

УДК 533.6.011.72

Скоростные напоры за тройными конфигурациями ударных волн, бегущими по движущемуся потоку газа

Чернышов Михаил Викторович^(*)

mvcher@mail.ru

Савелова Карина Эдуардовна

karinkamurz@yandex.ru

Лаптинская Мария Михайловна

amara96@mail.ru

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Анализируются параметры потоков за тройной конфигурацией (ТК) ударных волн (УВ), образующейся при маховском отражении (так называемой стационарной маховской конфигурацией, или СМК). Предполагается, что СМК перемещается в потоке газа, имеющем произвольную скорость (и соответствующее число Маха). На примере отношения скоростных напоров на сторонах контактного разрыва, исходящего из тройной точки (ТТ), показано, что спутные потоки за ТК сильно различаются по степени своего трансляционного воздействия на окружающие объекты.

Ключевые слова: ударные волны, тройная конфигурация, маховское отражение, взрывобезопасность, стационарная маховская конфигурация

Введение. При движении сверхзвуковых летательных аппаратов вблизи поверхности Земли возникает отражение возникающих бегущих УВ. Спутные потоки, возникающие за волнами, воздействуют на объекты и сооружения, создавая ветровую нагрузку. Воздействие спутных потоков имеет существенное значение и при внутреннем взрыве на борту летательного аппарата — взрывные волны многократно взаимодействуют, образуя разветвленные ударно-волновые структуры, включая многочисленные ТК. При этом ударно-волновые структуры, как правило, перемещаются в потоке ненулевой скорости, ранее возмущенном другими волнами.

Материалы и методы; результаты. Как показано для установившегося течения [1, 2], скоростные напоры потоков за ТТ маховского отражения могут значительно отличаться. Соответственно различается и трансляционное воздействие этих потоков. Возникает вопрос: в какой степени различаются скоростные напоры потоков за ТК, бегущими по движущемуся потоку? Построена математическая модель, позволяющая оценить эти значения на примере СМК с прямой главной волной, типичной для нерегулярного отражения. Получены аналитические соотношения, определяющие скоростные напоры за тройной точкой и позволяющие сравнить их между собой и с напором набегающего потока. Проведено параметрическое исследование целевых функций, сравнивающих между собой скоростные напоры за СМК и в набегающем потоке. Аналитически определена уникальная СМК ударных волн, воздействующая на поток. При попадании объекта с одной стороны траектории ТТ такой конфигурации объект не испытывает изменения воздействую-

щей на него аэродинамической силы. Если же объект расположен с другой стороны траектории, воздействующая сила остается прежней по абсолютной величине, но меняет направление. Таким образом, начальное расположение объекта сверху или снизу от траектории ТТ является триггером, оставляющим силовое воздействие потока без изменений или же меняющим его на противоположное.

Заключение. В ходе аналитического и численного исследования [3] выявлено, что скоростные напоры потоков, разделенных контактными разрывами за СМК, могут различаться в десятки раз, как в пользу потока за главной ударной волной, так и в пользу потока за отраженной волной. Кроме того, показано, что потоки за главной и отраженной волнами могут быть противоположны по направлению. Эти явления необходимо учитывать при проектировании средств защиты аэрокосмической техники.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки
и высшего образования Российской Федерации (№ FZWF-2024-0003).*

Список источников

- [1] Усков В.Н., Чернышов М.В. Особые и экстремальные тройные конфигурации скачков уплотнения. *Прикладная механика и техническая физика*, 2006, т. 47, № 4, с. 39–53.
- [2] Чернышов М.В. Экстремальные тройные конфигурации с отрицательным углом наклона отраженного скачка. *Авиационная техника*, 2019, № 2, с. 82–88.
- [3] Chernyshov M.V., Savelova K.E. Extreme translational impact of triple-shock configurations of blast waves in a confined volume of an orbital station. *Acta Astronautica*, 2025, vol. 226, part 1, pp. 876–891.