

CFD Weekend

Расширение банка моделей турбулентности кода VP2/3.

*2-3 декабря в Институте прикладной математики им.
М.В.Келдыша РАН*

- 1. Спаларта-Аллмареса с коррекцией источникового члена

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v u_i) = G_v + \frac{1}{\sigma_v} \left\{ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \rho v) \frac{\partial v}{\partial x_j} \right] + C_{b2} \rho \left(\frac{\partial v}{\partial x_j} \right)^2 \right\} - Y;$$

- 2. Realizable k-ε модель турбулентности

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \epsilon;$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 G_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{v \epsilon}}$$

- 3. Модель турбулентности SST-Ментера

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \bar{P}_k + G_b - \beta^* \rho \omega k;$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \bar{u}_j \omega) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \frac{\alpha}{v_t} \bar{P}_k - \beta \rho \omega^2$$

$$+ (1 - F_1) 2 \rho \sigma_{\omega^2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}$$

- 4. Transition SST-Ментера с четырьмя уравнениями.

$$\frac{\partial(\rho \gamma)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_j \gamma)}{\partial x_j} = P_{\gamma 1} - E_{\gamma 1} + P_{\gamma 2} - E_{\gamma 2} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\gamma} \right) \frac{\partial \gamma}{\partial x_j} \right]$$

$$\frac{\partial(\rho \tilde{R}e_{\theta t})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_j \tilde{R}e_{\theta t})}{\partial x_j} = P_{\theta t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\sigma_{\theta t} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\gamma} \right) \frac{\partial \tilde{R}e_{\theta t}}{\partial x_j} \right]$$

Модели турбулентности

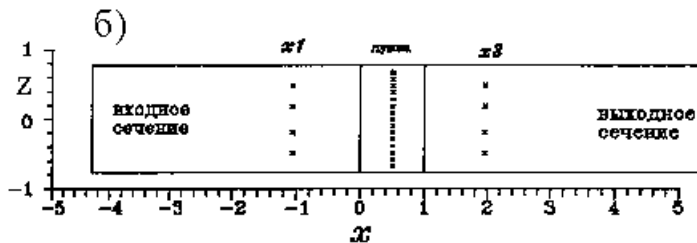
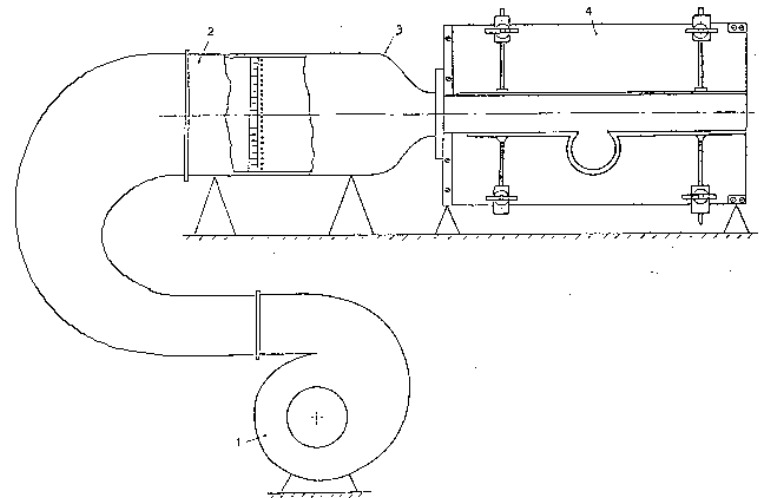
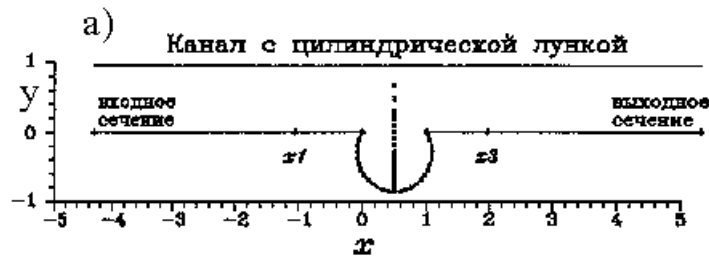
5. Модель турбулентности для Рейнольдсовых напряжений (RSM)

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho \overline{u'_i u'_j}) + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k \overline{u'_i u'_j}) = & - \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\rho \overline{u'_i u'_j u'_k} + p (\delta_{kj} u'_i + \delta_{ik} u'_j) \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[\mu \frac{\partial \overline{(u'_i u'_j)}}{\partial x_k} \right] - \rho \left(\overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + \overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right) + p \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right) - 2\mu \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_j}{\partial x_k} \end{aligned}$$

