

**VII Международный  
Российско-Казахстанский Симпозиум  
«УГЛЕХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ КУЗБАССА»  
7-10 октября 2018 г., Кемерово**



# **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ УГОЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**С.В. АЛЕКСЕЕНКО**

*академик РАН,*

*Институт теплофизики СО РАН*

**А.Р. БОГОМОЛОВ**

*вед. научный сотрудник ИТ СО РАН*



## Лауреат премии «Глобальная энергия» - 2018 академик Сергей Алексеенко



Премия "Глобальная энергия" - международная награда за выдающиеся исследования и научно-технические разработки в области энергетики. С 2003 года ее лауреатами стали 37 ученых из 12 стран: Австралии, Великобритании, Германии, Исландии, Канады, России, США, Украины, Франции, Швеции, Швейцарии и Японии. Премия входит в ТОП-99 самых престижных и значимых международных наград по данным Международной обсерватории IREG;

**в рейтинге престижности Международного конгресса выдающихся наград (ICDA) "Глобальная энергия" находится в категории "мега-премии" за благородные цели, образцовую практику и общий призовой фонд.**



## **СОДЕРЖАНИЕ:**

- 1. РОЛЬ УГЛЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**
  - 2. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
УГЛЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**
  - 3. СЖИГАНИЕ УГЛЯ**
  - 4. УГОЛЬНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ**
  - 5. ДРУГИЕ ВИДЫ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ**
  - 6. НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**
- ВЫВОДЫ**



# 1. РОЛЬ УГЛЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ



# Классификация твердых топлив

## Твердые топлива

### Горючие ископаемые органического происхождения

Гумусовые породы (из растений и планктона)

Торф

Уголь каменный

Уголь бурый

Искусственные твердые топлива:  
кокс; полукокс

Сапропелевые породы (из озерного ила-планктона)

Сапропелевые угли (малая зольность)

Сапропель

Горючие сланцы (высокая зольность)

### Биомасса

Древесина

Растительная масса

### Техногенные отходы

Муниципальные отходы (ТБО)

Производственные отходы

Отходы сельского хозяйства

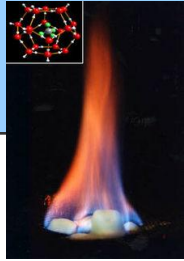


## Состав и теплота сгорания топлив

	<b>Летучие <math>V_r</math></b>	<b>Углерод <math>C_r</math></b>	<b>Зола <math>A^c</math></b>	<b>Теплота сгорания, <math>Q_H</math></b>	<b>Влага <math>W_p</math></b>
<b>Топливо</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>ккал/кг</b>	<b>%</b>
Древесина	80-90	50	1-3	2 440	40
Торф	65-75	56	5-12	2 500	40
<b>Бурые угли</b>	<b>40-50</b>	<b>65-68</b>	<b>7-45</b>	<b>1 500 – 4 000</b>	<b>20-55</b>
<b>Каменные угли</b>	<b>20-40</b>	<b>78-83</b>	<b>10-40</b>	<b>4 000 – 6 700</b>	<b>4-15</b>
Антрациты	2-10	89-96	15-20	6 000 – 6 500	6
Горючие сланцы	80-90	83-84	45-64	1 400 – 2 600	15-20
<b>Нефть</b>	<b>95-98</b>	<b>83-87</b>	<b>0,1-0,3</b>	<b>10 000 – 10 600</b>	<b>1-1,5</b>
<b>Природный газ</b>				<b>9 600 – 12 000</b>	



# Геологические ресурсы



Топливо	Мировые запасы, млрд. т у.т.	Запасы России, %
Газовые гидраты	23 000	
Уран (тепловые нейтроны) (быстрые нейтроны)	300 15 000	
<b>Уголь</b>	<b>10 000</b>	<b>50 %</b>
Нефть	840	5 %
Природный газ	350 - 600	40 %
Жидкое топливо (сланцы, битуминозные породы)	490	
Торф	5	

Среднегодовое потребление ресурсов: **15 млрд. т у.т.**  
Временной ресурс: **3000 лет**



# Производство электроэнергии в мире

## Структура мирового производства

электроэнергии в 2003 г.

**Уголь:** 41% в 2010г.  
44% в 2030г.

В России – 20%

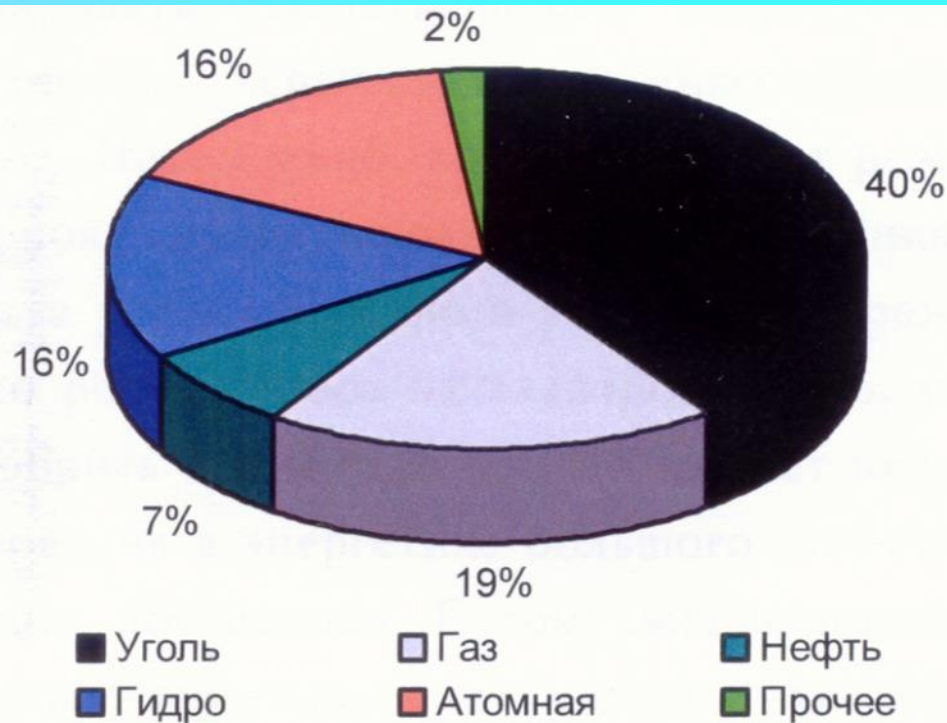
Доля ВИЭ (Возобновляемые источники энергии):

2003 г. – 2%

2012 г. – 5,2%

2015 г. – 7,3%

2020 г. – 11,2% (прогноз)



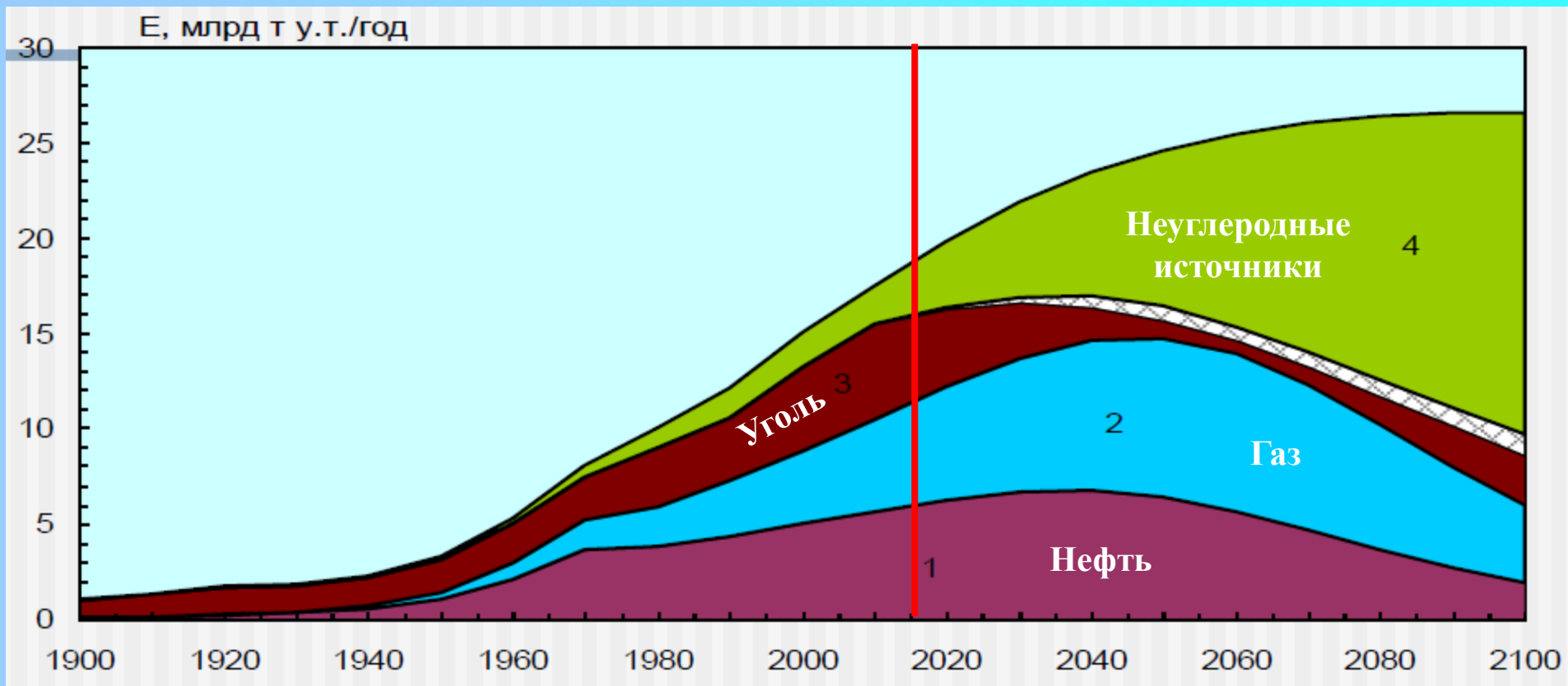
Источник: World Coal Institute, 2006





# Парижское соглашение

## Изменения структуры мирового энергопотребления при выполнении Парижского соглашения



1— нефть, 2 — природный газ, 3 — уголь, 4 — источники энергии, не связанные с выбросами CO<sub>2</sub>. Заштрихованная область — дополнительное снижение объемов потребления угля для удержания глобального потепления в XXI столетии в пределах 2 градусов.

*Клименко В.В. (2016)*



# Энергетика **СИБИРИ**

\* **СИБИРЬ** - самый холодный регион мира

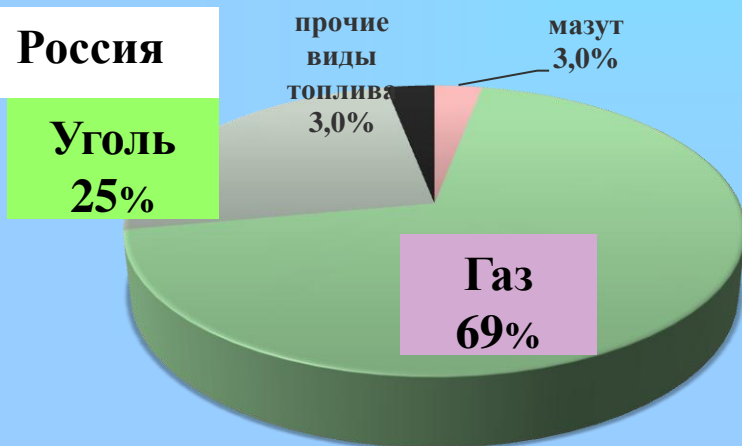
- 60% топлива - на тепло
- 62% тепла в Зап. Сибири дают 28 тыс.котельных

\* **СИБИРЬ** - самый богатый по энергоресурсам регион России

- газ (85%), нефть(65%), древесина (50%), гидроресурсы(45%), геотермальная энергия;
- **уголь** составляет 80% от запасов РФ или 23% от мировых запасов

## Структура потребления топлива на ТЭС

Россия



СФО





## **2. ТЕХНОЛОГИИ И ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**



# Методы переработки угля





# Проблемы сжигания угля

## Эффективность

Транспорт и хранение

Обогащение

Угледобработка

Сжигание :

- Трехмерная многофазная аэродинамика
- Тепломассоперенос
- Гетерогенное горение
- Структура угля и свойства
- Полнота выгорания
- Шлакование (ТШУ)
- Поджиг и подсветка низкокачественных углей
- Проблемы физического и математического моделирования

## Экология

Угольная пыль

Взрываемость

Зола летучая (дым)

Золошлаковые отвалы

$\text{NO}_x$

$\text{SO}_2$

Полициклические углеводороды (бензапирен)

Нитросоединения (нитрозамин)

Микроэлементы (ванадий, ртуть, мышьяк, фтор)

