

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург В. Л., Эйрман В. Я. О силе реакции излучения при движении заряда в среде.— ЖЭТФ, 1959, т. 36, вып. 6, с. 1823—1833.
2. Гапонов-Грегов А. В., Долина И. С., Островский Л. А. Аномальный эффект Доплера и радиационная неустойчивость движения осцилляторов в гидродинамике.— Докл. АН СССР, 1983, т. 268, № 4, с. 827—831.
3. Сретенский Л. Н. Теория волновых движений жидкости. М.: Наука, 1977. 815 с.
4. Гордцов В. А., Теодорович Э. В. Об излучении внутренних волн при равномерном прямолинейном движении локальных и нелокальных источников.— Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1980, т. 16, № 9, с. 954—961.

Горький

Поступила в редакцию
15.1.1985

УДК 532.51.01:534.29

ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ НАЧАЛЬНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ УПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУР

ПАВЕЛЬБЕВ А. А., ЦЫГАНОВ В. И.

Рассмотрены механизмы воздействия акустических колебаний на структуру дозвуковых сдвиговых потоков. Анализ экспериментальных данных [1÷7] подтверждает высказанное в [6] предположение о том, что регуляризация начальных возмущений, приводящая к большей упорядоченности и увеличению времени жизни вихрей, образующихся из-за развития волн неустойчивости или взаимодействия акустических колебаний с кромкой сопла, является одним из механизмов воздействия акустики на различные сдвиговые течения. Приведены фотографии, показывающие регуляризирующее влияние акустики на развитие вихрей в следе за кромкой.

Под упорядоченными структурами в течениях с поперечным сдвигом подразумеваются пульсационные движения, скоррелированные на расстояниях, равных или больших ширине слоя с градиентом скорости.

В свободных сдвиговых течениях можно выделить два типа упорядоченных структур. К упорядоченным структурам первого типа относятся пульсационные движения, связанные с развитием в потоках волн неустойчивости, на нелинейной стадии сопровождающихся образованием вихрей и их последовательным слиянием. Вихри могут образовываться также в начальном сечении при взаимодействии акустических колебаний достаточно большой амплитуды с устройствами, формирующими поток, или при вибрации этих устройств.

Отличительными особенностями упорядоченных структур этого типа является их чувствительность к начальным условиям и двумерность.

Упорядоченные структуры этого типа были обнаружены в слое смещения при визуализации течения на начальном участке спутных осесимметричных струй разной скорости и плотности [8]. Расстояние, на котором наблюдались упорядоченные структуры, увеличивалось при уменьшении пограничных слоев на кромке, разделяющей потоки, и увеличении отношения скоростей струй. Было отмечено, что наблюдавшиеся структуры представляют собой результат развития вихрей, образовавшихся на участке перехода вблизи кромки сопла.

Впоследствии в плоском слое смещения разной скорости и плотности также наблюдались упорядоченные структуры такого типа [9]. Из того факта, что упорядоченные структуры наблюдались на значительных расстояниях от кромки сопла, в [9] был сделан вывод, что такие структуры являются характерной особенностью слоев смещения, не связанной с участком перехода.

Однако, в дальнейшем была подтверждена первоначальная точка зрения на эти структуры как на результат развития вихрей, образовавшихся на участке перехода вблизи кромки сопла, и показана их зависимость от начальных условий и в том числе от акустических колебаний [4, 10].

К упорядоченным структурам второго типа относятся крупномасштабные турбулентные пульсации, которые связаны с таким явлением, как перемежаемость на границе турбулентных течений. Структуры этого типа трехмерны и наблюдаются на любых расстояниях от начала течения, в том числе и на таких расстояниях, при которых влияние начальных условий пренебрежимо мало. В данной работе рассматриваются только упорядоченные структуры первого типа.

В литературе неоднократно отмечалось влияние акустики на струйные течения [1—4]. Относительно механизма влияния акустики на течения высказывались предположения как о взаимодействии гидродинамических и акустических пульсационных полей в объеме [2], так и о том, что акустические колебания, взаимодействуя с устройствами, формирующими поток (для струй это обычно кромка сопла), изменяют спектр и уровень пульсаций скорости в начальном сечении, что в свою очередь влияет на структуру течения [4]. Последнее предположение согласуется с экспериментальными результатами Рэля [1], наблюдавшего чувствительность струй к акустическим колебаниям только в том случае, когда акустические колебания воздействуют на струю в месте ее истечения из сопла, а также с фотографиями спутных струй при воздействии на них акустических колебаний от внешнего источника

[4]. Кроме того, в [5] показано, что создание в затопленной струе пульсаций с помощью колеблющихся струн, установленных вблизи кромки сопла, приводит к качественно такому же результатам, как и при воздействии акустики.

