УДК 532.543.52:551.482.212.3

Н. А. МИХАЙЛОВА, О. П. ПЕТРОСЯН, В. А. ПЛАТОНОВ

ВЛИЯНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РУСЛОВОГО ПОТОКА

Настоящая работа ставилась с целью изучения и сопоставления энергетических спектров турбулентности в пространственном русловом потоке и на его устьевом участке при условии подачи извне взвешенных наносов.

Исследования проводились на русловом лотке длиной 23 м, глубиной 1 м и шириной 4 м. Из песка крупностью 0,22 мм была построена размываемая модель, имеющая русловой участок длиной 17 м и устьевой участок длиной 2 м. Поперечное сечение руслового участка в начальный момент времени имело форму косинусоиды с шириной поурезу воды 137 см. На устьевом участке плановая форма сохранялась, а «берега» модели, которые на участке микрореки были горизонтальными, в устье были уложены с уклоном 0,15. Расход воды составлял 69,2 л/с, средняя скорость потока 28,6 см/с. Числа Re и Fr равнялись соответственно 4,2.105 и 0,05. Измерения средних и пульсационных характеристик скорости проводились на вертикалях, расположенных по оси потока на расстоянии от входа 16,2 м (сечение І — конец руслового участка) и 18,2 м (сечение II — устьевой участок). Опыт продолжался 200 часов. По мере формирования русла его ширина увеличивалась, а глубина уменьшалась. Измерения средних и пульсационных характеристик скорости проводились через 180 часов после начала опыта, когда русло стабилизкровалось. Измерения пульсаций скорости на русловом и устьевом участках микрореки проводились на относительном расстоянии от дна $\eta = 0,2; 0,6; 0,8$ с помощью термогидрометра [1].

С целью исследования влияния взвешенных наносов на кинематическую структуру потока и энергетические спектры пульсационные характеристики скорости фиксировались при «внутреннем» и «внешнем» питании наносами. В первом случае взвешенные наносы в потоке практически отсутствовали, а высота подъема оторвавшихся от дна частиц не превышала десятой доли глубины потока. Во втором случае осуществлялась подача в поток наносов с той же средней крупностью, что и в самом русле. Наносы подавались в поток на расстоянии 80 см от датчика и находились во взвешенном состоянии по всей толще потока. Твердый расход составлял 30 г/с. Средняя мутность измерялась батометром Орлова. Длительность подачи наносов определялась временем, необходимым для фиксации в том или ином сечении пульсационных характеристик скорости. Она была незначительной и не влияла на характеристики донного рельефа.

Непрерывные записи пульсаций скорости переводились в дискретные ряды с шагом дискретности $\Delta t = 0.04$ с. Соответствующая частота Найквиста равна $f_N = \frac{1}{2\Lambda t} = 12,5$ Гц. Для устранения низкочастотных трендов был использован фильтр «скользящее среднее с косинусядром Тьюки», который члены ряда U_k переводит в \tilde{U}_k :

$$\widetilde{U}_k = U_k - \frac{1}{2l} \sum_{i=-l}^{l} \left(1 + \cos \frac{\pi i}{l}\right) u_{k+i}.$$

Здесь *l* — параметр фильтра.

Для различных значений относительной глубины η в таблице приведена величина σ₈/σ, являющаяся отношением среднеквадратичных отклонений пульсаций скорости в потоках с внешним и внутренним питанием наносами. В обоих сечениях в придонной области, где мутность наибольшая, происходит уменьшение интенсивности турбулентности, а вблизи поверхности — ее увеличение. Относительная ошибка



Функции спектральной плотности пульсаций скорости в сечении I (a) и II (б) без наносов (сплошная линия) и с наносами (пунктир) на расстоянии от дна $\eta = 0,2$ (A) 0,6 (Б) и 0,8 (B)

с доверительной вероятностью 0,8 составляет 6%. Изменение интенсивности турбулентности при наличии в потоке наносов можно объяснить следующим образом [3]. При малой мутности роль твердых частиц, взвешенных в потоке, сводится к его турбулизации за счет обтекания частиц. По мере увеличения мутности все большая часть энергии пульсаций затрачивается на поддержание наносов во взвешенном состоянии.

На рисунке, а приведены функции спектральной плотности пульсаций скорости в сечении I (русловой участок) без наносов и с наносами, а на рисунке, б — эти же функции в сечении II (устьевой участок). При введении наносов в придонной области сечения I наблюдается небольшое смещение характерной частоты в более высокочасспектра. В средней и тотную область верхней частях потока характерная частота не изменяется. В придонной области сечения II смещение характерной частоты в высокочастотную область спектра является более существенным, чем в сечении І. Небольшое увеличение характерной частоты здесь имеет место в средней и верхней частях потока.

В таблице приведены также значения суммарного содержания мощности турбулентных пульсаций в диапазоне частот от 0 до 3 Гц, т. е.

$$I(\%) = 100 \int_{0.2}^{3} S(f) df,$$

где нижний предел интегрирования определяется частотой среза фильтра. Для потоков с наносами употреблено обозначение I_s . Правая граница рассматриваемой области при пересчете по гипотезе «замороженной турбулентности» соответствует линейному размеру 9,3 см, равному средней глубине потока. Анализ полученных данных показывает, что при введении в поток наносов содержание мощности в низкочастотной области спектра уменьшается. При этом влияние наносов более заметно в сечении II на устьевом участке русла.

