



# **Уменьшение содержания диоксида углерода в дымовых газах котлов путем добавления в природный газ водорода**

Докладчик:  
аспирант КНИТУ-КАИ,  
Зайнутдинова Динара Айдаровна

Казань, 2023

# Актуальность идеи (проблематика)

Изменение климата, обусловленное выбросами парниковых газов (диоксида углерода), становится все более острой глобальной проблемой. Несмотря на устойчивый рост солнечной и ветровой энергетики, конкурентоспособной альтернативы традиционным технологиям сжигания углеводородов до сих пор не существует. Отсюда и формируется **актуальная задача**- разработать технологию сжигания углеводородов с наименьшими выбросами диоксида углерода.

**Предлагаемая идея:** уменьшить концентрацию CO<sub>2</sub> в дымовых газах котлов, промышленных печей, работающих на природном газе путем увеличения в газовом топливе содержания водорода.

**Научно-исследовательская задача:** разработать технологию обогащения метана водородом для сжигания получаемой газовой смеси в промышленных печах с целью снижения в продуктах сгорания диоксида углерода.

**Техническая задача:** используя известный технологический процесс получения сажи из природного газа термическим методом разработать метод получения водорода из природного газа с целью дальнейшего его использования в качестве топлива путем подмешивания с товарным топливом (природным газом).

# Схема существующей установки

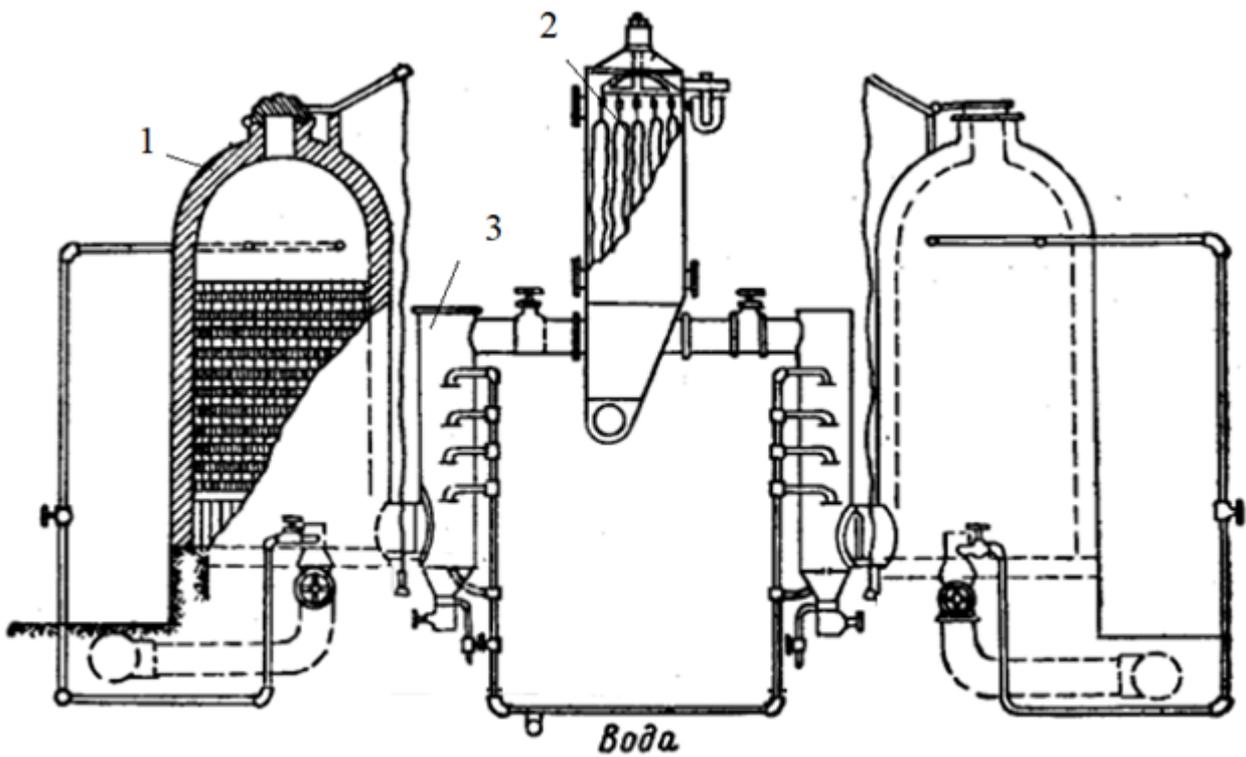
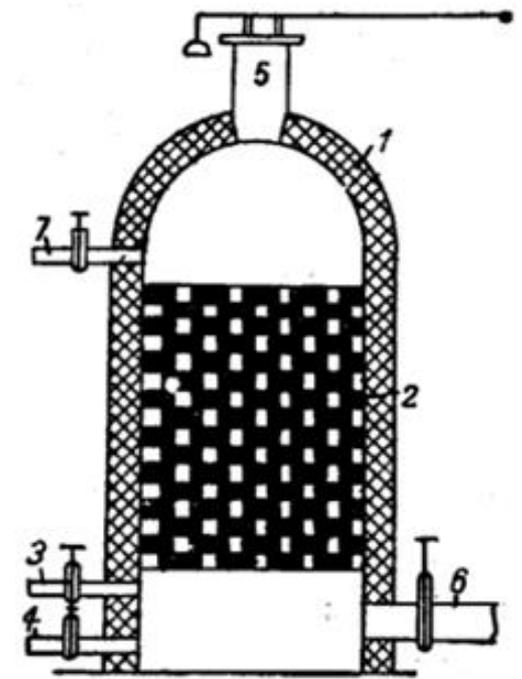


