



**АНО «Водородные  
технологические решения»**

Центр исследований и научных разработок

## **Перспективы использования МВС в энергетических установках.**

Савитенко Максим Анатольевич  
Директор АНО «Водородные  
Технологические Решения»

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АНО «ВОДОРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ» СВЯЗАНА С :

- Изучением перспективных разработок и направление в области водородной энергетики;
- Проведением «НИР» и «НИОКР»;
- Работой с перспективной молодежью и помощь в реализации творческого потенциала.

### **В настоящее время мы проводим следующие научные исследования:**

Экспериментальное исследование состава уходящих газов и конденсата при сжигании в конденсационном котле природного газа, пропан/бутана, водорода и смеси газов.

В рамках исследования совместно с **НИУ МЭИ** проводится эксперимент, в котором была разработана принципиальная схема и смонтированы газовый и гидравлический контуры для проведения экспериментов с использованием газового котла *CALDANIA MURALE CIAO GREEN 25 C.S.I.*

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1. Насколько перспективным является использование водорода в энергетике РФ?**
- 2. Насколько целесообразно использовать природный газ для получения водорода, если природный газ сам по себе является прекрасным топливом?**
- 3. Насколько целесообразно использовать электрическую энергию для получения водорода?**
  - Водород является вторичным энергоносителем, то есть, энергоносителем, который не существует на Земле в чистом виде.
  - Водород можно получать различными методами, такими как, электролиз воды, пиролиз метана и паровая конверсия метана.
  - Необходимо отметить, что только при электролизе воды для получения водорода не используется органическое топливо.

## ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

КПД топливных элементов равен около **50%**, поэтому при производстве электроэнергии в топливном элементе (ТЭ) коэффициент рекуперации будет равен **0,33**.

Важно отметить, что для производства электрической энергии с помощью топливных элементов требуется чистый водород, а «осушка» и «очистка» водорода увеличивают его стоимость.



## ПИРОЛИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Водород, получаемый из природного газа методом пиролиза, по международной классификации называется «бирюзовым».

При пиролизе молекулы метана ( $\text{CH}_4$ ) распадаются на молекулы углерода (C) и водорода ( $\text{H}_2$ ).

Различают следующие основные виды пиролиза:

- Плазменный. Для получения плазмы используется электроэнергия. Температура в реакторе - **2000°C**. Давление - атмосферное.
- В кипящем слое при температуре 900°C. Давление – атмосферное.
- В расплавленном металле или соли. Температура в реакторе - **650 / 1100°C**. Давление – до **5** бар.
- Импульсное сжигание метана (PMP). Температура в реакторе - **1200 / 1500°C**. Давление – до **20** бар.

## ПИРОЛИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА

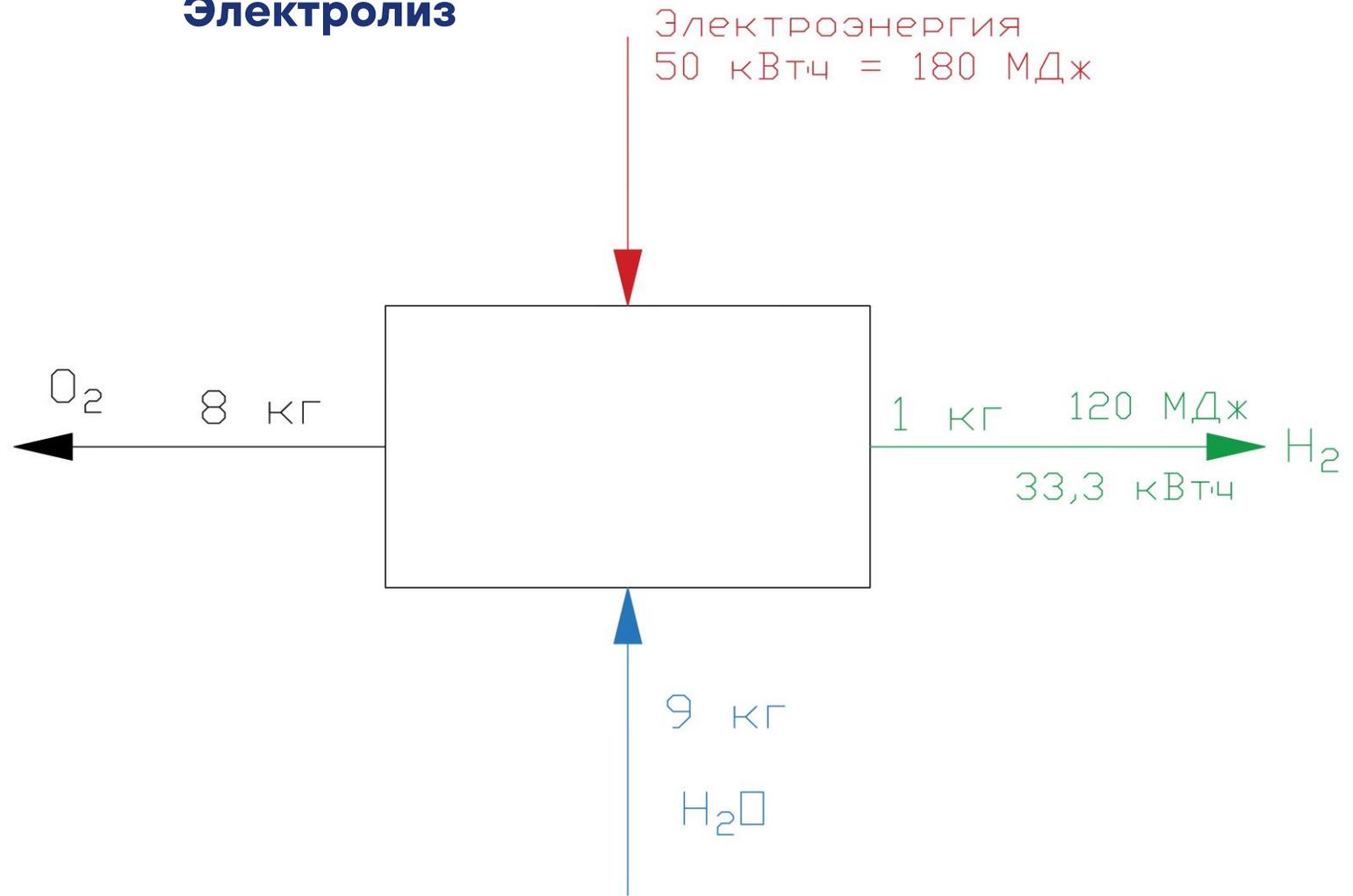
Для получения одного килограмма водорода ( $H_2$ ) требуется четыре килограмма метана ( $CH_4$ ). Низшая теплота сгорания одного килограмма водорода – **120 МДж (33,3 кВт\*ч)**. Низшая теплота сгорания 4-х кг метана – **200 МДж (55,6 кВт\*ч)**.

То есть, энергетическая ценность, полученного методом пиролиза водорода составляет **60%** энергетической ценности исходного сырья. Эта оценка сделана без учета затрат энергии на расщепление метана.

