

Вторичные энергетические ресурсы

Сухоцкий Альберт Борисович

АВТОТЕРМИЧЕСКИЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ

**Слоевые схемы газификации твердого
топлива**

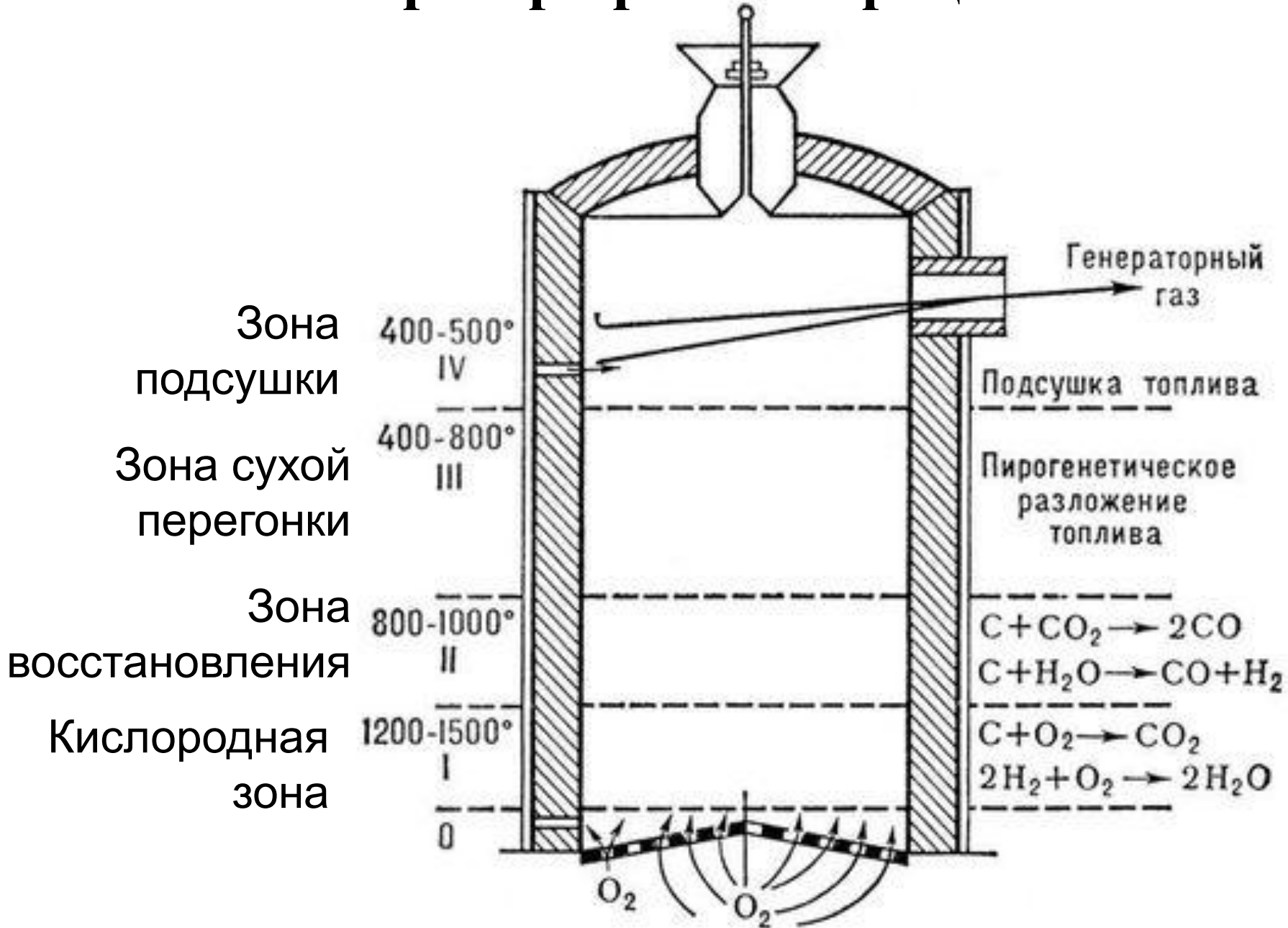
**Реакции газогенераторного процесса
Уравнение теплового баланса воздушной
газификации топлива**

Слоевые схемы газификации твердого топлива

Слоевая газификация может быть следующих типов:

- прямого процесса (встречная подача воздуха и топлива),
- обращенный процесс (попутная подача топлива и воздуха),
- двухзонный процесс,
- горизонтальный процесс.

