

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДВУХ ВСТРЕЧНЫХ СТРУЙ

В. А. ДЕНЩИКОВ, В. Н. КОНДРАТЬЕВ, А. Н. РОМАШОВ

(Москва)

Во многих областях земного шара наблюдаются местные ураганные ветры (боры). В нашей стране наиболее сильно они проявляются на Черноморском побережье в районе Новороссийска. Академик М. А. Лаврентьев предложил модель этого явления природы, в основе которой лежит взаимодействие двух встречных потоков воздуха.

При экспериментальном моделировании процесса возникновения боры было обнаружено, что взаимодействие встречных струйных потоков в газах и жидкостях при определенных условиях носит колебательный характер. Несмотря на то что вопросам струйного течения посвящена обширная литература, авторам не удалось найти ссылок на подобный характер взаимодействия. Вместе с тем представляется очевидным, что многие явления в газах и жидкостях, в том числе и при формировании боры, обусловлены именно колебаниями встречных струй.

В настоящей работе излагаются результаты экспериментального изучения взаимодействия двух одинаковых затопленных струй в воде. Струи вытекают навстречу друг другу из щелевых сопел, расположенных в одной плоскости (плоскости симметрии).

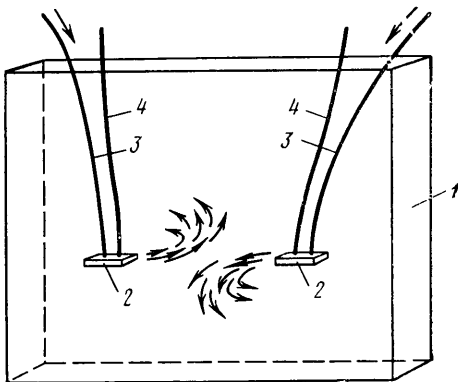
Схема экспериментальной установки показана на фиг. 1. Она включает в себя бассейн с водой 1 размером $1 \times 1 \times 0,23$ м, в котором расположены щелевые сопла 2, представляющие собой плоские, открытые с одного торца коробочки с внутренним размером $100 \times 80 \times 7$ мм и толщиной стенок 2 мм. Сопла помещаются между двумя параллельными пластинами оргстекла (на фиг. 1 не показаны), что обеспечивает двумерность течения между соплами. Из сопел вытекают встречные струи водопроводной воды, которая подается по шлангам 3.

Для визуализации струй через вспомогательные шланги 4 производится их подкраска с помощью обычных чернил. Установка позволяет менять расстояние между соплами, величины скоростей и температур воды в струях, положение сопел (горизонтальное и вертикальное); взаимодействие струй может осуществляться при различных уровнях наполнения бассейна.

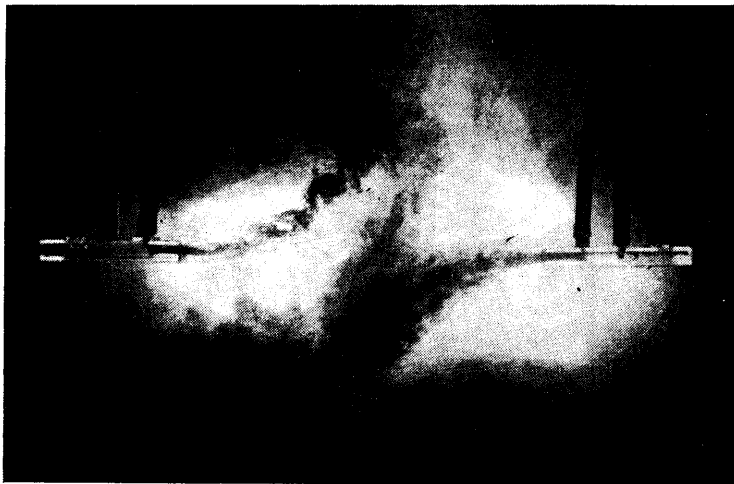
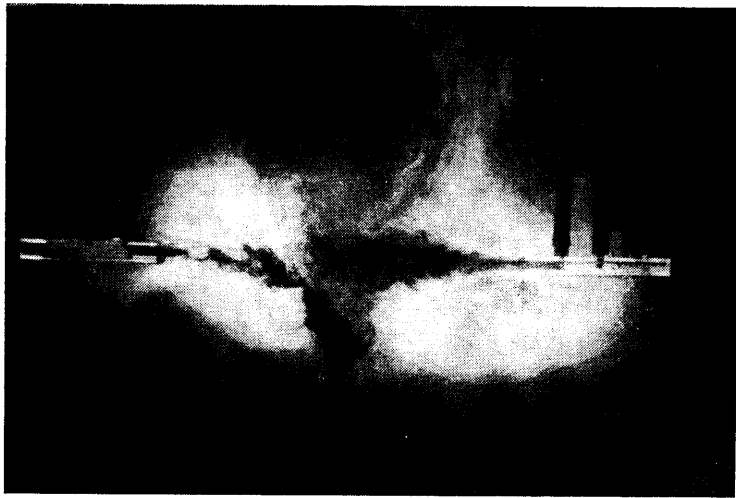
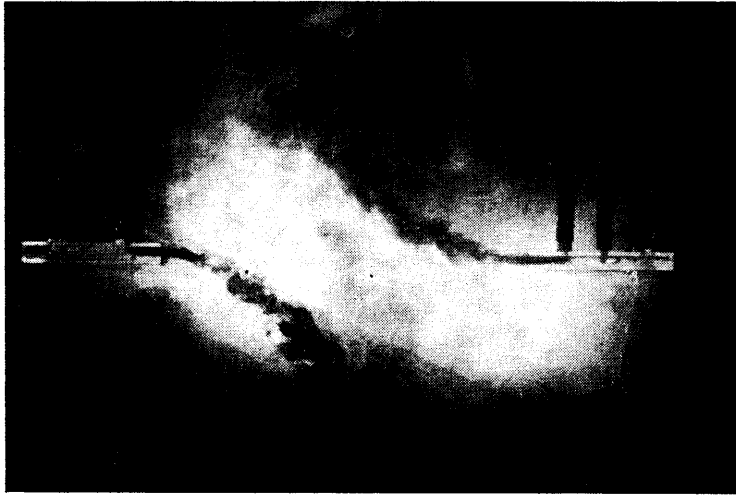
В опытах скорость истечения струй из сопел менялась в пределах от 2 до 20 см/сек, при этом расстояние между соплами варьировалось от 5 до 25 см. При включении только одного сопла образуется характерная струя, движение в которой с расстоянием затухает [1, 2]. При скоростях истечения струй u порядка 10 см/сек и поперечном размере сопла δ , равном 1 см, число $Re=10^3$, что свидетельствует о турбулентном характере струй.