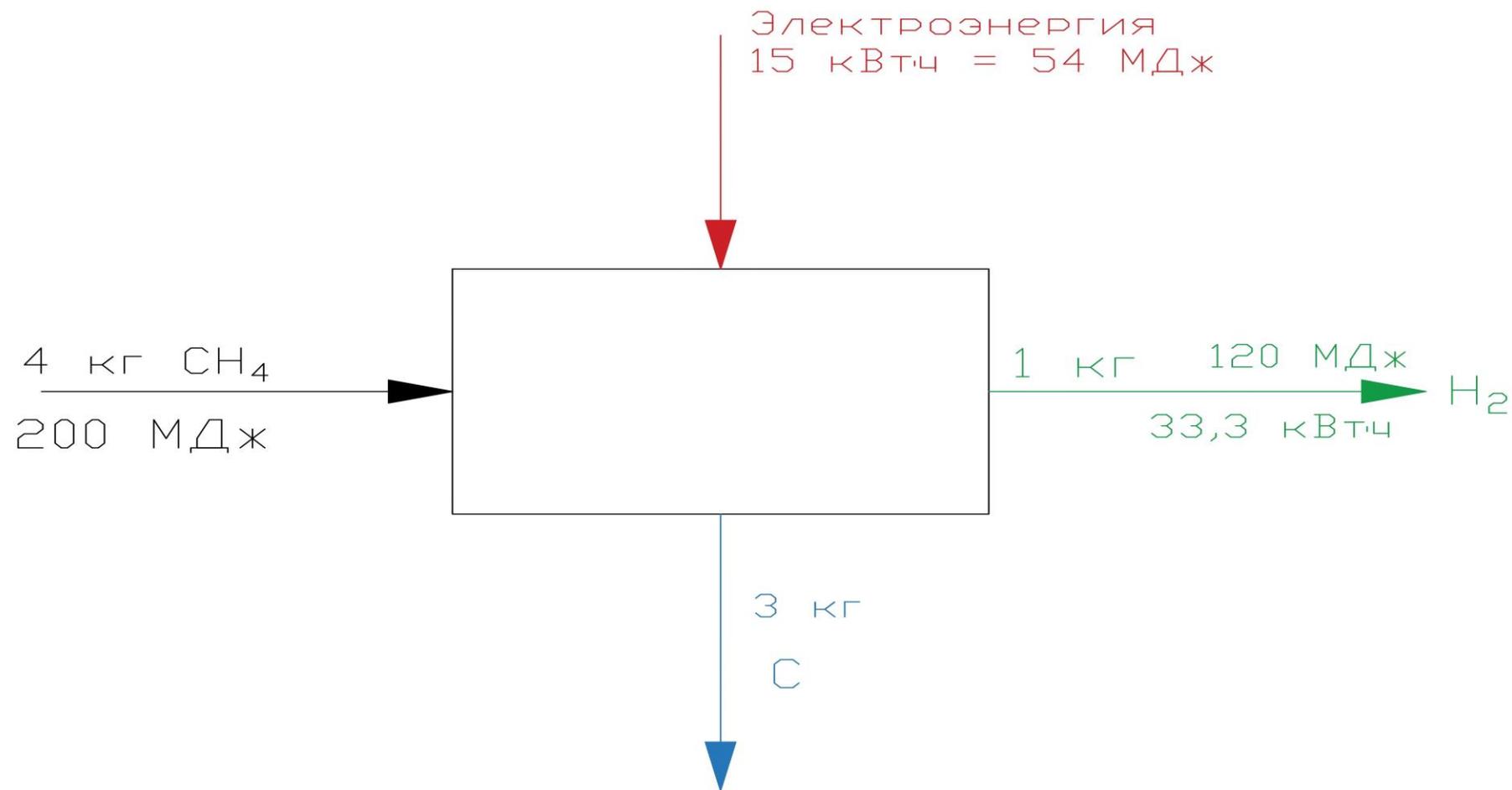
Для получения **1 кг** водорода методом пламенного пиролиза требуется около **15 кВт\*ч** электроэнергии.

Следовательно, энергетическая ценность одного килограмма водорода, полученного методом плазменного пиролиза, составит **47%** от суммы величин теплоты сгорания 4-х кг метана и электрической энергии, затраченной на производство водорода.

# Электролиз



## Плазменный пиролиз



## СМЫСЛ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

Судя по приведённому выше анализу, энергозатраты на получение водорода с помощью электролиза воды, выше чем энергозатраты на водород, получаемый с помощью плазменного пиролиза.

**Вопрос:** какой смысл переводить электроэнергию, имеющую высокое качество, в водород с отрицательным энергетическим результатом?

**Ответ:** получать водород имеет смысл только с использованием не востребованной в текущий момент времени электроэнергии, производимой посредством возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Перспективным является использование водорода для замещения дорогого привозного топлива в автономных энергосистемах в труднодоступных или изолированных местах с энергообеспечением от ВИЭ.

Чем дороже привозное топливо, тем лучше экономика использования водорода.



## **НЕ ВМЕСТО, А ВМЕСТЕ**

Важно обратить внимание, что предлагается не замена углеводородного топлива на водород, а совместное сжигание водорода, который должен вырабатываться в месте его потребления, и привозного топлива.