Схема получения термической сажи:

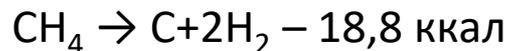
1 — печи; 2 — мешочный фильтр; 3 — холодильник.



Печь для получения термической сажи:

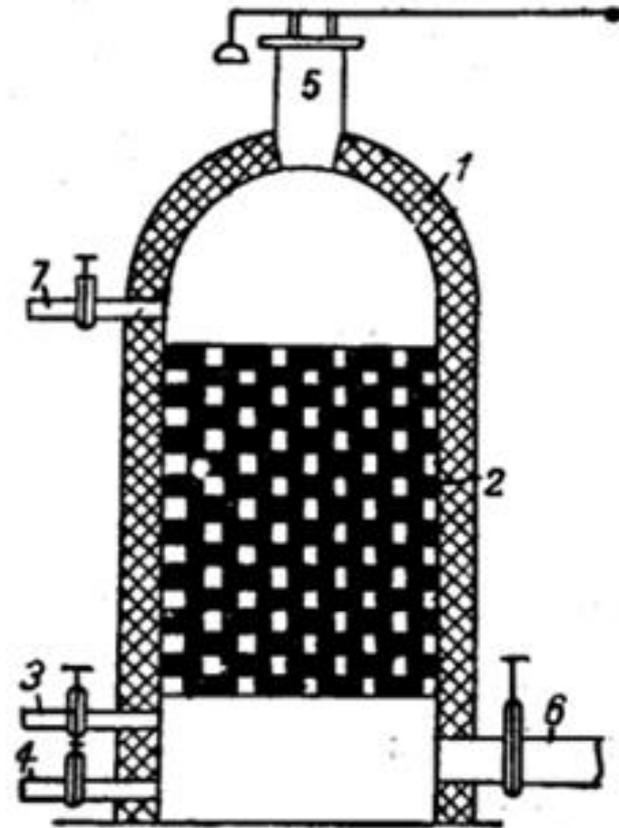
# Технология получения сажи из природного газа методом пиролиза

По трубе 3 (Рис.) подается воздух, по трубе 4 – горючий газ. При их сгорании выделяется тепло, от которого нагревается насадка 2 из огнеупорного кирпича. Продукты сгорания по трубе 5 выбрасываются в окружающее пространство. После достижения внутри печи температуры 1450 ..1500 С подачу воздуха и газа прекращают, выхлопную трубу 5 закрывают. Затем открывают клинкет 6 и в печь по трубе 7 подают метан. Проходя сверху вниз газ в результате соприкосновения с нагретыми стенками насадки подвергается термическому распаду с выделением свободного углерода-сажи.



