

Таким образом, зависимость от частоты волны проявляется только в членах порядка  $\chi^3$  и выше. Поправка  $\chi^4$  может стать сравнимой с поправкой  $\chi^3$  при условии  $\lambda \sim \delta^4/\xi^{*2}$ , однако ту часть поправки, которая зависит от частоты, необходимо учитывать лишь при  $\lambda \sim \delta^4$ . Это условие в совокупности с исходным ограничением  $\lambda \ll \epsilon_0 - 1$  определяет весьма узкий интервал частот, причем даже для трети этот интервал далек от диапазона, в котором работают современные лазеры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Becker W. et al. Phys. Rev. Lett., 1981, 47, p. 1262; Becker W. et al. Phys. Rev. Lett., 1982, 48, p. 653; Appl. Phys., 1982, В 28, p. 310. [2] Тернов И. М., Родионов В. Н., Дорофеев О. Ф. Препринт № 08/1982, Препринт № 14/1982 физ. фак. МГУ. [3] Тернов И. М. и др. Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, № 6, с. 289. [4] Тернов И. М. и др. Ядерная физика, 1978, 28, с. 1454; Ternov I. M. et al. App. d. Phys., 1980, 37, p. 406. [5] Тернов И. М., Родионов В. Н., Дорофеев О. Ф. ЖЭТФ, 1983, 84, с. 1225.

Поступила в редакцию  
17.12.82

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1983, Т. 24, № 4

УДК 556.535.2

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ В ПРИБРЕЖНОЙ ОБЛАСТИ ТУРБУЛЕНТНОГО РУСЛОВОГО ПОТОКА

О. Н. Мельникова

(кафедра физики моря и вод суши)

Известно, что в пограничных слоях турбулентных потоков возникают вторичные течения, отличающиеся по направлению от основного потока. Прандтль [1] предположил, что возникновение поперечных движений жидкости связано с анизотропией осредненных пульсационных характеристик поля скорости в пограничных слоях потока. Экспериментально такие течения были исследованы в трубах некруглого сечения [2] и было найдено, что поперечная циркуляция жидкости действительно связана с анизотропией пульсационных составляющих поля скорости.

Исследование поперечной циркуляции жидкости в русловых потоках имеет большое теоретическое и прикладное значение для решения гидротехнических задач (возведение плотин, улучшение судоходности рек, сброс и очистка вод и пр.). В связи с большими трудностями, возникающими при аналитическом исследовании естественных русловых потоков, особенно важными являются экспериментальные работы, посвященные изучению движения жидкости в модельном трехмерном турбулентном русловом потоке.

В настоящей работе исследуется поперечная циркуляция в прибрежной области руслового потока и экспериментально определяются три составляющие вектора средней скорости в поперечном сечении потока.

Русловый поток с закрепленным дном, в поперечном сечении которого исследовалось поле скорости, моделировался в лотке и имел в сечении форму трапеции. Ширина потока равна 1 м, глубина его в центральной части 10 см. Максимальная скорость потока в центре русла достигала 76 см/с, уклон дна русла — 0,001. На входе в русло

обеспечивались условия, исключающие возможность закручивания потока.

Определения поперечных составляющих средней скорости были основаны на измерениях продольной составляющей вектора средней скорости трубкой Пито и на измерении угла между вектором средней скорости и направлением поступательного движения потока с помощью трехкомпонентного термогидрометра постоянного тока [3]. Термогидрометр имел две измерительные нити, натянутые во взаимно перпендикулярных плоскостях. Измерительные нити служили плечами двойного моста (рис. 1). Малый мост  $ABCD$  позволял измерять угловую составляющую мгновенной скорости потока, большой —  $AFGH$  — модуль вектора скорости.

Сигнал с термогидрометра после усиления поступал на вольтметр Ш6800, обеспечивающий измерение сигнала с точностью до 0,01 мВ. Диаметр измерительной нити термогидрометра составлял 25 мкм,