Газогенератор прямого процесса



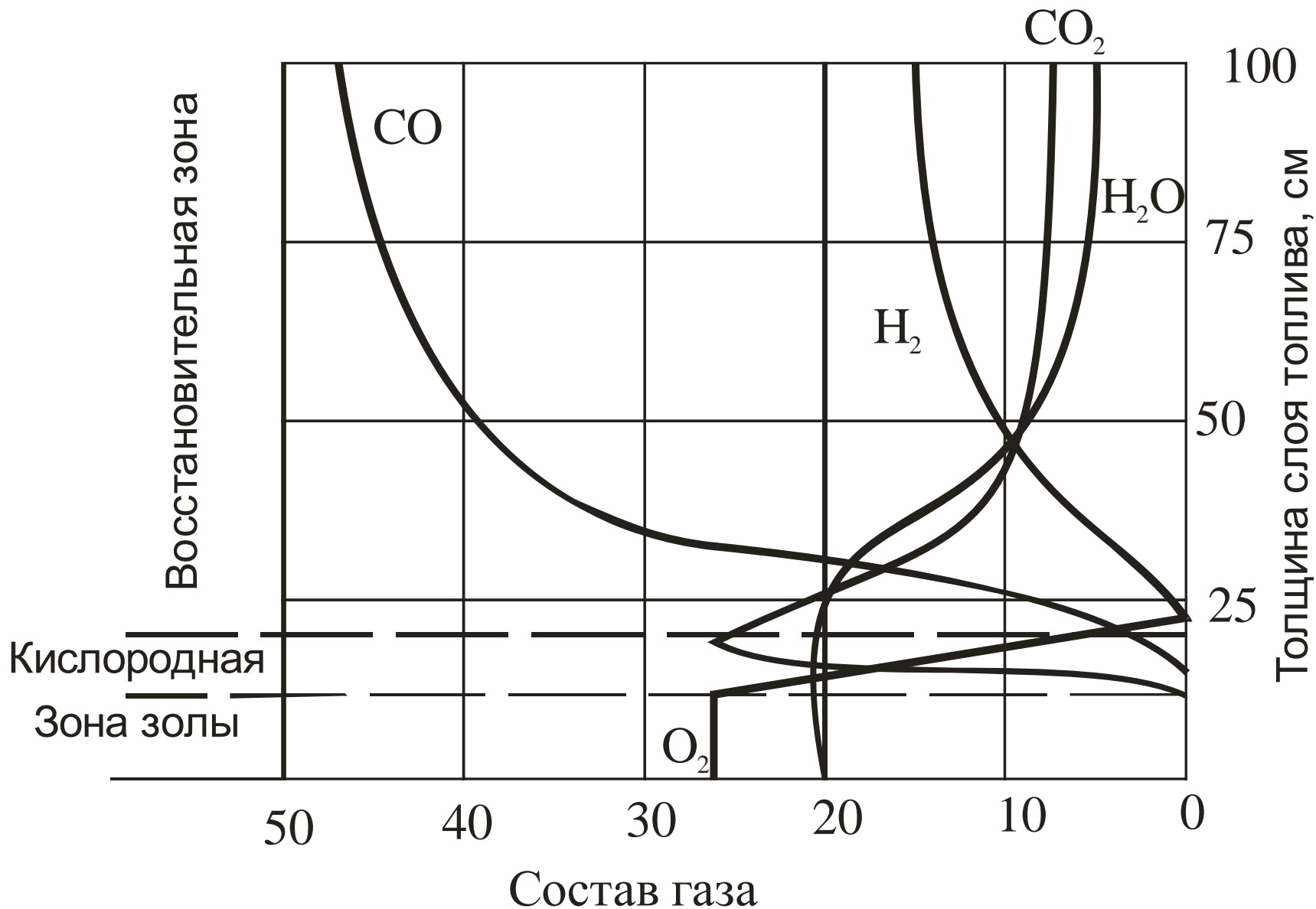
Зона сухой перегонки:

1. 275°C – извлекаются уксусная кислота CH_3COOH и метанол CH_3OH ;

2. $280\text{-}350^{\circ}\text{C}$ – начинаются экзотермические реакции, в процессе которых выделяется сложная смесь летучих химических веществ (кетоны, альдегиды, фенолы, эфиры);

3. свыше 350°C – выделяются все типы летучих соединений, происходит образование CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , C_2H_4 .