### **Не вместо, а вместе с органическими видами топлива!**

В этом случае, сжигание водорода позволит уменьшить потребление дорогого привозного топлива.

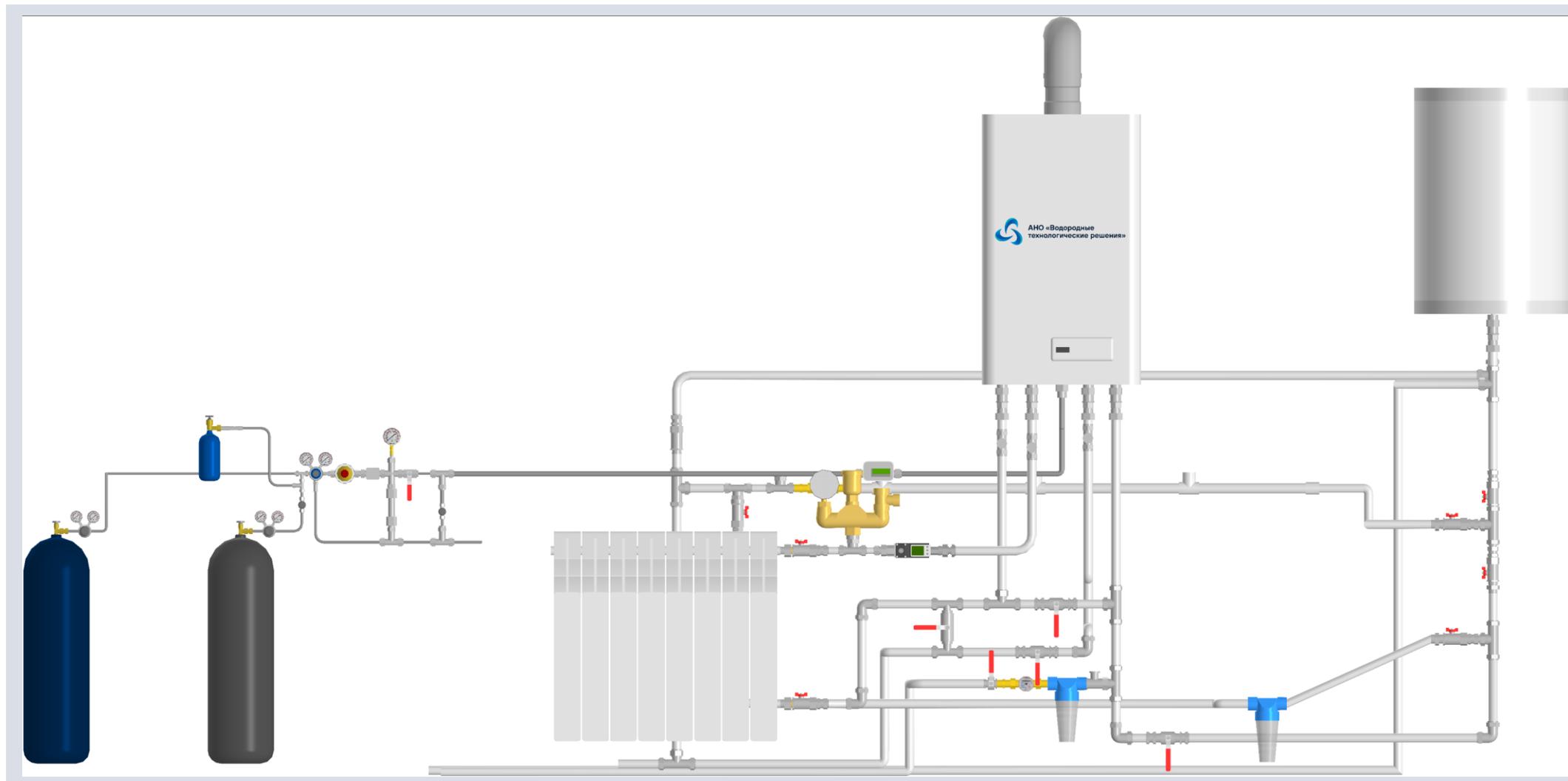
Важным техническим вопросом является определение допустимой доли водорода в общем расходе топлива в конкретных энергетических установках, таких как, газотурбинные установки (ГТУ), газопоршневые установки (ГПУ), водогрейные и паровые котлы.

