

перпендикулярно образующим гребенки. Антенна-рупор имеет апертуру раскрыва 9×11 мм.

Для фокусировки электронного пучка система помещена в магнитное поле напряженностью до 4000 эрст. Напряжение, подаваемое на ускоряющую диафрагму и гребенку, можно плавно изменять от 200 до 3000 в. Напряжение на коллекторе варьировалось от 0 до 250 в. В качестве источника электромагнитных колебаний использовалась лампа обратной волны, генерирующая излучение в двухмиллиметровом диапазоне длин волн.

При изменении напряжения на гребенке макета и длины волны внешнего источника излучения обнаружено взаимодействие на первой и второй пространственных гармониках, причем на первой гармонике взаимодействие имело место во всем рабочем диапазоне длин волн ($\lambda = 2,1 \div 2,8$ мм) внешнего генератора. Исследование проводилось при токах в пучке значительно меньше пусковых.

На рис. 2, где изображены дисперсионные кривые оротрона-ГДИ, построенные по формулам работы [1], показаны экспериментальные точки, в которых наблюдалось максимальное взаимодействие на первой и второй гармониках. Здесь же изображена дисперсионная кривая ЛОВ для минус первой гармоники, полученная по данным работы [3].

Некоторое несовпадение экспериментальных точек с теоретическими кривыми для оротрона-ГДИ может быть объяснено как тем, что облучающий рупор формирует квазиплоские волны, падающие на гребенку под углами, отличными от 90° , так и возможностью взаимодействия типа ЛОВ. На данном макете обнаружено также взаимодействие электронного пучка с электромагнитным полем при замене облучающего рупора сферическим зеркалом, когда система взаимодействия представляла собой открытый резонатор.

Авторы приносят благодарность М. Н. Девяткову и Ю. В. Горохову за замечания, сделанные при обсуждении рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русин Ф. С., Богомолов Г. Д. Электроника больших мощностей, сб. 5. М., «Наука», 1968, стр. 45.
2. Балаклицкий И. М., Скрынник Б. К., Третьяков О. А., Шестопалов В. П. «Украинский физический журнал», 14, № 4, 539, 1969.
3. Белуга И. Ш., Морозов В. С., Фролов А. Г. «Вопросы радиоэлектроники», электроника, вып. 11, 137, 1964.

Поступила в редакцию
6.5 1972 г.

Кафедра
радиотехники

УДК 532.507 : 551.465

Н. К. ШЕЛКОВНИКОВ

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ «ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ» НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКАХ

Гидродинамические процессы переноса тепла, импульса и вещества, а также формирование скоростной и плотностной стратификации существенно изменяются при переходе ламинарного потока в турбулентный. Кроме того, турбулентный характер движения жидкости приводит к образованию неоднородной структуры потока, которая оказывает влияние на рассеяние световых и звуковых волн. В связи с этим изучение неоднородной структуры турбулентных потоков представляет определенный интерес.

При экспериментальном исследовании структуры турбулентных потоков встает вопрос об определении масштаба турбулентности L . Наиболее простым способом L определяется по одноточечным измерениям, в предположении справедливости гипотезы о «замороженной» турбулентности. Такой способ определения масштабов во многих случаях себя оправдывает, хотя в действительности турбулентные образования постоянно дробятся и диффундируют. В связи с этим важно оценить степень справедливости использования этой гипотезы при различных гидродинамических условиях. Для этого необходимо знать параметр τ , характеризующий время жизни турбулентных неоднородностей.

Попытка экспериментально определить τ была осуществлена в 1968 г. [1]. Используя объемный корреляционный анализ, авторы по записям пульсаций температуры в четырех пространственно-разнесенных точках в море определили «время жизни» температурных неоднородностей, размером от 0,3 до 4 м. Для измерений, проведенных в придонном слое моря, $\tau=1,8$ сек, а вдали от дна $\tau=1,7$ сек.

