

# ГАЗИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Лекция 6. Аэродинамика газификации.

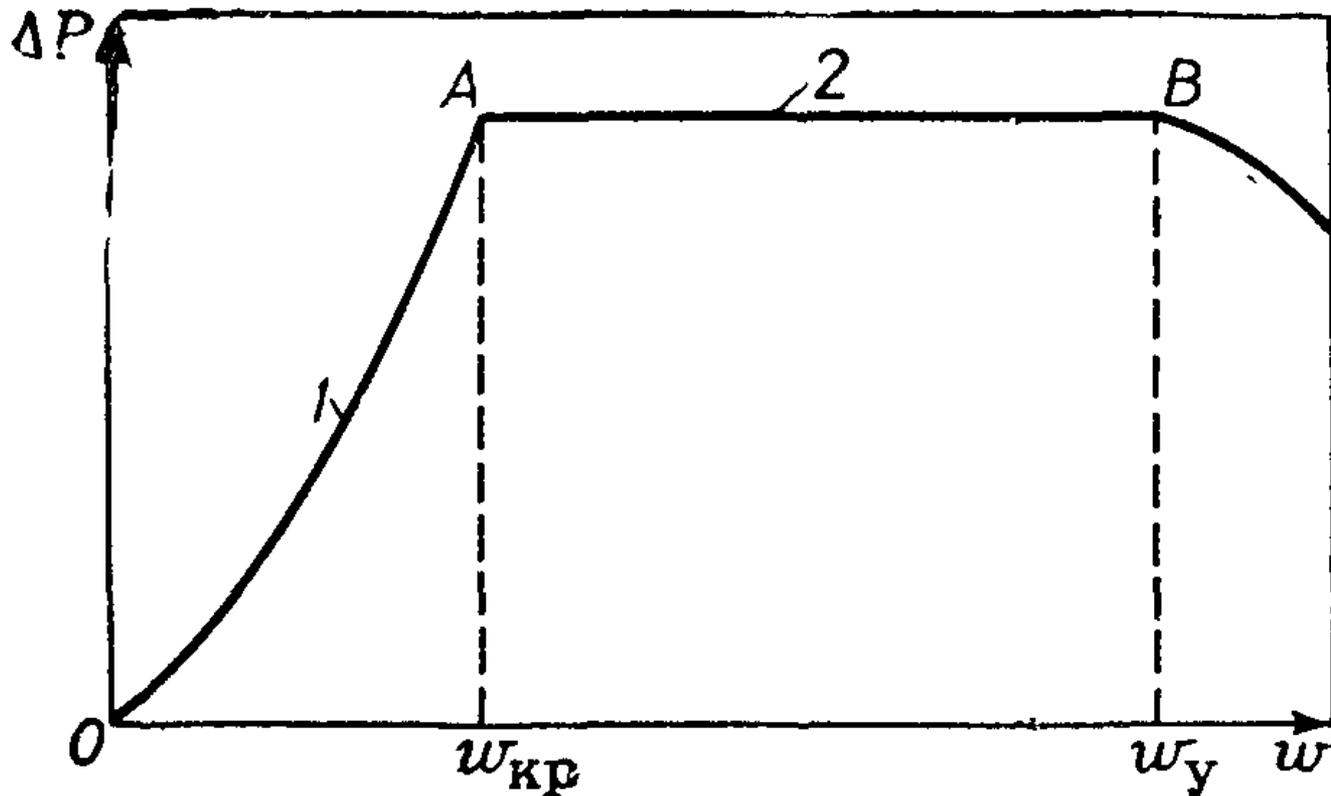
Лектор:

Доцент НОЦ И.Н. Бутакова

Слюсарский Константин Витальевич

# Аэродинамика газификаторов

- Плотный слой – скорость меньше критической  $w_{кр}$
- Кипящий слой – скорость между критической  $w_0$  и скоростью витания  $w_B$ ;
- Поточная газификация – скорость выше скорости витания  $w_y$  (скорости уноса).



# Аэродинамика газификаторов

- Критические условия возникновения псевдооживления:

$$\Delta P = g (\rho_m - \rho_r) (1 - \varepsilon) H = g (\rho_m - \rho_r) (1 - \varepsilon_{кр}) H_{кр}$$

- В таком случае, критическая скорость потока может быть определена используя критическое число Рейнольдса:

$$Re_{кр} = \frac{Ar}{150 \frac{1 - \varepsilon_{кр}}{\varepsilon_{кр}^3} + \left( \frac{1,75}{\varepsilon_{кр}^3} Ar \right)^{1/2}}$$

$$Re_{кр} = 0,0736 Ar^{0,625} \varepsilon_{кр} (d_{max}/d_{\varepsilon})^{0,375}$$

