

## О ПОЛОЖЕНИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО СКАЧКА УПЛОТНЕНИЯ В НЕДОРАСШИРЕННОЙ ЗВУКОВОЙ СТРУЕ, ИСТЕКАЮЩЕЙ ИЗ ЩЕЛЕВОГО СОПЛА

Г. И. Ганноченко, Л. С. Ермолаев, Н. А. Задорожный

(Москва)

Одна из важнейших характеристик геометрической структуры недорасширенной струи — расстояние от среза сопла до центрального скачка уплотнения (ЦСУ) — диск Маха в осесимметричном случае.

В то время как геометрическая структура недорасширенных осесимметричных [1] и плоских струй [2] изучена в достаточно большом диапазоне изменения степеней нерасчетности, исследования, посвященные процессу истечения недорасширенных струй из щелей конечной ширины, проведены лишь для нескольких сопел [3].

В [3] приведены результаты экспериментального изучения положения ЦСУ в недорасширенных струях, истекающих из щелевых сопел с относительными удлинениями (отношение длины сопла  $l$  к его ширине  $b$ )  $a = 6$  и  $15$ , и показано, что положение ЦСУ не подчиняется закономерностям плоских и осесимметричных струй, причем для сравнения выбиралось осесимметричное сопло с диаметром, равным ширине щелевого сопла, т. е. с заведомо меньшим расходом газа.

В настоящей работе проведено экспериментальное исследование положения ЦСУ в основной плоскости [3] недорасширенных звуковых струй, истекающих из щелевых сопел с  $a$  от 1,66 до 55,5 при изменениях степени нерасчетности струи  $n$  (отношение давления на срезе сопла к давлению в окружающей среде) от 1 до 110.

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Вакуумная камера 1 объемом 0,8 м<sup>3</sup> с оптическими иллюминаторами помещалась в рабочем плече интерферометра 2 Маха — Цендера ИЭК-454, снабженного лазерным источником света 3 для получения качественной интерференционной картины при любой величине давления в камере. Недорасширенная струя формировалась сопловым аппаратом 4 с помощью диафрагменного узла 5, который обеспечивал запуск сопла за время 10<sup>-2</sup> с.

Интерференционная картина фотографировалась скоростной кинокамерой 6 СКС-1М. Давление газа на срезе сопла и в камере (вне струи) регистрировалось датчиками 7 и 8 типа МДДФ и записывалось на шлейфовом осциллографе 9 К12-22.

Перед началом эксперимента камера откачивалась до давления ~10 Па вакуум-насосом 10 ВН-2.

