



ОКБ
ГИДРОПРЕСС
РОСАТОМ

Программа MATADOR для расчета локальных неоднородных процессов тепломассопереноса в пучках тепловыделяющих стержней

Научно-техническая конференция молодых специалистов

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

Залесов Артем Сергеевич

Инженер-конструктор 2 категории

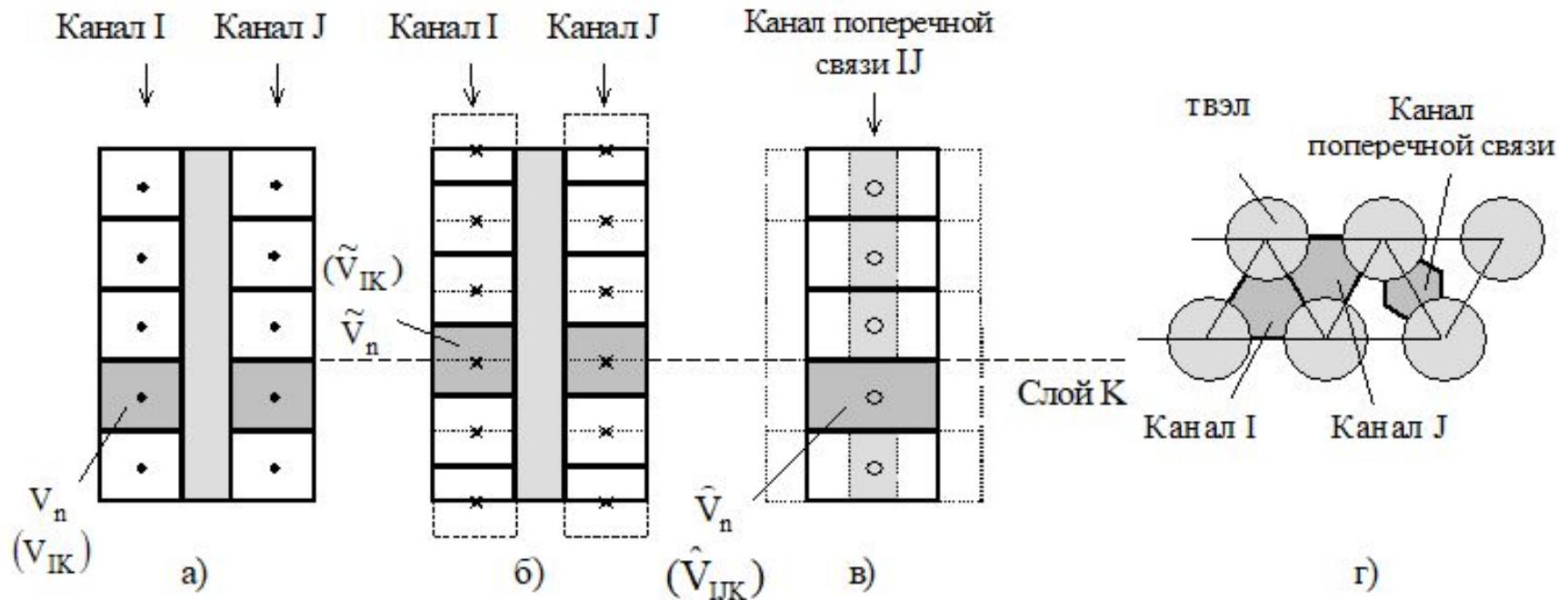
Введение

Цель работы: разработка программы MATADOR, основанной на поканальной методике расчета и ориентированной на моделирование процессов тепломассопереноса в пучках тепловыделяющих стержней при наличии локальных неоднородностей потока в стационарных и динамических режимах.

Задачи:

1. Выбор схемы конечно-разностной аппроксимации исходной системы дифференциальных уравнений и создание математической модели;
2. Выбор метода решение СЛАУ и его реализация;
3. Расчет тестовых задач и сравнение полученных результатов по программам MATADOR и ТЕМПА-1Ф.

