

# ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ПОДГОТОВКИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

*А.Ф. Булат, А.И. Волошин, П.И. Кудинов*

Институт геотехнической механики, НАНУ, Украина



# 1. Основные задачи термохимической подготовки топлива (ТХПТ)

- Снижение затрат подсветочного топлива
- Уменьшение механического недожога угля
- Снижение уровня вредных выбросов в атмосферу

**При использовании высокорезакционного подсветочного топлива, его доля в тепловом балансе котла достигает 40 % от суточного потребления угля, а механический недожог углей марки АШ достигает 20%.**

## 2. Математическая модель движения и теплообмена потока воздуха с горящими частицами угля

$$\iint (\vec{V}\vec{n}\rho) dS = 0 \quad (1)$$

$$\iiint_W \frac{\partial \rho \vec{V}}{\partial t} dW + \iint_S \left[ \vec{V}\vec{n}\rho \vec{V} - (\mu + \mu_t) \frac{\partial \vec{V}}{\partial n} \right] dS = - \iiint_W \nabla p dW + \iiint_W \vec{B} dW + \iiint_W \vec{G} dW \quad (2)$$

$$\iiint_W \frac{\partial \rho C_{pg} T}{\partial t} dW + \iint_S \left[ \vec{V}\vec{n}(\rho C_{pg} T) - C_{pg} \left( \frac{\mu}{Pr} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial n} \right] dS = \iiint_W S_T dW \quad (3)$$

$$\vec{B} = \vec{e}_r \left( \rho V_\theta^2 / r - (\mu + \mu_t) V_r / r^2 \right) - \vec{e}_\theta \left( \rho V_\theta V_r / r + (\mu + \mu_t) V_\theta / r^2 \right)$$

$$\vec{G} = \text{div} \left[ (\mu + \mu_t) \left( (\nabla \vec{V})^T - 2/3 \bar{I} \text{div} \vec{V} \right) \right]$$

### 2.1. Модель турбулентности

$$\mu_t = c_\mu \rho k^2 / \varepsilon$$

$$\iiint_W \frac{\partial \rho k}{\partial t} dW + \iint_S \left[ \vec{V}\vec{n}(\rho k) - \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial n} \right] dS = \iiint_W \rho (P - \varepsilon) dW \quad (4)$$

$$\iiint_W \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} dW + \iint_S \left[ \vec{V}\vec{n}(\rho \varepsilon) - \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial n} \right] dS = \iiint_W \frac{\rho \varepsilon}{k} (c_{\varepsilon 1} P - c_{\varepsilon 2} \varepsilon) dW \quad (5)$$

## 2.2. Уравнения движения и теплообмена одиночной горящей частицы угольного топлива

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{V}_p \quad (6)$$

$$\frac{d\vec{V}_p}{dt} = C_f \frac{S_{mp}}{W_p} \frac{\rho_g}{\rho_p} \frac{|\vec{V}_g - \vec{V}_p|}{2} (\vec{V}_g - \vec{V}_p) \quad (7)$$

$$\frac{dT_p}{dt} = \frac{S_p}{\rho_p W_p C_p} (q_{cv} + q_r + q_{cb}) \quad (8)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = 2 \frac{K_S^C}{\rho_p} \quad (9)$$

$$q_{cv} = \alpha_{cv} (T_g - T_p) \quad \text{- конвективный теплообмен}$$

$$q_{cb} = Q_{cb} K_S^C \quad \text{- тепло от химической реакции}$$

$$q_r = \sigma \varepsilon \Phi (T_0^4 - T_p^4) \quad \text{- теплообмен излучением}$$

