

# ЛЕКЦИЯ 15

# Парогазовые установки на твердом

топливе (ПГУ-Т)

*Освоенные технологии ПГУ-Т:*

**1. ПГУ с топками кипящего слоя под давлением (КСД). Основное достоинство топок с КСД – это возможность осуществления комбинированного цикла, когда генерируемый в котле пар используется в паровой турбине, а продукты сгорания, имеющие повышенное давление, используются в газовой турбине.**

**Изготовление котлов с КСД позволяет почти на 60% сократить их габариты по сравнению с котлами обычного типа.**

**В результате экономия на капитальных затратах составляет 10%, а время, необходимое для строительства электростанций, сокращается на 25%.**

**Применение установок КСД в ПГУ позволяет увеличить КПД станции по сравнению с таким же паровым циклом примерно на 6–8 %.**

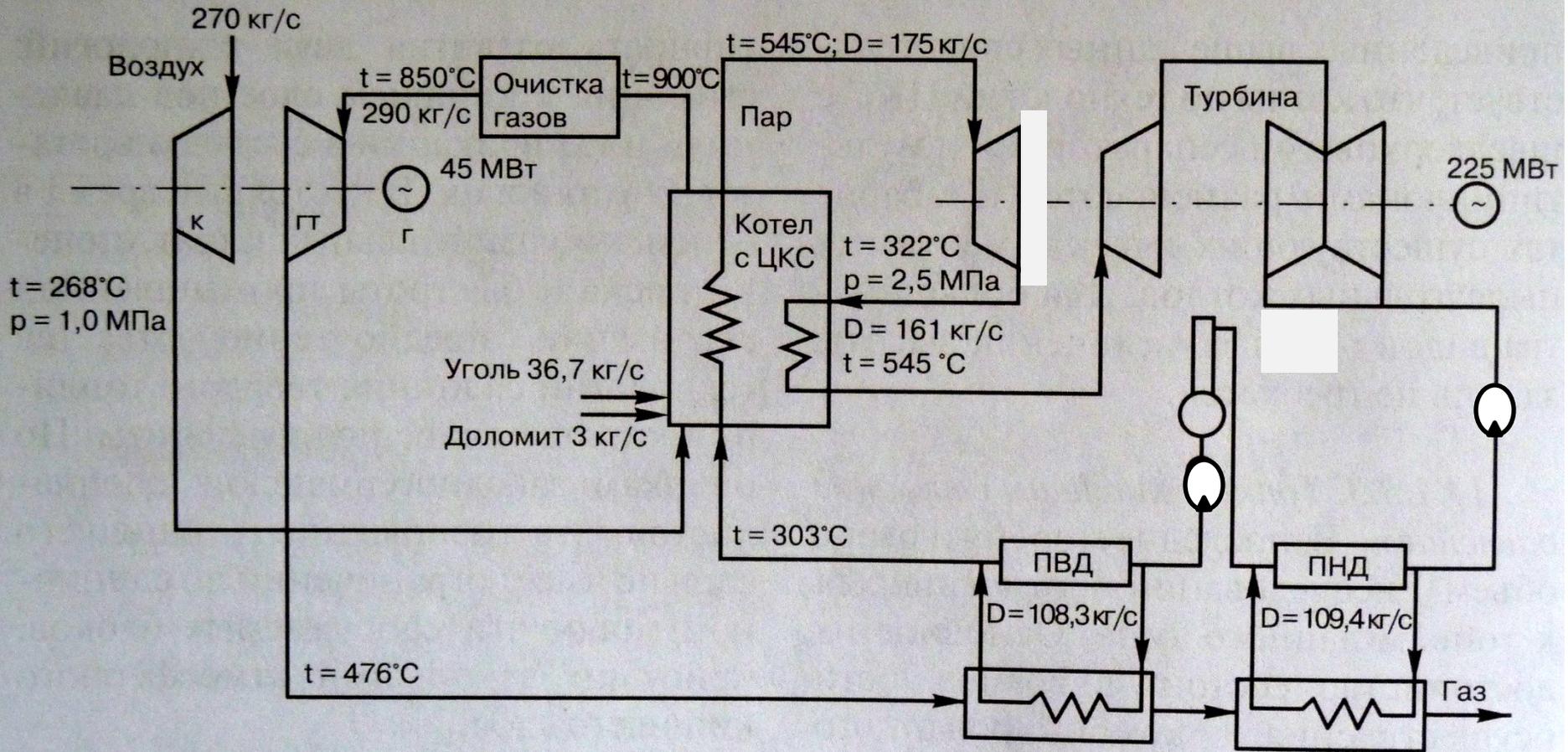
**КПД ПГУ-КСД не выше 44 %.**

**характеристики топок с КСД: высота  
слоя**

**4–5 м; размер частиц 0–6 мм; давление  
1,0–1,5 МПа; температура слоя 750–950°С;  
коэффициент избытка воздуха 1,1–1,3;  
процент связывания серы,  
содержащейся  
в угле, 85–90%.**