В зависимости от частоты и амплитуды акустических колебаний, действующих на струю, наблюдалось как увеличение, так и уменьшение длины начального участка струи и интенсивности пульсации скорости на оси струи. Уменьшение длины начального участка и увеличение интенсивности пульсаций скорости наблюдались при числах Струхалея, построенных по средней скорости и диаметру струи, меньших единицы, и связано с увеличением начальной амплитуды развивающихся на начальном участке струи длинноволновых возмущений, неустойчивых согласно линейной теории [3]. Увеличение начального участка струи и уменьшения интенсивности пульсаций скорости на оси струи наблюдались при числах Струхалея, больших единицы [2, 5, 6]. Заметное уменьшение интенсивности пульсаций скорости наблюдалось на начальном участке струи только вблизи оси, где интенсивность пульсаций значительно меньше, чем интенсивность пульсаций в слое смешения. Поэтому на основе имеющихся экспериментальных данных нет достаточных оснований утверждать, что под воздействием акустических колебаний уменьшается полная энергия пульсационного движения в струе.

Относительно того, каким образом изменение начальных условий с помощью акустических колебаний приводит к уменьшению пульсаций скорости на оси струи, высказывались различные предположения. В [5] предполагается, что причиной ослабления крупномасштабных пульсаций, определяющих пульсации на оси, является более быстрый переход к турбулентности в слое смешения при акустическом возбуждении в нем волн неустойчивости.

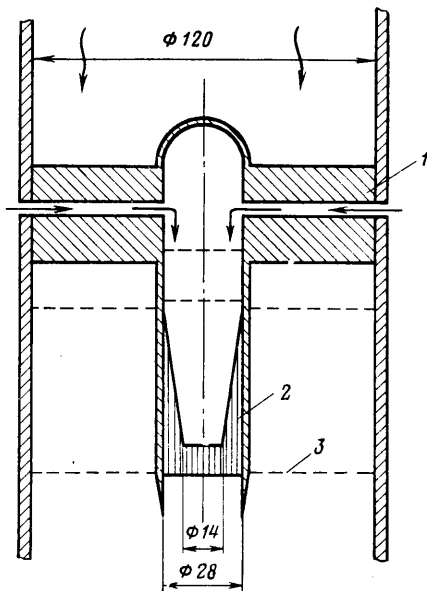
Однако исследование влияния режима течения в пограничном слое на чувствительность струй к акустическим колебаниям показало, что турбулизация пограничного слоя на стенках сопла приводит к возрастанию интенсивности пульсаций скорости на оси струи, тогда как воздействие акустических колебаний на струю с ламинарным пограничным слоем на стенках сопла приводит к уменьшению этих пульсаций [6].

В [6] было высказано предположение, что одним из результатов воздействия на струю внешних акустических колебаний, длина волны которых значительно превышает размеры устройства, формирующего поток, является регуляризация начальных возмущений, т. е. образование в начальном сечении более двумерных и монохроматических волн. Следствием этого является образование в конце участка перехода более двумерных вихрей с меньшей дисперсией частоты следования, а это в свою очередь приводит к образованию в потоке вихрей большей интенсивности и сохранению этих вихрей на больших расстояниях от среза сопла.

Взаимодействие вихрей, образовавшихся на участке перехода, с более крупномасштабными движениями в слое смешения может приводить к ослаблению последних, а, следовательно, усиление этих вихрей может приводить к уменьшению скорости расширения слоя смешения и интенсивности пульсаций скорости на оси струи.

Предположение о том, что воздействие акустических колебаний на струю приводит к образованию в потоке более двумерных вихрей с меньшей дисперсией частоты следования, подтверждается фотографиями спутных струй [4], а также данными о том, что при наличии в слое смешения встречной кромки повышается степень двумерности течения и не наблюдается слияние вихрей [7]. На фотографиях из работы [4] видно, что образовавшиеся под воздействием акустических колебаний вихри сохраняются без изменения масштаба на больших расстояниях от среза сопла, чем без воздействия акустики.

Можно предполагать, что акустическая регуляризация начальных возмущений оказывает существенное влияние не только на слой смешения, но является одним из основных механизмов воздействия акустики на потоки с поперечным сдвигом и в особенности на потоки, в которых наблюдаются линейный и нелинейный этапы развития волн неустойчивости. В результате при воздействии акустики в потоках будут образовываться более интенсивные упорядоченные структуры, частота следования которых определяется частотой акустических колебаний.