Радиоактивность

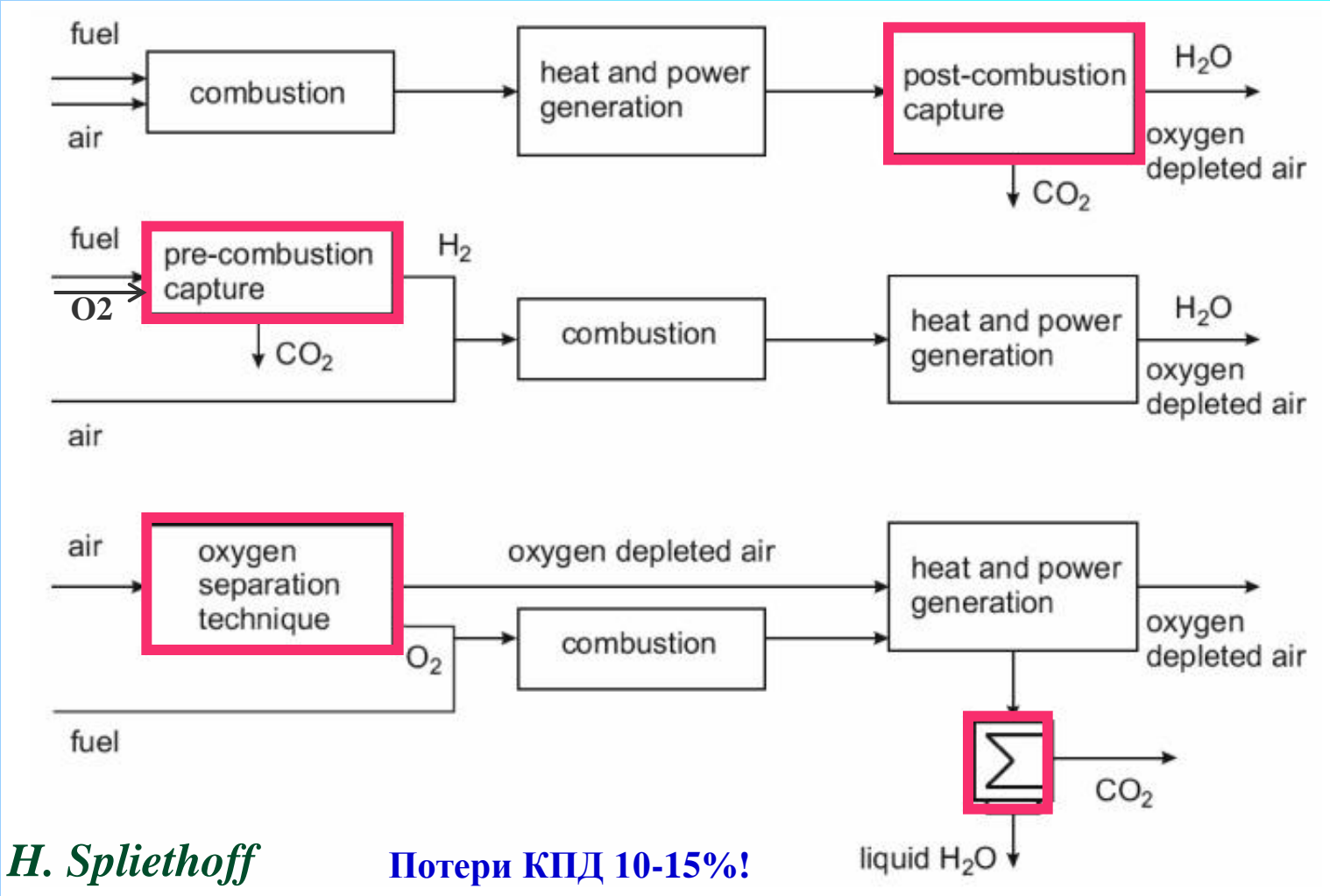
Вода

$\text{CO}_2$



# Теплоэнергетика без CO<sub>2</sub>

- 2 СТРАТЕГИИ:** 1. Повышение эффективности ТЭС  
2. Секвестирование CO<sub>2</sub> (3 технологии)



*H. Spliethoff*

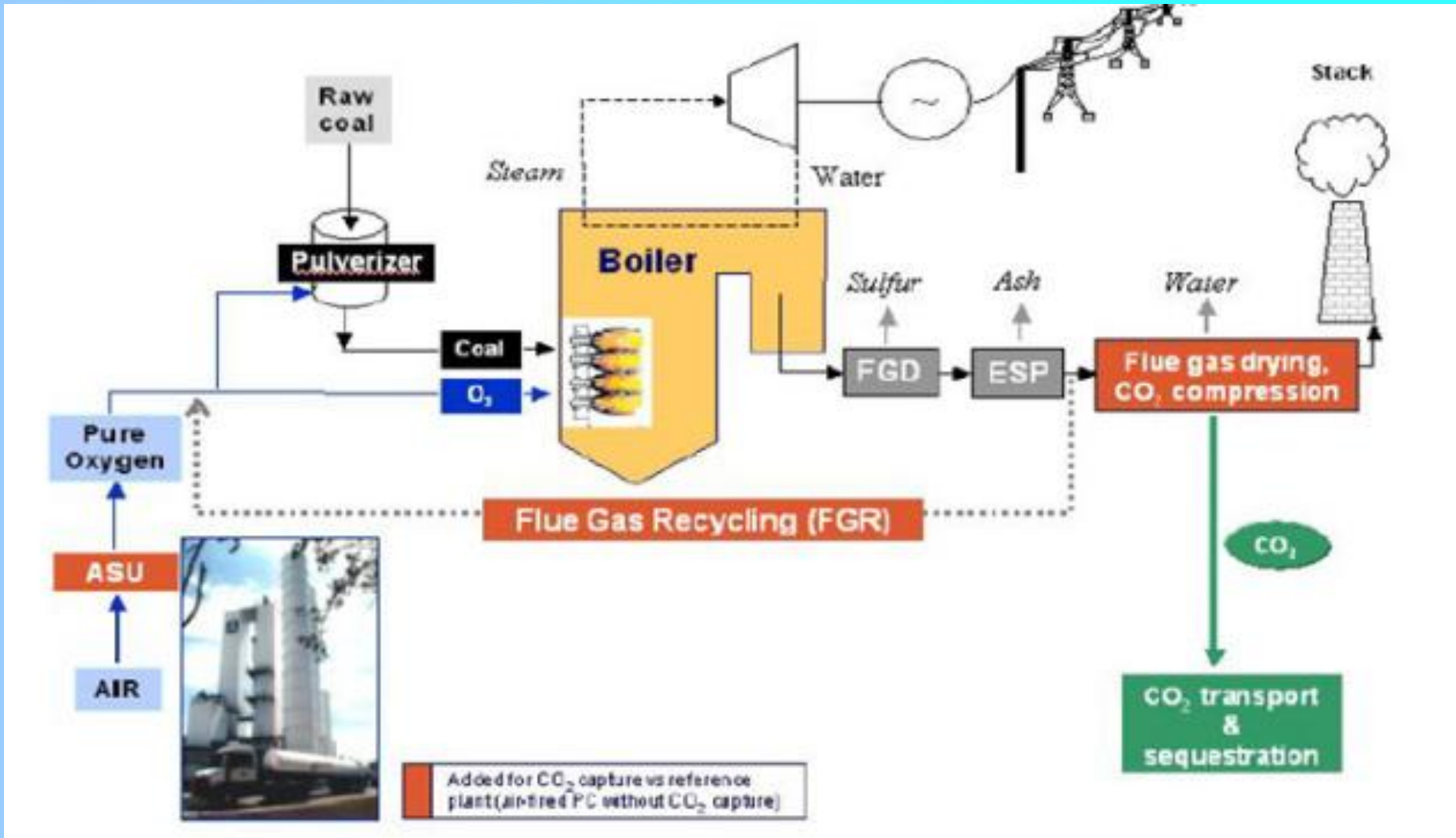
Потери КПД 10-15%!

liquid H<sub>2</sub>O



# OXY-FUEL combustion steam boiler

Цель: “Zero Emission Power Plant” (ZEP)



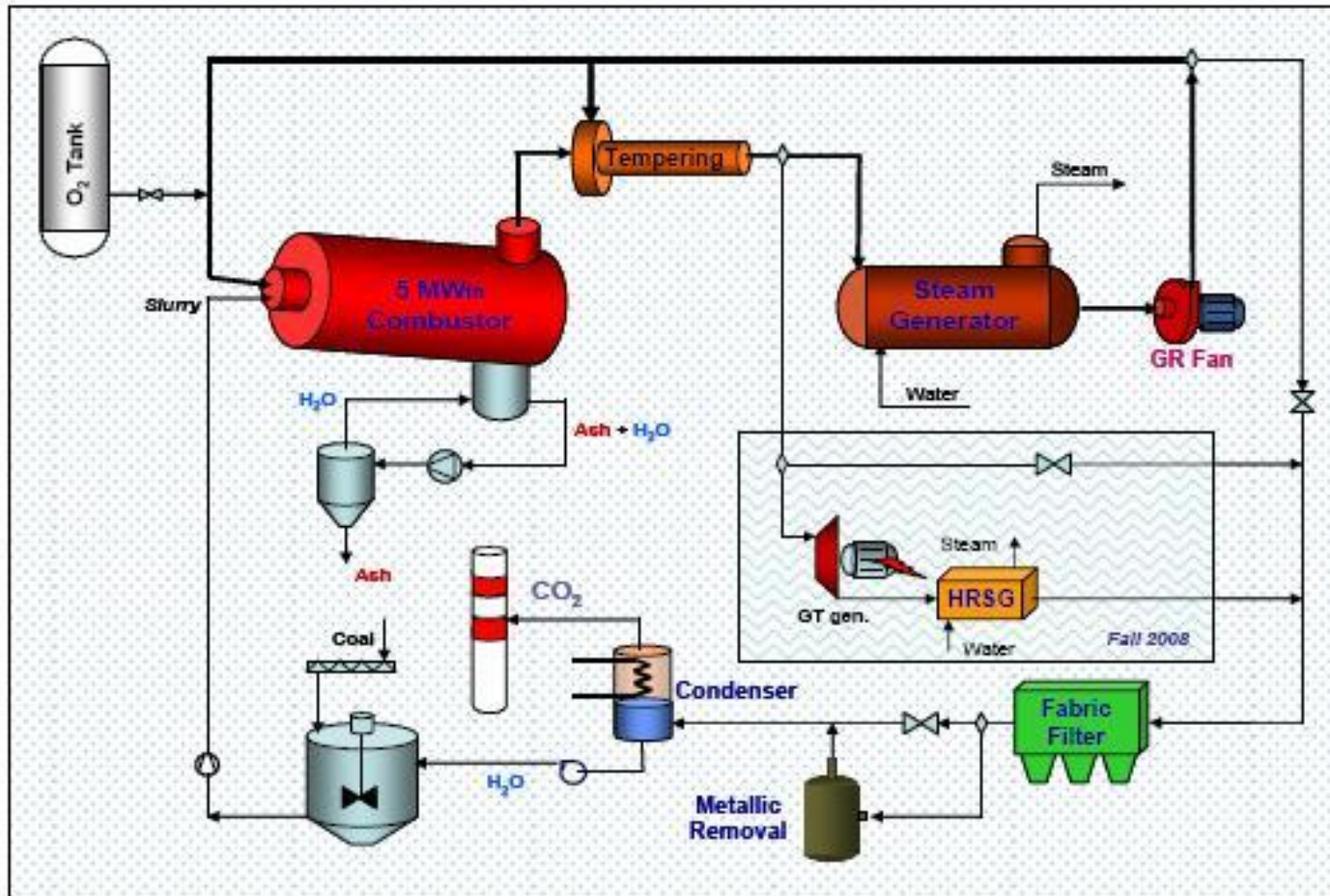
30 MW Oxy-fuel Pilot Plant (2008г.).

P. Mathieu



# ISOTHERM® Flameless Oxy-Combustion

## 5MW ISOTHERM® pilot plant (Italy)



ENEL: 4.1 billion Euro in 2007-2011 (50 MW plant).

*G. Benelli et al.*







## Сравнение топлив

### Условный относительный показатель экологичности топлива:

Природный газ	1,0
Мазут	0,223
<b>Кузнецкий уголь</b>	<b>0,0314</b>
<b>Канско-Ачинский уголь</b>	<b>0,0224</b>
Экибастузский уголь	0,007
Подмосковный уголь	0,005



# Программы чистой угольной энергетики

1. **Clean Coal Technology Demonstration Program (CCT) – USA, 1986**
2. **Combustion 2000 (C-2000) – USA**
3. **Thermie – EU**
4. **Joule II – EU**
5. **Экологически чистая энергетика – Россия, 1989 :**  
**Экологически чистая ТЭС на твердом топливе**  
**(9 проектов для 4 видов угля)**



# «Экологически чистая тепловая электростанция на твердом топливе»

## *Канско-Ачинский уголь. Березовская ГРЭС-2*

**Вариант 1:** 6.4 ГВт. Вихревые топки.

**Вариант 2:** 5.0 ГВт, ПГУ-600.

## *Экибастузский уголь. Южно-Уральская ГРЭС*

**Вариант 1:** 4 ГВт. Тангенциальные топки.

**Вариант 2:** 4 ГВт. Газификация и сжигание в ЦКС.

## *Кузнецкий уголь. Кировская ТЭЦ*

**Вариант 1:** 1,2 ГВт. Сжигание в ЦКС.

**Вариант 2:** 2 ПГУ по 300 МВт. Внутрицикловая газификация.

## *Донецкий АШ. Ростовская и Несветай ГРЭС*

**Вариант 1:** Сжигание в ЦКС.

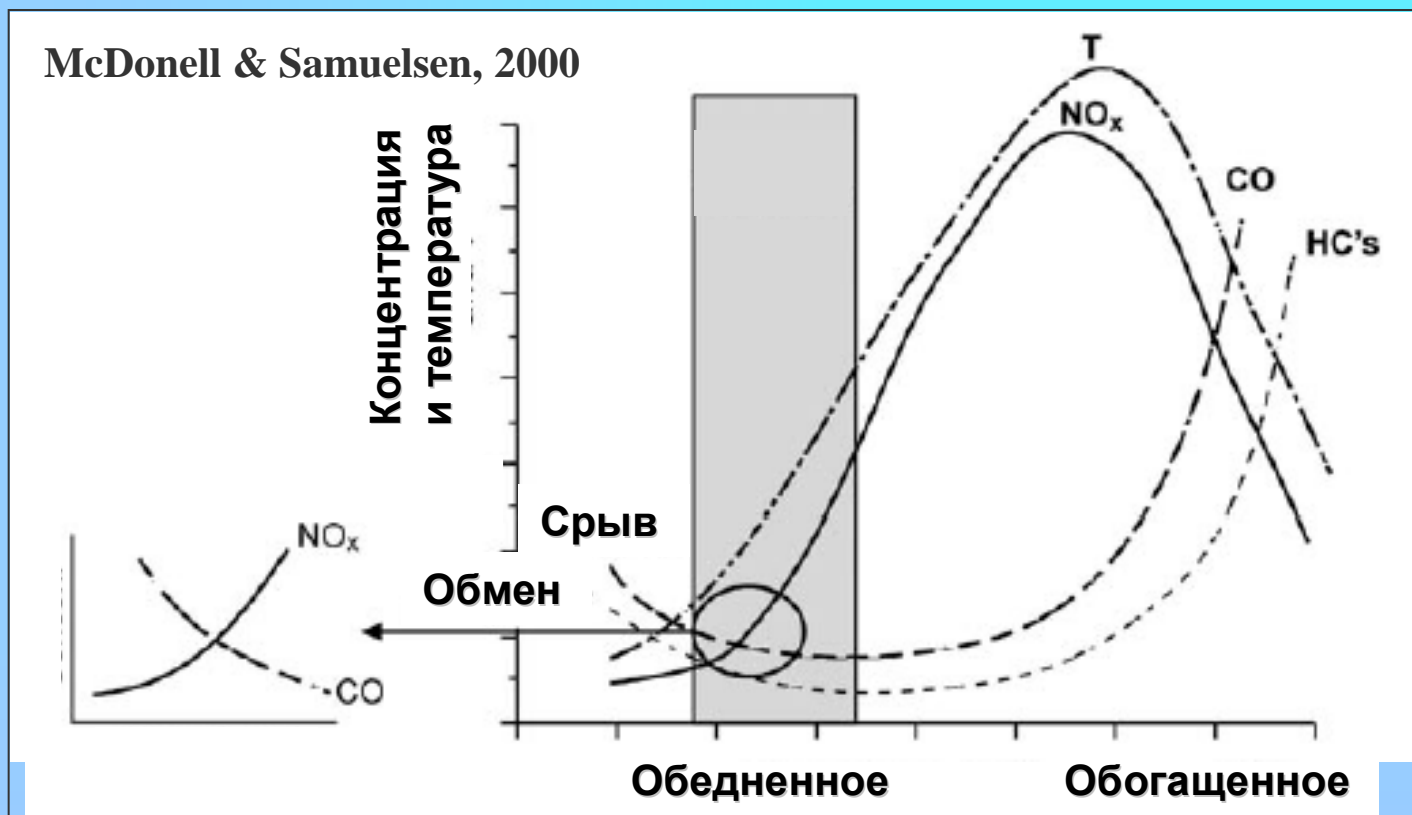
**Вариант 2:** Высокотемпературное сжигание.