Смешанный прямой процесс



Внешний вид

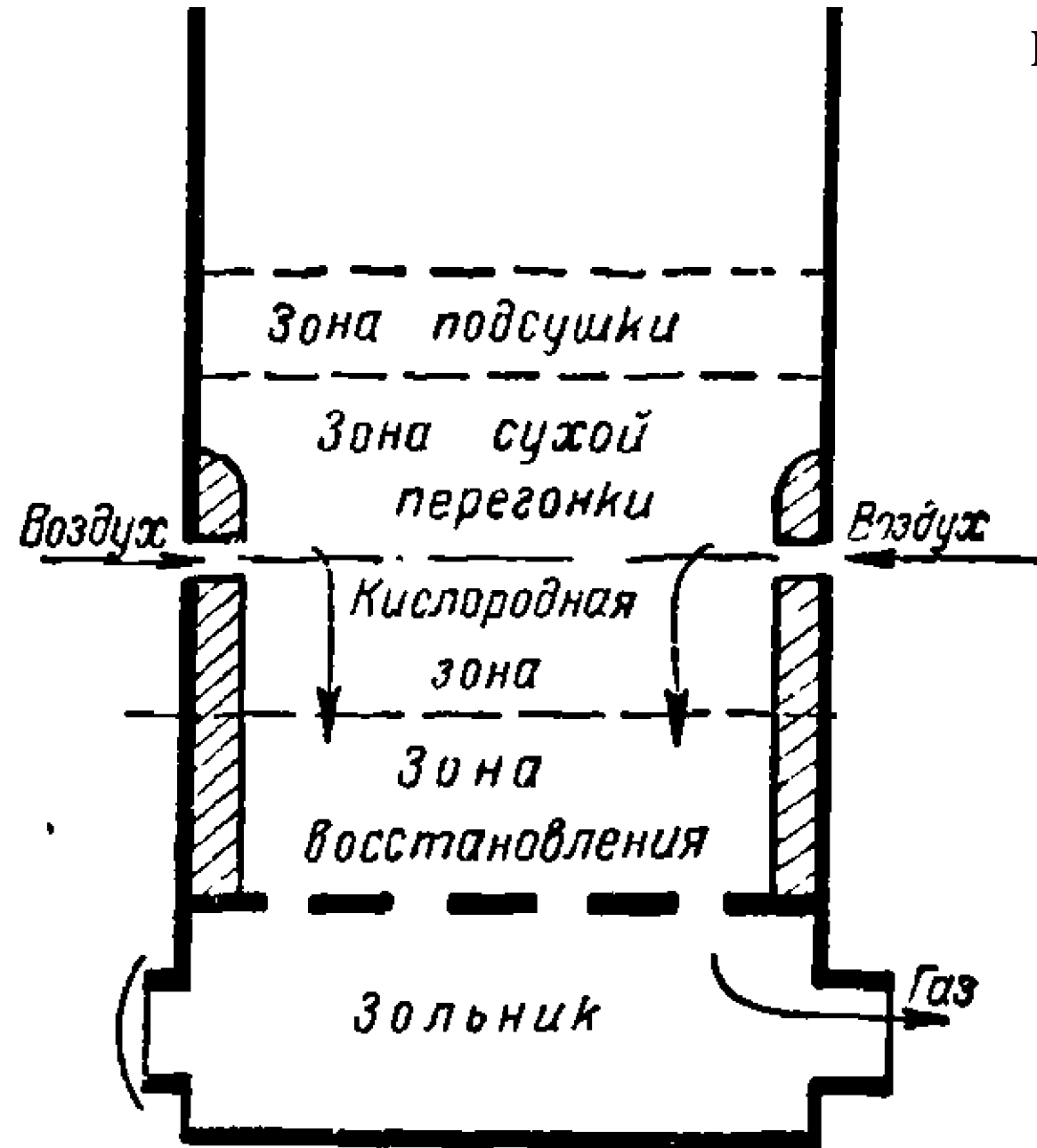


В прямом процессе воздух подается в нижнюю часть газогенератора, где достигается максимальная температура горения и наилучшие условия для полного выгорания углерода топлива, что снижает недожог до 1-2% от исходного количества углерода.

Однако топочные газы, проходя слой топлива снизу вверх, обогащаются летучими смолистыми фракциями и водой.

Обращенный процесс газификации

Количество
СМОЛИСТЫХ
веществ и влаги в
вырабатываемом
газогенераторном
газе минимально.



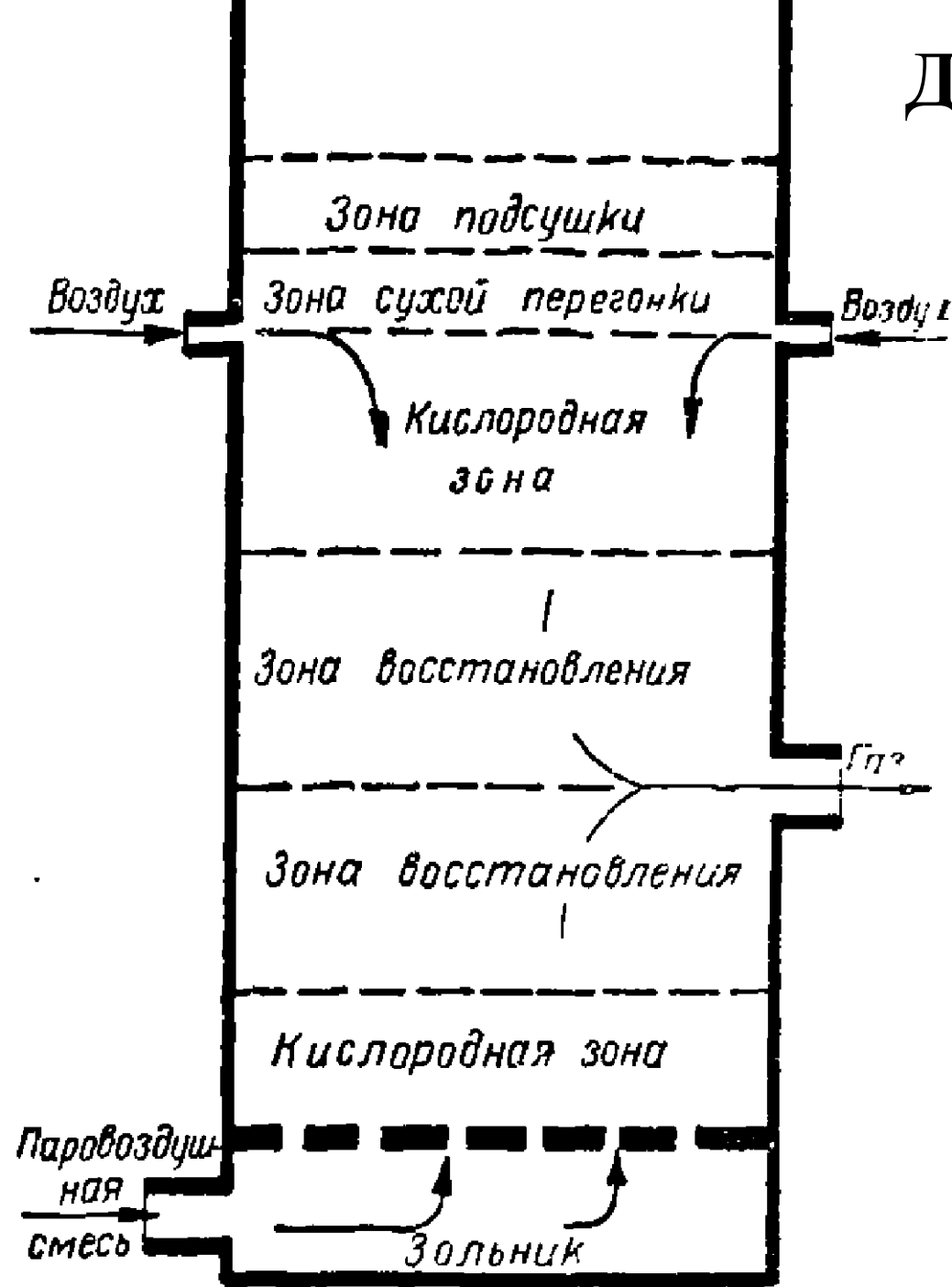
Недостатки газогенераторов обращенного процесса:

1. требуют более точной регулировки параметров и менее устойчивы в работе.
2. наблюдается значительный недожог топлива, для уменьшения которого, обычно организуют вторичное дутье в нижнюю часть активной зоны генератора.