Краткое описание программы MATADOR



а) уравнений сохранения массы и энергии; б) уравнения сохранения продольной составляющей импульса; в) уравнения сохранения поперечной составляющей импульса; г) разбиение проходного сечения на каналы

Схема разбиения ТВС на контрольные объемы

Краткое описание программы MATADOR

Уравнения переноса массы, энергии и импульса:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \int_{V_n} \rho \, dV + \oint_{\partial V_n} \rho \cdot \vec{v} \, dS + \oint_{\partial V_n} \rho' \cdot \vec{v}' \, dS = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \int_{V_n} \rho \cdot E \, dV + \oint_{\partial V_n} \rho \cdot E \cdot \vec{v} \, dS + \oint_{\partial V_n} \rho' \cdot E' \cdot \vec{v}' \, dS - \int_{V_n} q_v \, dV - \oint_{\partial V_n} q_F \, dS = 0,$$

$$\int_{V_n} \frac{\partial(\rho \cdot v_z)}{\partial \tau} \cdot dV + \oint_{\partial V_n} \rho \cdot v_z \cdot \vec{v} \cdot dS + \oint_{\partial V_n} \rho' \cdot v'_z \cdot \vec{v}' \cdot dS + \int_{V_n} \frac{\rho \cdot v_z^2}{S} \cdot \nabla(S) \cdot dV - \int_{V_n} \rho \cdot \vec{g} \cdot dV + \oint_{\partial V_n} P \cdot dS_z +$$

$$+ \oint_{\partial V_n} \sigma_z \cdot dS_z = 0,$$

$$\int_{V_n} \frac{\partial(\rho \cdot v_x)}{\partial \tau} \cdot dV + \oint_{\partial V_n} \rho \cdot v_x \cdot \vec{v} \cdot dS + \oint_{\partial V_n} P \cdot dS_x - \int_{V_n} \rho \cdot f \cdot dV + \oint_{\partial V_n} \sigma_x \cdot dS = 0.$$

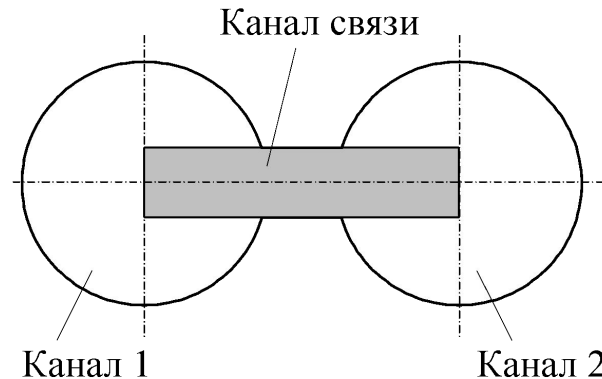
При выводе уравнений приняты следующие упрощения:

- химические реакции отсутствуют;
- работа сил давления и вязкая диссипация энергии пренебрежимо малы;
- турбулентный режим течения рассматривается в приближении Рейнольдса.