**Достоинствами ПГУ с КСД является  
полное сжигание любых сортов угля,  
высокие коэффициенты теплопередачи  
и небольшие поверхности нагрева,  
низкие выбросы  $SO_2$   
и  $NO_x$ .**

# ПГУ ( $N_э = 270$ МВт) с котлом КСД



# Промышленные ПГУ с КСД

Показатель	Страна и электростанция		
	США, «Тидд»	Япония, «Вакамацу »	Япония, «Карита »
Мощность ГТУ, МВт	16,5	14,8	70
Мощность паровых турбин, МВт	56,5	56,2	290
Общая мощность ПГУ, МВт	73	71	360
КПД нетто, %	36,7	39,4	43–44
Давление свежего пара, МПа	9,0	10,3	25
Температура перегретого пара, ° С	495	593	566
Теплота сгорания угля, МДж/кг	22,5–27,0	22,5–27,0	19,4–29,0
Содержание серы в угле, %	3,4–4,0	0,3–1,2	0,3–1,2
Расход угля, т/ч	25,9	28,4	126
Сорбент	ДОЛОМИ Т	ИЗВЕСТНЯК	ИЗВЕСТН ЯК

газификацией.

(ПГУ-IGCC- *integrated gasification combined cycle*).

Процессы ПГУ-IGCC (ПГУ-ВЦГ):

1) газификация твердого топлива в газогенераторе;

2) очистка синтез-газа (смесь:  $\text{CO}=50\%$ ,  $\text{H}_2=25\%$ , остальное –  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ) от пыли, сероводорода, аммиака и смолистых веществ;

3) сгорание синтез-газа в камере сгорания ГТУ, после чего газы поступают в газовую турбину, вращающую электрогенератор;

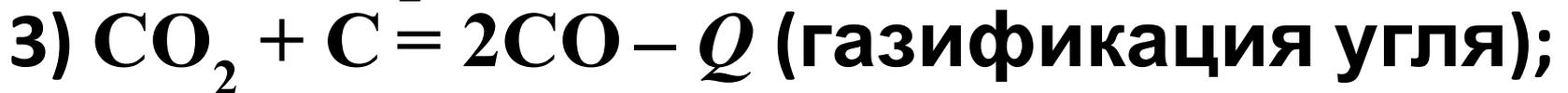
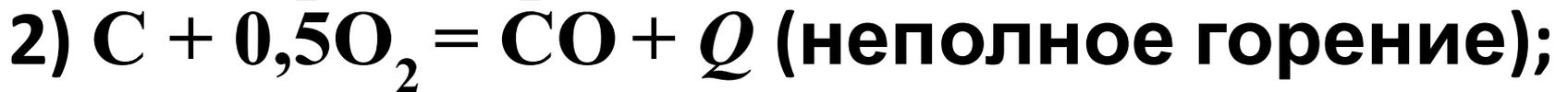
**4) теплота выхлопных газов из турбины используется для выработки пара в котле-утилизаторе;**

**5) пар приводит в действие паровую турбину, вращающую второй электрогенератор.**

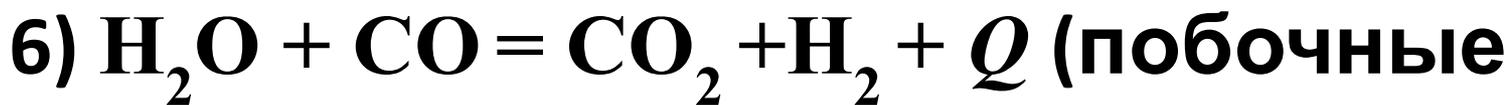
***Газификация угля*** – это производство горючего газа при неполном окислении органической массы угля.

Переработка угля в газообразное топливо относится к так называемым ***чистым угольным технологиям***. Газификация позволяет осуществить экологически чистое сжигание низкокачественных твердых топлив.