**Вариант 3:** Сжигание в шлаковом расплаве.

# Низкоэмиссионные методы сжигания органических топлив

## СТРАТЕГИЯ:

Резкое снижение эмиссии  $\text{NO}_x$  означает проведение реакций вдали от стехиометрических условий, в частности, при сжигании **ультра-бедных** смесей (вблизи к режиму срыва пламени). Практическая реализация требует компромисса между эмиссией, устойчивостью горения и эффективностью.





## **3. СЖИГАНИЕ УГЛЯ**



# Сверхкритические и суперсверхкритические параметры пара

Повышение термического КПД паротурбинного цикла: увеличение температуры и давления пара вплоть до *сверхкритических* параметров – **25 МПа, 565°C**. Европейская программа “**THERMIE**” предполагает создание угольных ТЭС мощностью **400-1000 МВт** с температурой пара **600-700°C**, давлением до **35 МПа**, и КПД **47-55%**. Такие параметры считаются *суперсверхкритическими*. Лучший угольный котел (Германия, 2014): **29,2 МПа, 600/620°C**, КПД **47,5%**. В России есть опыт эксплуатации небольших котлов с давлением **30 МПа** и температурой **650°C** в Кашире (с 1963) и ВТИ (с 1949).

**Проект ВТИ, «Эм-Альянс»:** 660 МВт; 29,4 МПа; 610°C; 45%.

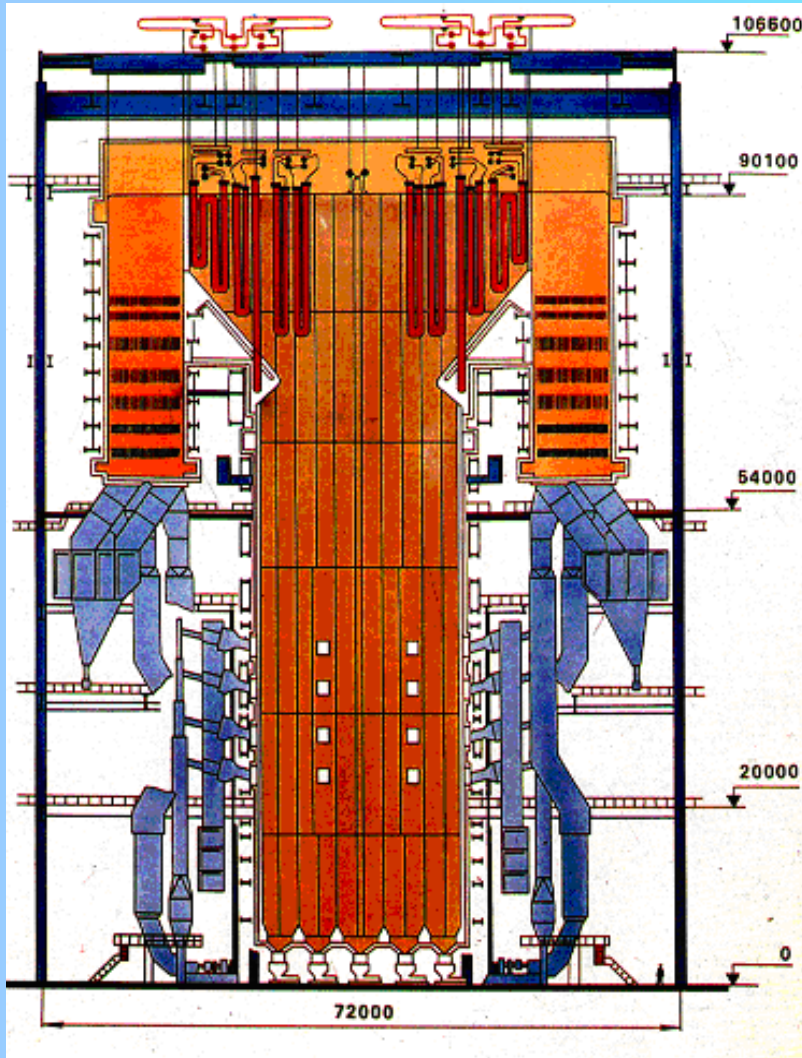
**Проект ВТИ:** 800 МВт; 35 МПа; 720°C (*ультрасверхкритика*).

**Проект:** Высокотемпературная паровая турбина с перегревом пара путем сжигания водорода или метана в паре (**800÷1500°C**).

**Проблема:** конструкционные материалы

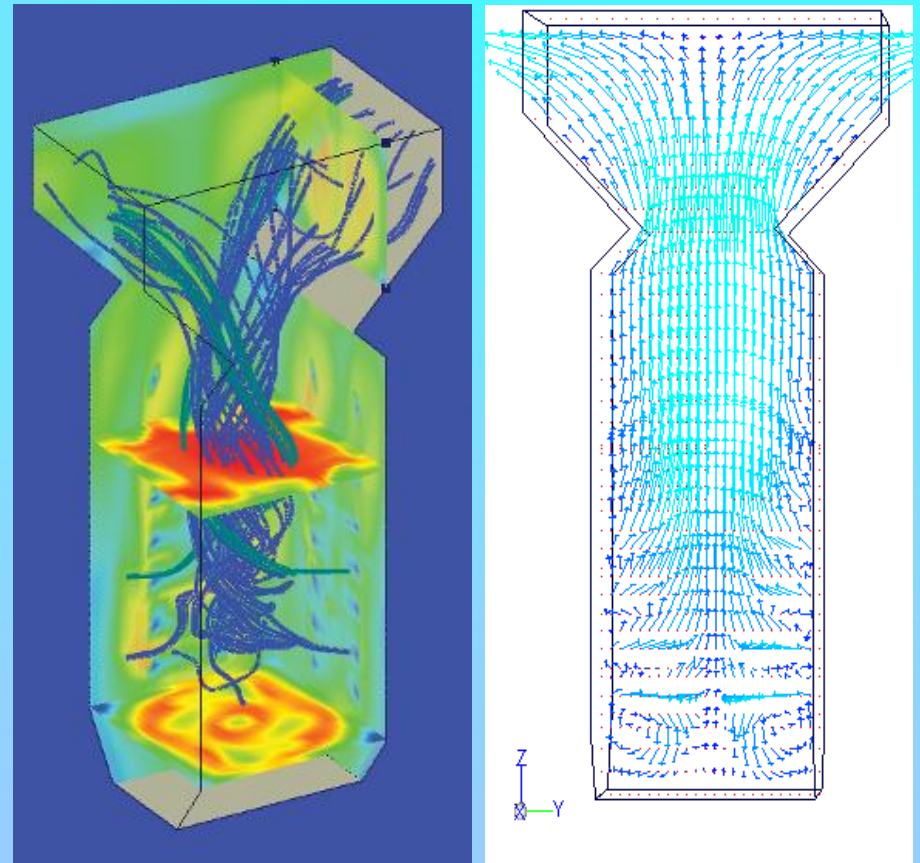


# Пылеугольный котел П-67 с тангенциальной топочной камерой



Пылеугольный котел П-67 Березовской ГРЭС-1 мощностью 800 МВт

*CFD SOLVER σFlow* для численного моделирования процессов переноса в энергетике (Дектерев и др.)



Поля температуры, скоростей и траекторий угольных частиц в котле П67 Березовской ГРЭС





# Пылеугольный котел с кольцевой топкой

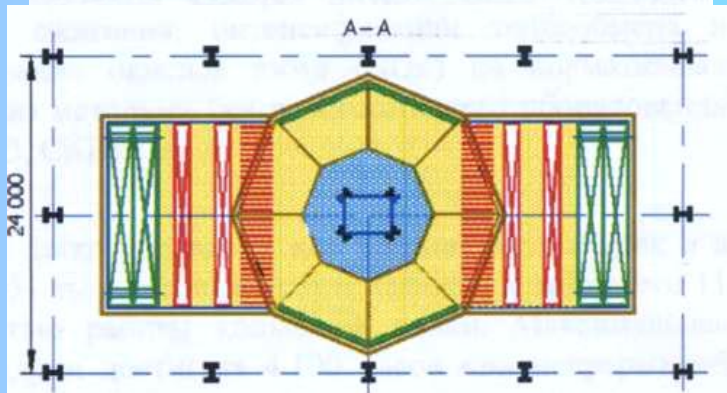
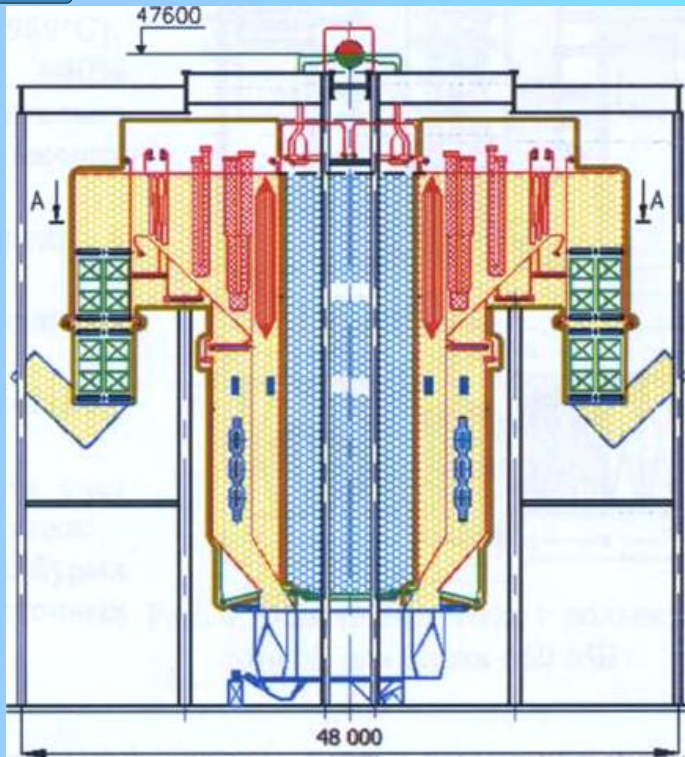
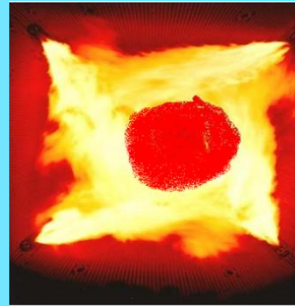
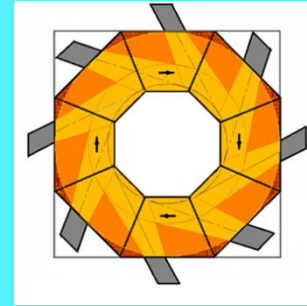


Схема котла Е-820 с кольцевой топкой на Ново-Иркутской ТЭЦ (Серант Ф.А.)

(а)



(б)



Аэродинамика факела в тангенциальной (а) и кольцевой (б) топке

Кольцевая конструкция позволяет снизить высоту топки на **30-40%**, уменьшить массу металла поверхностей нагрева под давлением на **15-20%**, существенно снизить температуру факела (до **1250°C** вместо обычных **1400-1600°C**) и уменьшить температуру **дымовых** газов на выходе из топки до **1000°C**.

Рекомендуется применять котлы с кольцевой топкой для новых угольных энергоблоков ТЭС мощностью **200 МВт** и более.

Рекомендуется провести работы по применению кольцевой топки в прямоточных котлах для более мощных энергоблоков (**330-800 МВт**), в частности, для **Экибастузской ГРЭС-1**.

# Парогенератор вихревого типа (ПВТ)

## Вихревая топка: перспективная технология сжигания угля

### Преимущества вихревой топки:

Устойчивое **высокоскоростное** закрученное движение с интенсивными процессами переноса;

**Высокотемпературное** сжигание с жидким шлакоудалением;

Горизонтальная ориентация оси вращения потока увеличивает **время пребывания** угольных частиц в топке;

Новая конструкция расположения горелок обеспечивает улучшенное **управление** рабочими режимами;

Уровень **NOx** эмиссии остается в допустимых пределах благодаря:

- эффекту **рециркуляции** продуктов сгорания в зону реакции;
- реализация принципа **двухстадийного** сжигания;

**Компактные** размеры топки.

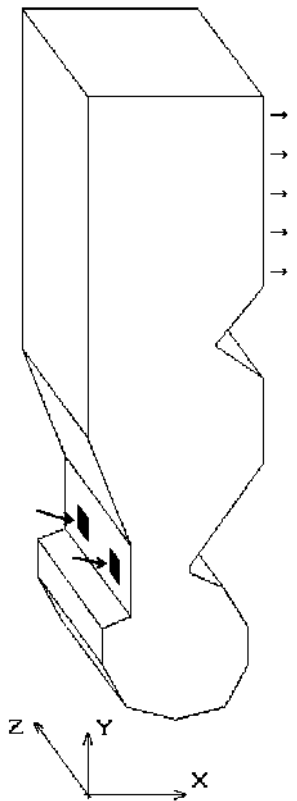
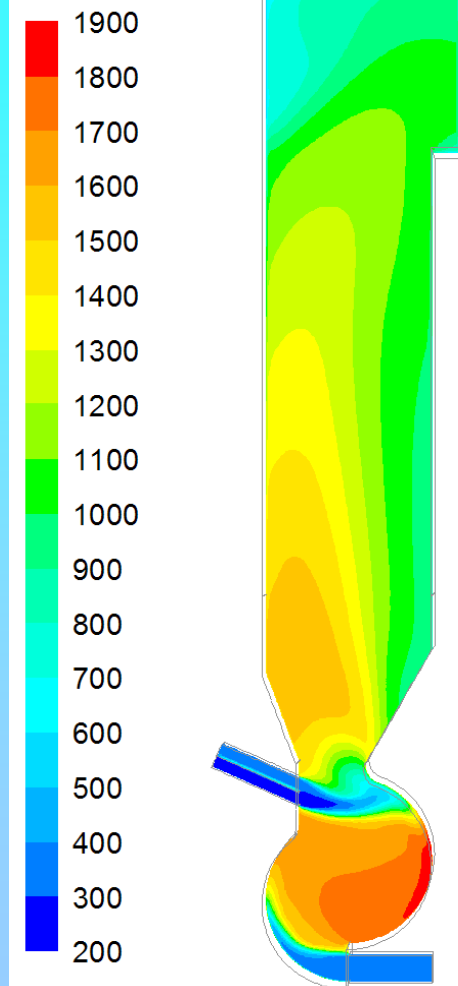


Схема вихревой топки опытно-промышленного котла ТРЕ-427, находившегося в эксплуатации на **ТЭЦ-3 г. Новосибирска.**

Вариант топочной камеры, предложенный для сжигания **Монгольских бурых углей.**



Поле температур, °С



# Проект Шивэ-Овооской ТЭС мощностью 4,8 ГВт

Совместная разработка ИТ СО РАН (д.т.н. Саломатов В.В.) и МУНТ (академик Батмунх С.)