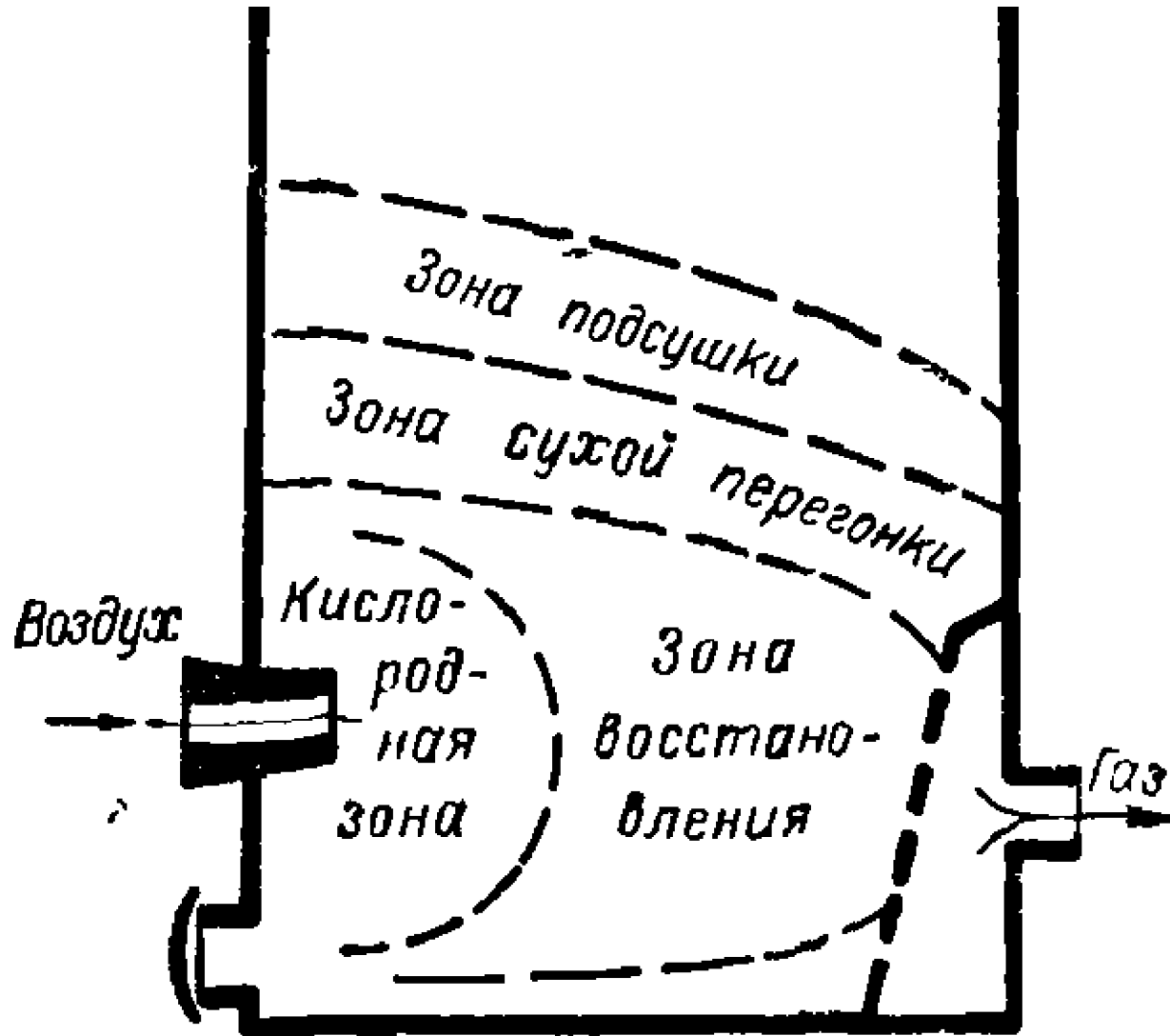
Процесс	t газа на выходе, °С	Содержание смолы, г/м ³	Теплота сгорания, МДж/м ³
прямой	80 – 240	30 – 80	3,5 – 6,5
обращенный	250 – 300	0,3 – 5,0	3,5 – 5,0

Двухзонный процесс газификации

Температура
выхода газа из
газогенератора
составляет около
 700°C (в прямом
и обратном
процессах
 $80\text{--}300^{\circ}\text{C}$).



Горизонтальный процесс газификации



Достоинства:

- простота конструкции,
- небольшой размер и вес,
- быстрый розжиг и устойчивость в работе.

Недостатки:

- невозможность применения топлив, содержащих смолу и имеющих зольность выше 5%.
- существенный недожог топлива.

Основные параметры газогенераторов

1. Диаметр камеры газогенератора

$$D_{\text{к}} = \sqrt{\frac{B}{q}}, \quad \text{м}$$

2. Высота активной зоны

$$H = \frac{v_k Q_H^p B}{D_k^2}$$

Топливо	Зольность, А %	Напряженн ость горения, q , кг/ (м ² с)	Удельный объем камеры газификации, м ³ /МВт
Бурый уголь, многозольный торф	7-10	0,087-0,13	6,9-10,4
Древесные чурки, малозольный торф	0,4-4	0,11-0,196	2,7-6,9

В качестве топлива для газогенераторов может применяться древесная щепа, кусковой торф (объем кусков от 1 см³ до 200 см³), смесь кускового торфа с опилками или стружками.

Топливом может быть только опилки и стружка, но при этом мощность может снижаться на 20-40% из-за зависания топлива в бункере и неравномерности процесса газообразования.

Хорошим топливом для газогенераторов являются отходы гидролизной переработки — ЛИГНИН.

При этом газогенераторы не требовательны. Они могут работать на измельченной древесине любых пород и любого качества (с корой, хвоей, подгнившая и т.п.) с влажностью до 50%.

Также топливом для газогенератора могут быть бурый уголь, сланцы, твердые бытовые и сельскохозяйственные отходы.

Основные характеристики твердого топлива и показатели газификации

Протекание генераторного процесса зависит от следующих характеристик топлива:

1. Реактивная способность – скорость превращения углекислоты в окись углерода.