Краткое описание программы MATADOR

$$\begin{aligned}
 & \frac{V_{IK}}{\Delta\tau} \cdot (\rho_{IK}^{n+1} - \rho_{IK}^n) + \tilde{G}_{IK}^{n+1} - \tilde{G}_{IK-1}^{n+1} + \sum_{s=1}^{ns} (M_{IJK}^{n+1})_s + \sum_{s=1}^{ns} (M_{IJK}^p)_s = 0, \\
 & \frac{V_{IK}}{\Delta\tau} \cdot (\rho_{IK}^{n+1} \cdot E_{IK}^{n+1} - \rho_{IK}^n \cdot E_{IK}^n) + \begin{Bmatrix} E_{IK}^n \\ E_{IK+1}^n \end{Bmatrix} \cdot \tilde{G}_{IK}^{n+1} - \begin{Bmatrix} E_{IK-1}^n \\ E_{IK}^n \end{Bmatrix} \cdot \tilde{G}_{IK-1}^{n+1} + \sum_{s=1}^{ns} \left(\begin{Bmatrix} E_{IK}^n \\ E_{JK}^n \end{Bmatrix} \cdot M_{IJK}^{n+1} \right)_s + \sum_{s=1}^{ns} (Q_{IJK}^E)_s - \\
 & \quad - (q_v)_{IK} \cdot V_{IK} - \sum_{r=1}^{nr} (q_{IK}^W \cdot F_{IK}^W)_r = 0, \\
 & \frac{\tilde{L}_K}{\Delta\tau} \cdot (\tilde{G}_{IK}^{n+1} - \tilde{G}_{IK}^n) + \begin{Bmatrix} \tilde{G}_{IK}^n / \tilde{F}_{IK} \\ \tilde{G}_{IK+1}^n / \tilde{F}_{IK+1} \end{Bmatrix} \cdot \beta_{IK+1}^n \cdot U_{IK+1}^n \cdot F_{IK+1} - \begin{Bmatrix} \tilde{G}_{IK-1}^n / \tilde{F}_{IK-1} \\ \tilde{G}_{IK}^n / \tilde{F}_{IK} \end{Bmatrix} \cdot \beta_{IK}^n \cdot U_{IK}^n \cdot F_{IK} + \\
 & + \frac{1}{2} \cdot \sum_{s=1}^{ns} \left(\begin{Bmatrix} G_{IK}^n / F_{IK} \\ G_{JK}^n / F_{JK} \end{Bmatrix} \cdot W_{IJK}^n \cdot S_{IJK} + \begin{Bmatrix} G_{IK+1}^n / F_{IK+1} \\ G_{JK+1}^n / F_{JK+1} \end{Bmatrix} \cdot W_{IJK+1}^n \cdot S_{IJK+1} \right)_s + \sum_{s=1}^{ns} (M_{IJK}^U)_s + \frac{(\tilde{G}_{IK}^n)^2 \cdot \tilde{F}_{IK}}{2 \cdot \tilde{\rho}_{IK}^n} \cdot \left(\frac{1}{F_{IK+1}^2} - \frac{1}{F_{IK}^2} \right) - \\
 & - \tilde{\rho}_{IK}^n \cdot g_z \cdot \tilde{V}_{IK} \cdot \sin \theta - (P_{IK}^{n+1} - P_{IK+1}^{n+1}) \cdot \tilde{F}_{IK} + \frac{1}{4} \cdot \tilde{G}_{IK}^{n+1} \cdot (\xi_{IK}^n \cdot |U_{IK}^n| + \xi_{IK+1}^n \cdot |U_{IK+1}^n|) = 0, \\
 & \frac{L_{IJ}}{\Delta\tau} \cdot (M_{IJK}^{n+1} - M_{IJK}^n) + \frac{1}{2} \cdot \left[\begin{Bmatrix} \rho_{IJK}^n \cdot W_{IJK}^n \\ \rho_{IJK+1}^n \cdot W_{IJK+1}^n \end{Bmatrix} \cdot \tilde{U}_{IK}^n + \begin{Bmatrix} \rho_{IJK}^n \cdot W_{IJK}^n \\ \rho_{IJK+1}^n \cdot W_{IJK+1}^n \end{Bmatrix} \cdot \tilde{U}_{JK}^n \right] \cdot \tilde{F}_{IJK} - \\
 & - \frac{1}{2} \cdot \left[\begin{Bmatrix} \rho_{IJK-1}^n \cdot W_{IJK-1}^n \\ \rho_{IJK}^n \cdot W_{IJK}^n \end{Bmatrix} \cdot \tilde{U}_{IK-1}^n + \begin{Bmatrix} \rho_{IJK-1}^n \cdot W_{IJK-1}^n \\ \rho_{IJK}^n \cdot W_{IJK}^n \end{Bmatrix} \cdot \tilde{U}_{JK-1}^n \right] \cdot \tilde{F}_{IJK-1} - [\rho_{IK}^n \cdot W_{IK}^n \cdot n_{IK} - \rho_{JK}^n \cdot W_{JK}^n \cdot n_{JK}] \times \\
 & \quad \times |W_{IJK}^n| \cdot S_{IJK} - (P_{IK}^{n+1} - P_{JK}^{n+1}) \cdot S_{IJK} - \rho_{IJK}^n \cdot f_{IJK}^n \cdot V_{IJK} + \frac{1}{2} \cdot M_{IJK}^{n+1} \cdot \xi_{IJK}^n \cdot |W_{IJK}^n| = 0.
 \end{aligned}$$