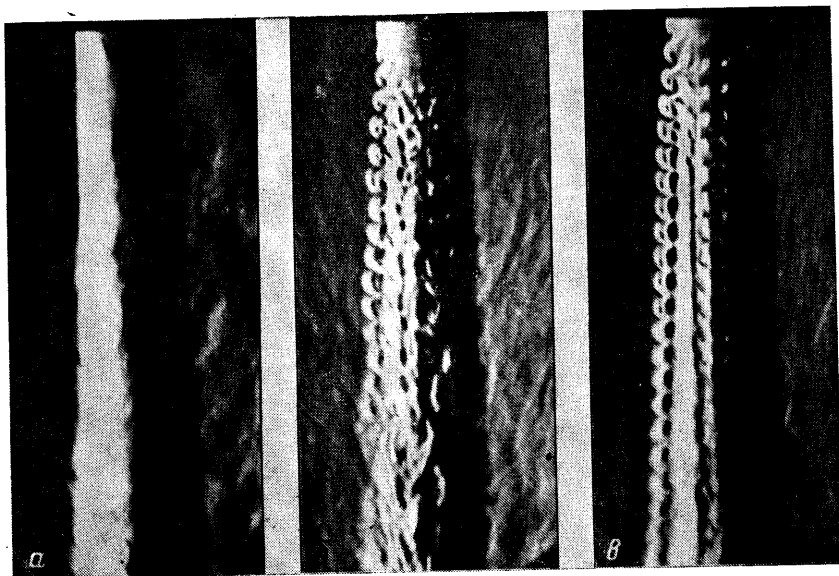


Фиг. 1

Степень двумерности начальных возмущений, а следовательно, и интенсивность упорядоченных структур можно уменьшить, изменяя форму кромки сопла в азимутальном направлении. При этом может уменьшиться и шум, создаваемый потоком.

В данной работе экспериментально исследовалось воздействие акустических колебаний от внешнего источника на развитие вихрей, образующихся в следе за кромкой сопла при течении спутных осесимметричных струй.

Рабочая часть установки изображена на фиг. 1. Профиль скорости в центральной струе формируется с помощью хонейкомба 2 из трубок переменной длины. На расстоянии 24 мм от среза сопла в спутном потоке натягивалась сетка 3 с размером ячеек 0,1 мм. Толщина кромки сопла равнялась 0,2 мм. Воздух в спутный поток подавался через успокоительную камеру диаметром 306 мм и конфузор. В центральное сопло через пилоны 1 подавался гелий. При скорости гелия на оси



Фиг. 2

струи 12,7 м/с и скорости спутного потока воздуха 1,5–2,5 м/с интенсивность продольных пульсаций в начальном сечении не превышала 0,8% в центре и 0,5% на периферии. Описание и схема экспериментальной установки приведены в [4, 6].

Акустическое возбуждение производилось рупорным громкоговорителем, расположенным перпендикулярно оси течения на расстоянии 0,3 м от установки. Уровень звукового давления измерялся микрофоном, установленным в начальном сечении. Опыты проводились в незаглушенном помещении. Фотографирование течения производилось шликрен-методом прибором ИАВ-451 с импульсной лампой-вспышкой при экспозиции 10^{-4} с.

На фиг. 2, а, б приведены фотографии начального участка течения при скорости гелия на оси 12,7 м/с и скорости спутного потока 1,5 и 2,5 м/с соответственно. В центральной струе скорость плавно нарастает от границы струи до максимального значения в слое шириной ~ 7 мм, а в центральной части струи скорость приблизительно постоянна. При скорости спутного потока 1,5 м/с профиль скорости вблизи кромки немонотонный, но число Рейнольдса достаточно мало, и поэтому возмущения в следе за кромкой не развивались. При формировании с помощью хонейкомба в начальном сечении струи течения с плавным изменением скорости на границе струи, перехода к турбулентности не наблюдается на длинах, превышающих 150 мм [4]. Поэтому течение на границе струи в этом случае (фиг. 2, а) близко к ламинарному. На фиг. 2, б скорость в струе осталась неизменной, а скорость спутного потока увеличилась до 2,5 м/с. Это изменило профиль скорости вблизи кромки сопла. Увеличился размер области, в которой скорость меньше скорости спутного потока, и на границе струи начали развиваться периодические возмущения. Развивающиеся возмущения сворачиваются в вихри, которые наблюдаются до расстояния от среза сопла, равного приблизительно 16 размерам вихря. На больших расстояниях видны трехмерные неупорядоченные движения. Частота следования вихрей составляет в данном случае ~ 300 Гц.

