

# РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА БОЛЬШИХ РАССТОЯНИЯХ ОТ ОБЪЕКТА ВОЗМУЩЕНИЙ

*Ю. В. Уткина, О. А. Баулин*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Расчет параметров головной ударной волны (ГУВ) на больших расстояниях от гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА) является актуальной задачей и имеет широкое прикладное значение. Результаты таких расчетов могут применяться, например, для оценки безопасных расстояний при проектировании конструкций, находящихся в зоне пролета ГЛА, оценки воздействия ГУВ от пролета ГЛА на окружающую среду и т. д.

Основная проблема расчета параметров ГУВ на большом удалении от объекта возмущений заключается в разномасштабности задачи: необходимости построения расчетной области с габаритными размерами, многократно превышающими характерные размеры обтекаемого объекта.

В классических задачах аэродинамики расчетная сетка «сгущается» в окрестности обтекаемого объекта. В данном же случае для достаточного разрешения расчетной сеткой ГУВ на больших расстояниях от обтекаемого объекта необходима «густая» сетка в расчетной области, значительно превышающей характерные размеры этого объекта. Это приводит к значительному увеличению требуемого количества ячеек и, соответственно, ресурсоемкости расчета, что делает практически невозможным проведение расчета не только на ПЭВМ, но и, в отдельных случаях (при больших удалениях), на супер-ЭВМ.

Решением этой проблемы может служить использование расчетных областей сложной формы, и расчетной сетки максимально адаптированной под форму ГУВ, что позволяет максимально сократить число ячеек расчетной сетки.

Для решения этой задачи использован современный ПК ЛОГОС разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», позволяющий проводить расчеты трехмерных задач в широком диапазоне скоростей обтекания и в многопроцессорном режиме.

С использованием средств ПК ЛОГОС построена расчетная сетка и проведен расчет обтекания сферически затупленного конического объекта (см. рис. 1) при скорости набегающего потока  $V_\infty = 4130$  м/с и давлении  $P_\infty = 101325$  Па.

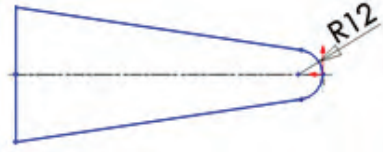


Рис. 1. Обтекаемый объект

По результатам предварительных расчетов на грубых расчетных сетках определена приближительная форма ГУВ, которая была использована для построения расчетной области конической формы, внешняя поверхность которой несколько отстоит от ГУВ. Так как задача осесимметричная для сокращения числа ячеек выбран сектор с углом раствора  $30^\circ$  (см. рис. 2). На плоских гранях расчетной области заданы условия симметрии, что позволяет проводить расчет в трехмерной постановке.



Рис. 2. Расчетная область

На рис. 3 представлена расчетная сетка сложной формы, которая содержит 3 млн. ячеек, что делает возможным проведение расчета на ПК.

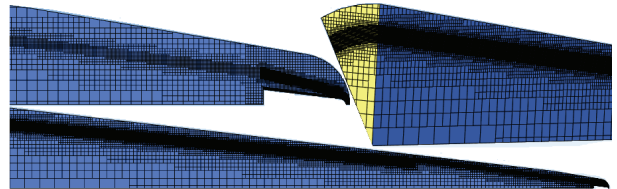


Рис. 3. Расчетная сетка

В результате расчета определены геометрические характеристики ГУВ и избыточное давление  $\Delta P$  при переходе через ГУВ на различных расстояниях от оси ОИ: 200, 300, 500, 600 мм (см. рис. 4).

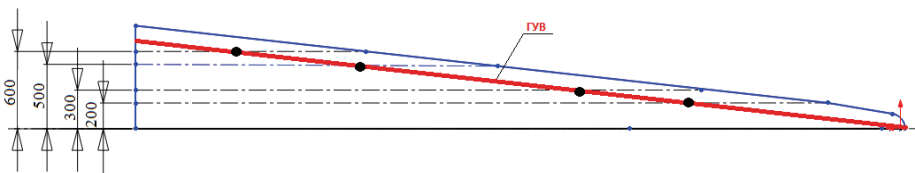


Рис. 4. Схема вывода результатов решения

Поле давления в расчетной области приведено на рис. 5.