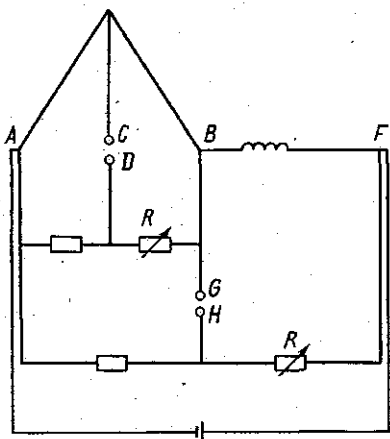


Рис. 1

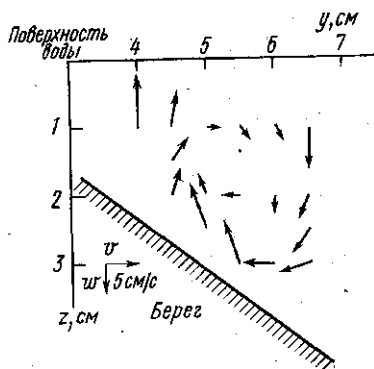


Рис. 2

длина нити — 0,5 см. Чувствительность системы при таком выборе параметров была равна 5 мВ/град для угловой составляющей сигнала.

При исследовании поля скорости потока датчики перемещались в поперечном сечении потока с помощью микровинтов, установленных на горизонтальной тележке, которая была укреплена на бортах лотка.

При измерении поперечных составляющих вектора средней скорости считалось, что в центральной части потока отсутствует регулярное циркуляционное движение. Это возможно при тщательном соблюдении параллельности потока на входе в русло. Поскольку после балансировки моста  $ABCD$  в одной точке центральной области потока и переноса термогидрометра в другие точки этой же области потока среднее значение углового сигнала оставалось равным нулю, то условие отсутствия поперечной циркуляции в центре потока можно считать выполненным.

Измерения поперечных составляющих вектора средней скорости проводились следующим образом. После балансировки в центре потока термогидрометр помещался в прибрежную область и проводилась запись углового сигнала с помощью цифropечатающего вольтметра. По вычисленному среднему значению полученного сигнала и тарировочной кривой датчика определялись вертикальная и горизонтальная

составляющие угла наклона вектора средней скорости к направлению основного течения  $\alpha_v$  и  $\alpha_r$ .

С помощью трубки Пито в тех же точках поперечного сечения потока измерялись продольные составляющие вектора средней скорости  $U$ . Так как углы между вектором средней скорости и направлением основного течения не превышали  $5-6^\circ$ , то горизонтальная и вертикальная составляющие вектора средней скорости в поперечном сечении потока определялись следующим образом:

$$V = U\alpha_r, \quad W = U\alpha_v.$$

Для того чтобы связать отклонение вектора средней скорости от направления основного потока и знак среднего значения записанного углового сигнала, полученного с термогидрометра, производилась тарировка по знаку углового смещения. Термогидрометр помещали в центр потока и балансировали мост  $ABCD$ . Отклоняли термогидрометр на заданный угол относительно измерительной нити и записывали сигнал. Определяли знак среднего значения углового сигнала, соответствующего повороту датчика. Тарировку проводили в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Диаграмма распределения значений поперечной составляющей вектора средней скорости, полученных в результате измерений, приведена на рис. 2. Доверительный интервал, посчитанный для вероятности 0,67, не превышал 0,1 см/с. Из экспериментальных данных, приведенных на рис. 2, следует, что в прибрежной зоне потока, ограниченной линией берега и вертикалью 6,5 см, происходит поперечная циркуляция жидкости, обладающая следующими особенностями.

1. Наиболее интенсивное поперечное движение жидкости происходит по краям указанной области, где скорость вторичного потока составляет примерно одну десятую продольной составляющей вектора средней скорости.

2. Жидкость циркулирует таким образом, что у берега она поднимается от дна к поверхности, а у вертикали 6,5 см опускается ко дну.

Таким образом, предложенная методика позволила получить основные характеристики поперечной циркуляции в прибрежной области русловых потоков и численные значения скорости этой циркуляции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бай Ш и И. Турбулентное течение жидкости и газов. М.: ИЛ, 1962, с. 66.  
[2] Perkins H. J. J. Fluid Mech., 1970, 44, N° 4, p. 721. [3] Мельникова О. Н., Петров В. П., Пыркин Ю. Г. Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1983, 24, № 2, с. 76.

Поступила в редакцию  
01.02.83

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1983. Т. 24, № 4

УДК 532.517+621.373

#### СИНХРОНИЗАЦИЯ В СИСТЕМАХ СО СТРАННЫМ АТТРАКТОРОМ

Е. Н. Дудник, Ю. И. Кузнецов, И. И. Мянкова, Ю. М. Романовский

(кафедра физики колебаний)

Автоколебательные системы с хаотической динамикой имеют в фазовом пространстве динамических переменных странный аттрактор — притягивающее множество, внутри которого почти все соседние