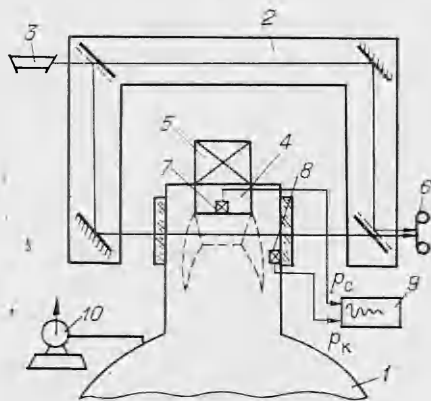


Рис. 1

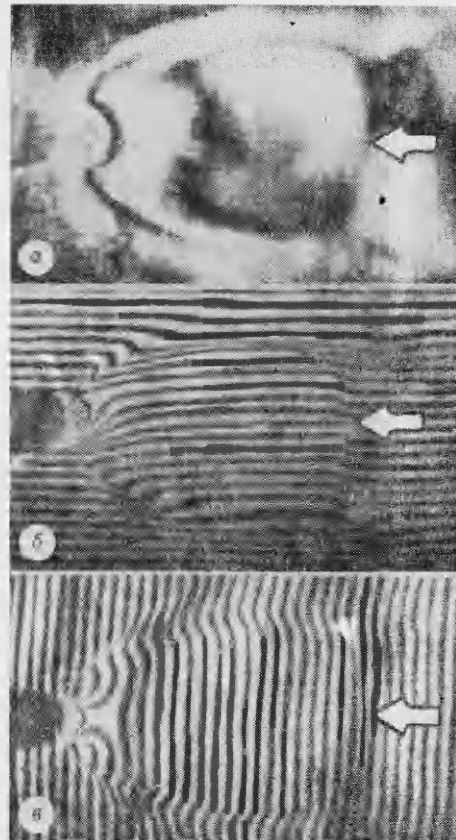


Рис. 2

Номер точки на рис. 3	Размер сопла, мм <sup>2</sup>	$a$	$d_{\text{ЭКВ}}$ , мм
1	2,7×150	55,5	22,7
2	4×75	18,7	19,5
3	6×36	6	16,5
4	6×24	4	13,5
5	8×24	3	15,6
6	12×24	2	19,2
7	15×24,8	1,66	21,8

Для визуализации скачков уплотнения интерферометр настраивался на полосы бесконечной ширины. После запуска шлейфового осциллографа и разгона кинокамеры до необходимой скорости подавалась команда на диафрагменный узел, и после разрыва диафрагмы начинался процесс истечения газа из атмосферы в вакуумную камеру через щелевое сопло.

Давление на срезе сопла  $p_c$  в течение всего времени существования недорасширенной струи в камере оставалось постоянным и равным критическому значению атмосферного давления, давление в камере  $p_k$  по мере ее наполнения возрастает от начального давления до  $p_k = p_c$ . Следовательно, степень нерасчетности струи  $n = p_c/p_k$  при наполнении камеры уменьшается от  $5 \cdot 10^3$  до 1, после чего струя становится расчетной. Величина рабочего поля интерферометра ( $\varnothing 200$  мм) накладывает ограничение на максимальную степень нерасчетности, при которой ЦСУ попадает в поле.

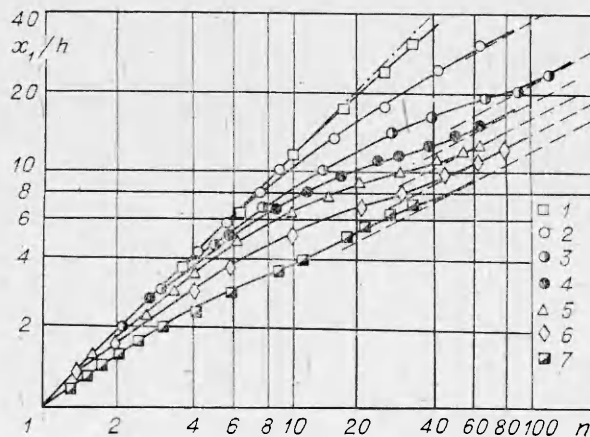
На рис. 2 приведены типовые интерферограммы, снятые в полосах бесконечной ( $a$ ) и конечной ( $b, в$ ) ширины. Стрелкой показано положение ЦСУ. Перед началом экспериментов в рабочее поле вводился координатник и фотографировался кинокамерой для определения продольных и поперечных масштабов изображения струи на кинограмме. Кинокамера и шлейфовый осциллограф имели отметчики времени, поэтому степень нерасчетности струи однозначно определялась для каждого кадра при покадровой обработке интерферограмм.

Результаты измерения расстояния от среза сопла до ЦСУ  $x_1/h$  в зависимости от степени нерасчетности струи изображены на рис. 3 для различных сопел. Характеристики сопел приведены в таблице. Штрихпунктирная линия  $x_1/h = 0,7\gamma n$  ( $\gamma$  — показатель адиабаты, для воздуха  $\gamma = 1,4$ ) соответствует положению ЦСУ в плоской струе [2], истекающей из щели такой же ширины, штриховые — положению ЦСУ в осесимметричной струе, истекающей из сопла с эквивалентным диаметром  $d_{\text{ЭКВ}} = 2h\sqrt{a/\pi}$ , который определяется из равенства площадей щелевого и осесимметричного сопел.