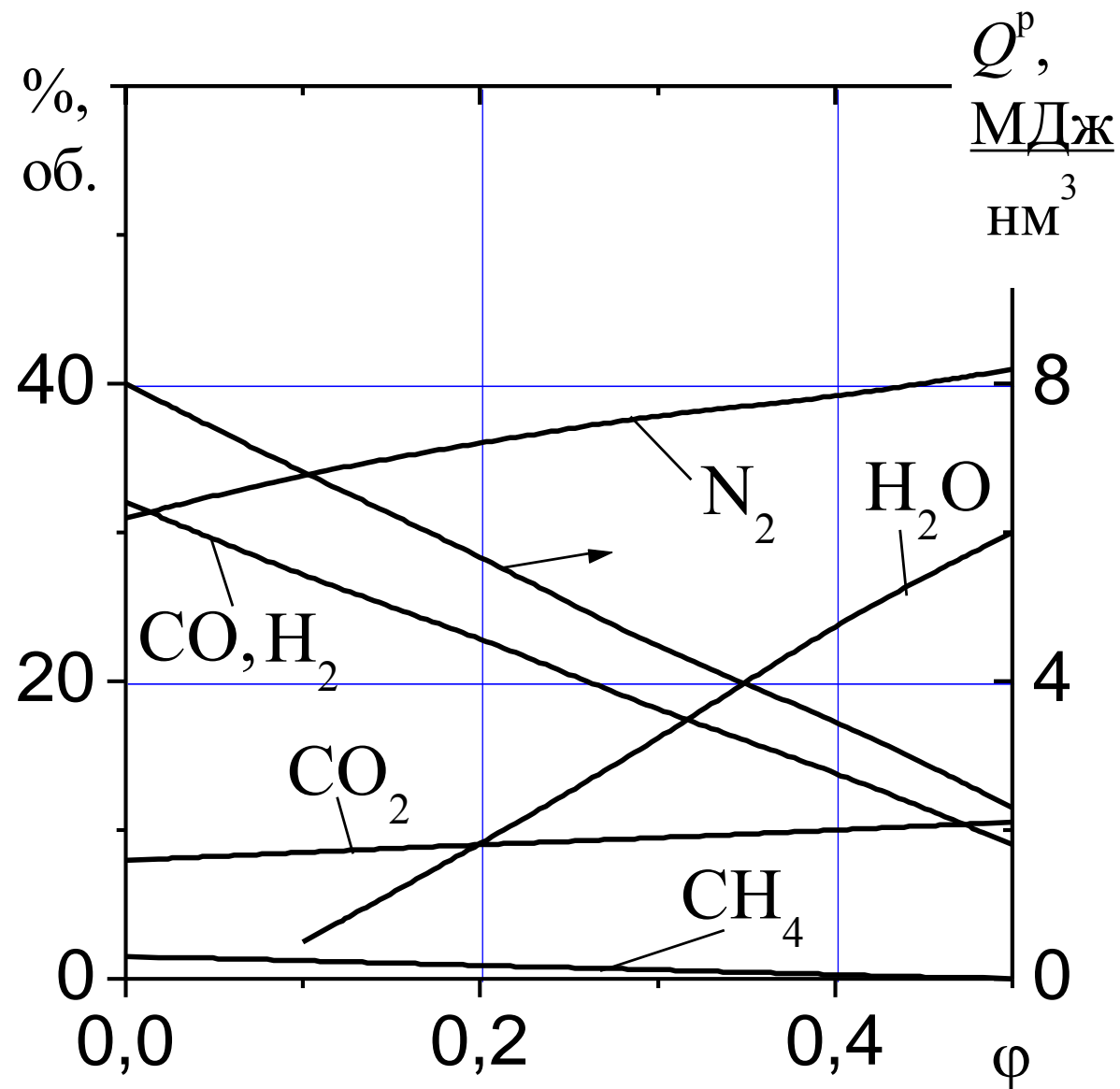
Чем больше возраст топлива, тем хуже его реактивная способность.

2. Содержание смолистых веществ.

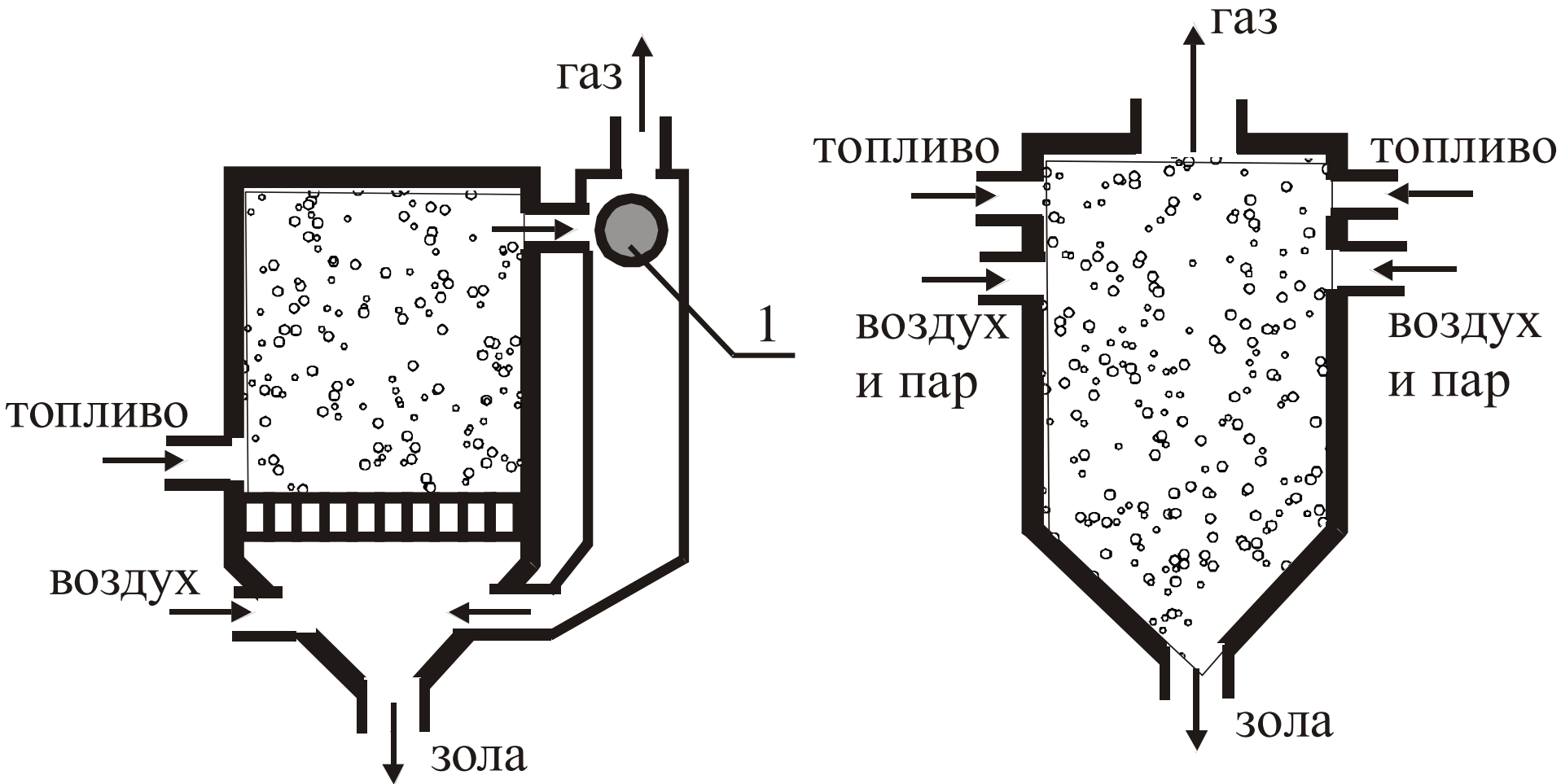
3. Механическая и термическая прочность - способность топлива сохранять свою форму под воздействием механических и температурных напряжений.