Водородные источники энергии могли бы стать одним из перспективных решений проблемы энергоснабжения изолированных территорий и территорий, для которых установлены специальные требования к экологичности, в частности, в арктической зоне Российской Федерации или на курортных территориях.

**КЛИМАТ ИЛИ ЭКОЛОГИЯ?**

<b>КЛИМАТ</b>	<b>ЭКОЛОГИЯ</b>
ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ	ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ
H <sub>2</sub> O – водяной пар	NO <sub>x</sub> – оксида азота
CO <sub>2</sub> – углекислый газ	CO – монооксид углерода
CH <sub>4</sub> – метан	SO <sub>2</sub> – двуокись серы

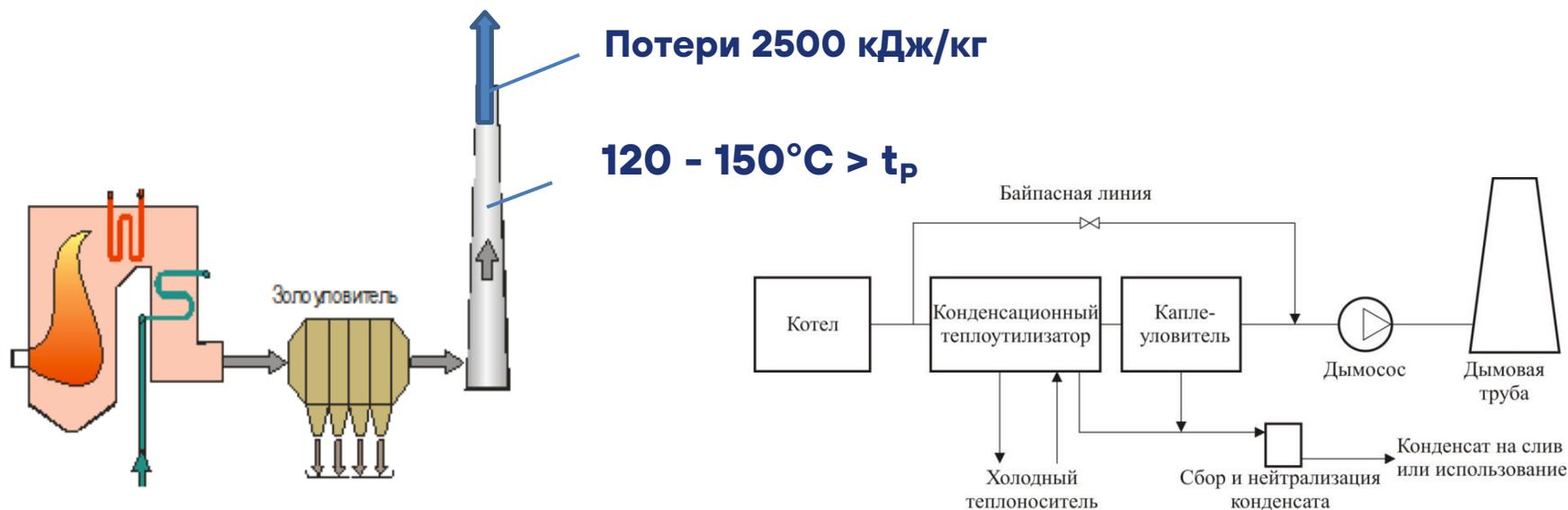
## СТЕНД, РЕАЛИЗОВАННЫЙ В РАМКАХ НИОКР АНО «ВТР»



**РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ NO<sub>x</sub> И СО В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ.**

<b>Состав газа</b>	<b>100% CH<sub>4</sub></b>	<b>11% H<sub>2</sub> + 89% CH<sub>4</sub></b>	<b>22% H<sub>2</sub> + 78% CH<sub>4</sub></b>
<b>Температура наружного воздуха, °С</b>	10	14,2	15,1
<b>Температура уходящих газов, °С</b>	67,8	63,3	62,9
<b>Концентрация CO<sub>2</sub>, % (об.)</b>	8,6	8,9	8,5
<b>Концентрация NO<sub>x</sub>, ppmv</b>	12	11	7
<b>Снижение концентрации NO<sub>x</sub>, %</b>	-	8,3	41,7
<b>Концентрация СО, ppmv</b>	118	111	70
<b>Снижение концентрации СО, %</b>	-	5,9	40,7
<b>Концентрация O<sub>2</sub>, % (об.)</b>	5,0	5,1	5,9

