

**А. Ю. Мусафиров, Е. В. Комракова**  
(ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

## **ОПТИМИЗАЦИЯ АЭРОДИНАМИКИ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ**

Оптимизация аэродинамических характеристик играет ключевую роль в проектировании транспортных средств и летательных аппаратов. Для расчета потоков используются уравнения Навье-Стокса (1) и (2):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u \right) = -\nabla p + \nabla \cdot T \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости или газа ( $\text{кг/м}^3$ );  $u$  – вектор скорости потока;  $t$  – время (с);  $p$  – давление (Па);  $T$  – тензор вязких напряжений;  $\nabla$  – оператор набла.

Численные методы позволяют находить оптимальные формы для снижения аэродинамического сопротивления. Наиболее распространены:

- метод конечных разностей (*FDM*) – аппроксимация уравнений сеточными разностями;
- метод конечных объемов (*FVM*) – расчет потоков через контрольные объемы;
- метод конечных элементов (*FEM*) – дискретизация геометрии для вариационных методов.

Важным этапом является параметризация формы. Метод *Free Form Deformation (FFD)* позволяет изменять контуры объекта, сохраняя гладкость поверхности.

Примером применения является оптимизация автомобильного кузова в *Ansys Fluent*. Численное моделирование позволяет определить геометрию с минимальным сопротивлением, что улучшает топливную эффективность.