Испытание программы MATADOR



Исходные данные для тестовых задач № 1 - 6

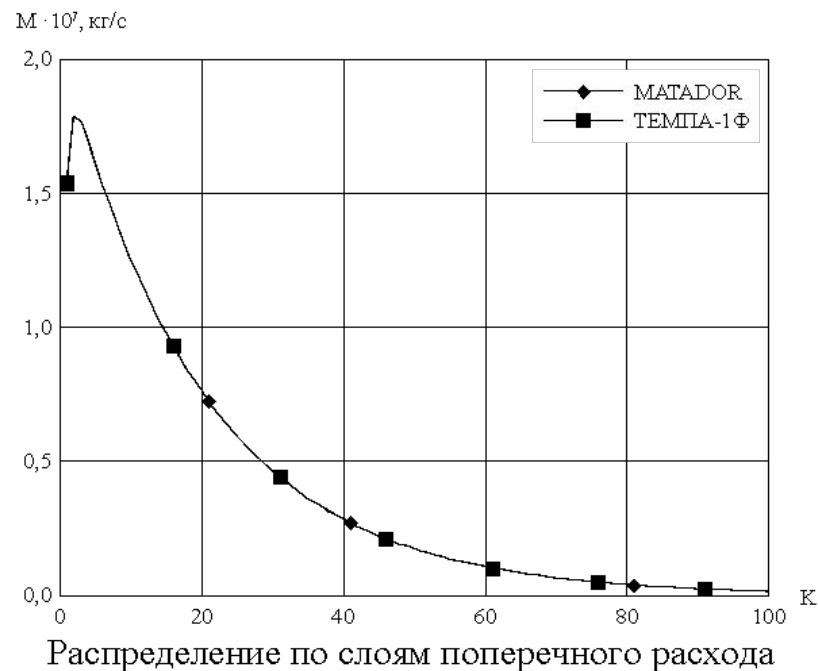
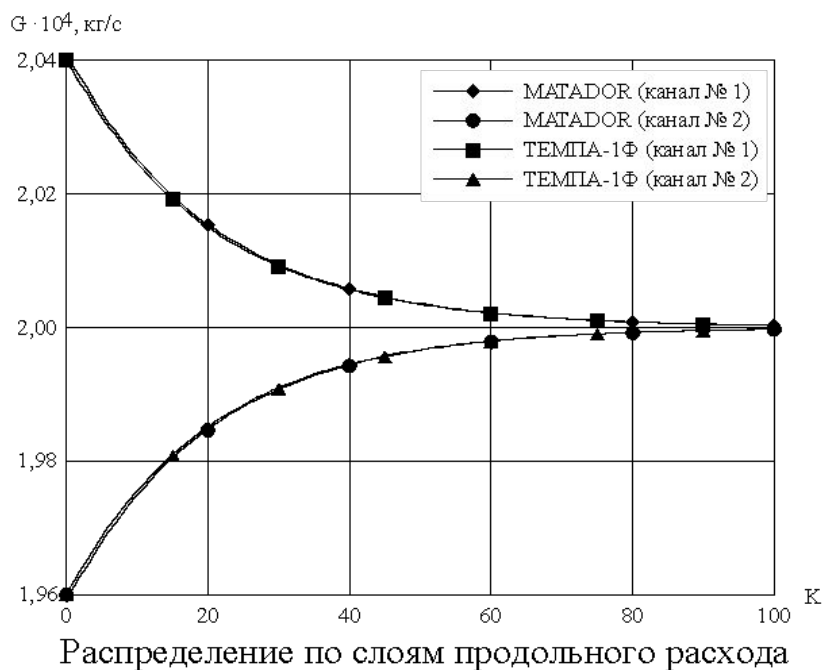
| № задачи | $D_1, 10^{-3} \text{ м}$ | $D_2, 10^{-3} \text{ м}$ | $\delta, 10^{-3} \text{ м}$ | $L, \text{ м}$ | K | Примечание |
|----------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|-----|--|
| 1 | 10,0 | 10,0 | 3 | 2,00 | 100 | $G_{\text{вх1}} = G_{\text{вх2}} + 8 \cdot 10^{-6} \text{ кг/с}$ |
| 2 | 10,0 | 10,0 | 3 | 2,00 | 100 | $T_{\text{вх1}} = T_{\text{вх2}} + 6 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| 3 | 16,0 | 16,0 | 2 | 0,38 | 19 | $G_{\text{вх2}} = G_{\text{вх1}} + 2 \cdot 10^{-5} \text{ кг/с}$ |
| 4 | 16,0 | 15,5 | 2 | 0,38 | 19 | $G_{\text{вх1}} = G_{\text{вх2}}$ |
| 5 | 16,0 | 16,0 | 2 | 0,38 | 19 | $\xi_{\text{м}}=1$ в слое номер 8 второго канала |
| 6 | 16,0 | 16,0 | 2 | 0,38 | 19 | $Q_{11} = 0 \text{ Вт/м}, Q_{12} = 52,63 \text{ Вт/м}$ |