Полученные результаты хорошо аппроксимируются формулой

$$\frac{x_1}{h} = \frac{n}{e^{2n-a} + 1} + \frac{1,65 \sqrt{an/\pi}}{e^{2(14a-n)} + 1} + e^{2n-a} [e^{2(14a-n)}] \left[ n \left( \frac{1,03}{a} - \frac{1,54}{a^2} - 0,409 \right) + \frac{1}{n} (0,516a - 0,693a^2 - 1,54) - \frac{2,73}{a} + 1,07 \right],$$

найденной известными методами регрессионного анализа.



Как видно из приведенных графиков, при степенях нерасчетности, меньших половины величины относительного удлинения сопла, положение ЦСУ в струе, истекающей из щелевого сопла, подчиняется закономерностям плоской струи (для  $a \geq 2$ ).

При степенях нерасчетности  $\sim 14a$  (и, по-видимому, при больших ее значениях) положение ЦСУ в струе, истекающей из щелевого сопла, совпадает с его положением в струе, истекающей из осесимметричного сопла с таким же расходом газа.

Авторы благодарят К. А. Волосова за помощь в обработке экспериментальных результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крист, Шерман, Гласс. Исследование сильно недорасширенных звуковых струй. — РТК, 1966, № 1.
2. Уэри, Шаффер, Дрифтмайер. Центральные скачки в свободных струях. — РТК, 1970, № 12.
3. Соколов Е. И., Усков В. И. Экспериментальное исследование трехмерных недорасширенных струй. — В кн.: Гидроаэромеханика и теория упругости. Межвуз. сборник научн. трудов. Днепропетровск: ДГУ, 1976, вып. 20.

Поступила 1/VII 1985 г.

УДК 532.546

### ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СХОДЯЩИХСЯ КОНИЧЕСКИХ УДАРНЫХ ВОЛН В ПОРИСТЫХ ОБРАЗЦАХ

И. М. Воскобойников, М. Ф. Гоголя, Н. Г. Демченко  
(Москва)

В работе приведены результаты изучения взаимодействия конических ударных волн (УВ) в пористых образцах алюминия, магния, иодистого калия, графита, железа, смесей алюминия с железом и алюминия с иодистым калием (соответственно 50/50 и 70/30 по весу).

Для создания сходящихся конических УВ образцы 1 помещались в оболочку 2 из литого ТГ50/50 (плотность  $1,68 \text{ г/см}^3$ , скорость детонации  $7,65 \text{ км/с}$ ) с внешним диаметром 40 мм и внутренним 20 мм (рис. 1, а). В большинстве опытов высота оболочки 60 мм. Инициирование детонации оболочки проводилось генератором плоского фронта 3 через алюминиевую пластину 4 толщиной 2 мм. Детонационная волна, распространяющаяся по оболочке, вызывала в исследуемых образцах сходящиеся УВ со скоростью  $D_0$ . На верхний торец экспериментальной сборки в первой серии опытов помещался набор плексигласовых пластин 5 с воздушными зазорами 0,08 мм. Ожидалось, что высвечивание зазоров даст информацию о конфигурации выходящей УВ и ее параметрах в плексигласе. Запись процесса проводилась скоростным фоторегистром при скорости непрерывной развертки 3,75 мм/мкс, щель устанавливалась по диаметру сборки.

Фотограммы опытов с образцами алюминия (рис. 1, б) различной начальной плотности от 2,71 до 1,08  $\text{г/см}^3$  качественно подобны и показыва-

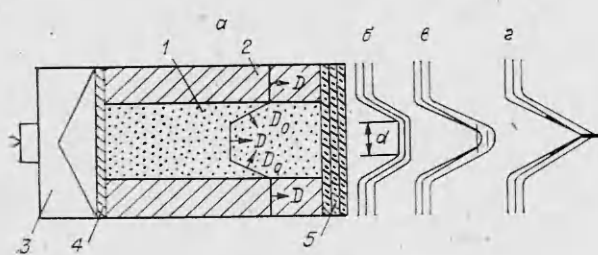


Рис. 1

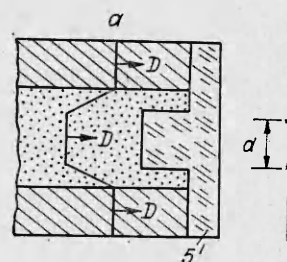


Рис. 2