

ОБ ИЗЛУЧЕНИИ ЗВУКА ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ВОЗМУЩЕНИЙ В ТУРБУЛЕНТНЫХ СТРУЯХ ПРИ АЭРОАКУСТИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

© 2014 г. В. Г. Пимштейн

ФГУП ЦАГИ, Научно-исследовательский Московский комплекс ЦАГИ

105005 Москва, ул. Радио 17

E-mail: aeroacoustics@mktsagi.ru

Поступила в редакцию 19.02.2014 г.

С использованием теневого метода визуализации исследуется процесс излучения звука при воздействии на сверхзвуковые струи пилообразных звуковых волн конечной амплитуды.

Ключевые слова: аэроакустические взаимодействия, сверхзвуковые струи, излучение звука.

DOI: 10.7868/S0320791914050104

ВВЕДЕНИЕ

Излучение звука вихрями, как образующимися в турбулентных струях, так и уединенными, — предмет исследований на протяжении нескольких десятилетий [1, 2]. Не меньше внимания уделялось также роли крупномасштабных когерентных структур (крупномасштабных волноподобных вихрей — волн неустойчивости) в формировании слоя смешения и излучении шума турбулентными струями, при этом предполагалось, что такие структуры могут давать основной вклад в излучаемый турбулентными струями шум [3]. Не менее распространенной является точка зрения, что этот вклад не является доминирующим [4]. Однако при рассмотрении процессов излучения шума сверхзвуковыми струями на расчетных режимах истечения теория о волнах неустойчивости [5], получившая в 1980-е годы широкое развитие и признание, предполагает, что развитие и разрушение крупномасштабных волноподобных вихрей может оказаться преобладающим механизмом излучения шума, хотя этот взгляд на процесс шумообразования тоже не является общепринятым [6]. Тем не менее, очевидно, что, как и всякий нестационарный процесс, возникновение, эволюция и разрушение вихрей (возмущений, волноподобных вихрей) сопровождается излучением звука. Исследование этих процессов, однако, представляет значительные трудности для экспериментальных исследований. [7].

Исследование аэроакустических взаимодействий с использованием в качестве инструмента воздействия пилообразных звуковых волн конечной амплитуды [8] позволяет визуализировать процессы возникновения возмущений и наблюдать излучение звука, если эти возмущения со-

провожаются таким излучением в виде импульса, видимого на теневых снимках.

Цель настоящей работы — показать возможность излучения звука при возникновении возмущений (вихрей) в турбулентных струях.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

Опыты проводились с воздушными сверхзвуковыми струями, истекающими из конического сходящегося-расходящегося сопла с диаметром выходного сечения 20 мм, рассчитанного на число Маха на срезе сопла $M = 2.0$, при двух значениях степени нерасчетности — 0.5 и 1.5. Визуализация струи, падающей на нее пилообразной звуковой волны конечной амплитуды, волн Маха, излучаемых струей, и звуковых волн, излучаемых возмущением, образовавшимся при акустическом воздействии, осуществлялась прямым теневым методом. Время экспозиции составляло 2×10^{-7} с, размер светящегося тела 0.2 мм, расстояние источника света до струи составляло 1.5 м, от струи до фотопленки — 0.2 м, размер получаемого теневого снимка 200×500 мм. Разрешающая способность метода при исследованных значениях скорости истечения составляла ~ 0.1 – 0.2 мм. Используемый в качестве источника звука генератор Гартмана помещался в один из фокусов эллипсоидного отражателя звука, так что во втором фокусе величина среднеквадратичного значения амплитуды образовавшейся пилообразной звуковой волны конечной амплитуды составляла ~ 174 дБ; частота звукового воздействия — 10 кГц. Схема опытов приведена на рис. 1.