- Тогда критерии Архимеда и Рейнольдса могут быть определены как:  $Ar = \frac{gd^3}{\nu^2} \frac{\rho_m - \rho_r}{\rho_r}$   $\omega_{кр} = Re_{кр} \nu / d$

- Критическая пористость слоя топлива определяется как (в отсутствие данных может быть принята больше  $\varepsilon$  на 10%):  $f/\varepsilon_{кр}^3 \approx 14$  и  $f^2(1 - \varepsilon_{кр})/\varepsilon_{кр}^3 \approx 11$

# Аэродинамика газификаторов

- Определение скорости уноса топлива:  $Ly_y = Re_y^3 / Ar$

$$w_y = 10000 \sqrt{(\rho_2 \cdot d / \rho_m \cdot T)}$$

$$h_{min} = 1,2 \cdot 10^3 H Re^{1,55} Ar^{-1,1}$$

Формула

Характеристика условий, в которых получена формула

$$h_{min} = H_n^{0,58} D_a^{0,42} \left( m \frac{w - w_6}{w_6} + n \right)$$

$$15 < Re < 300; 19,5 < Ar < 605 \cdot 10^3$$

$$\frac{g_y}{\rho_r w} = 6,0 \left( Fr_1 \frac{\rho_r}{\rho_m} C_m \right)^{1,37}$$

$$h \geq h_{min}$$

$$Fr_1 \frac{\rho_r}{\rho_m} C_m \approx 0,002 + 0,5$$

$$g_y / (\rho_r w) \approx 0,003 \div 2$$

Материал — мелкий и крупный микросферический катализатор из естественных глин, синтетический катализатор крекинга; Формула подтверждена в [28] на грануляторе карбамида ( $D_a = 0,32$  м,  $P = 1,9$  МПа,  $t = 100 \div 110$  °С)

Материал — микросферический алюмосиликатный катализатор.  $\rho_m = 2080$  кг/м<sup>3</sup>, воздух при  $P = 0,1$  МПа,  $t = 20$  °С;  $w_{yк}$  — скорость начала уноса катализатора;  $w_y$  — скорость начала уноса применяемого материала;  $\phi$  — доля свободного сечения решетки;  $\bar{d} = \sum_i \delta_i d_i$  — средний диаметр мелочи;  $\delta_i, d_i$  — доля и диаметр  $i$ -й фракции. Формула проверена в работах [30, 31], на регенераторах установок каталитического крекинга

Материал — катализатор со средним диаметром частиц  $\bar{d} = 59$  мкм; песок  $\bar{d} = 105$  мкм. В  $Re$  подставляется средний диаметр уносимых частиц  $150 < (1/Fr_2) < 1000$

Формулы для расчета

Соответствующие формулы для коэффициента сопротивления

$$Re_y = Ar/18$$

$$Ly_y = 1,71 \cdot 10^{-4} Ar^2$$

$$0 \leq Ar \leq 36$$

$$\xi = 24 Re^{-1}$$

$$0 < Re \leq 2$$

$$Re_y = 0,153 Ar^{0,714}$$

$$Ly_y = 0,00357 Ar^{1,14}$$

$$36,6 \leq Ar \leq 8,33 \cdot 10^4$$

$$\xi = 18,5 Re^{-0,6}$$

$$2 < Re \leq 500$$

$$Re_y = 1,74 \sqrt{Ar}$$

$$Ly_y = 5,28 \sqrt{Ar}$$

$$Ar > 8,25 \cdot 10^4$$

$$\xi = 0,44$$

$$Re > 500$$

$$Re_y = \frac{Ar}{18 + 0,61 \sqrt{Ar}}$$

$$Ly_y = \frac{Ar^2}{(18 + 0,61 \sqrt{Ar})^3}$$

$$0 \leq Ar \leq 1,22 \cdot 10^5$$

$$\xi = 0,248 + \frac{24}{Re} + 0,248 \sqrt{1 + \frac{194}{Re}}$$

$$0 < Re \leq 200\,000$$

$$\frac{G_y}{G_r} 10^2 = A \frac{w^4 C_m^{0,5} H^k}{\bar{d}^{3,53} h^n \phi} \left( \frac{w_{yк}}{w_y} \right)^4$$

$$A = 10^9, n = 1,01 \text{ при } h \leq h_{min}$$

$$A = 3,35 \cdot 10^5, n = 0,273 \text{ при } h > h_{min}$$

$$k = \begin{cases} 0,358 & \text{при } H > 0,088 \text{ м} \\ 0,259 & \text{при } H \leq 0,088 \text{ м} \end{cases}$$

$\bar{d}, h$  и  $H$  измеряются в мм

$$g_y / (\rho_r w) = 0,00845 Fr_2^{0,687} \cdot Re^{-0,226} \times (\rho_m / \rho_r)^{0,564}$$