Одиночная струя имеет все время устойчивое положение по отношению к плоскости симметрии. Включение встречной струи сразу же приводит к возникновению колебаний обеих струй в направлении, перпендикулярном этой плоскости. На фиг. 2 приведены фотографии, характеризующие положения струй в последовательные моменты времени ($t=0, T/4$ и $T/2$, где T — период колебаний). По существу, наблюдаются автоколебания, поскольку внешнее воздействие сохраняется постоянным, а амплитуда и период колебаний определяются самой системой. К числу определяющих параметров этой системы относятся расстояние между соплами L и характерная скорость течения струи u (при неизменных значениях плотности и вязкости жидкости). В качестве u принято значение скорости одиночной струи на расстоянии $L/2$ от выхода из сопла.

Абсолютные значения периодов в опытах в зависимости от условий взаимодействия изменялись в пределах от 2 до 30 сек. При заданных значениях L и u величина периода колебаний с точностью примерно до 10–15% сохраняется. Значения периодов колебаний T в зависимости от параметра L/u приведены на фиг. 3.



Фиг. 1

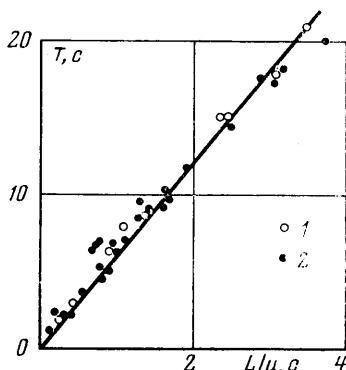


Фиг. 2

Полученная зависимость может быть представлена эмпирической формулой вида $T=6L/u$. Опыты проводились с соплами, ширина которых δ равнялась 0,4 и 0,7 см (на фиг. 3 точки 1 и 2 соответственно). При этом значения периодов в обоих случаях с точностью до ошибки эксперимента оказались одинаковыми. По-видимому, при $\delta \ll L$ реализуется случай истечения струй из бесконечно узкой щели, когда δ близко к нулю.

Механизм возникновения колебаний представляется в следующем виде. При столкновении двух струй происходит торможение жидкости, в результате чего возникает некоторая зона повышенного давления, которая как бы раздвигает струи в стороны от плоскости симметрии. После того как сформируются новые струи, отклоненные от первоначального положения (фиг. 2), в зоне торможения создается упорядоченное движение. По существу, формируются две новые встречные струи, которые смещены между собой и ориентированы под некоторым углом к первоначальному направлению истечения струй из сопл. Такое течение является неустойчивым: давление в области между струями оказывается пониженным, в результате чего они после расхождения на некоторое критическое расстояние начинают сближаться. Это сближение заканчивается новым столкновением струй, новым повышением давления в зоне встречи потоков, которое вновь отодвигает струи от их плоскости симметрии, но на этот раз в противоположные стороны.

В заключение отметим, что колебательный характер взаимодействия встречных струй сохраняется и в том случае, если их параметры различны, а также при расположении одной струи вблизи твердой поверхности, когда встречная струя поднята над этой поверхностью, т. е. в случае взаимодействия струй, плоскости симметрии которых смещены между собой. Все случаи колебательного взаимодействия сопровождаются также образованием вихревых движений, структура и интенсивность которых зависят от параметров взаимодействующих струй. Случаи взаимодействия струй при наличии ограничивающей твердой поверхности являются наиболее характерными для атмосферных явлений, а также применительно к океаническим течениям.



Фиг. 3

Поступила 30 I 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. М., Физматгиз, 1960.
2. Биркгоф Г., Сарантонелло Э. Струи, следы и каверны. М., «Мир», 1964.

УДК 532.526

РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВЯЗКИХ ТЕЧЕНИЙ

Ю. М. ЛИПНИЦКИЙ, А. В. ПАНАСЕНКО

(Москва)

В настоящей работе рассматриваются задачи о формировании нестационарного течения вязкого теплопроводного газа около полубесконечной пластины при мгновенном приведении ее в движение из состояния покоя (задача I) и за набегающей на нее ударной волной (задача II). Исследование проводится с помощью численного метода, основанного на интегрировании полной системы уравнений Навье – Стокса. При решении задач основное внимание уделяется временам, при которых несправедливы упрощающие предположения теории пограничного слоя.

В опубликованных работах, посвященных численному интегрированию полной системы уравнений Навье – Стокса, в большинстве случаев рассматриваются стационарные задачи. При решении нестационарных задач, как правило, возникают дополнительные трудности из-за ограниченного числа узлов разностной сетки. Следствием этого является невозможность получения численного решения задачи