При прохождении по каналам сверху вниз до 50 % образовавшейся сажи осаждается на стенках каналов. При следующем цикле сажа сгорает, образуя диоксид углерода (загрязняется окружающее пространство и пропадает побочный продукт (сажа)).

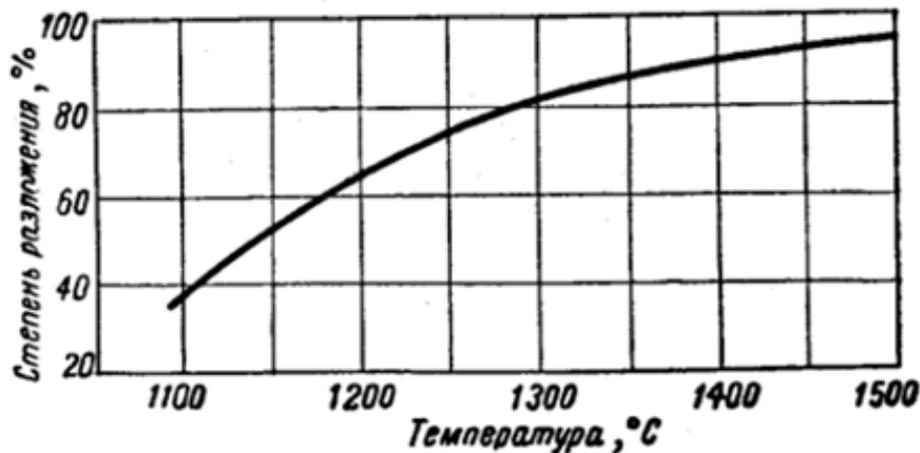
**Недостатки:** цикличность и сложность процесса, изменение содержания метана на выходе из-за непостоянства температуры (насадка по мере нагрева метана остывает), до 50 % сажи безвозвратно уходит.



Печь для получения термической сажи:

# Технологические характеристики установки пиролиза

## Изменение состава газа при пиролизе



Зависимость степени разложения природного газа от температуры.

Состав газа	Содержание, объемн. %	
	до разложения	после разложения
Метан . . . . .	92,8	5,0
Прочие углеводороды . . . . .	0,7	1,3
Водород . . . . .	Нет	85,4
Окись углерода . . . . .	»	1,1
Углекислый газ . . . . .	0,4	0,9
Азот . . . . .	6,1	6,3
	100,0	100,0

# Предлагаемая техническая схема



**основные узлы:** 1-термический реактор, 2-акустический сажеловитель - закалочная камера, 3-смеситель газовый, 4-циклон, 5-тканевый фильтр.