4. Способности к спеканию.

5. Влажность.



Газификация в кипящем слое

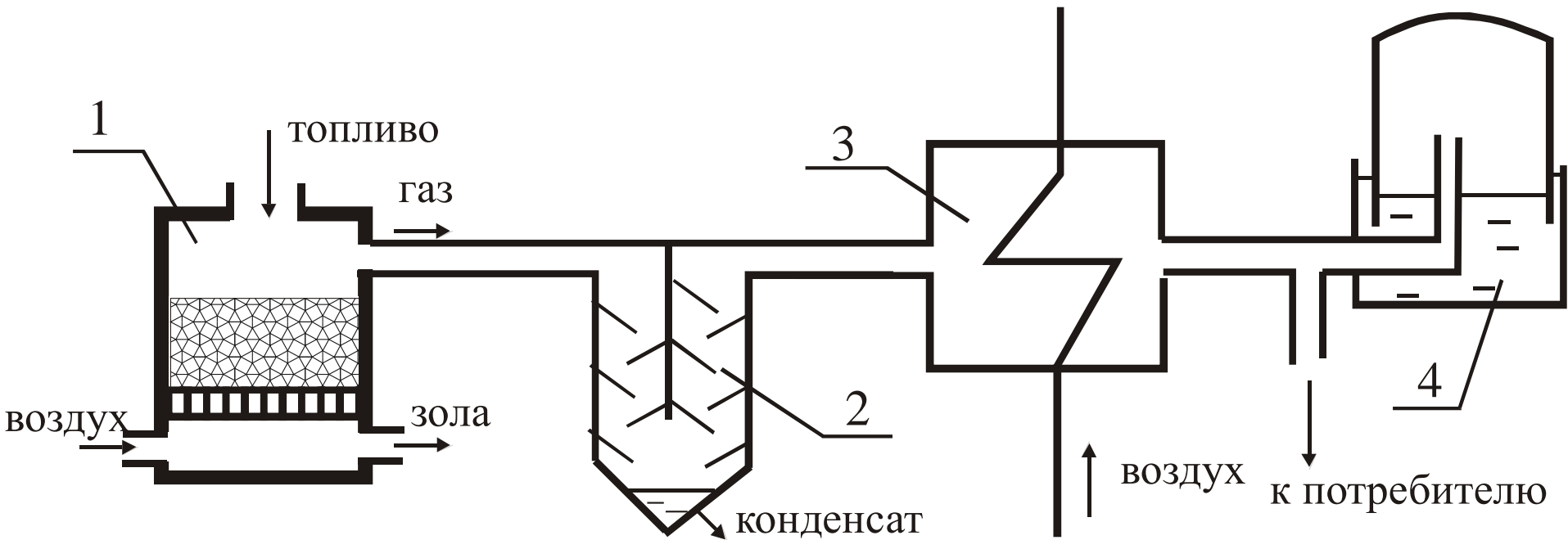


Достоинства - высокая интенсивность процесса газификации с широкими пределами регулирования производительности газификатора.

Недостатки:

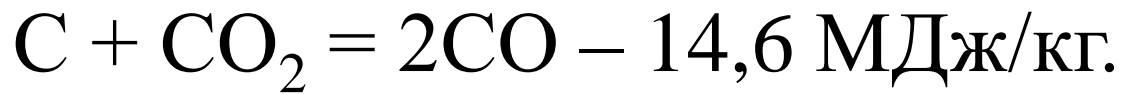
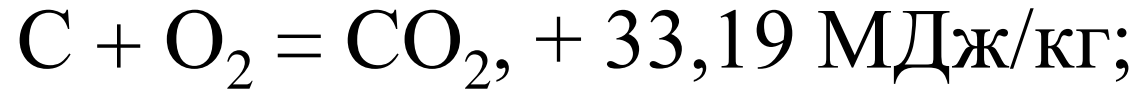
- неполное выгорание пыли
- высокое содержание летучей золы в генерируемом газе,
- дорогостоящую подготовку твердого топлива,

Установка для осуществления газогенерации



Реакции газогенераторного процесса

1. Основные реакции



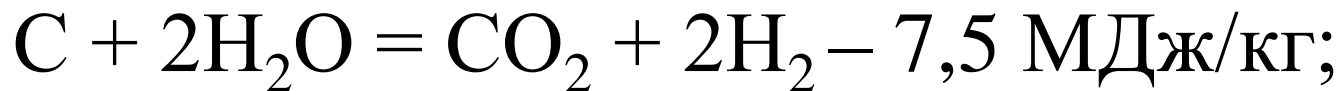
Скорость реакции прямопропорциональна температуре и обратнопропорциональна давлению.