Уголь Шивэ-Овооского месторождения имеет низкую теплоту сгорания, высокую влажность, большое содержание летучих веществ (категория бурого угля типа Б1-Б2).

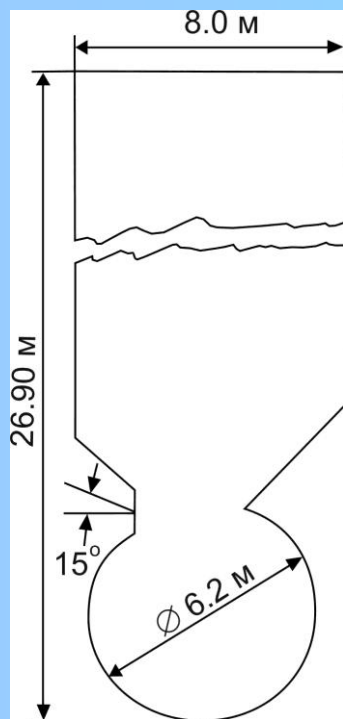
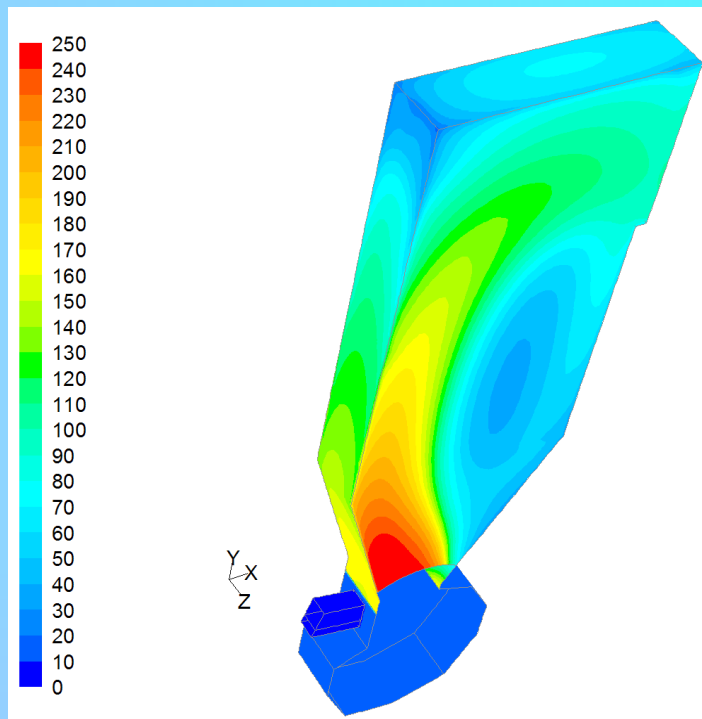


Схема топочной камеры энергоблока



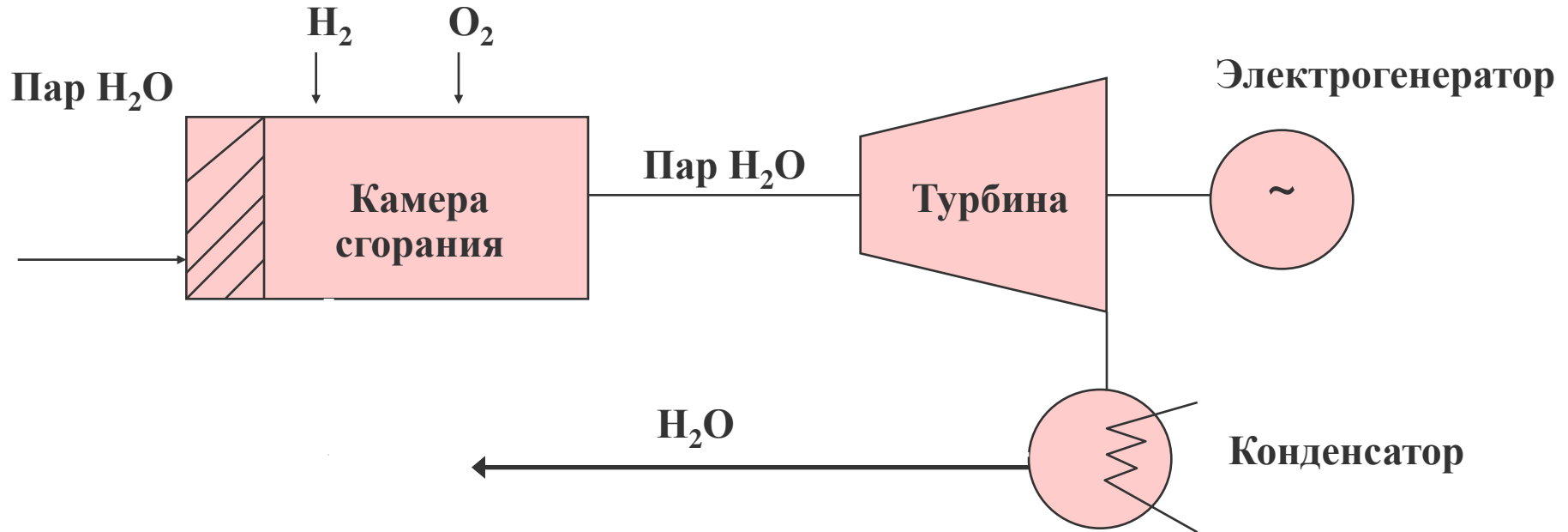
Тепловые потоки на стенках ( $\text{кВт/м}^2$ ) при сжигании Шивэ-Овооского угля

Предлагается комплекс КСВТ-2650 из 6 энергоблоков мощностью по 800 МВт общей длиной 64 м. Каждый энергоблок содержит вихревую топку с жидким шлакоудалением, состоящую из футерованной камеры горения с высоким теплонапряжением объема, и камеру охлаждения, насыщенную двухсветными экранами. Количество горелок – 32.

*Шарыпов, Красинский*



# Энергоблок с высокотемпературной паровой турбиной

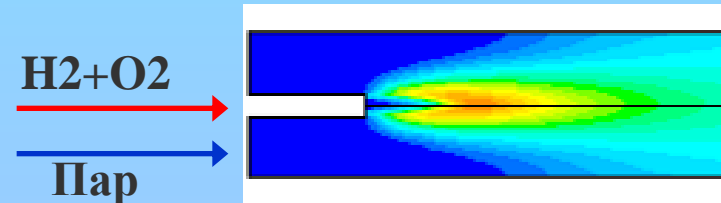


**Принцип:** дополнительный перегрев водяного пара до **800÷1500°C** перед турбиной с целью повышения КПД энергоблока до **50-55%**.

**Перегрев пара:** сжигание **водорода** в паре.

**Источник водорода:** уголь (газификация).

**Горение водорода в водяном паре**





# Энергоблок с высокотемпературной паровой турбиной

из РЕШЕНИЯ БЮРО **ОЭММПУ РАН** от 25.11.2008

3. Просить Роснауку, ... обеспечить финансирование проекта создания высокоэффективной ТЭС с **угольно-водородным** топливом мощностью 25 МВт и эскизного проекта ТЭС мощностью 250 МВт.

4. Одобрить создание межведомственной лаборатории (РАН, ...) по **водородной энергетике** в г. Калуга.

Академик-секретарь ОЭММПУ РАН,  
академик

Фортов В.Е.

## Примечания:

1. Необходимо решить проблему получения водорода из угля (**газификация**)
2. Рассматриваются варианты использования **кузнецких** углей





# Концепция микроугля: основные проблемы и решения

## Преимущества ультратонкого помола ( 5 - 40 микрон):

- Значительное увеличение площади твердой поверхности
- Высокая интенсивность горения
- Эффект механической активации
- Снижение температуры воспламенения
- Снижение выбросов NOx

## Возможное применение:

- Использование микроуглей как основного топлива для небольших газомазутных котлов
- Использование микроуглей вместо газа и мазута для воспламенения и розжига крупных котлов на твердом топливе
- Прямое сжигание микроуглей в газотурбинных установках

## Проблемы:

- Большие энергетические затраты на микропомол
- Взрываемость угольной пыли

## ДЕЗИНТЕГРАТОР для микропомола с механоактивацией



## Параметры:

Средний размер частиц	35 мкм
Производительность	150 кг/ч
Энергозатраты	25 кВт ч/т



# Применение микрогля в энергетике

## Горение микрогля

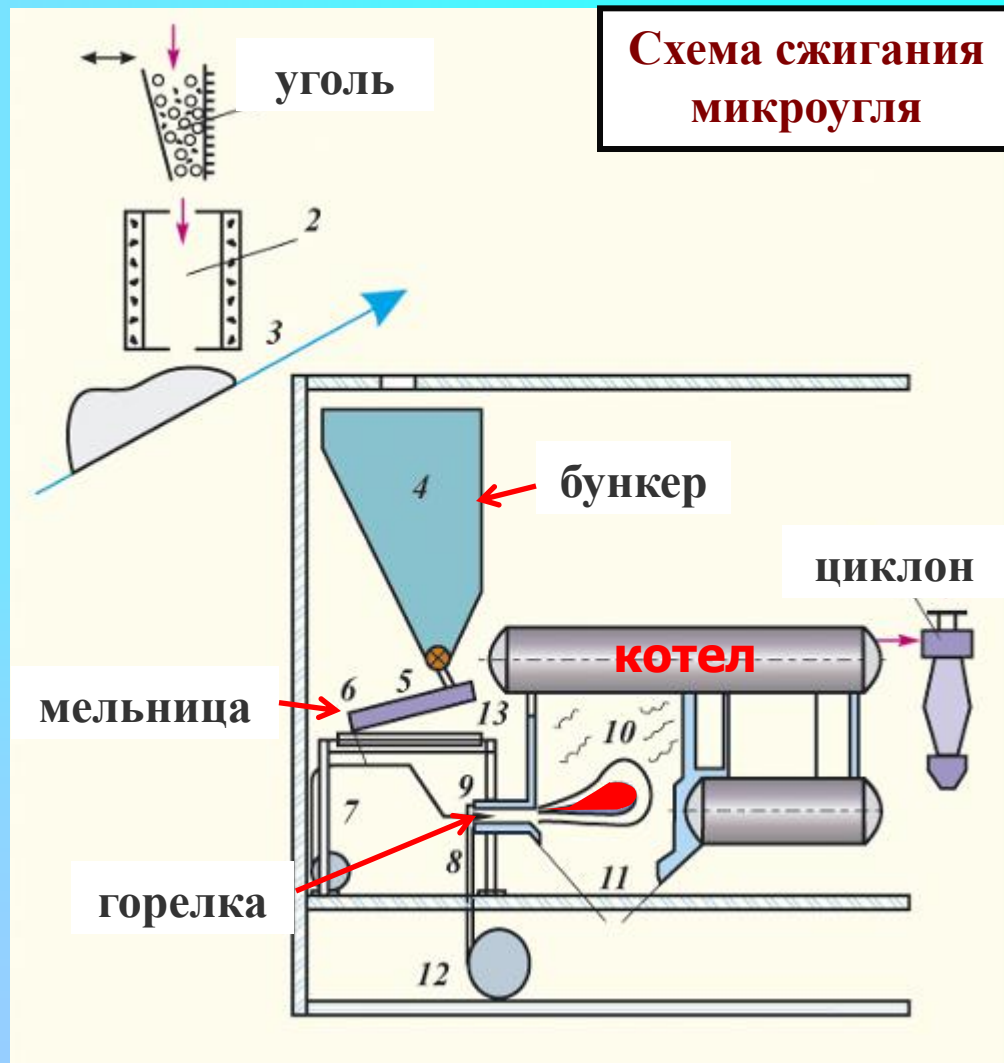


Помол без механоактивации:  
 $E = 190$  кДж/моль



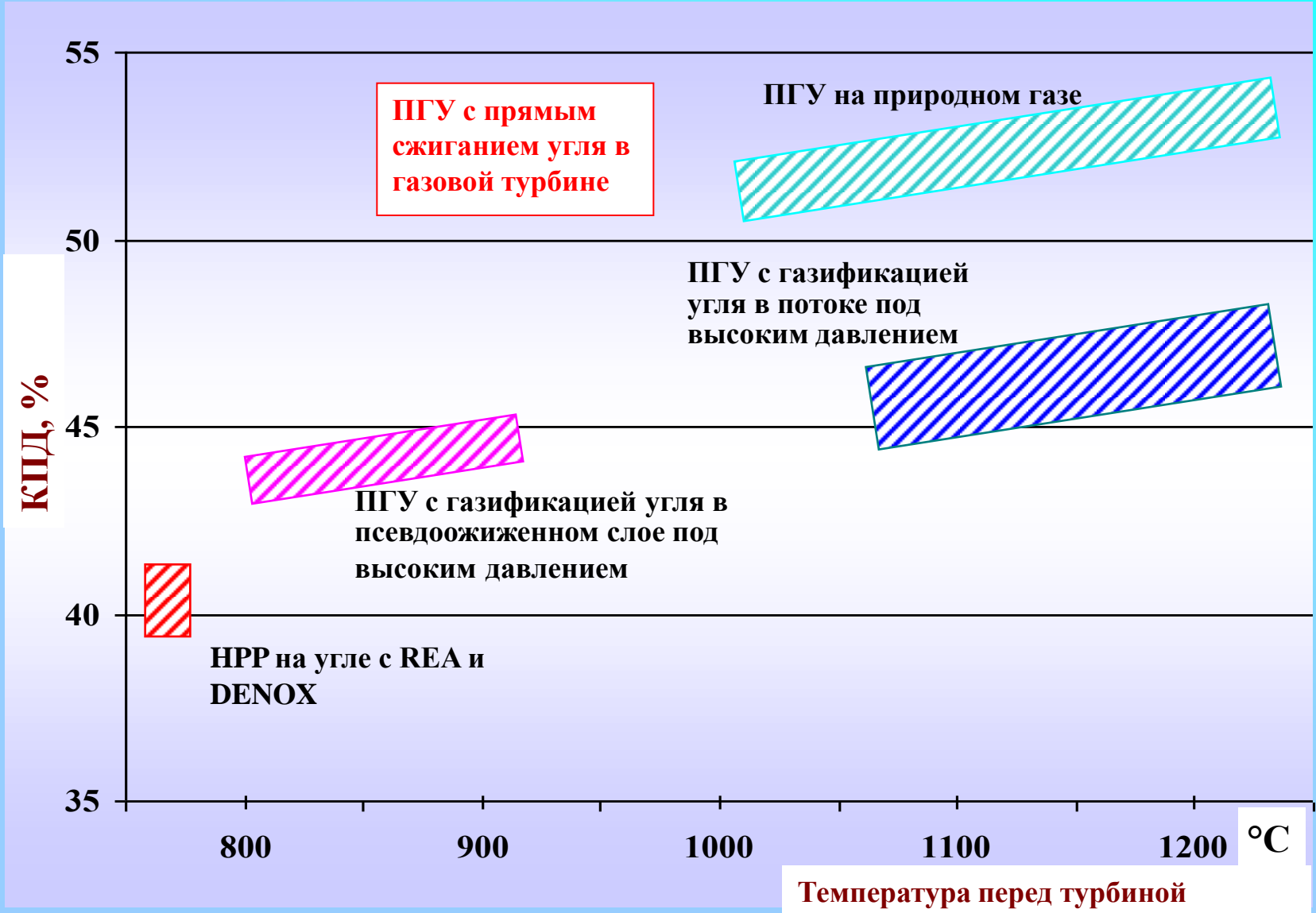
Помол с механоактивацией:  
 $E = 70$  кДж/моль

В ходе промышленных испытаний осуществлен **безмазутный розжиг** котла ПК-40 Беловской ГРЭС в Кузбассе механоактивированным углем микропомола.