Испытание программы MATADOR

Задача № 1

Результаты расчетов

| MATADOR | | ТЕМПА-1Ф | | Отклонения | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|---|---|
| $G_{\text{ВЫХ1}},$ 10^{-4} кг/с | $M_{\text{МАКС}},$ 10^{-7} кг/с | $G_{\text{ВЫХ1}},$ 10^{-4} кг/с | $M_{\text{МАКС}},$ 10^{-7} кг/с | $\left \frac{\delta(\Delta P)}{\Delta P} \right _{\text{МАКС}}, \%$ | $\left \frac{\delta G}{G} \right _{\text{МАКС}}, \%$ | $\left \frac{\delta M}{M} \right _{\text{МАКС}}, \%$ |
| 2,0003 | 1,789 | 2,0003 | 1,787 | 0,50 | 0,05 | 0,05 |

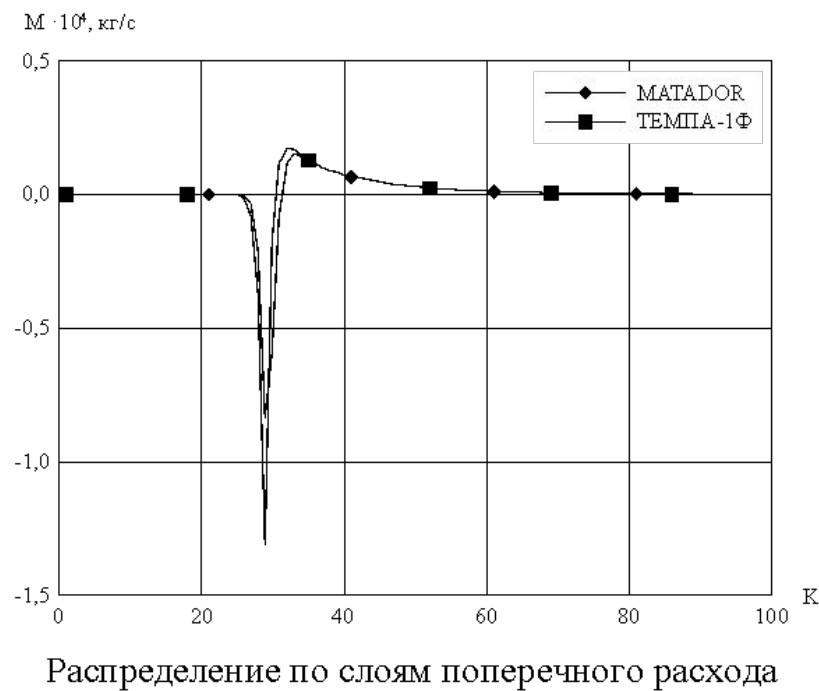
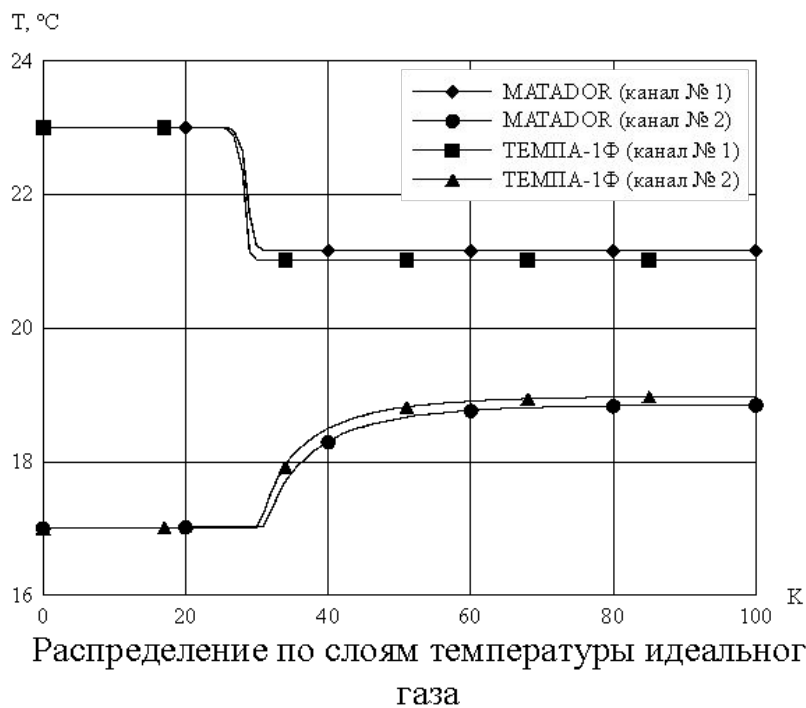


Испытание программы MATADOR

Задача № 2

Результаты расчетов

| MATADOR | | ТЕМПА-1Ф | | Отклонения | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--|--|--|
| $G_{\text{ВЫХ1}},$ 10^{-4} кг/с | $M_{\text{МАКС}},$ 10^{-5} кг/с | $G_{\text{ВЫХ1}},$ 10^{-4} кг/с | $M_{\text{МАКС}},$ 10^{-5} кг/с | $\frac{ \delta(\Delta P) }{\Delta P_{\text{МАКС}}}, \%$ | $\frac{ \delta E }{E_{\text{МАКС}}}, \%$ | $\frac{ \delta G }{G_{\text{МАКС}}}, \%$ | $\frac{ \delta M }{M_{\text{МАКС}}}, \%$ |
| 4,0025 | -8,35 | 4,0028 | -13,10 | 6,7 | 0,1 | 9,0 | 36,0 |



Спасибо за внимание

Залесов Артем Сергеевич

Инженер-конструктор 2 категории

14.04.2022