## КОНДЕНСАЦИЯ ВОДЯНЫХ ПАРОВ.



Водяной пар, как и углекислый газ, является парниковым газом. Снижение его выбросов в атмосферу является не только актуальной **КЛИМАТИЧЕСКОЙ** задачей, но и важной **ЭКОНОМИЧЕСКОЙ** задачей локального получения чистой воды (конденсата) для снижения эксплуатационных расходов на химводоподготовку.

Одновременное уменьшение выбросов в атмосферу водяных паров и углекислого газа при сжигании природного газа возможно за счет конденсации водяных паров дымовых газов перед их выбросом в атмосферный воздух.

Для природного газа  $Q_B - Q_H \approx 10\%$  от  $Q_H$ ; 18,5 % - для водорода

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПГ И «ЗЕЛЁНОГО» ВОДОРОДА И СЖИГАНИЯ СМЕСИ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ВОДОРОДА В КОТЕЛЬНОЙ

Обозначения:

1. - Хранилище СПГ

2. - Насосная группа

3. - Система регазификации

4. - Котельная

5. - Конденсационный теплоутилизатор (КТУ)

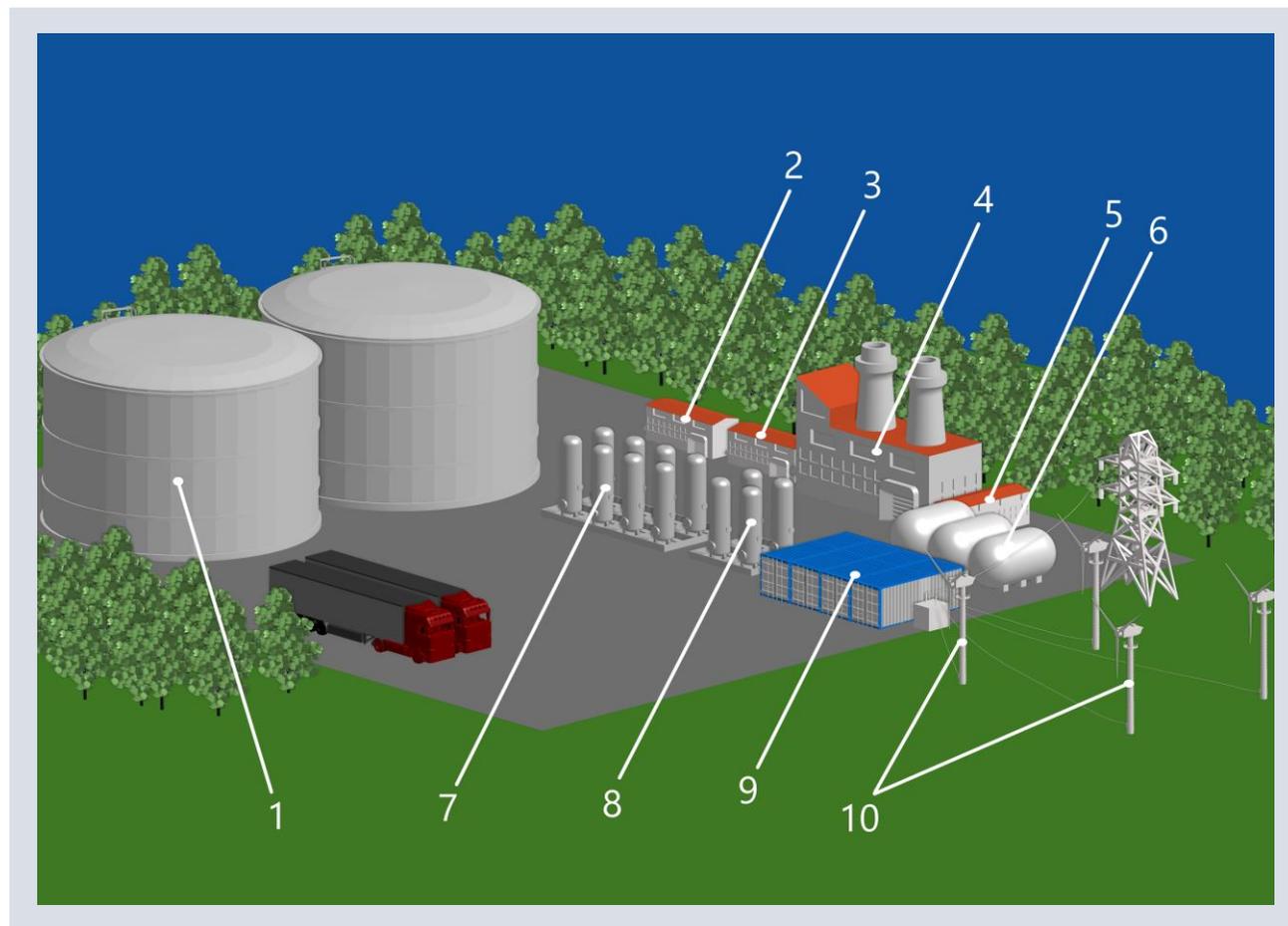
6. - Бак для воды

7. - Ресиверы для смеси Природного газа  $\text{CH}_4$  (80%) и Водорода  $\text{H}_2$  (20%)

8. - Ресиверы Водорода

9. - Электролизные установки

10. - Ветроэлектростанция (ВЭС)



## ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА:

1. Из хранилища СПГ сжиженный газ поступает в установку по регазификации .
2. После регазификации природный газ подается в котельную (4) для подогрева воды.
3. В КТУ (6) образуется конденсат водяных паров из дымовых газов и дополнительная тепловая энергия.
4. Конденсат может использоваться как для подпитки теплосети, так и для производства водорода.
5. Водород, полученный в электролизной установке (9), поступает в ресивер водорода (8).
6. Электроэнергия для нужд установки поступает от ветряной электростанции (ВЭС).
7. Из ресивера водород подается в ресивер хранения смеси метана и водорода (7).
8. Метано-водородная смесь сжигается в водогрейном котле (котлах) (4).