# КПД тепловых электростанций







# Водоугольное топливо (ВУТ)

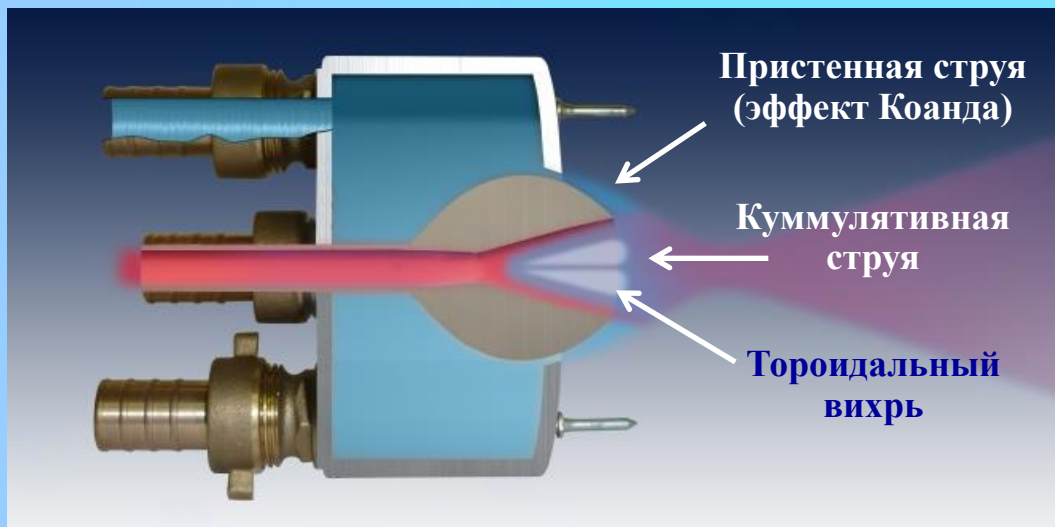
В СФО 60 000 котельных с КПД до 30 - 50%.  
Перевод на ВУТ: КПД = 80 - 85%.

Развита технология получения ВУТ (65% угля) на основе шаровой мельницы и генератора кавитации с добавлением пластификатора. Размер угольных частиц около 50-70 мкм. Разработан метод сжигания ВУТ в вихревой камере с использованием оригинальной пневматической форсунки, созданной на основе эффектов Коанда и куммуляции.

## ПЛАНЫ:

1. Испытания пилотного котла ВУТ мощностью 2 МВт в п. Барзас.
2. Запуск пилотного котла ВУТ мощностью 10 МВт на Дальнем Востоке.
3. Создание систем централизованного приготовления ВУТ с последующей его доставкой на котельные (до 100 км).
4. Сжигание угольных шламов на Кузбассе.

Воздух  
300 м/с  
→  
ВУТ  
10 - 15 м/с  
→

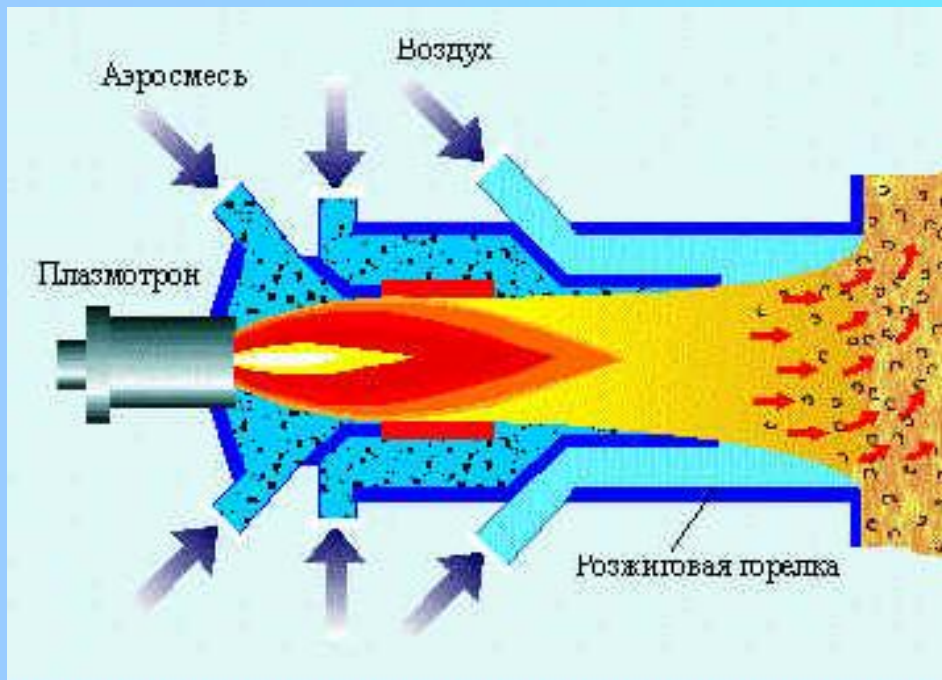


Пневматическая форсунка



# Плазменные технологии в энергетике

## Плазменный безмазутный розжиг пылеугольных котлов



Система плазменного розжига  
в г. Лоян (Китай)



## **4. УГОЛЬНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ (ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА УГЛЯ)**



# Глубокая переработка угля

## ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЯ

**Газификация** – производство горючего газа (**синтез-газа**) при неполном окислении угля.

**Назначение:** производство тепловой и электрической энергии; получение водорода и синтетического жидкого топлива (СЖТ).

**В СССР в 1958г.** – 2 500 газогенераторов производительностью 15 млн т угля в год.

**Приоритет:** внутрицикловая газификация для пр-ва электроэнергии (бинарный цикл – горючий газ сжигается в газовой турбине, продукты сгорания подаются в паровой котел). Первая ТЭС 100 МВт – США (1983).

**Типы газификаторов:** *Винклера* (с кипящим слоем, 1926), *Лурги* (с повышенным давлением в слое, 1932), *Копперса-Тотцека* (с пылеугольным потоком, 1945), *Тексако* (на водоугольной суспензии, 1970е).

**Окислитель:** кислород, воздух, вода.

Мировое потребление газа, полученного в газогенераторах (2000г).

Источники	Потребление, ГВт
▪ Химическое производство	18
▪ Производство электроэнергии (внутрицикловая газификация)	12 (15 в 2015 г.)
▪ Производство синтетического жидкого топлива	10
<i>Всего</i>	<b>40</b>

**Программа России «Экологически чистая энергетика»**

Проект Березовской ГРЭС-2 мощностью **8 ГВт (!):** 8 ПГУ с газификацией угля.





# Методы газификации угля



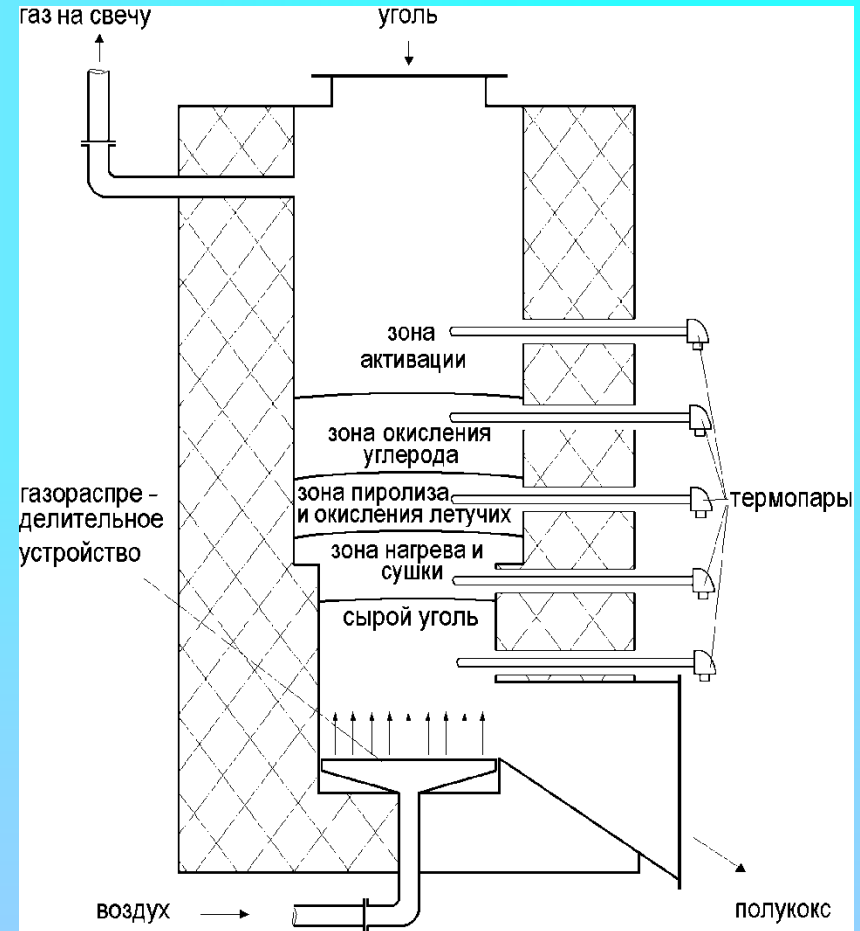
## ПЛАЗМЕННО-ПАРОВАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ

Плазменный реактор, 100 кВт

Филиал ИТ СО РАН (г. Гусиноозерск)

Состав газа:  $\text{CO} = 48\%$ ,  $\text{H}_2 = 49\%$  ...

Оценочная стоимость синтез-газа, произведенного плазменно-паровой газификацией угля, на 42% ниже его рыночной стоимости (Мессерле, Устименко).

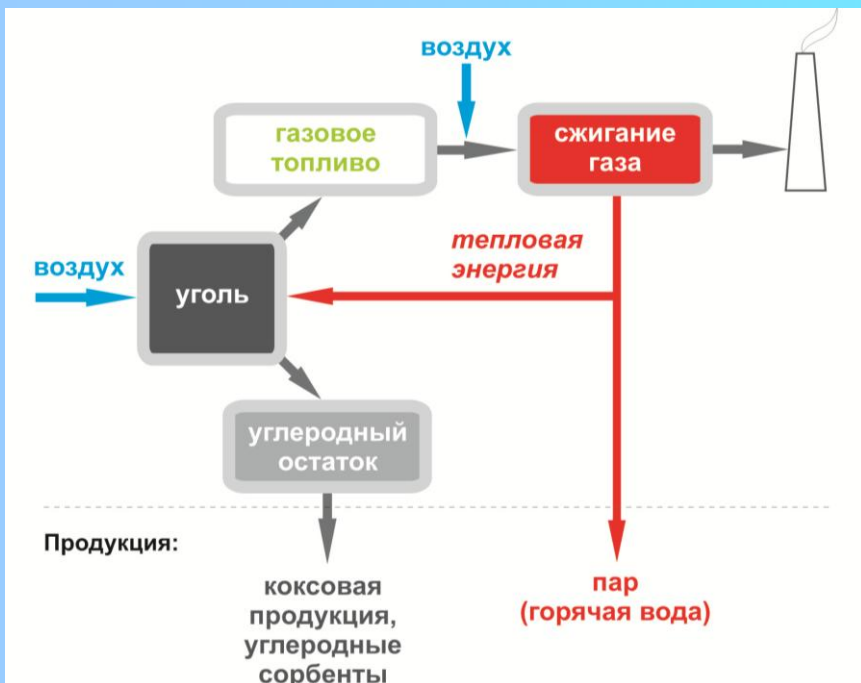


**ТЕХНОЛОГИЯ «СИБТЕРМО»** – процесс слоевой газификации в режиме "обратной тепловой волны" (ЗАО «Сибтермо»).  
Состав газа:  $\text{CO} = 26\%$ ,  $\text{H}_2 = 22\%$  ...