# Описание сущности предлагаемого решения

В термический реактор 1 подается газовая смесь горючего воздуха, которая через перфорированную стенку 9 поступает к дискретным огнеупорным элементам 12. Смесь поджигается и начинает гореть в пустотах дискретных элементов. От теплоты сгорания газовой смеси горючего и окислителя дискретные огнеупорные элементы нагреваются до температуры 1500...1600 °С. Продукты сгорания через фильтрационный слой поступают в центральную полость термического реактора и через выходное сопло 23 направляются в акустический сажеуловитель – закалочную камеру 2. С верхней части термического реактора коаксиально и с закруткой подается природный газ, который продвигаясь по внутренней полости термического реактора 1 за счет теплоты излучения, конвективного теплообмена и подмеса высоконагретых продуктов сгорания нагревается до температуры 1500 °С. При таких условиях, подводимый в термический реактор 1 природный газ разлагается на углерод и водород и смешивается с продуктами сгорания горючего и окислителя. Далее, образующаяся газовая смесь с дисперсными частицами углерода через сопло 23 термического реактора с высокой скоростью истекает в акустический сажеуловитель – закалочную камеру 2. В верхней части акустического сажеуловителя – закалочной камеры 2 за счет внезапного расширения газовой струи возникают вихри, вызывая колебания газовой среды в акустическом сажеуловителе – закалочной камере. В зону завихрения подается деминерализованная вода, которая испаряясь, способствует уменьшению температуры газовой смеси в акустическом сажеуловителе – закалочной камере с 1500 °С до 800 °С. За счет закаливания и уменьшения скорости газового потока дисперсные частицы сажи слипаются и укрупняются в размерах. Этому также способствуют стоячие волны. Далее, за счёт гравитационных сил, укрупненные частицы сажи оседают в нижнюю часть акустического сажеуловителя – закалочной камеры, откуда с определенной периодичностью через жалюзи 18 удаляются в накопитель 19. В трубчатый теплообменник подается химочищенная вода, которая через внутреннюю стенку теплообменника охлаждает газовую смесь. Предварительно очищенная от сажевых частиц газовая смесь и охлажденная до температуры 500 °С по патрубку 6 подается в смеситель 3. Туда же подводится природный газ. Соотношение подводимого природного газа и газовой смеси подбирается таким, чтобы средняя температура газов на выходе из смесителя не превышала 60 °С. Охлажденная таким образом пиролизные газы в смеси с природным газом направляются в систему тонкой очистки от сажи, состоящую из последовательно расположенных циклона (циклонов) и фильтра тонкой очистки. Очищенные от сажи газы подаются к горелочным устройствам, а сажистые частицы, уловленные в сажеуловителе – закалочной камере, в циклоне и на фильтрах - на гранулирование.

## Ожидаемые технико-экономические показатели

Расчеты проведены при составе природного газа, обогащённого водородом ( $\text{CH}_4$  - 40%,  $\text{H}_2$  – 60%);

Низшая теплота сгорания водорода при горении с воздухом  $Q_{(H)}$  - 3,19 МДж/кг;

Низшая теплота сгорания метана при горении с воздухом  $Q_{(H)}$  - 3,43 МДж/кг;

Низшая теплота сгорания метано-водородной смеси  $Q_{(H)}$  - 3,28 МДж/кг , что на 4,4 % меньше, чем у чистого метана.

**Содержание углерода в 1 куб. м. метана - 50 г.**

**Содержание углерода в метано-водородной смеси – 20 г.**

**Уменьшение содержания углерода в дымовых газах составляет 30 г или 60% по сравнению с содержанием углерода в продуктах сгорания чистого метана.**

Согласно данным ПАО «Газпром», для получения 1 куб. м водорода методом пиролиза метана требуется всего 0,7–3,3 кВт·ч, а электролиза — 2,5–8 кВт·ч, то есть почти втрое больше.

Для нагрева 1 куб.м. метана до температуры 1500 С с учетом потерь (10%) необходимо потратить 11933 кДж или 3,3 кВт·ч.  
(0,3 куб.м. метана).

*Примечание:* здесь не учтена коммерческая стоимость сажи. При ее учете удельные затраты энергии 3,3 кВт·ч уменьшатся на определенную величину.

Согласно данным ПАО «Газпром», для получения 1 куб. м водорода методом пиролиза метана требуется всего 0,7–3,3 кВт·ч, а электролиза — 2,5–8 кВт·ч, то есть почти втрое больше.

# Сравнение технологий получения водорода по затратам



Затраты на производство водорода, по данным МЭА за 2018 г., долл. США/кг

**Примечание:** затраты приведены на получение чистого водорода, очищенного от монооксида углерода или от твердого углерода

**Вывод:** II способ является менее затратным, если учесть, что водород из газовой смеси не выделяется (очистка водорода от других газов не требуется).



**Спасибо за внимание!**

**Уменьшение содержания диоксида углерода  
в дымовых газах котлов путем добавления  
в природный газ водорода**

Докладчик:  
аспирант КНИТУ-КАИ,  
Зайнутдинова Динара Айдаровна

Казань, 2023