Данная концепция реализуется для автономных энергосистем для бесперебойного снабжения электроэнергией и теплом.

## СОВМЕСТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Электрическая и тепловая энергия могут вырабатываться с использованием следующих технологий:

- Газопоршневые генераторные установки с водогрейными утилизаторами тепла (ГПУ-ТЭЦ)
- Газотурбинные генераторные установки с водогрейными утилизаторами тепла (ГТУ-ТЭЦ)
- Паросиловые установки (паровой котёл + паровая турбина с теплофикационным отбором)

С учётом ремонтпригодности и возможности сжигания широкого спектра топлив для удалённых потребителей целесообразно рассмотреть возможность использования паросиловых установок.



## ОСОБЕННОСТИ СЖИГАНИЯ СПГ

Основной компонент природного газа – метан.

Остальные компоненты – тяжелые углеводороды, сероводород и инертные газы (N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>).

При сжижении газ очищается от примесей и инертных газов, что существенно улучшает качество СПГ.

При транспортировке СПГ часть газа испаряется, что приводит к изменению состава оставшегося газа.

Газ, который находится в верхней части резервуара обычно имеет низшую теплоту сгорания **33-35 МДж/м<sup>3</sup>**, а газ, находящийся в нижней части резервуара – **38-39 МДж/м<sup>3</sup>**.

Сжигание газа с изменяющимся составом в широком диапазоне является сложной технической задачей.

**Поскольку водород имеет низкое значение объёмной низшей теплоты сгорания, то подмешиванием водорода к регазифицированному СПГ можно регулировать теплоту сгорания и число Воббе топливного газа.**

## УТИЛИЗАЦИЯ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Водородсодержащий газ можно получить с помощью пиролиза газа, образующегося при пиролизе твёрдых коммунальных отходов (ТКО), которые накапливаются в удалённых населённых пунктах.