Тестовая задача: течение в плоском канале с круговой каверной на стенке

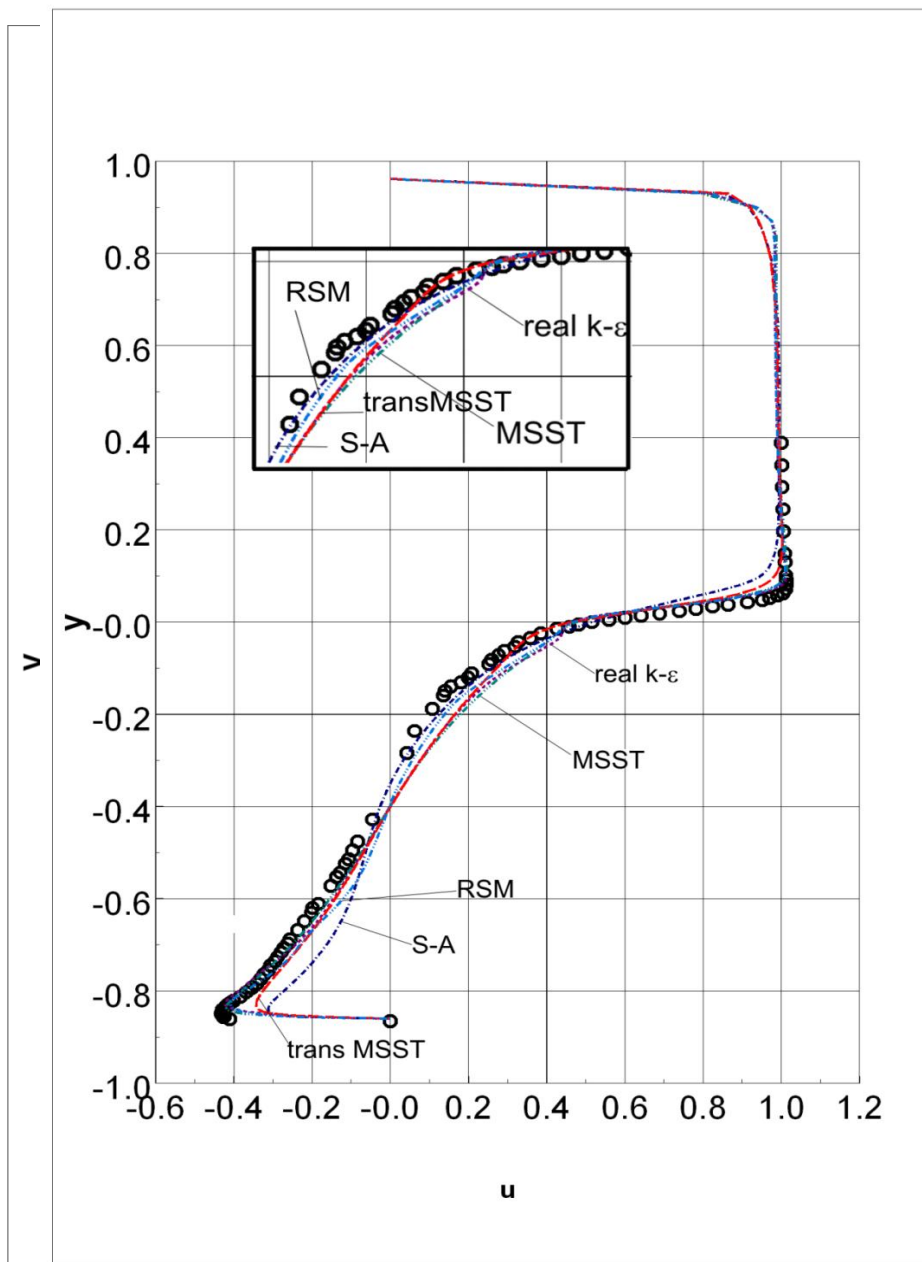
Схема течения

Эксперимент НИИ Механики МГУ



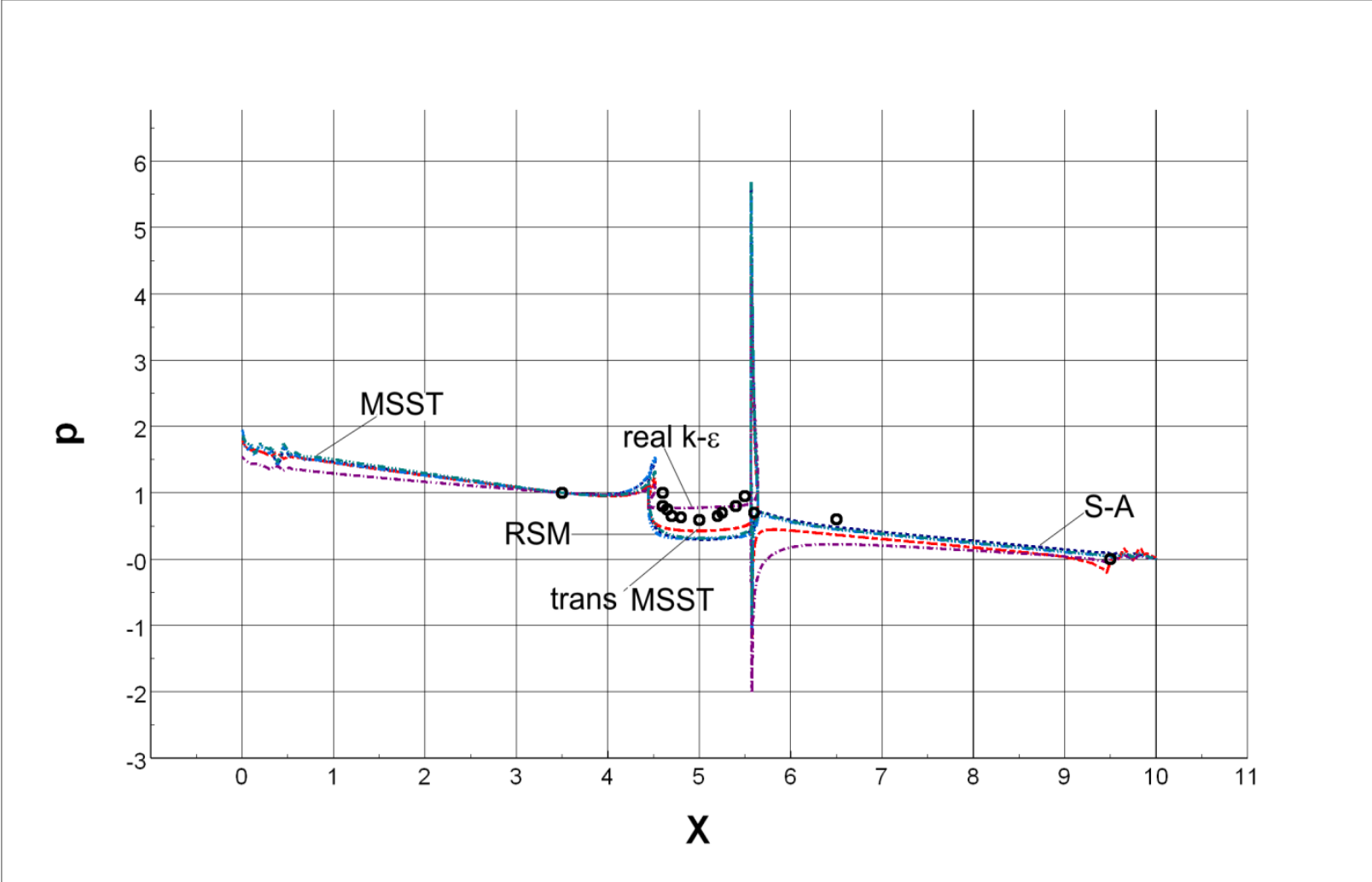
Численное моделирование проводилась при скорости набегающего потока $U=36$ м/с и числе Рейнольдса $Re = 1,34 \cdot 10^5$.

Сравнение горизонтальной составляющей осредненной скорости в срединном сечении каверны с экспериментальными данными