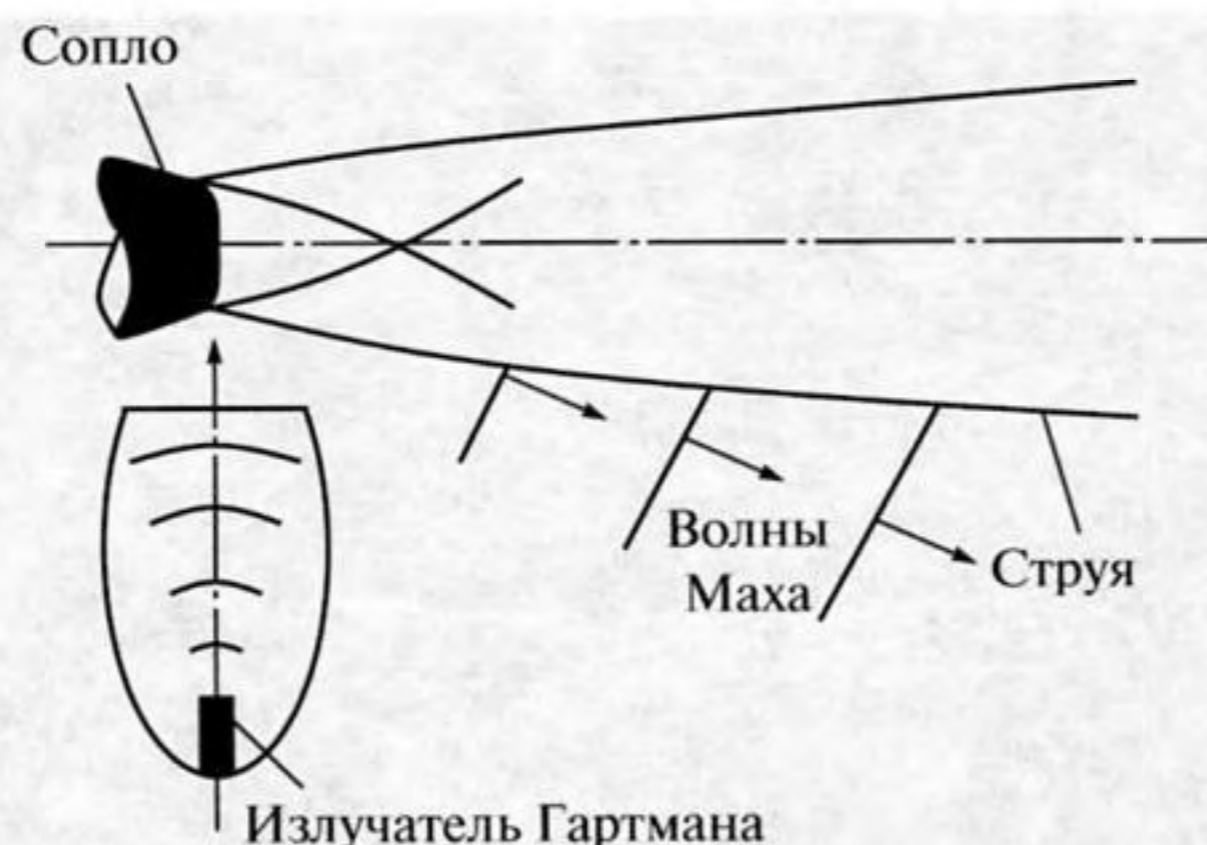


Рис. 1. Схема эксперимента.

На рис. 2 приведена увеличенная теньевая фотография участка исследуемой струи со степенью нерасчетности 1.5 с падающей на нее звуковой волной 1. Под действием звука на кромке сопла образуется возмущение 1 (рис. 3), которое в проведенном опыте распространяется со сверхзвуковой конвективной скоростью и излучает волну Маха 2. Возникновение возмущения сопровождается излучением звука 3, источник которого располагается на кромке сопла — на это указывает форма фронта звуковой волны (4 — волна, отраженная от сопла). Такое излучение звука при возникновении возмущений в струе удается наблюдать только в случае достаточно большой интенсивности

как самих возмущений при сверхзвуковых скоростях истечения, так и излучаемого звука, а также при импульсном характере акустического воздействия и, как следствие, таком же характере излучаемого при этом звука, так что его можно обнаружить на теньевых фотографиях. На рис. 4 приведена подобная теньевая фотография при истечении струи с $M = 2.0$ при степени нерасчетности 0.5 (обозначения те же, что на рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные опыты показали, что возникновение вихря (возмущения) на кромке сопла со-