# Аэродинамика газификаторов

- Определение потерь давления в плотном слое:

$$\xi = \frac{2 \Delta p \cdot d}{\rho v^2 H} = f(Re) \quad \xi Re = C_1 + C_2 Re \quad C_1 = 2500, C_2 = 40$$

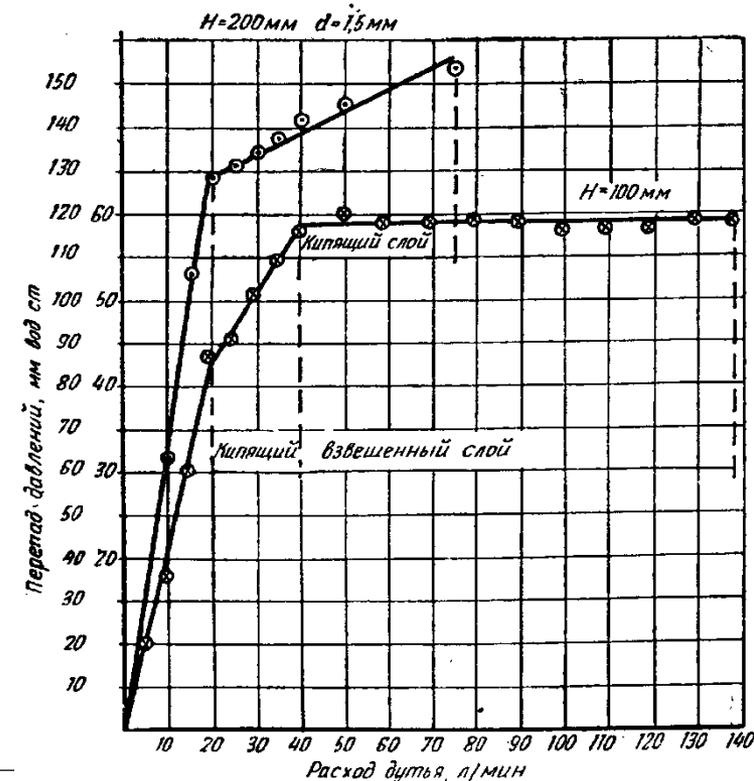
$$C_1 = 3240 \text{ и } C_2 = 49,2.$$

$$\Delta p = f \cdot \frac{H}{d} \cdot 2\rho w^2,$$

где  $f$  — общий коэффициент сопротивления —  $f = 36,5 Re^{-1}$  при  $Re < 20$  («ламинарная» область);  $f = 4 Re^{-0,2}$  при  $Re$  от 20 до 7000 («турбулентная» область);  $f = 0,4$  при  $Re > 7000$  (область развитого турбулентного движения);

$$d = 4\varepsilon / S$$

$$w = w_{св} / \varepsilon$$



# Теплообмен в плотном слое

- Определение коэффициента теплообмена при подогреве кускового топлива:  $Nu = 0,24 \cdot Re^{0,83} (Re > 50-100)$
- Время сушки топлива:

$$t = \frac{k \rho \cdot \left( \frac{R^2}{6\lambda} + \frac{R}{3\alpha} \right)}{T - \theta_{\varepsilon}}$$

$\lambda$  — коэффициент теплопроводности *ккал/м · час · град*;  
 $k$  — тепло, затраченное на испарение влаги, отнесенной к 1 кг сухого вещества, *ккал/кг*;  
 $\rho$  — вес сухого вещества топлива, *кг/м<sup>3</sup>*;  
 $R$  — радиус куска, *м*;  
 $\alpha$  — коэффициент теплообмена, *ккал/м<sup>2</sup> · час · град*;  
 $\theta_{\varepsilon}$  — температура испарения, *град*.