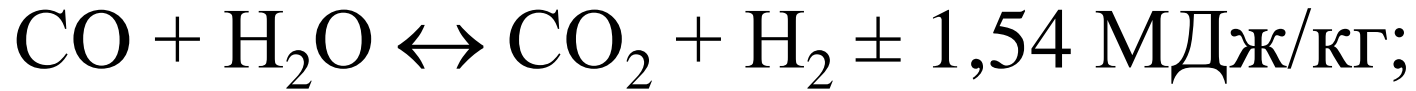
2. Реакции водяного пара.

При температуре больше 900°C основная реакция



При температуре меньше 900°C основная реакция



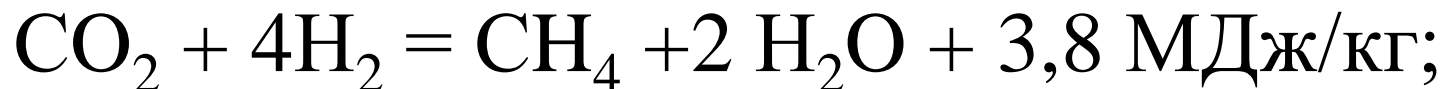
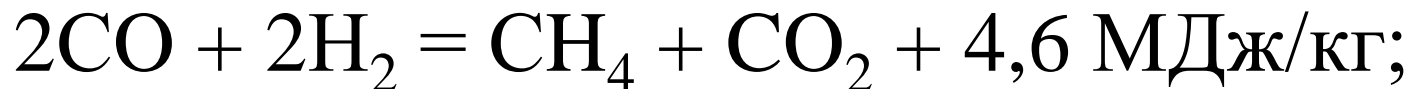
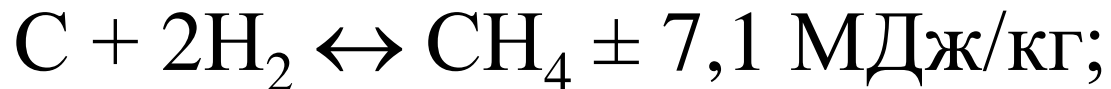


В право реакция протекает с выделением тепла, влево – с поглощением.

При нормальных условиях в право реакции идет активнее, чем влево в 1,7-2,5 раз.

3. Реакции образования метана

Увеличение образования метана происходит при снижении температуры и при увеличении давления.



Материальный баланс газификации ТОПЛИВА

$$B + \alpha G_B^0 = G_{г.г} + G_{зола},$$

$$1 + \alpha m_B^0 = g_{г.г} + A/100,$$

$$g_{г.г} = 1 + \alpha m_B^0 - A/100,$$

Материальный баланс генераторного газа

$$G_{г.г} = G_{лет} (H_2, CO, CH_4, H_2O) + G_{пир.уг} (H_2, CO) + \\ + G_{пр.сгор} (N_2, CO_2, H_2O),$$

$$g_{г.г} = g_{лет} + g_{пир.уг} + g_{пр.сгор},$$

$$g_{лет} = (0,85 - \exp(1,2 - t_{г} / 143)) \left(1 - \frac{W}{100} - \frac{A}{100} \right) (1 - \alpha)$$

$$g_{пир.уг} = g_{уг} + g_{H_2O} + g_{CO_2} = 2,5g_{уг} =$$

$$= 2,5(0,15 + \exp(1,2 - t_{г} / 143)) \left(1 - \frac{W}{100} - \frac{A}{100} \right) (1 - \alpha)$$

$$\begin{aligned}g_{\text{пр.сгор}} &= \alpha \left(1 - \frac{A}{100} + m_B^0 \right) + (1 - \alpha) \frac{W}{100} - 1,5g_{\text{yr}} = \\&= \alpha (7,12 - (6,12W + 7,12A) / 100) + (1 - \alpha) \frac{W}{100} - 1,5g_{\text{yr}}\end{aligned}$$

Содержание азота в генераторном газе

$$N_{\Gamma} = (\alpha m_{\text{B}}^0 \cdot 0,77 + N_{\text{T}} / 100) / g_{\Gamma.\Gamma} \frac{\rho_{\Gamma.\Gamma}}{\rho_{\text{N}}} \cdot 100, \quad \%$$

Плотность генераторного газа при нормальных условиях $1,18 \text{ кг/м}^3$, плотность азота $1,25 \text{ кг/м}^3$.

Состав газов газификации сухим воздухом для различных видов исходного сырья, об. %.

	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂	Q _{H₂} ^p , МДж/м ³
Древесина стволовая	18-29	9-19	2-4	6-12	0,1-0,7	48-57	4,3-6,2
Древесная щепа	28-32	12-15	3-4	5-7	0,2-0,5	46	6,3-6,9
Бурый уголь	25-28	14,0	2,3	5-6	0,2	50-52	4,2-4,9
Торф	16-22	11-17	2,7	8-12	0,5-0,7	48-57	4,2-5,5
Солома	15,4	14,8	3,3	13,2	0,2	53,0	4,7
Костра	15,1	19,9	7,1	13,4	0,7	43,5	6,6
Листья	15,8	15,1	0,8	13,1	0,6	54,6	3,7

Низшая теплота сгорания генераторного газа

$$Q_{\text{H}}^{\text{Г.Г}} = 0,1076 \text{CO} + 0,092 \text{H}_2 + 0,303 \text{CH}_4, \quad \text{МДж/кг}$$

$$Q_{\text{H}}^{\text{Г.Г}} = 0,127 \text{CO} + 0,108 \text{H}_2 + 0,358 \text{CH}_4, \quad \text{МДж/м}^3$$

Плотность генераторного газа при нормальных условиях $1,18 \text{ кг/м}^3$.