**Основные реакции, протекающие при газификации твердого топлива:**



**угля);**



**реакции);**



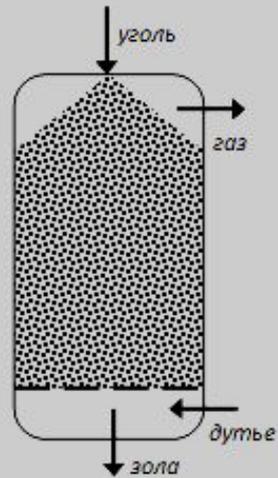
# **Варианты реализации процессов газификации:**

- 1) газификация в плотном слое угля;**
- 2) газификация в кипящем слое;**
- 3) газификация угольной пыли в потоке.**

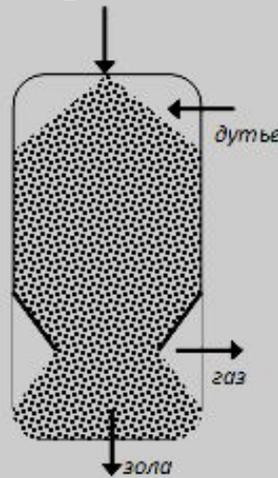
## **По типу дутья газификация бывает:**

- 1) воздушная;**
- 2) паровая;**
- 3) паровоздушная;**
- 4) парокислородная;**
- 5) кислородная.**

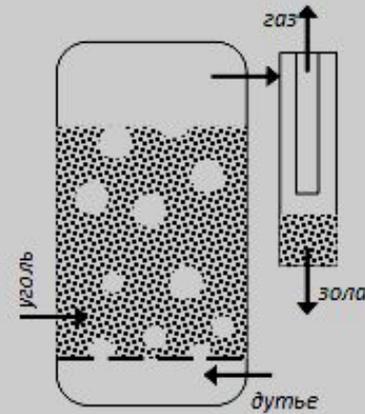
# Способы организации процесса газификации



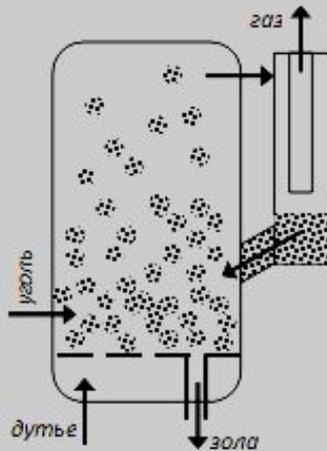
прямой  
(противоточный)



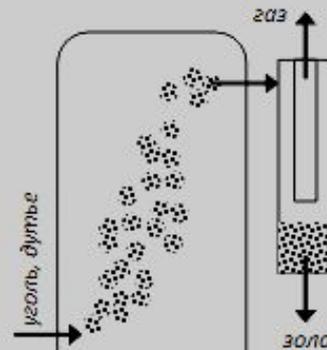
обращенный  
(прямоточный)



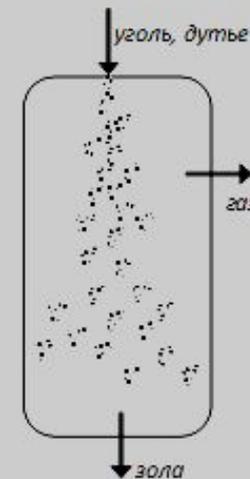
пузырьковый кипящий  
слой (ПКС)



циркулирующий  
кипящий слой (ЦКС)