$$\alpha_{cv} = Nu_{cv} \frac{\lambda_g}{\delta}$$

$$K_S^C = \beta O_2 \alpha \rho_g$$

$$\alpha = \frac{\alpha_k \alpha_d}{\alpha_k + \alpha_d}$$

$$\alpha_k = k_0 \exp(-E/RT_p)$$

$$\alpha_d = Nu_d \frac{D}{\delta} k_t$$

$\delta$  – диаметр частицы

$S_p$  – поверхность частицы

$W_p$  – объем частицы

$\rho_p$  – плотность материала частицы

$\rho_g$  – плотность газа

$T_p$  – температура частицы

## 2.3. Численный алгоритм

- Дискретные аналоги исходных уравнений получены с помощью метода контрольного объема
- Для расчета аэродинамики применяется алгоритм SIMPLER. Стационарное течение рассчитывается с помощью метода установления.
- После достижения установившегося во времени течения газа проводится расчёт траекторий и характеристик теплообмена частиц различных фракций с помощью метода Рунге-Кутты четвертого порядка точности.
- Рассчитывается величина теплового потока между газом и частицами. Затем опять проводится расчет параметров течения газа и т.д. до достижения стационарного решения.

### 3. Результаты расчетов и экспериментов

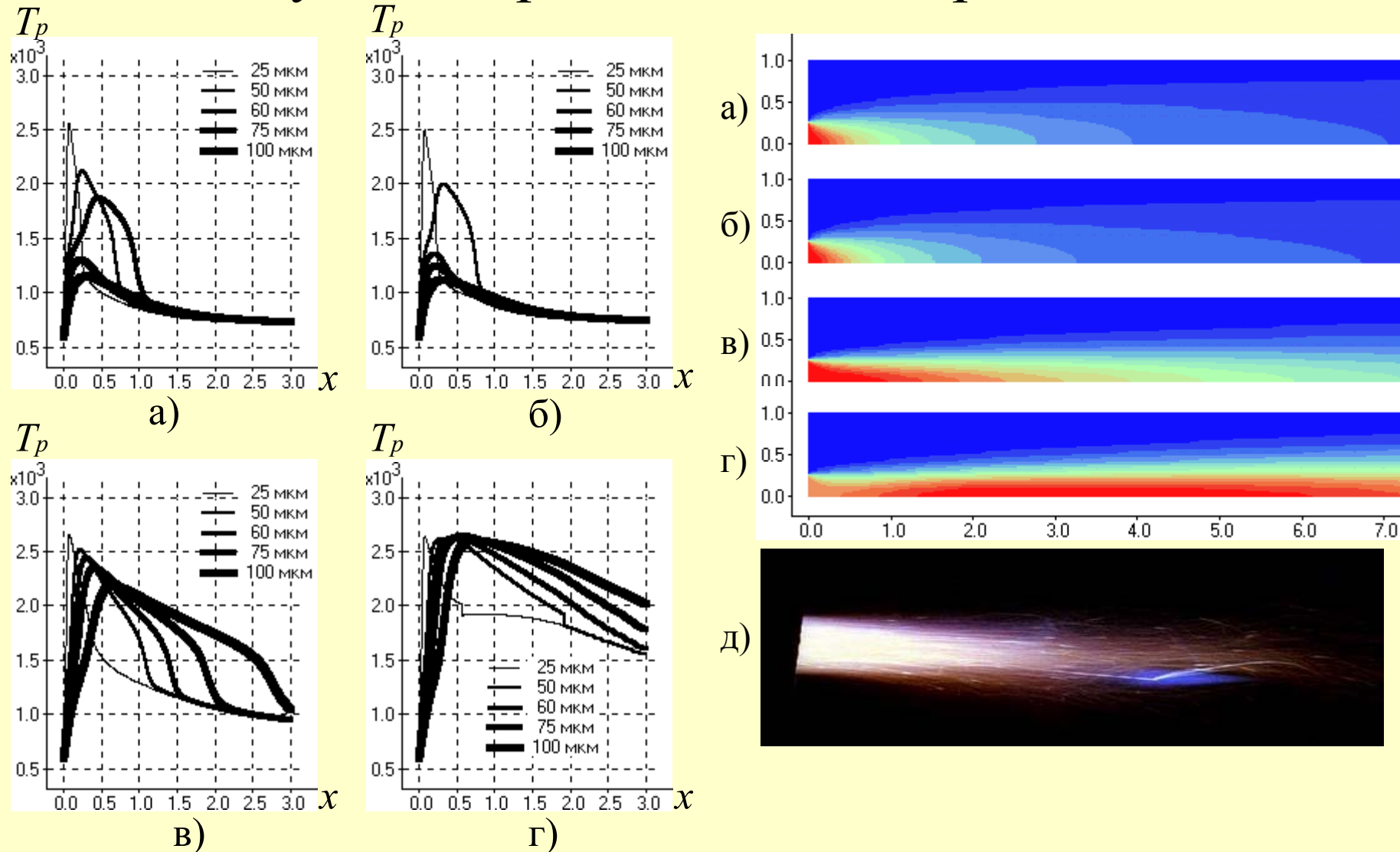


Рис. 1. Изменение температуры  $T$ , °К частиц различных диаметров и распределение температуры газа в камере реактора а, в) – расход угля 0.5 кг/с; б, г) – расход угля 1.0 кг/с; а, б) – средняя температура газа на начальном участке  $T_{\text{нач}} < 1500$  °К; в, г) –  $T_{\text{нач}} \sim 1700$  °К; д - эксперимент.

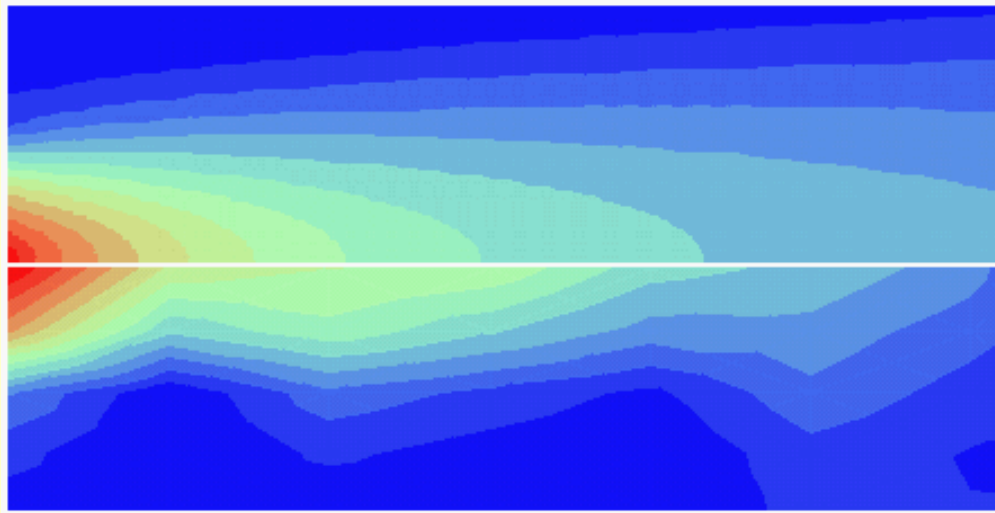


Рис.2. Изолинии безразмерной температуры газа  $T/T_{max}$ . Вверху - результаты расчетов; внизу - эксперимент с газовой горелкой в качестве источника тепла