Однако в силу сложности использованного метода и трудности интерпретации некоторых промежуточных результатов не представилось возможным получить необходимый объем данных о времени жизни температурных неоднородностей и сделать оценку степени справедливости гипотезы «замороженной» турбулентности.

В данной работе определяется время жизни турбулентных неоднородностей более простым способом.

Рассмотрим случайный процесс, например, пульсации скорости u' или температуры t' . Если процесс стационарный во времени, то по синхронным записям u' или t' в двух точках, расположенных вдоль потока, можно определить степень связанности рассматриваемого процесса в пространстве с помощью пространственно-временной функции корреляции:

$$R_{11}^{(1)}(x_1, 0, 0, \tau_m) = \frac{\overline{u_1' u_2'}}{\sqrt{\overline{u_1'^2}} \sqrt{\overline{u_2'^2}}} \quad (1)$$

По степени связанности процесса будем определять время жизни турбулентных неоднородностей. Считая, по аналогии с [1] два процесса коррелирующими, если $R_{11}^{(1)} \geq 0,5$, получим

$$R_{11}^{(1)}(0, 0, 0, 0) - R_{11}^{(1)}(x_1, 0, 0, \tau_m) = 0,5 \quad (2)$$

Здесь $R_{11}^{(1)}(0, 0, 0, 0)$ — значение максимума пространственно-временной функции корреляции для двух регистраций, полученных синхронно в одной и той же точке; $R_{11}^{(1)}(x_1, 0, 0, \tau_m)$ — значение максимума пространственно-временной функции корреляции, полученной по двум синхронным записям u' или t' в двух точках, разнесенных вдоль потока на расстояние x_1 ; τ_m — оптимальное время запаздывания, при котором $R_{11}^{(1)}$ принимает максимальное значение.

Так как $R_{11}^{(1)}(0, 0, 0, 0) = 1$, то выражение (2) можно переписать в следующем виде:

$$1 - R_{11}^{(1)}(x_1, 0, 0, \tau_m) = 0,5$$

или

$$R_{11}^{(1)}(x_1, 0, 0, \tau_m) = 0,5 \quad (3)$$

Из уравнения (3) видно, что время жизни турбулентных неоднородностей $\tau_{0,5}$ будет определяться оптимальным временем запаздывания, при котором $R_{11}^{(1)}(x_1, 0, 0, \tau_m) = 0,5$, т. е. $\tau_{0,5} = \tau_{m,0,5}$.

Если принять, что $R_{11}^{(1)}(x_1, 0, 0, \tau_m) = 0$, то время релаксации в этом случае будет равно $\tau_0 = \tau_{m,0}$, где $\tau_{m,0}$ — оптимальное время запаздывания, при котором

$$R_{11}^{(1)}(x_1, 0, 0, \tau_m) = 0.$$

Для практического применения изложенной методики определения времени жизни турбулентных неоднородностей, необходимо иметь синхронные записи пульсаций температуры или скорости одновременно в трех точках потока. При этом датчики должны быть расположены вдоль потока на некотором расстоянии друг от друга. Расстояние между датчиками определяется в каждом конкретном случае исходя из выбора интервалов исследуемых масштабов.

Далее необходимо вычислить и построить графики функций взаимной корреляции для каждой пары записей, полученных в этих точках (пары составляются между первым и каждым из последующих датчиков). Затем, проведя прямую через максимумы этих функций взаимной корреляции, получим фронт изменения максимальных значений $R_{11}^{(1)}$ для различных расстояний между датчиками. Время, соответствующее точке пересечения этого фронта с уровнем корреляции 0,5, и даст значение времени жизни турбулентных неоднородностей.