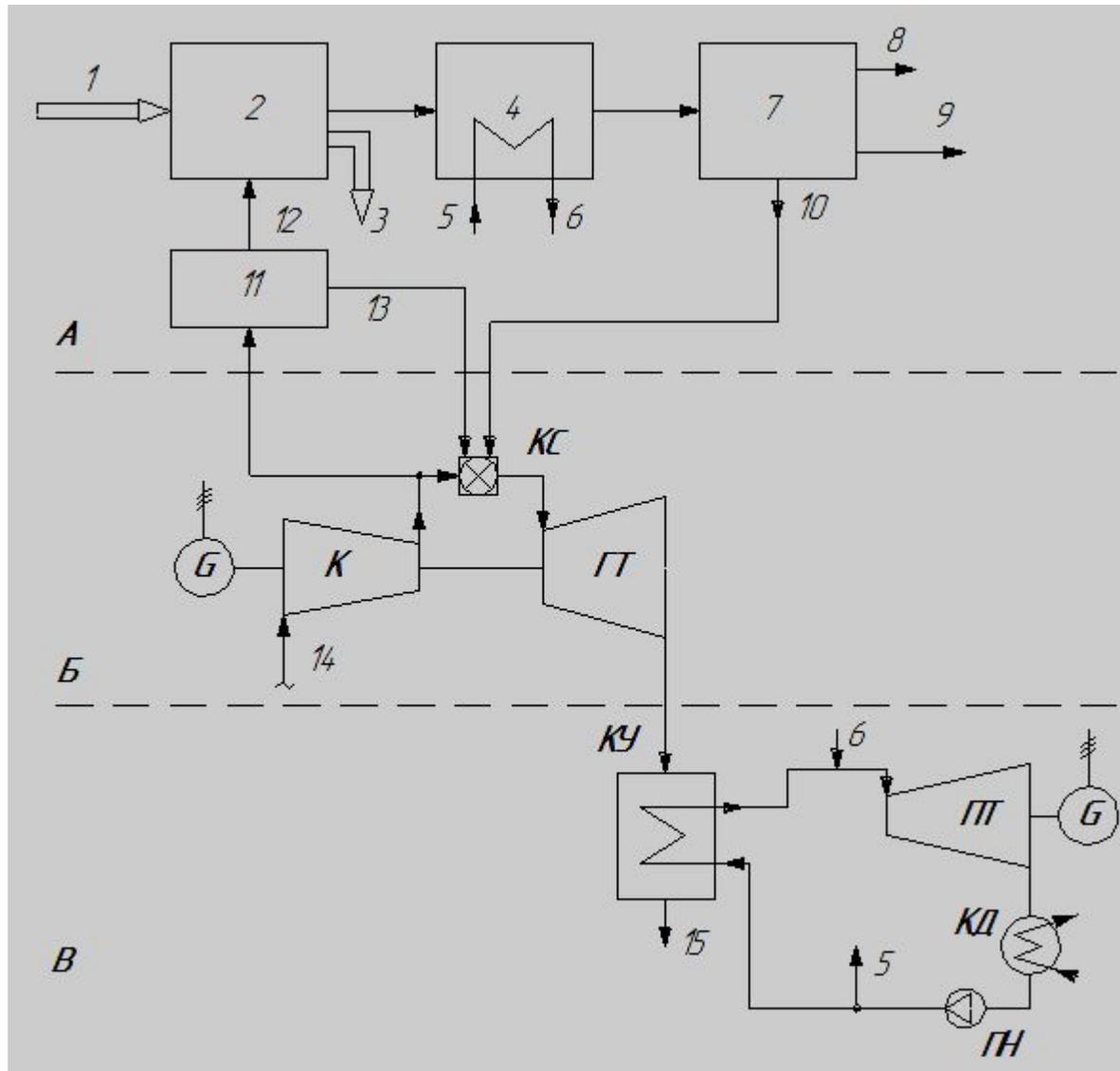
факельный  
(пылеугольный)



в потоке  
(Копперс-Тотцек)

**В настоящее время наиболее универсальными и широко распространенными в мире для выработки электрической энергии в ПГУ-IGCC являются газогенераторы твердого топлива в потоке угольной пыли. В существующих установках в качестве газифицирующего агента применяется кислород.**

# Упрощенная схема ПГУ-ВЦГ с кислородным дутьем



**А – узел газификации угля и получения генераторного газа; Б – секция ГТУ; В – секция ПСУ;**

**1 – подача пылевидного угля;  
2 – газогенератор; 3 – шлакоудаление;  
4 – газоохладитель; 5 – питательная вода;  
6 – пар; 7 – газоочистка; 8 – удаление сероводорода; 9 – удаление золы;  
10 – очищенный газ;  
11 – воздухоразделительная установка;  
12 –  $O_2$ ; 13 –  $N_2$ ; 14 – воздух; 15 – уходящие газы**

**Всего в мире (по данным на январь 2006 г.) насчитывается 15 ПГУ-IGCC, а их суммарная установленная мощность составляет 3872 МВт.**

**В настоящее время в России есть два проекта ПГУ-ВЦГ: мощностью 250 МВт для Ново-Тульской ТЭЦ и мощностью 370 МВт для Кировской ТЭЦ-5.**

**Проекты выполнены в рамках Российской государственной научно-технической программы «Экологически чистая энергетика».**

# Промышленные ПГУ с ВЦГ

Показатель	Страна и электростанция		
	США, «Wabash river»	Нидерланд ы, «Buggenum»	Испания, «Puertollano»
Мощность ГТУ, МВт	192	156	179
Мощность паровых турбин, МВт	96	128	137
Общая мощность ПГУ, МВт	288	284	316
КПД нетто, %	39,9	43,2	45
Давление в газогенераторе, МПа	2,75	2,8	2,6
Температура газа на выходе из газогенератора, °С	1371	1600	1600
Теплота сгорания газа, МДж/м <sup>3</sup>	9,4	10,7	10,0
Содержание Н <sub>2</sub> в газе, %	34,4	25,5	22,1
Содержание СО в газе, %	45,3	62,7	60,5

## **Недостатки ПГУ-ВЦГ:**

**1) высокие капитальные затраты  
2500-2900 \$/кВт;**

**2) коэффициент надёжности ПГУ-ВЦГ  
меньше, чем у энергоблоков на основе  
традиционных технологий сжигания  
угля;**

**3) КПД пока не высок (40–45 %);  
в современных ПГУ «классического»  
типа  
на газе КПД нетто находится на уровне  
55%  
и выше.**