

УДК 533.69.04

Анализ конструктивно-компоновочных схем решетчатых рулей для управления аэродинамическими характеристиками возвращаемых ступеней ракет-носителей

Луценко Александр Юрьевич

lutsenko@bmstu.ru

Семенов Никита Сергеевич

nikitasemenovsm@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведено численное исследование обтекания нескольких типов решетчатых рулей, используемых на возвращаемых ступенях ракет-носителей (РН). Рассмотрено 7 моделей с различным характером выноса, числом планов и длиной хорды. Модернизация осуществлена с использованием программного пакета FlowVision. Аэродинамические коэффициенты моделей получены для чисел Маха набегающего потока: $0,75 \div 2,5$ и углов атаки $0 \div 15^\circ$. Выявлено, что увеличение хорды положительно влияет на аэродинамическое качество решетчатых рулей, добавление глобальных выносов обеспечивает наибольший коэффициент нормальной силы по сравнению с другими типами рулей, а локальных — наименьший коэффициент продольной силы.

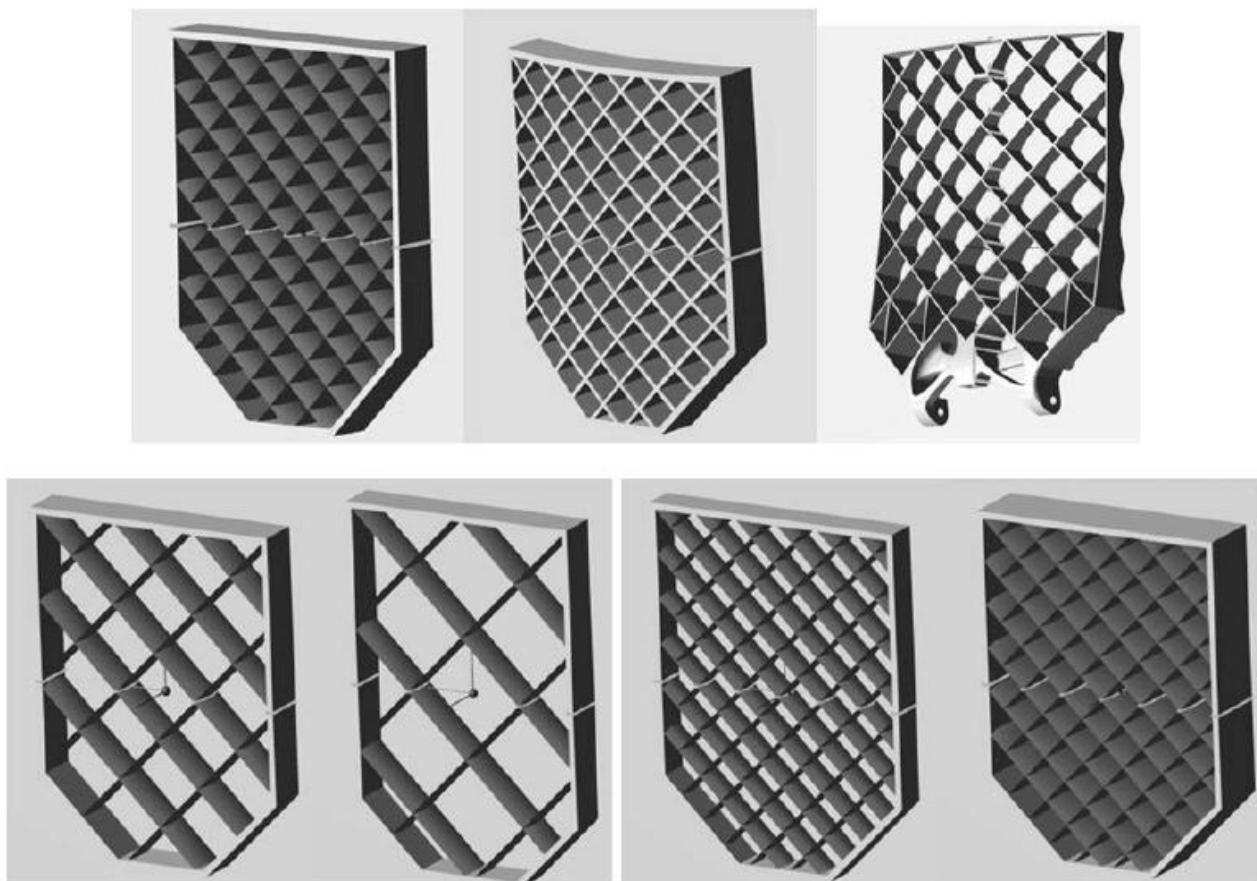
Ключевые слова: аэродинамические характеристики, решетчатые рули, решетчатые органы управления, возвращаемая ступень, FlowVision