Отношение среднеквадратических отклонений при внешнем (σ_s) и внутреннем (σ) питании потока наносами и суммарное содержание мощности в низкочастотной области спектра (соответственно *I_s* и *I*)

Характе- ристики потока	η (сечение I)			η (сечение II)		
	0,2	0,6	0,8	0,2	0,6	0,8
σ _s /σ I _s , % I, %	0,93 84,0 87,0	0,98 87,9 88,0	1,07 85,6 86,0	0,92 84,0 87,0	1,05 71,8 84,1	1,06 85,7 89,5

Уменьшение мощности в низкочастотной области спектра можно объяснить тем, что часть энергии крупномасштабных пульсаций затрачивается на взвешивание твердых частиц, генерирующих микропульсации в потоке.

Выводы. 1. Введение наносов в поток уменьшает интенсивность турбулентности в придонной области (где мутность велика) и увеличивает интенсивность турбулентности в приповерхностной области (где мутность меньше). Это можно объяснить тем, что при малой мутности роль наносов сводится к турбулизации потока за счет обтекания твердых частиц. При большей мутности происходит уменьшение интенсивности турбулентности за счет затрат энергии пульсаций на поддержание наносов во взвешенном состоянии.

2. Введение наносов в поток влечет за собой смещение характерной частоты в более высокочастотную область спектра.

3. Введение наносов в поток увеличивает мощность пульсаций, приходящуюся на высокочастотную часть спектра (f > 3 Гц), что можно объяснить генерацией микропульсаций твердыми взвешенными частицами.

4. В условиях пространственной модели влияние наносов на кинематическую структуру потока более явно выражено в устьевом участке, где меньше градиенты скорости в основной толще потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Петров В. П. Аппаратура, методика и исследование турбулентных пульсаций концентрации и скорости во взвесенесущем русловом потоке. Автореф. канд. дис. МГУ, физич. ф-т. М., 1971. 14 с.
- 2. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. Вып. 1. М., 1971. 316 с.

3. Дмитриева Г. А., Михайлова Н. А. Влияние насыщения потока наносами на его кинематическую структуру.— Тезисы докл. Всесоюзн. совещ. «Состояние и пути развития научных исследований по селевой проблеме и просктированию противоселевых сооружений». Тбилиси, 1974. 141 с.

Поступила в редакцию 17.07.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1980. Т. 21, № 6

УДК 621.385

Р. В. ЛЕБЕДЕВ, Ю. А. ПИРОГОВ

АВТОДИННОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НА ОТРАЖАТЕЛЬНОМ КЛИСТРОНЕ С РЕГИСТРАЦИЕЙ ОТКЛИКА В ЦЕПИ ОТРАЖАТЕЛЯ

Высокая чувствительность отклика автоколебательной системы на внешнее воздействие традиционно привлекает внимание исследователей ([1—5] и др.). В настоящей фаботе также обсуждается один из неавтономных режимов генератора колебаний, а именно автодинный режим отражательного клистрона как высокочувствительного приемника слабых СВЧ-сигналов.

Автодинное детектирование на отражательном клистроне широко применяется в радиоспектроскопии [1, 2], причем отклик генерирующего клистрона на принимаемое излучение обычно регистрируется в цепи резонатора клистрона или, что по существу то же самое, в катодной цепи. При этом детекторный ток ΔI_p (изменение под действием сигнала СВЧ тока резонатора или катода) наблюдается на фоне значительной по величине постоянной составляющей I_p , т. е. при высоком уровне собственных шумов детектора, пропорциональных $\sqrt{I_p}$ при дробовой их природе.

В настоящем сообщении предлагается осуществлять регистрацию детекторного тока автодина в цепи отражателя клистрона, работающего в режиме отсечки тока на отражатель. В таком режиме небольшой ток I_0 быстрых электронов, содержащий и детекторную составляющую ΔI_0 , проходит на отражатель, формируя отклик на принимаемый сигнал. При этом клистрон работает на дальних зонах генерации с высокими номерами и генерирует несколько меньшую, чем в нормальном режиме генерации, мощность, достаточную, однако, практически для всех известных применений автодинного детектирования (обычно отражательные клистроны трехсантиметрового диапазона работают на зонах с номерами n=6-7 и генерируют мощность не более 10 мВт [6]. Исследование клистронов трехсантиметрового диапазона в автодинном режиме с регистрацией отклика в цепи отражателя проводилось при напряжении отражателя около —10 В и мощности генерации P ~ 1-5 мВт на зонах с номерами n=8-10. Типичная вольтамперная характеристика (ВАХ) цепи отражателя клистрона-автодина имеет вид, показанный на рисунке. Ее характерной особенностью является наличие N-образного участка в области значительных отрицательных напряжений U₀ на отражателе: ВАХ клистронных детекторов, работающих в пассивном режиме [7, 8], не имеет такой особенности. Эксперимент показывает, что при подаче на вход генерирующего клистрона сигнала с частотой, близкой к частоте генерации, ток