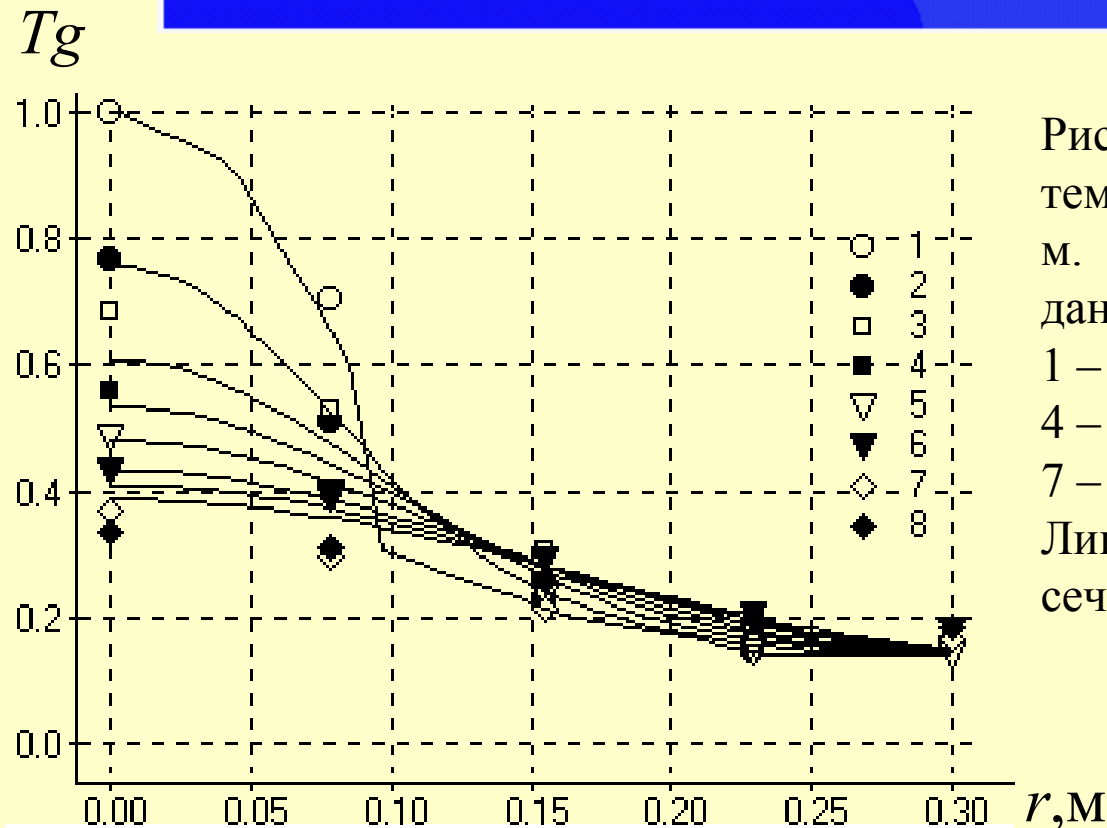


Рис. 3. Распределение безразмерной температуры газа  $T/T_{max}$  по радиусу  $r$ , м. Точки 1–8 экспериментальные данные для сечений: 1 –  $x=0$ , м; 2 –  $x=0.2$ , м; 3 –  $x=0.4$ , м; 4 –  $x=0.6$ , м; 5 –  $x=0.8$ , м; 6 –  $x=1.0$ , м; 7 –  $x=1.2$ , м; 8 –  $x=1.4$ , м. Линии – расчетные данные для тех же сечений.

## 4. ВЫВОДЫ

- Результаты расчетов и испытаний подтвердили работоспособность новой технологии для подготовки и розжига пылеугольной аэросмеси. Проведение управляемой реакции ТХПТ в аэродинамическом реакторе способствует эффективному воспламенению и сжиганию угля марки АШ. Температура аэросмеси, проходящей через реактор и подаваемой в котел, может быть повышена до 900 – 1000°С.
- Разработанная технология позволяет уменьшить использование мазута, снизить расход природного газа, уменьшить механический недожог угля, повысить КПД котла, снизить себестоимость электроэнергии.
- Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии только на одном котле Приднепровской ТЭС по оценочным расчетам на сегодняшний день составит около 2 млн. долл. США.
- Широкомасштабное внедрение предлагаемой технологии в топливно-энергетическом комплексе Украины позволит решить актуальные технические и экономические проблемы энергетики и получить годовой экономический эффект по отрасли порядка 350 – 400 млн. долл. США.