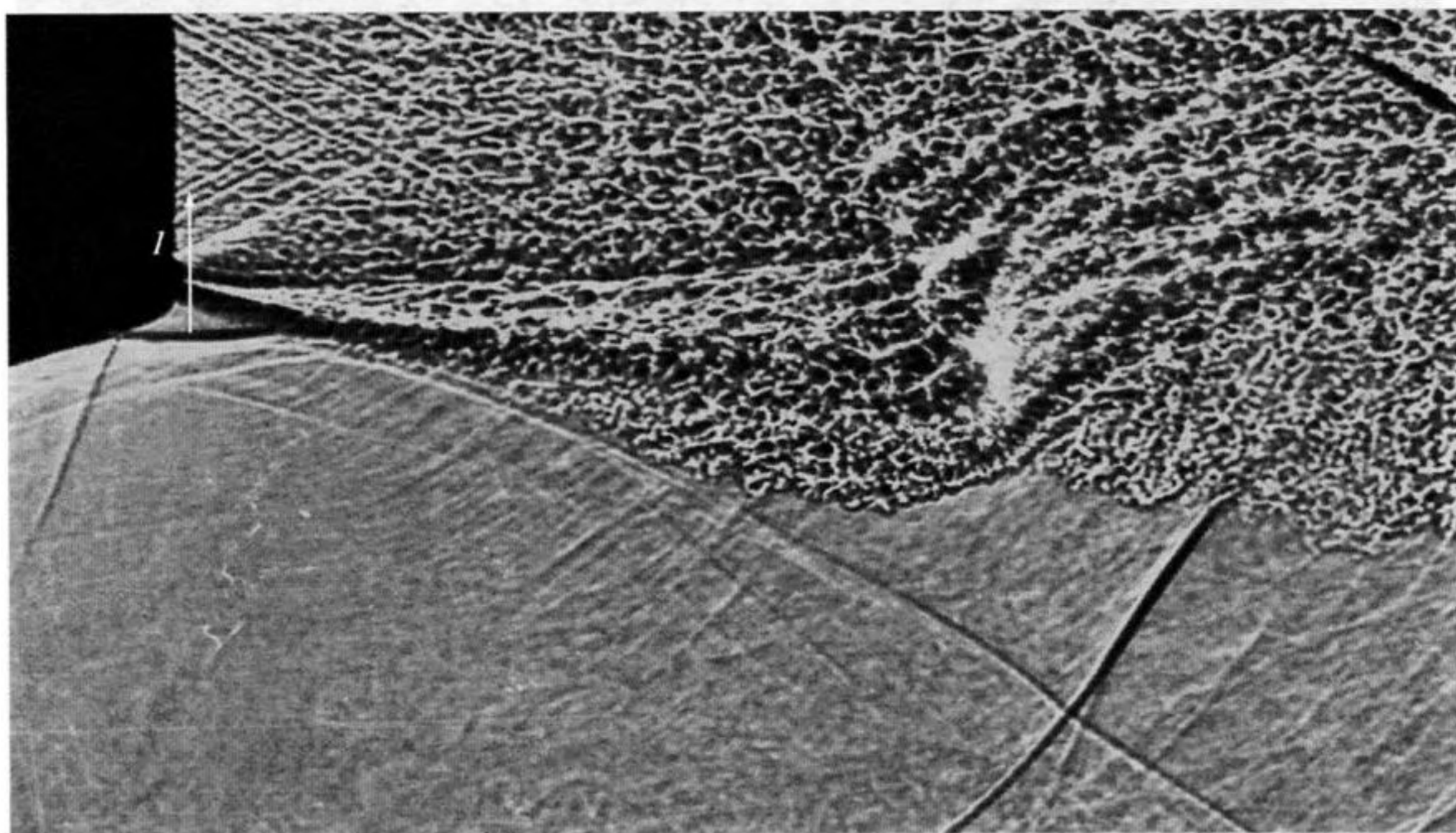


Рис. 2.

