

РАСЧЕТ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ НА РАКЕТЕ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ЭТАПЕ ВЫВЕДЕНИЯ

А.П. Дубень¹, Т.К. Козубская², С.П. Рыбак², М.В. Михайлов²

¹ИИМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва, aduben@keldysh.ru

²ПАО «РКК «Энергия» им. С.П. Королёва», г. Королёв, Московская обл., Sergey.Rybak@rsce.ru

Одной из важных задач, связанных с разработкой ракет космического назначения (РКН) является оценка нестационарных пульсаций давления на ее поверхностях. На этапе выведения при трансзвуковых и сверхзвуковых режимах обтекания различные зоны вблизи важных внутренних и внешних составных частей РКН подвергаются воздействию повышенных пульсационных нагрузок. Возле ракеты образуется сложное турбулентное течение, характеризующееся наличием локальных отрывов потока и ударных волн, взаимодействующих со слоями смешения и с турбулентным пограничным слоем.

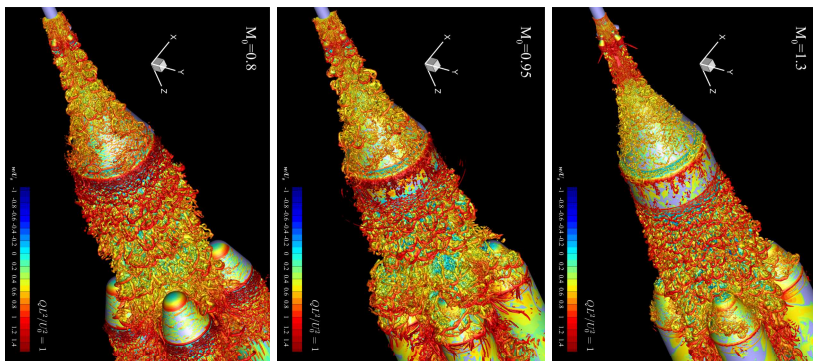


Рис. 1. Визуализация течений возле РКН на различных режимах.

В докладе будут представлены результаты крупномасштабных расчетов турбулентных течений, возникающих на поверхности РКН на этапе выведения. Рассматриваются трансзвуковые и сверхзвуковые режимы обтекания (характерные числа Маха от 0.8 до 1.3, числа Рейнольдса – порядка 10^9). Численное моделирование проводится с помощью вихререзающего гибридного RANS-LES подхода

IDDES [1]. Для задания турбулентных пульсаций на входе в исследуемую область используется генератор синтетической турбулентности [2]. Расчеты проводятся с помощью адаптивного численного метода повышенной точности [3] на кластерах с гетерогенной архитектурой с помощью программного комплекса NOISEtte [4]. В докладе будет рассмотрена аэродинамика течения возле РКН при различных режимах в контексте формирования пульсационных нагрузок на поверхностях. Для последних будет проведен спектральный анализ. Также будет представлено сравнение данных с соответствующими результатами расчетов модели РКН (уменьшенная в 30 раз копия). Кроме всего вышеописанного, на примере трансзвукового режима $M_0=0.95$ будет проведена оценка влияния боковых блоков на аэродинамику течения и характеристики на поверхности.

Результаты работы были получены с использованием оборудования ЦКП ИПМ им. М.В. Келдыша РАН (<https://ckp.kiam.ru>) и Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

Литература

1. M.L. Shur, P.R. Spalart, M.Kh. Strelets, A.K. Travin. A hybrid RANS-LES approach with delayed-DES and wall-modeled LES capabilities // *Int J Heat Fluid Flow*, 2008, 29(6), pp. 1638-1649.
2. M.L. Shur, P.R. Spalart, M.Kh. Strelets, A.K. Travin. Synthetic Turbulence Generators for RANS-LES Interfaces in Zonal Simulations of Aerodynamic and Aeroacoustic Problems // *Flow Turbul Combust*, 2014, v.93, p.63-92.
3. Duben, A. P., and Kozubskaya, T. K. Evaluation of Quasi-One-Dimensional Unstructured Method for Jet Noise Prediction // *AIAA J.*, Vol. 57, No. 12, 2019, pp. 5142-5155.
4. Gorobets, A., and Bakhvalov, P. Heterogeneous CPU+GPU parallelization for high-accuracy scale-resolving simulations of compressible turbulent flows on hybrid supercomputers // *Comput. Phys. Commun.*, Vol. 271, 2022, p. 108231.