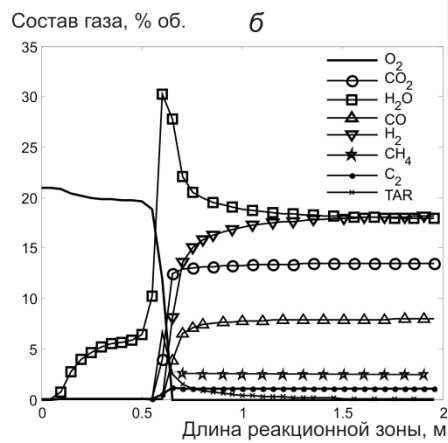
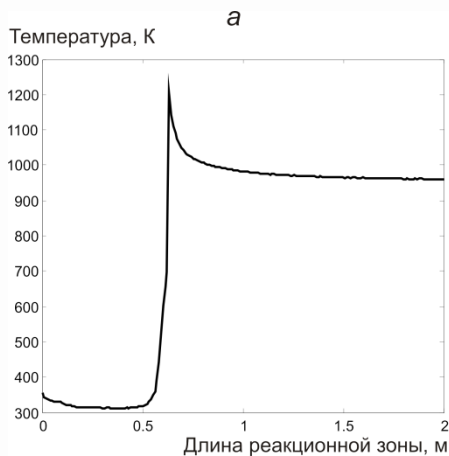
# Исследования в Лаборатории Термодинамики

## Математическое моделирование

### Древесина и полиэтилен (17%)

КПД газификации, %

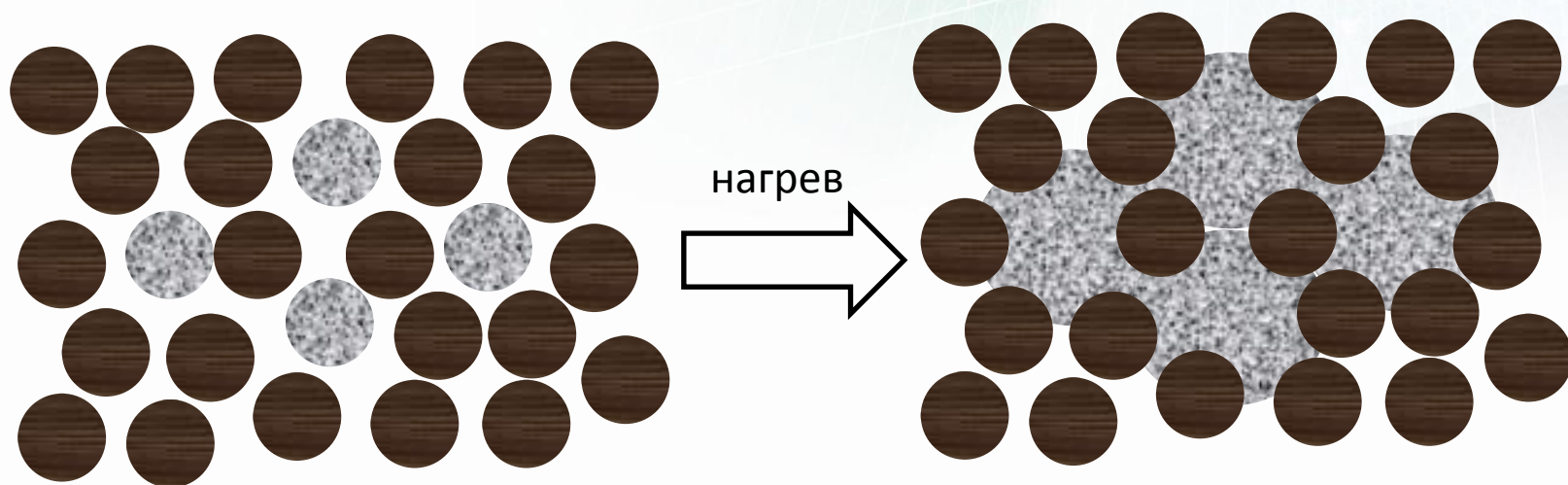
Массовая доля ПМ в смеси с древесиной, %



Донской // ХТТ 2018

# Проект РФФИ 19-08-00744

- Исследование процессов спекания при слоевом сжигании твердых бытовых отходов



Эффективность горения и эффекты перколяции

Спасибо за внимание.

[donskoy.chem@mail.ru](mailto:donskoy.chem@mail.ru)