На фиг. 2, в приведена фотография течения с такими же скоростями, что и на фиг. 2, б, но при воздействии на струю акустических колебаний с частотой 300 Гц и уровнем звукового давления в начальном сечении струи 116 Дб (относительно

2.10⁻⁵ Па). Картина течения в этом случае заметно отличается от картины течения, приведенной на фиг. 2, б. Во-вторых, участок нарастания возмущений при воздействии акустики меньше, чем без воздействия акустики, хотя масштаб вихрей в обоих случаях приблизительно одинаков. Во-вторых, при воздействии акустики образующиеся в потоке вихри более упорядочены, в потоке не наблюдается развитие трехмерных возмущений, а расстояние, на котором сохраняются образовавшиеся вблизи кромки вихри, заметно больше, чем без акустического воздействия.

Эксперименты проводились и при других скоростях течения. Если отношение скоростей было таким, что в следе за кромкой образовывалась цепочка вихрей, а частота акустических колебаний от внешнего источника равнялась частоте следования вихрей без воздействия акустики, то всегда отмечались описанные выше результаты воздействия акустики на течение. Эксперименты проводились также при частотах акустических колебаний, отличных от частоты следования вихрей без воздействия акустики. В этом случае в некотором диапазоне амплитуд акустических колебаний наблюдалась «подстройка» частоты следования под частоту звука.

Приведенные выше результаты экспериментов показывают, что воздействие акустики приводит к регуляризации и большему времени жизни упорядоченных структур, образовавшихся вблизи кромки входного устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рэлей Дж. Стрэтт. Теория звука. Т. 2. М.: Гостехиздат, 1956. 476 с.
2. Власов Е. В., Гиневский А. С. Акустическое воздействие на аэродинамические характеристики турбулентной струи.— Изв. АН СССР. МЖГ, 1967, № 4, с. 133—138.
3. Crow S. C., Champagne F. H. Orderly structure in jet turbulence.— J. Fluid Mech., 1971, v. 48, № 3, p. 547—591.
4. Навознов О. И., Павельев А. А. Влияние начальных условий на течение осесимметричных струй.— Изв. АН СССР. МЖГ, 1980, № 4, с. 18—24.
5. Zaman K. B. M. Q., Hussain A. K. M. F. Turbulence suppression in free shear flows by controlled excitation.— AIAA Pap., 1980, № 1338. 14 p.
6. Павельев А. А., Цыганок В. И. Влияние акустики и режима течения в пограничном слое на стенках сопла на слой смешения затопленной струи.— Изв. АН СССР. МЖГ, 1982, № 6, с. 36—42.
7. Rockwell D. Oscillations of impinging shear layers.— AIAA Journal, 1983, v. 21, № 5, p. 6459664.
8. Навознов О. И., Павельев А. А. О переходе к турбулентности в спутных струях.— Изв. АН СССР. МЖГ, № 6, с. 131—139.
9. Brown G. L., Roshko A. On density effects and large structure in turbulent mixing layers.— J. Fluid Mech., 1974, v. 64, p. 775—816.
10. Dimotakis P. E., Brown G. L. The mixing layer at High Reynolds number: large-structure dynamics and entrainment.— J. Fluid Mech., 1976, v. 78, Pt 3, p. 535—560.

Москва

Поступила в редакцию
4.II.1985

УДК 532.546:622.276.043

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ СТЕПЕНИ СУХОСТИ ПАРА ПРИ ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕФТЯНЫЕ ПЛАСТЫ

ЖЕЛТОВ Ю. В., МАЛОФЕЕВ Г. Е.

Нагнетание водяного пара служит эффективным средством термовоздействия на нефтесодержащие пласты для интенсификации добычи нефти и увеличения нефтеотдачи [1]. При определении технологических показателей этого процесса необходимо знать размеры зон пара и горячей жидкости, создаваемых в пласте, а также распределение в пласте степени сухости пара.

Работы по определению зон пара и горячей жидкости известны [2, 3], однако распределение степени сухости пара не рассматривалось. В предлагаемой работе методом, аналогичным известному методу последовательной смены стационарных состояний [4], получена формула для расчета распределения степени сухости пара при его нагнетании с неизменным расходом в однородный пласт. Как следствие получены формулы для расчета зон пара и горячей жидкости.

1. Для термовоздействия на нефтяные пласты применяется влажный водяной пар. Качество такого пара характеризуется степенью сухости x_r , равной отношению массы паровой фазы к общей массе влажного пара. Температурное поле пласта, образующееся при нагнетании влажного пара, разделяют условно на три зоны: пара, горячей жидкости и начальной (невозмущенной) пластовой температуры. Взаимное расположение указанных зон при нагнетании пара в однородный пласт через единичную скважину показано на фигуре, где зоны пара, горячей жидкости и начальной пластовой температуры обозначены соответственно цифрами 1, 2 и 3.