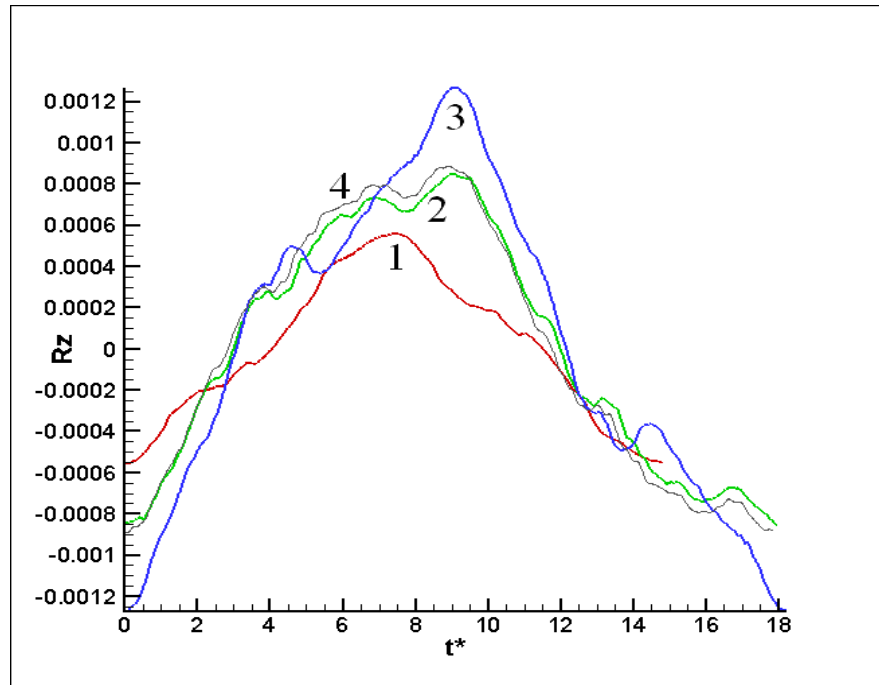


2

Сравнение распределение статического давления по стенке канала с экспериментальными данными



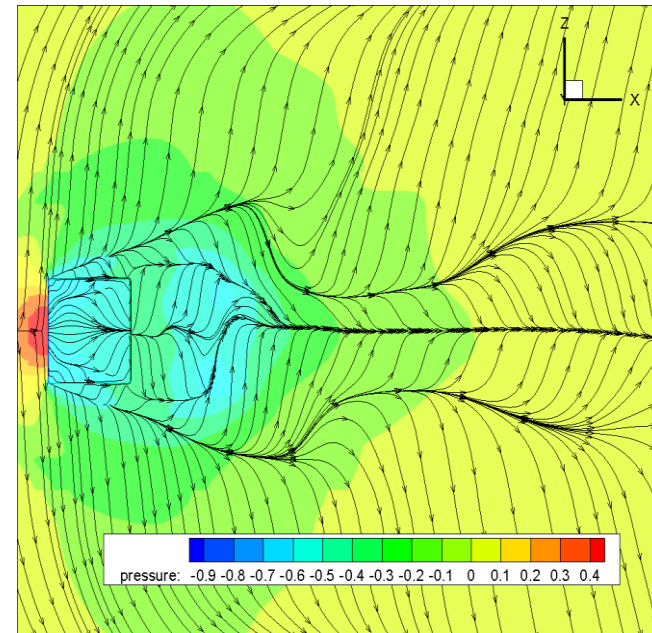
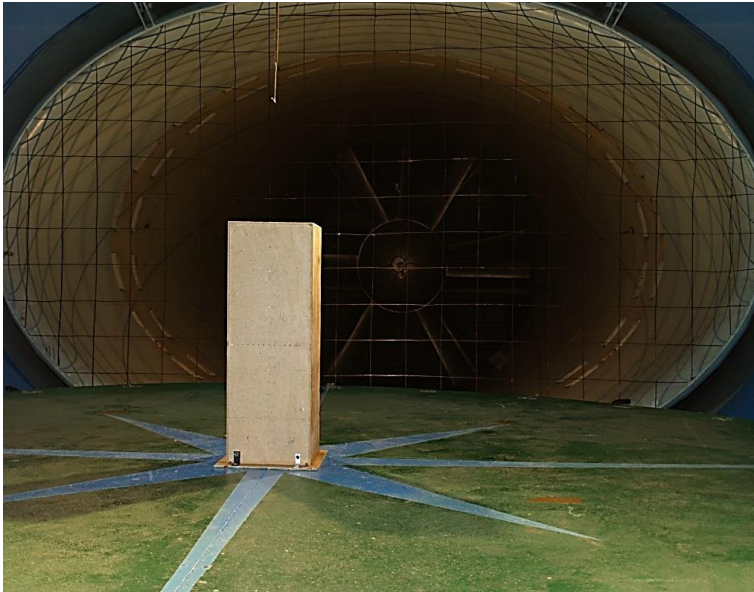
Расчет периодического процесса вихреобразования при трехмерном течении в плоскопараллельном канале с круговой каверной



Сравнение колебаний поперечной силы в круговой каверне при $Re=2 \times 10^5$ для различных моделей турбулентности и порядка точности схемы интегрирования по времени. 1- MSST2003, 2p; 2 – MSST2003RLI, 2p; 3 – MSST2003SM, 2p; 4 – MSST2003RLI, 1p

При применении моделей с уменьшенным уровнем вихревой вязкости существенно (в 1.5-2 раза) растет максимальная амплитуда колебаний и заметно уменьшается число Струхаля (с 1/15 до 1/18).

Периодический режим обтекания призматических препятствий на плоской стенке



Выявлено периодичность через пять циклов Rz . Расчетный короткий период по времени $T=8.89$, число Струхали $Sh=0.1125$.

Установленное экспериментально $Sh=f a/U = 0.11-0.12$.