# Технология ТЕРМОКОКС-С

## СТРАТЕГИЯ: ЭНЕРГИЯ + ПРОДУКТЫ



Цех газификации угля (Красноярск, 1996)

**Частичная газификация угля** в слоевом аппарате с целью получения **термококса** и **генераторного газа** энергетического назначения, не содержащего угольной смолы. Газ сжигается на месте в газовом бойлере для производства тепловой энергии, а высококалорийный термококс является сырьем для изготовления продукции широкого спектра применения – **бездымное бытовое топливо, углеродные сорбенты, заменитель металлургического кокса.**



# Технология ТЕРМОКОКС-С

## ПРЕДЛОЖЕНИЕ:

Пилотный проект завода сорбентов для  
Академгородка СО РАН:

Производительность до **6 000 т** сорбента в год

Производство тепловой энергии - **20 000 Гкал.**

Тепловая мощность от сжигания горючего газа  
в котле-утилизаторе составляет до **10 МВт.**

В основу технологии положена слоевая  
частичная газификация бурого угля по  
технологии **«СИБТЕРМО»**. Дополнительно  
планируется получение **холода** на основе  
**АБХМ** для кондиционирования Технопарка

Срок окупаемости : до **1 года!**



Первая фабрика **бездымного**  
**топлива** (Улан-Батор, 2008).  
Новый проект в Монголии:  
завод по производству брикетов  
бездымного топлива в объеме  
**210 тыс. т/год** (пуск – **2015 г.**)



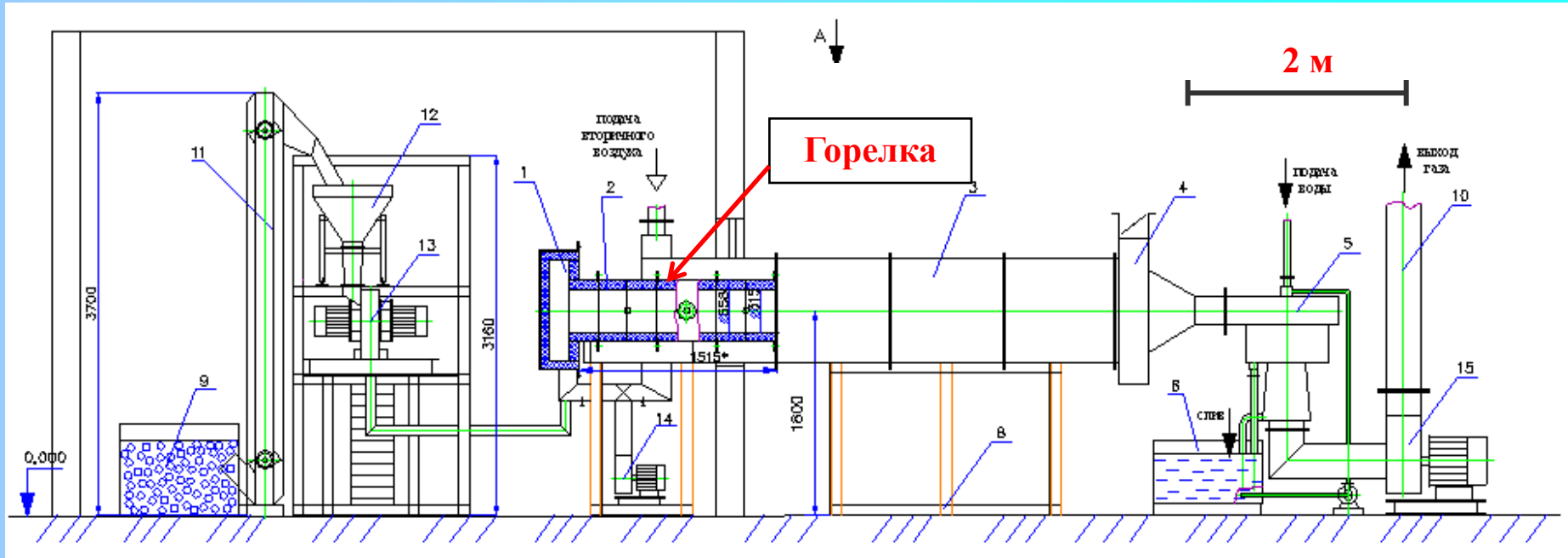
*ЗАО «Сибтермо»,  
Красноярск;  
Бийскэнергомаш*





# Огневой стенд мощностью 5 МВт

## Исследования горения и газификации пылеугольного топлива



Проведены первые успешные эксперименты по **двухступенчатому горению** и **воздушной газификации** на Кузнецком каменном угле разных марок. Показана возможность использования технологии **микрпомола** углей как для систем **безмазутного розжига** котельных установок, так и для получения **синтез-газа** приемлемого состава.



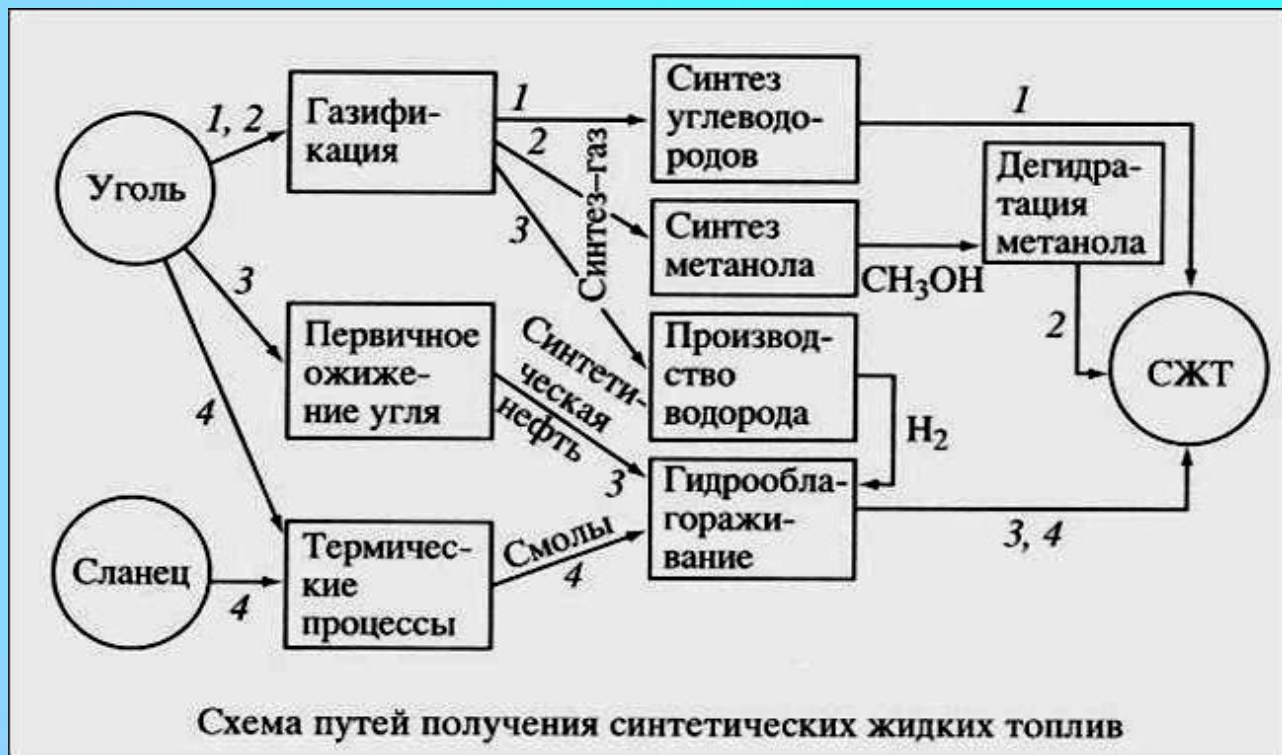
# Синтетическое жидкое топливо (СЖТ)

## Исторический опыт

1927 г. - 100 тыс. т/год бензина из бурого угля гидрогенизацией (Германия)

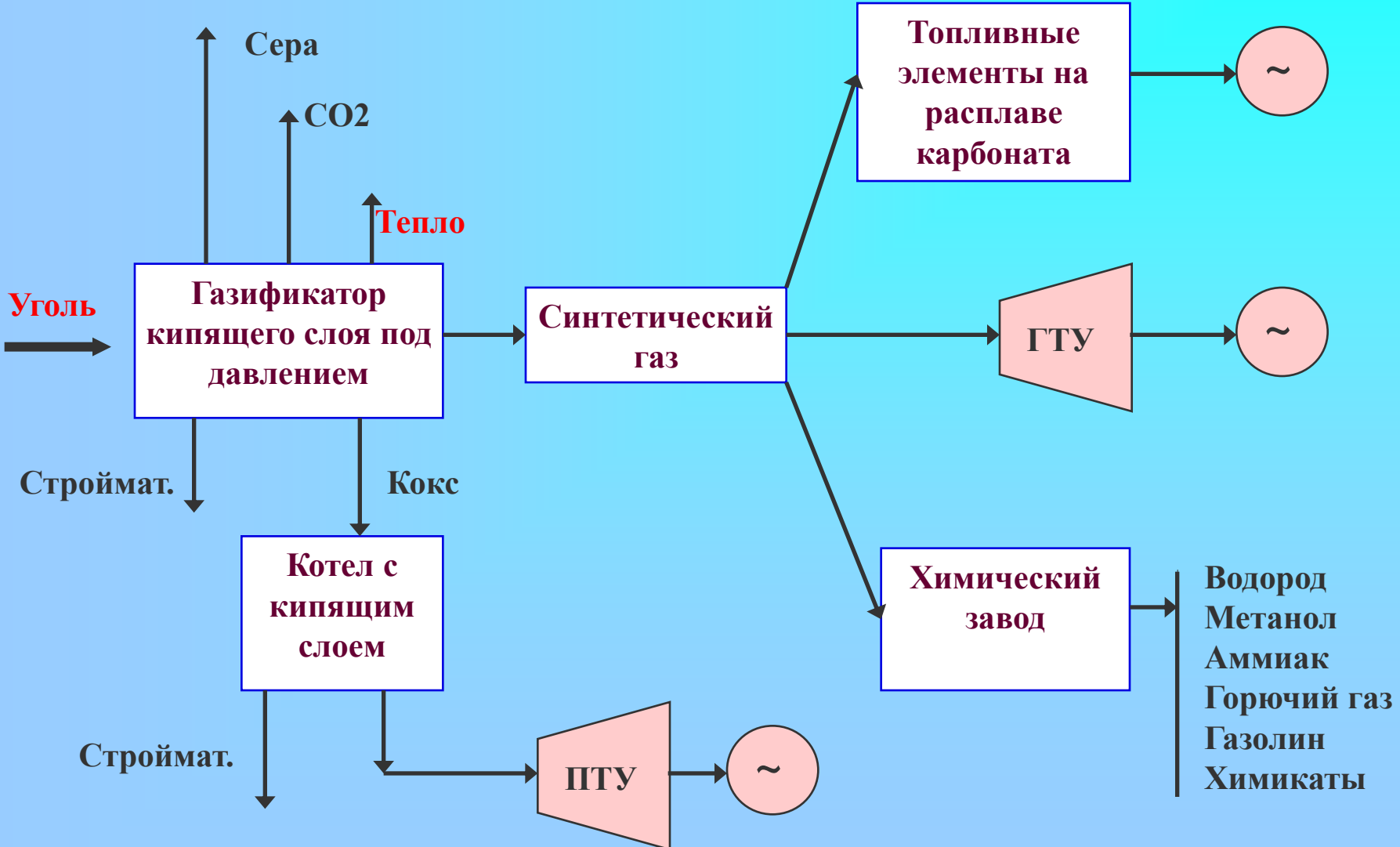
1944 г. - 4 млн. т/год СЖТ из углей

1939 г. - Опытный промышленный завод в г. Кемерово





# Энергетический комплекс по глубокой переработке угля





## **5. ДРУГИЕ ВИДЫ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ**

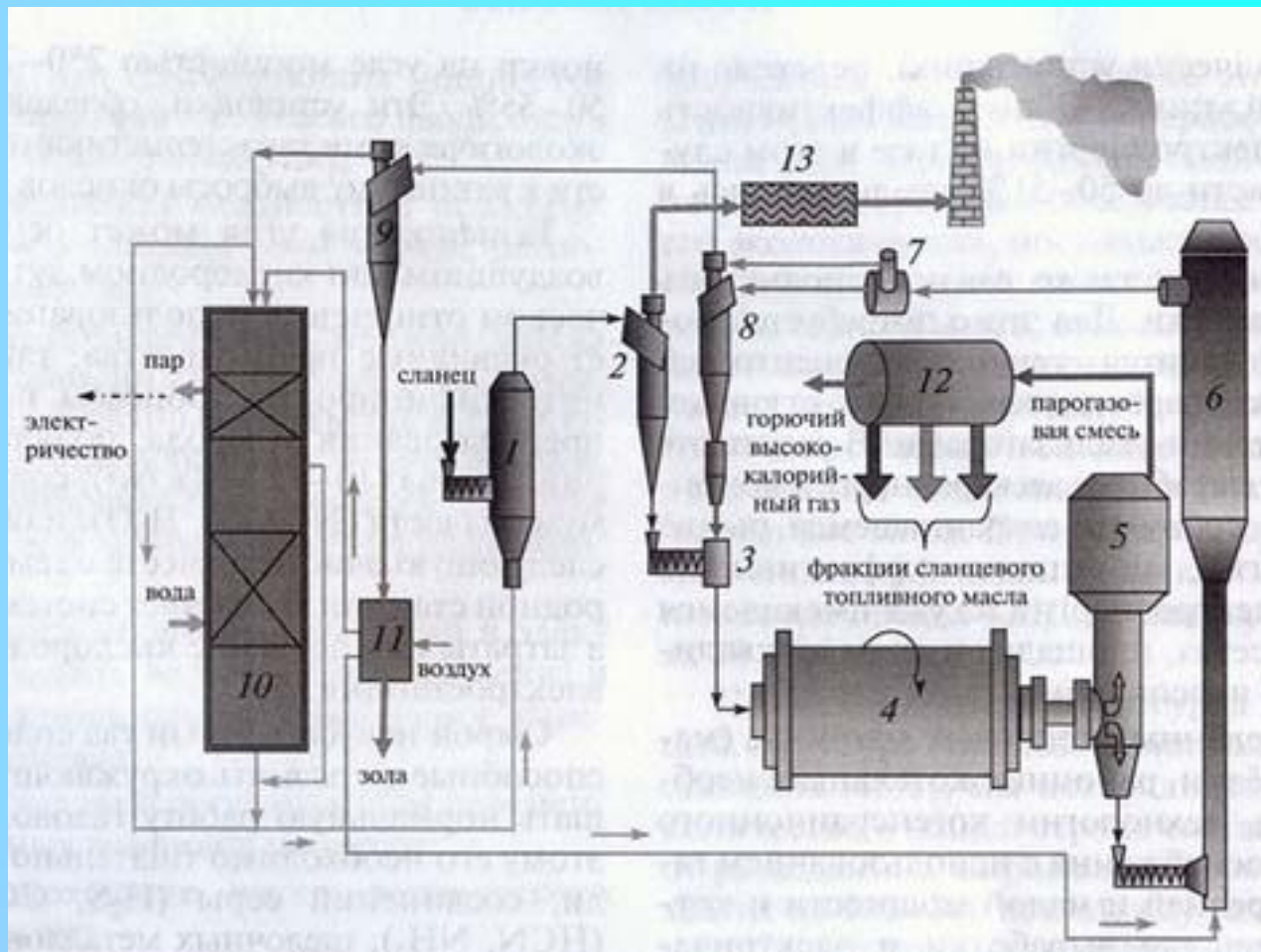


# Термическая переработка сланца

**Энерготехнологическое использование твердых топлив:  
Пиролиз сланца.**

**В мировых запасах сланца содержится 550 – 630 млрд. т сланцевой смолы – в 3 – 4 раза больше разведанных запасов нефти.**

**Установки пиролиза сланца были созданы в СССР (Нарва) в 80-х годах и в Бразилии.**



**Схема термической переработки сланца на установке с твердым теплоносителем (УТТ-3000) – 3000 т/сутки.**

*Ак. Э.П. Волков (ЭНИН) – лауреат премии «ГЛОБАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ»*



# Газогенераторная установка на древесных отходах

Запасы **леса** в России – **26%** мировых.  
Основные запасы сосредоточены в **Сибири (11% мировых)** и на Дальнем Востоке.