Введение. Одним из способов возврата первой ступени РН является аэродинамический спуск с газодинамическим торможением на заключительном участке траектории. При этом важным является обеспечение стабилизации ступени с использованием аэродинамических или газодинамических органов управления (ОУ). В качестве таких ОУ в современной космонавтике для возвращаемых ступеней, как правило, используются решетчатые рули. Решетчатые рули имеют ряд преимуществ по сравнению с обыкновенными плоскими ОУ: большие эффективные углы атаки без локального отрыва потока и меньшие шарнирные моменты [1].

Решетчатые рули могут отличаться целым рядом конструктивных параметров, существенно влияющих на их аэродинамические характеристики: размеры и толщина рамы, число планов, длина хорды, наличие глобальных и локальных выносов [2].

Для исследования этих параметров были проанализированы уже совершенные миссии с посадкой возвращаемой ступени [3], выбраны расчетные числа Маха, соответствующие различным режимам полета при аэродинамическом спуске, и выполнены чертежи моделей решетчатых рулей.

Методы и материалы; результаты. В рамках настоящего исследования рассмотрены 7 моделей решетчатых органов управления (см. рисунок) с различным числом планов (4, 5, 9, 11), характером выноса (локальный и глобальный) и различной длиной хорды (0,15; 0,2; 0,3 м).



Модели решетчатых органов управления № 1–7

Для моделирования обтекания дозвуковым и сверхзвуковым потоком при числах Маха 0.75, 1.5, 2.5 в диапазоне углов атаки от 0 до 15 градусов (с шагом в 5 градусов) задана расчетная область с общим числом ячеек около 1 млн и многоуровневой адаптацией сетки вблизи поверхности моделей. В результате расчета получены картины течения и аэродинамические коэффициенты продольной и нормальной сил, действующих на орган управления в различных конструктивных исполнениях.

По совокупности расчетов модель № 3 за счет ряда конструктивных особенностей (количество планов, полный и локальный выносы) имеет наименьший аэродинамический коэффициент продольной силы среди сопоставимых моделей, а также сопоставимый с первой моделью аэродинамический коэффициент нормальной силы на числах Маха $M \leq 1,5$.

Заключение. В результате проведенного численного моделирования дозвукового и сверхзвукового обтекания решетчатых рулей было выявлено и подтверждено влияние конструктивных схем на аэродинамические характеристики. Полученный результат подтверждает необходимость выбора конкретной формы данного органа управления для возвращаемой ступени РН на стадии аэродинамического спуска. Требуются дальнейшие исследования комбинации «корпус ступени — решетчатые рули» для определения влияния

конструктивно-компоновочной схемы на обтекание и аэродинамические характеристики ступени.

Список источников

- [1] Белоцерковского С.М., Фролова В.П., Подобедова В.А., Плаунова В.П., ред. *Решетчатые крылья в ракетостроении, космонавтике, авиации*. Москва, Новый Центр, 2007, 407 с.
- [2] Diñcer E. *Aerodynamic design and performance analyses of grid fin in supersonic flow using design of experiments and computational fluid dynamics*. Th. D. of Master of Sci. in Aerospace Engineering, 2022.
- [3] Kirchheck D., Marwege A., Klevanski J., Riehmer J., Gulhan A. Validation of wind tunnel test and CFD techniques for retro-propulsion (retpro): overview on a project within the future launchers preparatory programme (FLPP). *International Conference on Flight Vehicles, Aerothermodynamics and Re-entry Missions & Engineering (FAR)*, Monopoli, Italy, 2019.