Ниже приведены средние расчётные характеристики сингаза:

Объёмная низшая теплота сгорания, **МДж/м<sup>3</sup> - 88,6**

Число Воббе высшее, **МДж/м<sup>3</sup> - 69,5**

Прямое использование сингаза как топлива для энергетических установок, сжигающих природный газ, является проблематичным, поскольку характеристики этого газа существенно отличаются от характеристик природного газа и отличаются непостоянством состава в зависимости от состава ТКО (исходного сырья) подаваемого на переработку.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИРОЛИЗНОГО ГАЗА

Есть четыре пути использования пиролизного газа:

- А) прямое сжигание;
- Б) подмешивание к природному газу;
- В) пиролиз с целью получения метановодородной смеси
- Г) паровая конверсия с целью получения метановодородной смеси.

Прямое сжигание пиролизного газа требует разработки горелочных устройств, способных сжигать этот вид топлива.

При подмешивании к природному газу в объёме до **10%** (об.) характеристики смеси будут незначительно отличаться от характеристик природного газа.

## СОВМЕСТНОЕ СЖИГАНИЕ ПИРОЛИЗНОГО И ПРИРОДНОГО ГАЗОВ

Сравнение характеристик регазифицированного СПГ (100 %) и смеси пиролизного газа (6,5%) и регазифицированного СПГ (93,5%) приведены ниже:

Характеристики газа	СПГ	Смесь СПГ и пиролизного газа
Объёмная низшая теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>	38,0	41,3
Число Воббе высшее, МДж/м <sup>3</sup>	50,5	51,8

Подмешивание пиролизного газа к природному газу в объёме **6,5%** позволит снизить потребление дорогостоящего привозного СПГ на **15%**, поскольку объёмная теплота сгорания пиролизного газа в 2,3 раза выше объёмной теплоты сгорания природного газа.

Состав пиролизного газа можно изменить в процессе его пиролиза при температурах **1700-2000°С**.

При высоких температурах углеводороды, входящие в состав пиролизного газа, будут распадаться на водород и углерод. При отводе углерода из пиролизного газа его объёмная теплота сгорания и число Воббе будут снижаться.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ (I)

Перевод ТЭС и котельных с угля, мазута и дизельного топлива на сжигание природного газа безусловно заметно снижает выбросы углекислого газа и является в настоящее время наиболее простым, с практической точки зрения, мероприятием.

➤ Более эффективным мероприятием по снижению выбросов углекислого газа является сжигание природного газа в смеси с водородом.

Добавка водорода к природному газу приводит не только к уменьшению потребления природного газа, но и снижению выбросов в атмосферу вредных веществ!

➤ При проектировании перспективных энергетических установок имеет смысл уже сейчас прорабатывать технические решения, которые позволят использовать в качестве топлива водородсодержащий газ (ВСГ).

➤ Модернизация котлов для перевода на сжигание ВСГ однозначно приведет к увеличению выбросов с дымовыми газами водяного пара.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ (II)

- Для снижения выбросов в атмосферу водяных паров перспективным является использование конденсационных теплоутилизаторов (КТУ), что позволяет уменьшить расход топлива при сохранении тепловой мощности и одновременно снизить выбросы в атмосферу основных парниковых газов: углекислого газа и водяных паров, а также повысить КПД котла.
- Снижение температуры дымовых газов приведёт к снижению теплового загрязнения воздушного бассейна
- Учитывая заявленный объём производства водорода, вопрос с получением воды для производства водорода встанет очень остро. Конденсат водяных паров дымовых газов можно будет использовать для получения водорода .
- Поскольку водород имеет низкое значение объёмной низшей теплоты сгорания , то подмешиванием водорода к регазифицированному СПГ можно регулировать теплоту сгорания и число Воббе топливного газа.



127299, Москва , ул. Большая  
Академическая, 5, к1, оф. 618

+7 495 640 11 32  
+7 918 536 16 22

info@sk-group-c.com  
m.savitenko@sk-group-c.com

[sk-group-c.com](http://sk-group-c.com)  
[sk-eng-c.com](http://sk-eng-c.com)  
[sk-trade-c.ru](http://sk-trade-c.ru)

Telegram

Vkontakte

Youtube