**Цели:**

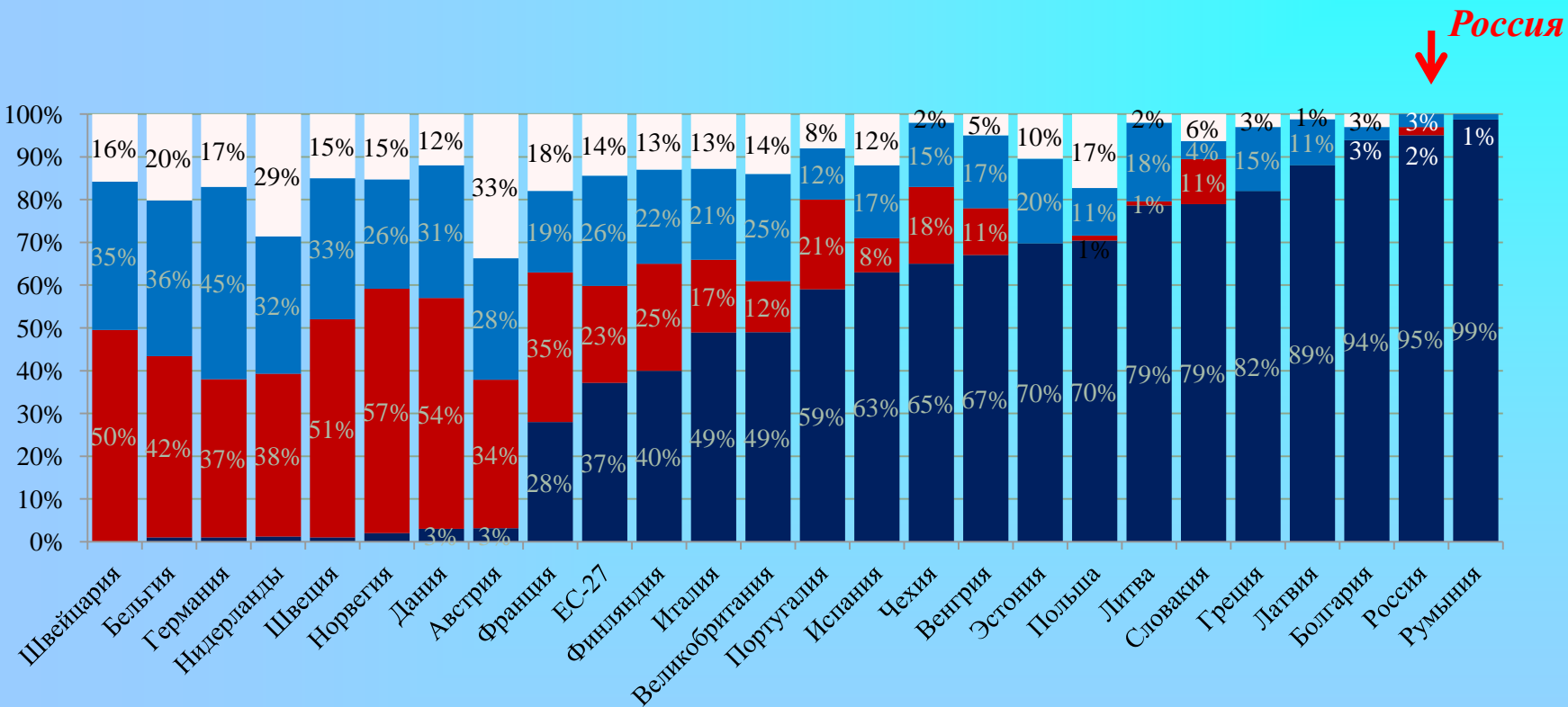
1. Создание технологий газификации древесины для получения тепла и электроэнергии
2. Создание безотходных комплексов переработки леса в лесной промышленности





# Твердые бытовые отходы (ТБО)

## Методы обращения с ТБО в странах ЕС и России



Компостирование  
Переработка во вторичное сырье

Термическая переработка  
Захоронение

# Твердые бытовые отходы (ТБО)

Мировая тенденция: **Waste-to-Energy**

Теплота сгорания = 4200 - 7500 кДж/кг (бурый уголь 10 400 кДж/кг)

В настоящее время в мире эксплуатируется более **2,5 тыс. установок**, сжигающих ТБО на механических колосниковых решетках, около **200 топок** для термической переработки отходов в кипящем слое, примерно **20 барабанных печей**, где сжигают ТБО, а также **единичные** установки с использованием пиролиза и газификации.

Всего утилизируется около **200 млн. т ТБО** в год и вырабатывается **130 ТВт·ч** электроэнергии.

Общее количество МСЗ только в Европе превышает **400**.

В Японии работает около **1 900** установок термической переработки ТБО, с помощью которых утилизируется **75 %** ТБО страны.

В США в 2007 г. **12,5 % ТБО** было подвержено термической переработке с производством **48 ТВт·ч** полезной энергии.

В Китае за 8 лет с 2001 по 2007 г. доля термической переработки отходов выросла с 2 млн. до 14 млн. т в год. В 2007 г. в стране работали 66 мусоросжигательных заводов (МСЗ).

В Китае тепло- и электроэнергия, выработанные из биомассы или ТБО, покупаются государством почти в **2 раза дороже**, чем выработанные из обычного органического топлива.





# Мусоросжигательный завод в Пхукете (Таиланд)



# **ТБО** в России и Новосибирске

Ежегодно в России образуется **55-60 млн. т** твердых бытовых отходов, или 200 млн. куб. м. В России только **4–5 % ТБО** вовлекается в переработку предприятиями - переработчиками, которых по стране насчитывается около **400**, из них: комплексов по переработке ТБО – **243**, комплексов по сортировке – **53**, МСЗ – менее **10**.

Первый в России мусоросжигательный завод ГУП «Спецзавод № 2» был пущен в Москве в эксплуатацию в **1975 г.** Проект завода был разработан ВТИ по отечественной технологии, частично с использованием чехословацкого оборудования.

По планам 2016 г. в **Московской области** будут построены **4 МСЗ**, которые за год все вместе будут перерабатывать 2, 8 млн. тонн мусора (**25-30 млрд. рублей** каждый).

**ВТИ** разработал основные принципиальные технические решения, позволяющие уже сейчас создать полномасштабный опытно-промышленный образец современной отечественной ТЭС на ТБО с установленной электрической мощностью 12 МВт (120–180 тыс. т ТБО в год) и 24 МВт (360–420 тыс. т ТБО в год).

В настоящее время в **РФ** в эксплуатации находятся только **3 ТЭС на ТБО** общей установленной электрической мощностью всего лишь **26,6 МВт** (для сравнения: суммарная мощность ТЭС на ТБО в США – **2,7 ГВт**).

В **Новосибирске** ежегодно производится около **3,5 млн. куб. м** ТБО.

В 2010 г. на территории **Новосибирской области** находилось более тысячи полигонов и свалок ТБО, общая площадь которых превышала **2,6 тыс. га**.

Теплоэнергетика **Новосибирске** производит **19 млн. Гкал** тепла в год.

Оценочно объем ежегодного производства ТБО в **Новосибирске** эквивалентен около **10 %** от потребляемого топлива в пересчете на среднюю теплоту сгорания (без производственных отходов).



# Твердые бытовые отходы (ТБО)

Страны	Образование ТБО, млн.т/год	Сжигание		Кол-во МСЗ
		Млн.т/год	%	
США	248	24,8	10	125 (1993 г.)
Германия	25,3	8,6	34	73
Франция	17	7,1	42	128
Япония	52	40	77,4	1 800 МСУ
Россия	60			
Новосибирск	0,5			

Мировая тенденция: **Waste-to-Energy**

Теплота сгорания = 4200 - 7500 кДж/кг (бурый уголь 10 400 кДж/кг)

Выработка энергии из ТБО в США: 0,14 x 10<sup>12</sup> МДж/год (1993 г.)

2,10 x 10<sup>12</sup> МДж/год (2010 г.)

Россия: только 4 современных завода на импортном оборудовании:

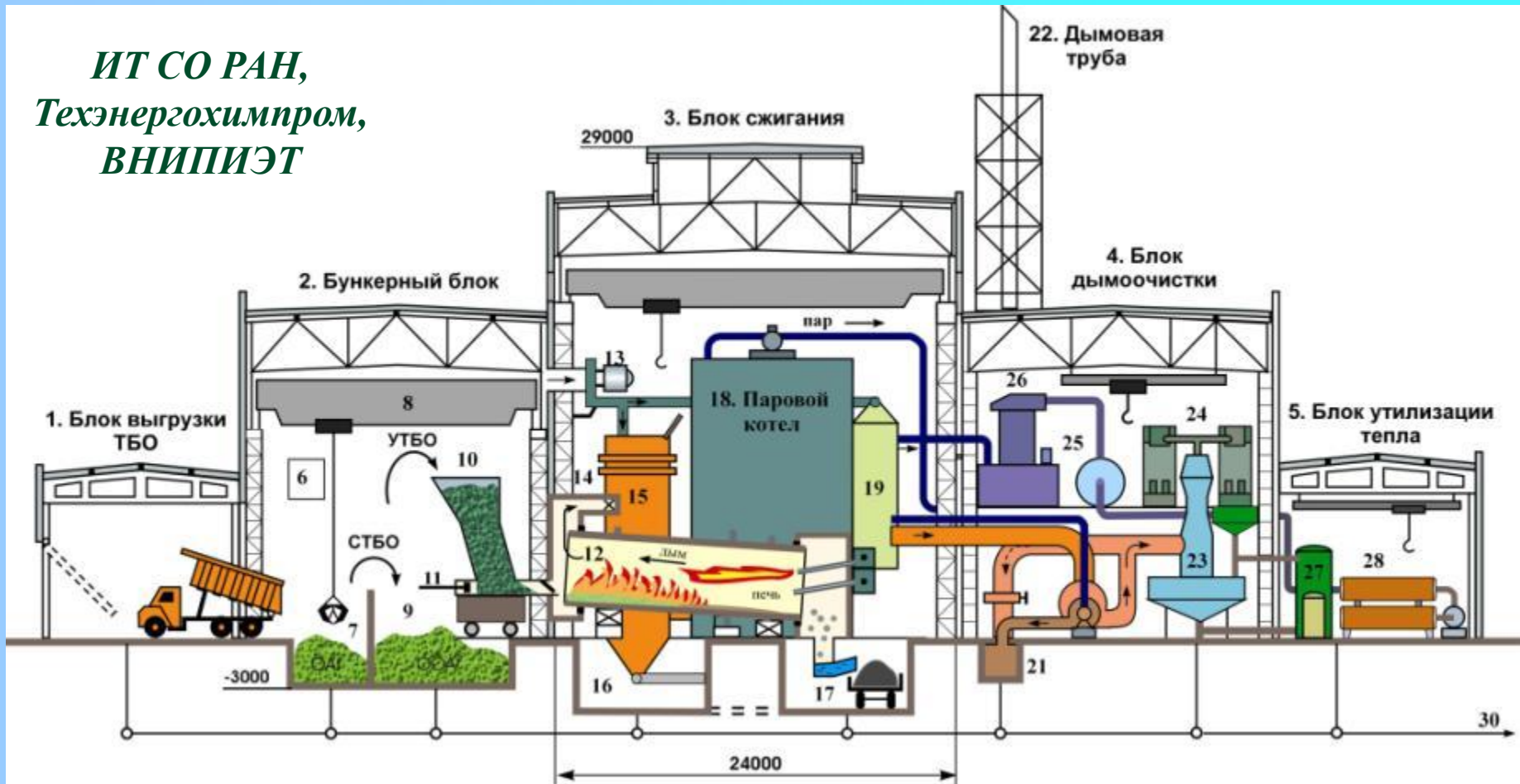
в т.ч. в Москве, СЗ №2 (150 тыс. т/год) и Череповце (1,7 т/ч).



# Твердые бытовые отходы (ТБО)

КОМПЛЕКСНАЯ РАЙОННАЯ ТЕПЛОВАЯ СТАНЦИЯ 40 тыс. т ТБО в год

*ИТ СО РАН,  
Техэнергохимпром,  
ВНИПИЭТ*







## Технико-экономические показатели КРТС

<i>Район обслуживания</i>	<i>100 тыс. чел.</i>
<i>Количество перерабатываемых отходов</i>	<i>40 тыс. т/год</i>
<i>Удельная теплота сгорания ТБО</i>	<i>1000-2500 ккал/кг</i>
<i>Выработка тепловой энергии</i>	<i>100 тыс. Гкал</i>
<i>Потребности институтов НИЦ в тепле</i>	<i>175 тыс. Гкал</i>
<i>Капитальные вложения</i>	<i>200-300 млн. руб.</i>
<i>Продолжительность строительства</i>	<i>2-3 года</i>
<i>Срок окупаемости</i>	<i>6-10 лет</i>
<i>Особенности</i>	<i>привязка к тепловой станции</i>

**На основе проектов и предложений для г. Бердска,  
Советского р-на г. Новосибирска и Сахалина**



# Плазменная переработка органических отходов

**Цель проекта ФЦП:** Разработка и создание электроплазменной установки для экологически безопасной, безотходной переработки органических отходов с производством **синтез-газа** и возможностью производства **электроэнергии**.