Если время жизни турбулентных неоднородностей надо определить по нулевому уровню корреляции, то в этом случае датчики необходимо разнести на большее расстояние, чем в предыдущем случае, так чтобы для последнего из них максимум функции взаимной корреляции был близок к нулю. Затем, проведя прямую через максимальные значения $R_{11}^{(1)}(x_1, 0, 0, \tau_m)$ и $R_{11}^{(1)}(x_2, 0, 0, \tau_m)$, найдем время жизни турбулентных неоднородностей τ_0 по точке пересечения фронта изменения максимумов $R_{11}^{(1)}$ с осью абсцисс. Способ определения τ_0 показан на рис. 1.

К сожалению, не представляется возможным сравнить значения времени жизни турбулентных неоднородностей, измеренных в одних и тех же условиях методом

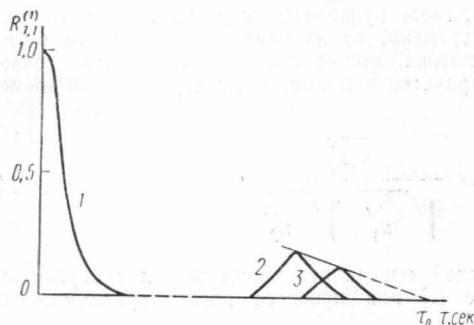


Рис. 1. Определение времени жизни турбулентных неоднородностей по нулевому уровню корреляции. 1 — функция автокорреляции, 2 и 3 — пространственно-временные функции корреляции для разных расстояний между точками наблюдений, τ_0 — время жизни турбулентных неоднородностей

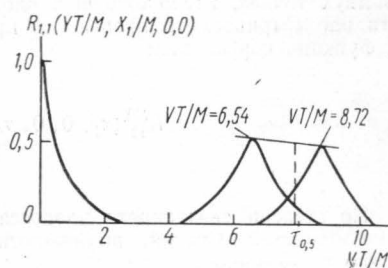


Рис. 2. Экспериментальные пространственно-временные функции корреляции для различных значений VT/M [2]. $\tau_{0,5}$ — время жизни турбулентных неоднородностей, определенное по уровню корреляции 0,5

объемного корреляционного анализа и изложенным методом, ввиду отсутствия экспериментальных данных.

Тем не менее имеется возможность привести пример определения времени жизни турбулентных неоднородностей по экспериментальным данным, приведенным в [2]. Пульсации скорости в этой работе измерялись одновременно только в двух точках, расстояние между которыми в процессе эксперимента изменялось. Таким образом было получено несколько пространственно-временных функций корреляции для различных смещений между датчиками. Полагая, что в этом случае исследуемый процесс практически не изменялся в течение эксперимента, можно оценить значение времени жизни по этим данным.

Регистрации пульсаций скорости в [2] были получены в потоке, в начальном участке которого была установлена турбулизирующая решетка с размером ячеек $M=24,5$ мм. Средняя скорость потока составляла $V=12,25$ м/сек. Запись пульсаций скорости велась в диапазоне от 2,5 до 2000 гц. Измерения проводились на расстоянии 40 M от решетки, число Рейнольдса при этом составляло $Re = \frac{V_{max}M}{\nu} = 21\,500$.

На рис. 2 приведены графики пространственно-временных функций корреляции $R_{11}^{(1)}(VT_m/M, x_1/M, 0, 0)$ для случая, когда $VT_m/M = 6,54$ и $VT_m/M = 8,72$. Здесь T_m — оптимальное время запаздывания.

Как видно из рис. 2, прямая, соединяющая максимумы двух пространственно-временных функций, пересекает уровень корреляции, равный 0,5 в точке, соответствующей $VT/M \approx 8$, или $T \approx 0,0098$ сек. Значит время жизни турбулентных неоднородностей в этом случае составляет 0,0098 сек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доброклонский С. В., Миркотан С. Ф., Хунджуа Г. Г., Шелковников Н. К. «Изв. АН СССР», физика атмосферы и океана, 4, № 4, 1968.
2. Фавр А. Пространственно-временные корреляции в турбулентных потоках жидкости. Сб. «Механика», 2, № 90, 1965.

Поступила в редакцию
10.5 1972 г.

Кафедра
физики моря и вод суши