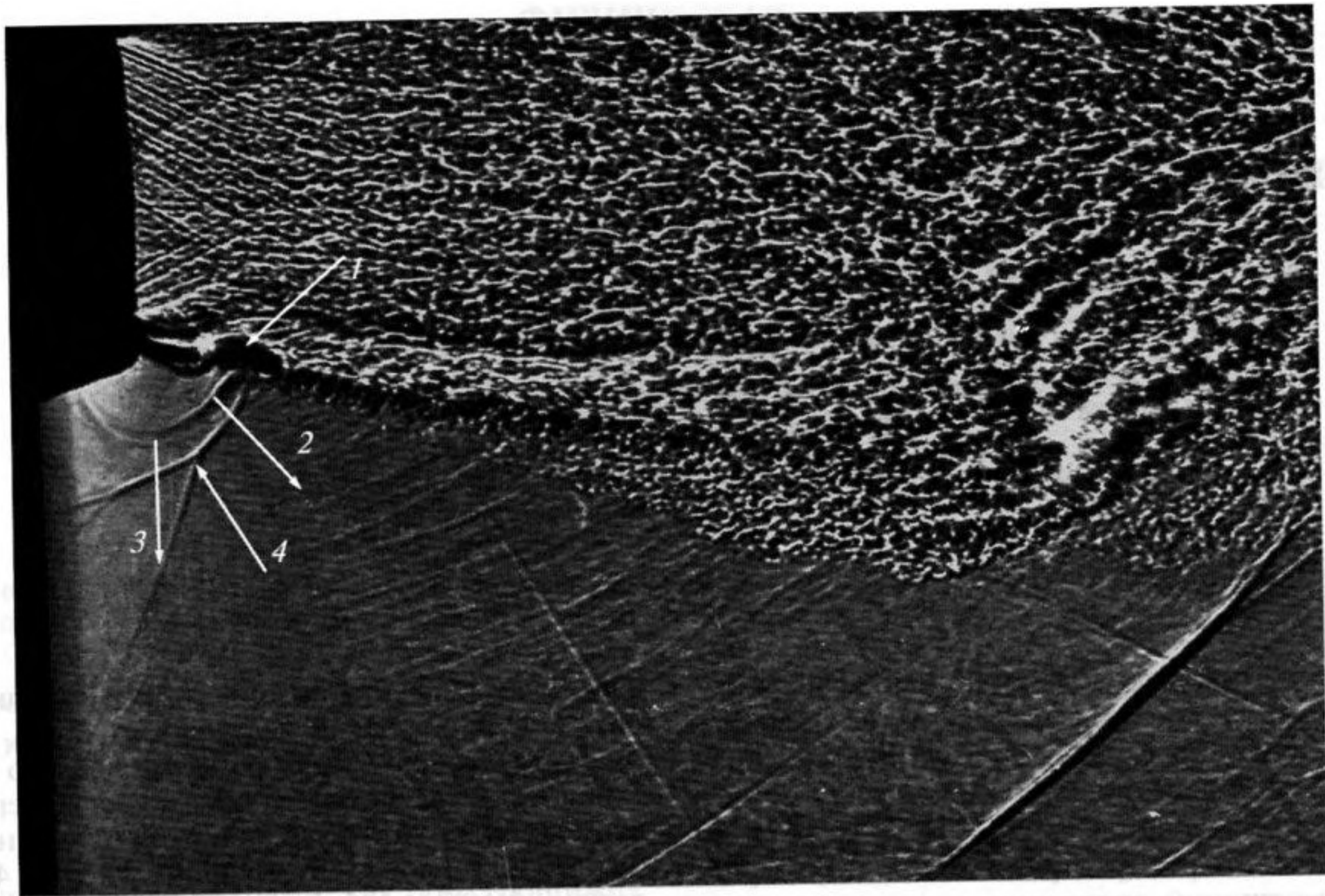


Рис. 3.