**Результаты опытов по газификации сельхозотходов – рисовой лузги:**

- Состав сухого синтез-газа: **CO – 46% об; H<sub>2</sub> – 51% об; ...**
- Теплотворная способность сухого синтез-газа: **11 370 кДж/ нм<sup>3</sup>.**
- Удельные энергозатраты: **0,67 кВт · ч/кг.**

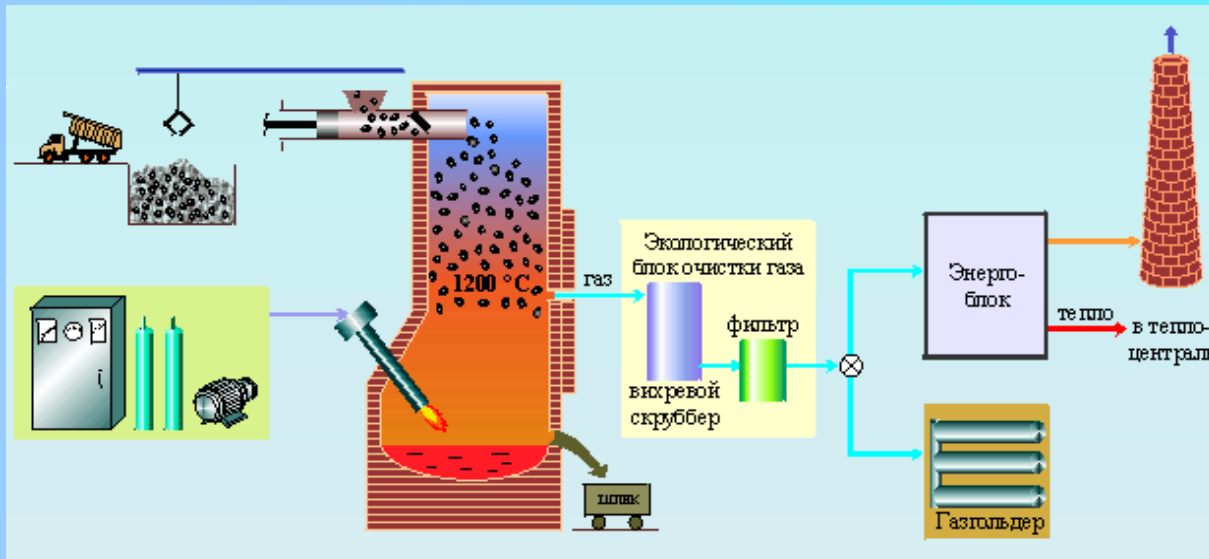


Схема с электродуговым плазмотроном.

Проекты для: **ФЦП; Кузбасса; Китая; Перми.**



Лабораторная установка

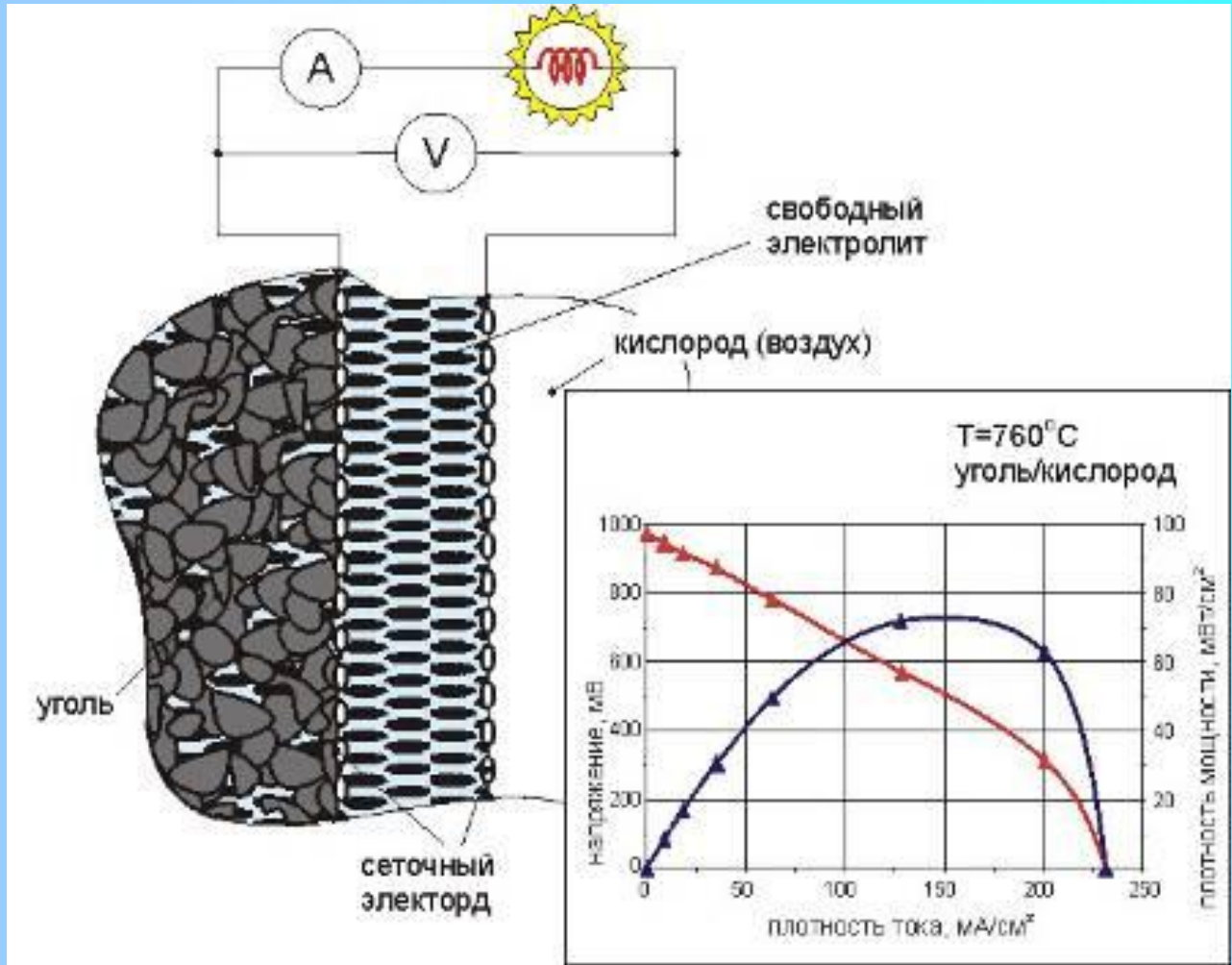
*ИТ СО РАН; НГТУ;  
ОАО «Сибэлектротерм»;  
ООО «Электроплазменные  
технологии»*



# **6. НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**



# Топливные элементы на угле



**Прямое окисление угля в топливном элементе.  
Вольт-амперные и мощностные характеристики элемента.**

*ИТ СО РАН,  
МЦТЭ*





# Каталитические теплофикационные установки



Принцип работы каталитической теплофикационной установки основан на **каталитическом сжигании топлив** при температуре **600 - 700 °С** с одновременным отводом тепла путем введения теплообменных поверхностей непосредственно в **псевдоожиженный слой катализатора**.

Промышленная установка,  
работающая на жидком топливе,  
мощностью **0,2 Гкал/час**

**Выпущено 30 установок**



# Конверсия органических веществ в сверхкритической воде (СКВ)

**СКВ** – активный растворитель органических веществ и кислорода ( $P > 22$  МПа,  $T > 374^\circ\text{C}$ )

## *Назначение:*

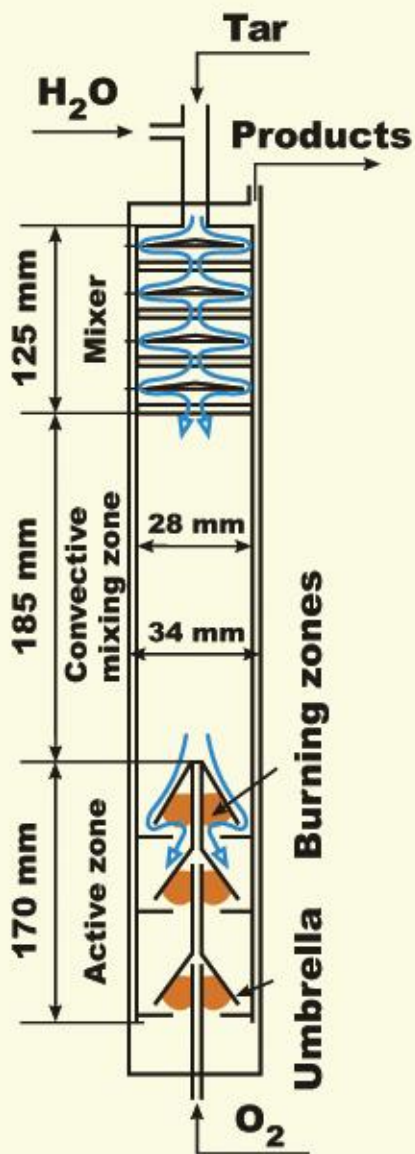
\* Конверсия органических веществ в жидкое углеводородное топливо (**ЖУВТ**)

\* Сжигание органических веществ с получением высокоэнтальпийных продуктов для энергетических установок.

*Органические вещества:* уголь, нефтяные остатки, биологические илы, канализационные стоки

*Проект для Новосибирска:* при утилизации сточных вод с долей органики 25% трубный реактор объемом 39 литров будет производить 70 кг/ч ЖУВТ. Расход сточной воды - 234 кг/ч. Пучок из 100 труб будет давать **7 т/ч жидкого топлива.**

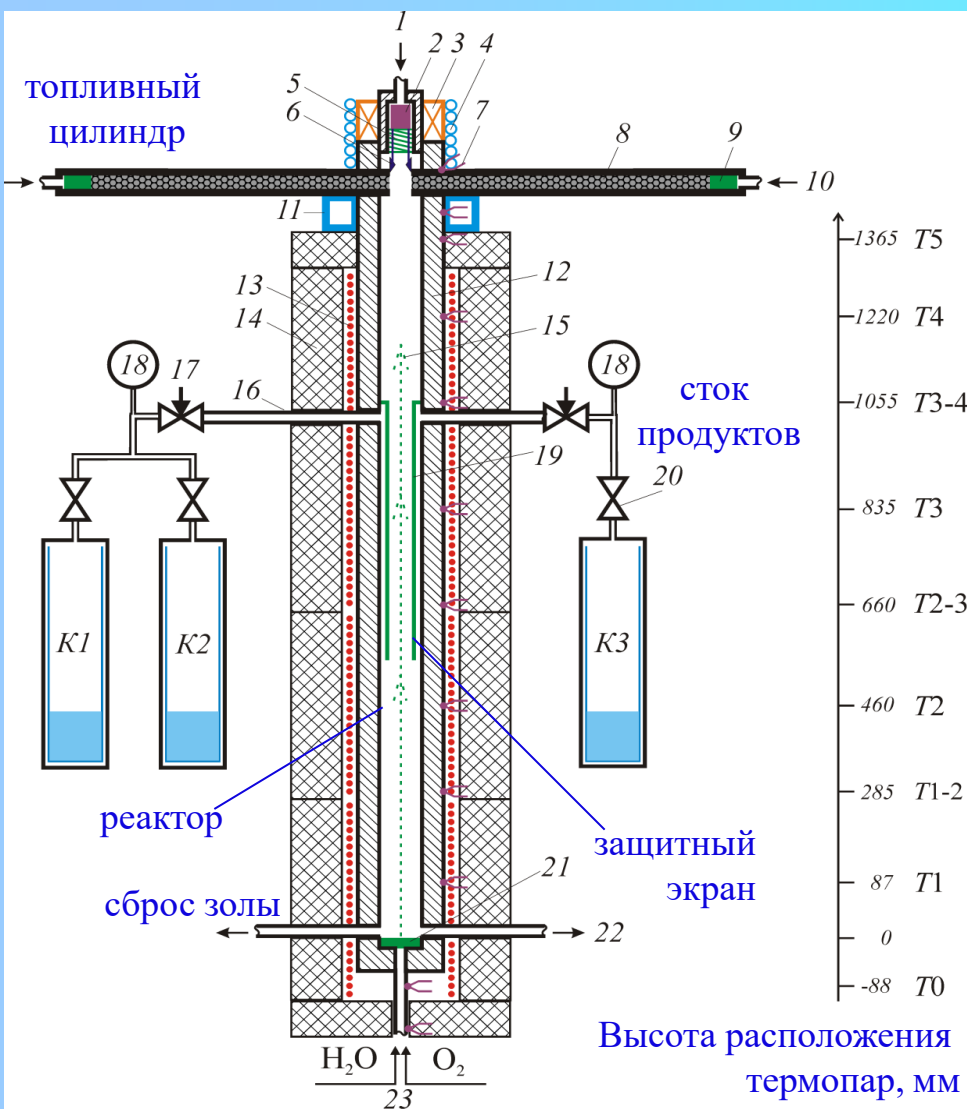
Схема установки для конверсии гудрона в **СКВ** при  $P = 30$  МПа,  $T = 750^\circ\text{C}$ .  
Продукты:  **$\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , ...**





# Конверсия органических веществ в сверхкритической воде (СКВ)

**РЕАКТОР** для частичного и полного окисления бурого угля, подаваемого в реактор в виде водоугольной суспензии (ВУС) при  $t = 550^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 30 \text{ МПа}$ .



Преимущества производства электроэнергии и тепла при окислении угля в **СКВ** обусловлены:

- 1) меньшими **тепловыми** потерями;
- 2) сопряженными **процессами горения и газификации** угля, т.е. тепло выделяется не только за счет окисления углерода, но и окисления водорода;
- 3) отсутствием **выбросов** оксидов серы, азота и углерода в атмосферу;
- 4) высокое давление обеспечивает возможность **ожижения и консервации CO<sub>2</sub>**;
- 5) в результате, эффективность использования запасенной химической энергии в случае сжигания угля в СКВ увеличивается примерно на **20%**, по сравнению с традиционным пылевым способом сжигания угля на воздухе.

Показано, что количество производимого **CO<sub>2</sub>** для генерации **1 кВт ч** энергии в случае сжигания угля в СКВ примерно в **77 раз** меньше, чем при сжигании угля пылевым способом.



# Выводы и предложения

- 1. Приоритетное развитие угольной энергетики** в России на ближайшее будущее (следуя общемировым тенденциям) с обязательным использованием современных высокоэффективных и экологически чистых технологий сжигания.
- 2. Радикальный рост объема фундаментальных и прикладных исследований по угольной тематике, включая:**
  - углубленное изучение **свойств** твердых топлив;
  - разработку **новых видов топлив** с улучшенными эксплуатационными, энергетическими и экологическими характеристиками;
  - изучение **процессов горения** (в т.ч. беспламенного), пиролиза и газификации с учетом каталитических явлений и механоактивации, а также с использованием различных методов управления;
  - разработку новых методов комплексной **диагностики** с высоким пространственным и временным разрешением;
  - развитие надежных методов **численного моделирования** топочных процессов с адаптацией к инженерным потребностям.



## Выводы и предложения

3. Ускоренное развитие технологий **глубокой переработки** угля.
4. Разработка и практическая реализация технологий утилизации твердых бытовых и производственных **горючих отходов**, в особенности, угольных шламов, с одновременной выработкой тепловой и электрической энергии.
5. Применение **нетрадиционных** подходов в угольной энергетике, включая **микроуголь, ВУТ, сверхкритику, плазменный поджиг, нанотехнологии, топливные элементы** и др.
6. **Организационное и финансовое** обеспечение развития угольной тематики:
  - **центры угольных технологий**
  - **федеральная программа по чистой угольной энергетике**
  - **лоты** в рамках действующих **ФЦП**.