Уравнение теплового баланса воздушной газификации топлива

$$Q_{\text{H}}^{\text{P}} + Q_{\text{ВОЗД}} = g_{\text{Г.Г}} Q_{\text{H}}^{\text{Г.Г}} + Q_{\text{Ф.Т}}^{\text{Г.Г}} + Q_{\text{ЗОЛЫ}},$$

$$Q_{\text{Г}}^{\text{Г.Г}} = c_{\text{Г}} g_{\text{Г.Г}} (t_{\text{Г}} - t_0),$$

$$c_{\text{Г}} = 2,0 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{ЗОЛЫ}} = c_{\text{ТВ}} (t_{\text{Г}} - t_0) A / 100,$$

$$c_{\text{ТВ}} = 1,3 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{ВОЗД}} = c_{\text{ВОЗД}} \alpha m_{\text{В}}^0 (t_{\text{ВОЗД}} - t_0),$$

$$c_{\text{ВОЗД}} = 1,3 \text{ кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$$

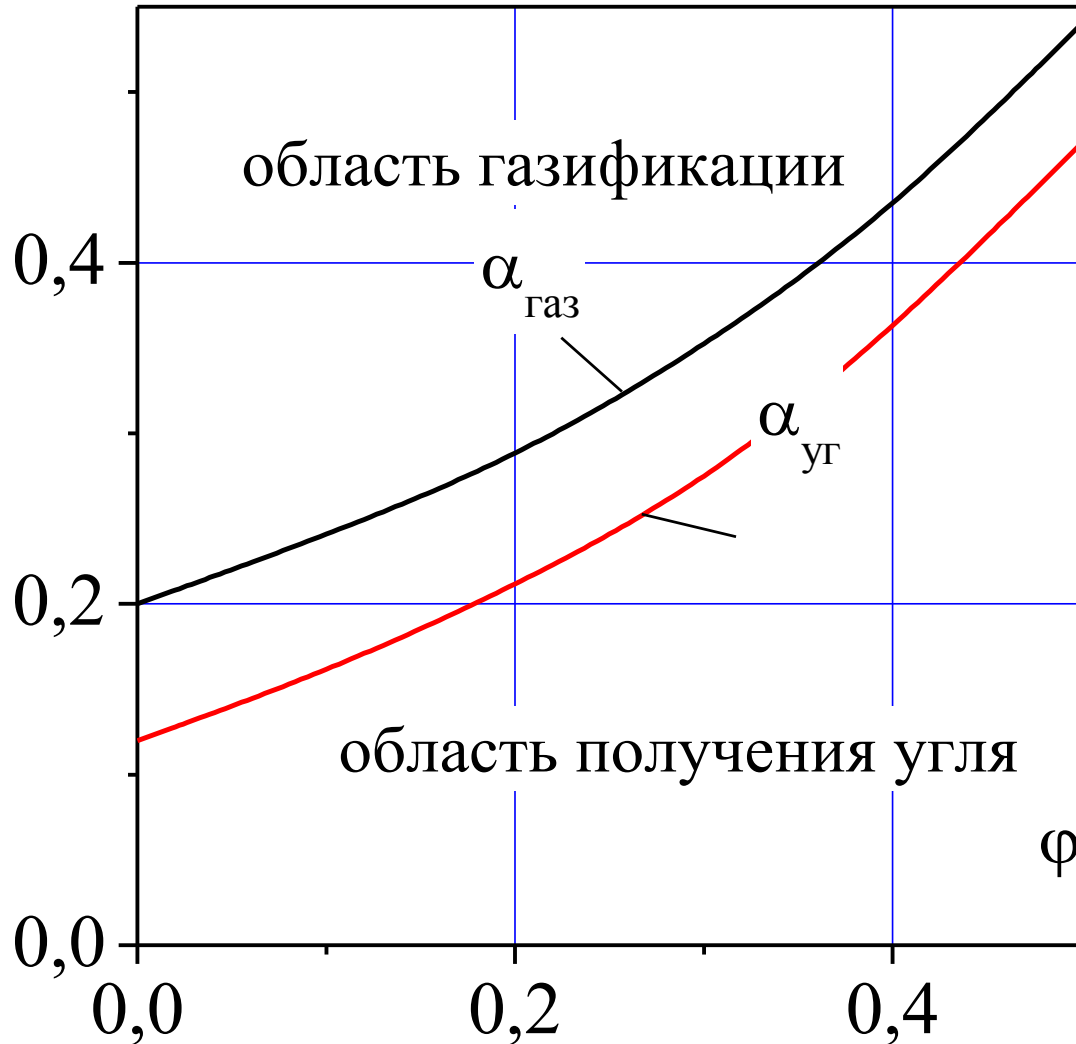
$$\alpha Q_{\text{H}}^{\text{p}} = Q_{\text{ф.т}}^{\text{г.г}} + Q_{\text{пиролиз}} + Q_{\text{зола}},$$

$$\eta_{\text{T}} = \left(g_{\text{г.г}} Q_{\text{H}}^{\text{г.г}} + Q_{\text{T}}^{\text{г.г}} \right) / Q_{\text{H}}^{\text{p}}$$

$$\eta_{\text{ХИМ}} = g_{\text{г.г}} Q_{\text{H}}^{\text{г.г}} / Q_{\text{H}}^{\text{p}}$$

Зависимость коэффициента недостатка воздуха от влажности топлива при 900°C

α



$$\alpha_{\text{газ}} = 0,196 \frac{1 + 0,84\phi}{1 - 0,92\phi}$$

$$\alpha_{\text{уг}} = 0,12 \frac{1 + 2,1\phi}{1 - 0,94\phi}$$

$$\phi = W / 100$$