# Теплообмен в потоке

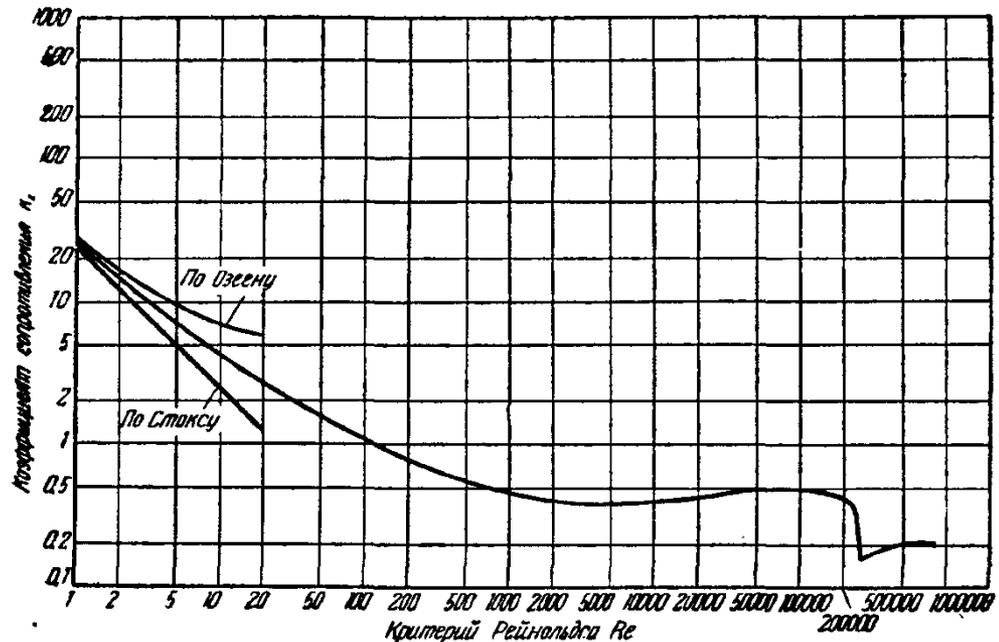
$$\omega_s = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\gamma_{\Gamma}}{\gamma_{\Gamma}} \frac{d \cdot g}{k_s}}$$

$$Nu_x = 0,257 Re_x^{0,83} (Re < 80000),$$

$$Nu_x = 0,913 Re_x^{0,72} (Re > 80000 \text{ до } 10^6)$$

$$\alpha_n = \sigma_s \varepsilon T^3 \quad \varepsilon = \varepsilon_1 SR + \varepsilon_r$$

$$\varepsilon_n = 1 - e^{-kF' \mu l} \quad k = A \sqrt[3]{\frac{d}{\lambda_0}}$$



# Теплообмен в кипящем слое

- Определение коэффициента теплообмена в кипящем слое:

$$Nu_0 = 0,4(Re/\varepsilon)^{0,66} Pr^{0,33} \quad Re/\varepsilon > 200$$

$$Nu_0 = 10 + 0,23(Ar \cdot Pr)^{0,66} \quad \text{при } Ar \approx 10^8$$

- Оценка влияния скорости газа на пористость слоя:

$$\varepsilon = \varepsilon_{кр} (\omega / \omega_{кр})^\xi \quad \xi = 0,07 Ar^{0,031} \quad \text{при } 177 < Ar < 2,14 \cdot 10^4$$

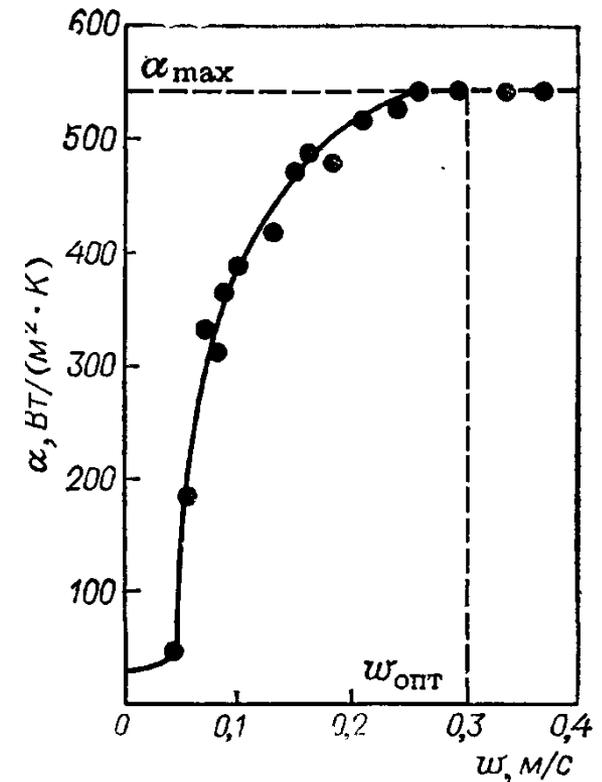
- Теплоотдача от поверхности слоя к окружающим стенкам:

$$Nu_{max} = \frac{\alpha_{max} d}{\lambda_c} = \frac{2}{1 - (1 - \varepsilon)^{1/3}} \approx 10$$

$$\alpha_{max} = 35,7 \lambda_c^{0,6} d^{-0,36} \rho_M^{0,2} \quad \alpha_p \approx 0,8 \alpha_{max}$$

$$Nu_{сТ} = 0,61 Nu_0 = 0,16 (Ar Pr)^{1/3}$$

$$\varepsilon_{КС} = \varepsilon_M^{0,31} \quad \alpha_L = 7,3 \sigma_0 \varepsilon_M \varepsilon_T T_T^3$$



Спасибо за  
внимание!