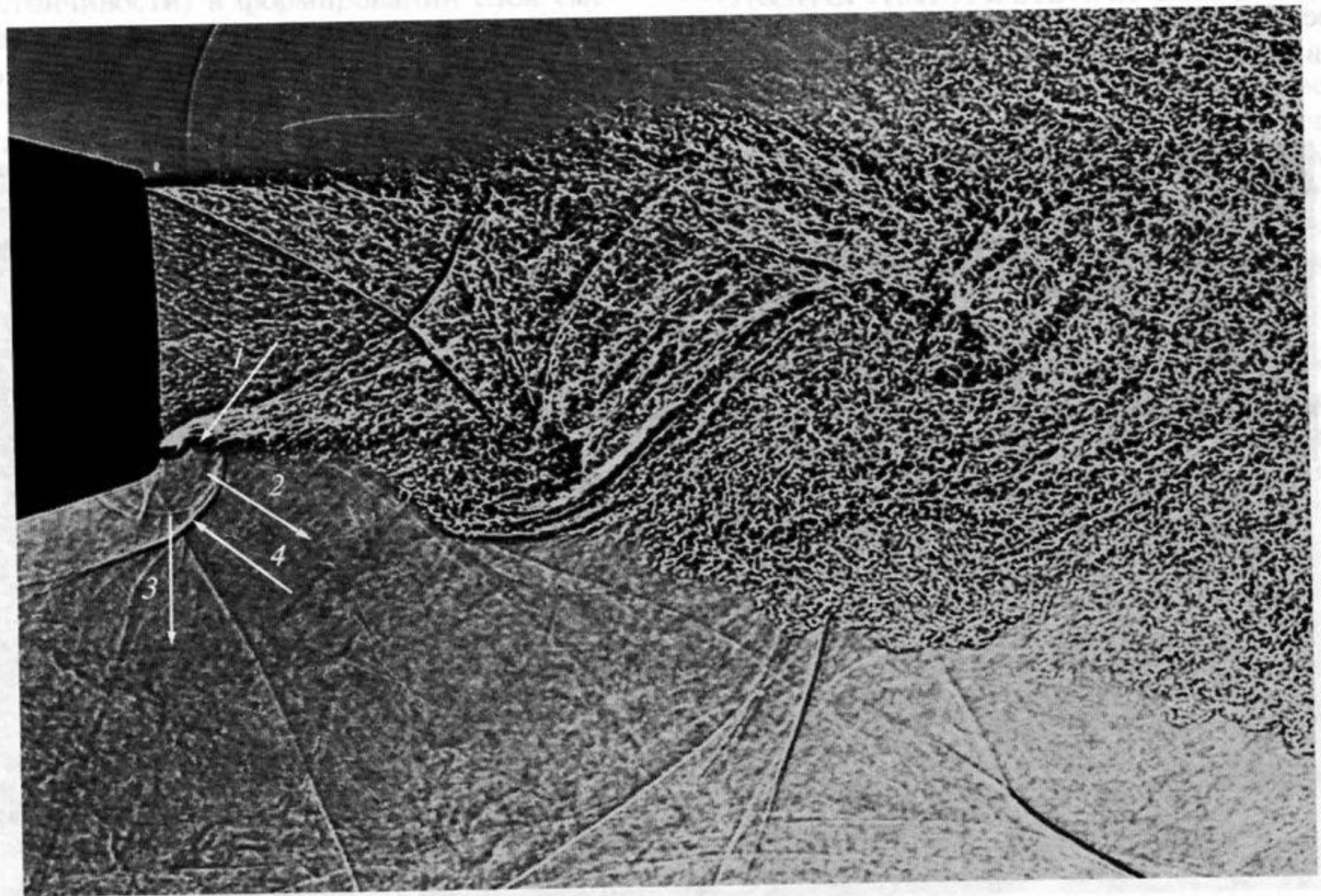


Рис. 4.

проводится излучением звука. При этом можно полагать, что в отсутствие внешнего (акустического) воздействия или при акустическом воздействии с небольшой интенсивностью процесс протекает подобным образом, но излучение звука (если оно происходит) практически невозможно обнаружить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Crow S.C., Champagne F.H.* Orderly structure in jet turbulence // *J. Fluid Mech.* 1971. V. 48. № 3. P. 547–591.
2. *Зайцев М.Ю., Копьев В.Ф.* О механизме излучения звука турбулентным вихревым кольцом // *Акуст. журн.* 1993. Т. 39. № 6. С. 1068–1075.
3. *Liu J.T.C.* Developing large-scale wavelike eddies and near jet noise field // *J. Fluid Mech.* 1974. V. 62. № 3. P. 437–464.
4. *Bridges J.E., Hussain A.K.M.F.* Roles of initial condition and vortex pairing on jet noise // *J. Sound Vib.* 1987. V. 117. № 2. P. 289–311.
5. *Tam C.K.W., Burton D.E.* Sound generation by instability waves of supersonic flows. Part 2. Axisymmetric jets // *J. Fluid Mech.* 1984. V. 138. P. 273–295.
6. *Morris P.J., Farassat F.* Acoustic analogy and alternative theories for jet noise prediction // *AIAA Journ.* 2002. V. 40. № 4. P. 671–680.
7. *Hileman J., Caraballo E., Thurow B., Samimy M.* Differences in dynamics of an ideally expanded Mach 1.3 jet during noise generation and relative quiet periods // *AIAA Paper 2004–3014*, 2004.
8. *Пимштейн В.Г.* Альбом. Аэроакустические взаимодействия в турбулентных струях. М.: Физматлит, 2010.