Зависимости изменения давления при переходе через ГУВ от расстояния до оси ОИ приведены на рис. 6.

Из анализа рис. 5, 6 следует, что при удалениях от оси ОИ 500–600 мм фронт ГУВ несколько «размазывается» (пик графика на рис. 6 не острый), что обусловлено не достаточно подробной расчетной сеткой на этих расстояниях, и приводит к некоторому занижению (~5–10 %) расчетных значений.

В таблице приведены максимальные значения избыточного давления при переходе через ГУВ на различных расстояниях от оси ОИ.

Таким образом, ПК ЛОГОС обладает развитым функционалом, позволяющим строить расчетные

сетки максимально адаптированные под условия задачи и проводить расчеты гиперзвукового обтекания при экстремальных значениях температур и давления газа. В дальнейшем планируется провести расчеты параметров ГУВ на расстояниях > 800 мм от оси обтекаемого объекта и верификацию результатов на экспериментальных данных.

Избыточное давление при переходе через ГУВ

$\Delta L$ , мм	$\Delta P \cdot 10^4$ , Па
200	7,2
300	4,3
500	2,6
600	2,1

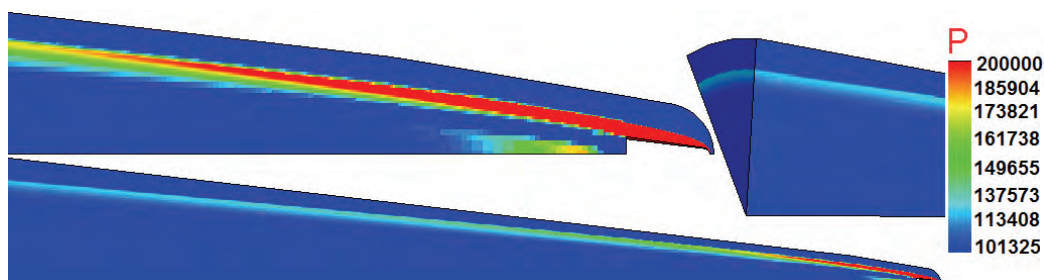


Рис. 5. Поле давления в расчетной области

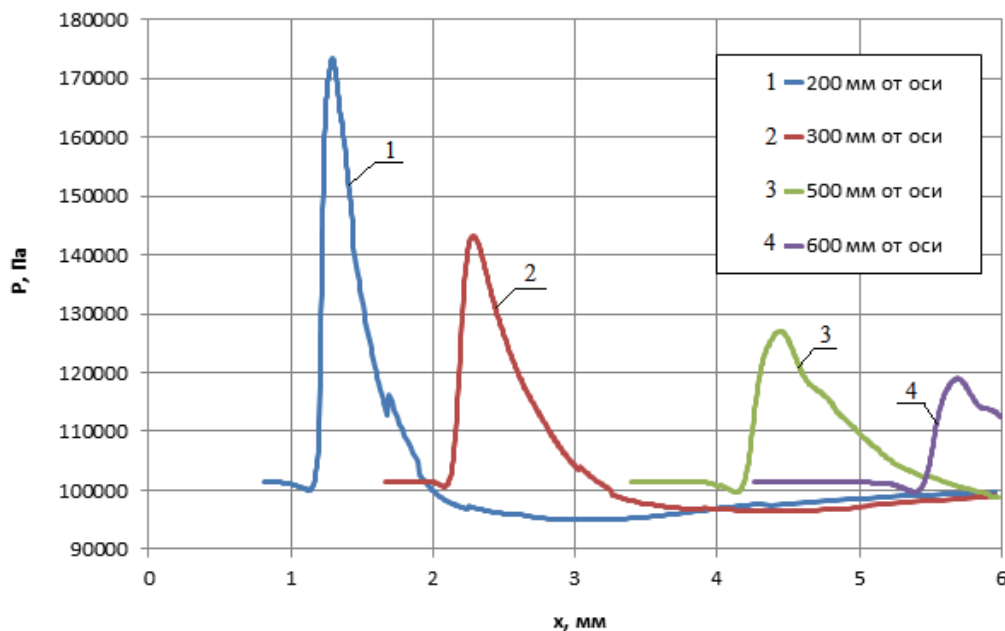


Рис. 6. Зависимость давления ( $P$ ) от расстояния ( $x$ )