

О СТРУКТУРЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ПРИ БУРНОМ СОСТОЯНИИ

Н. Т. Фазуллин

(Москва)

Приведены некоторые результаты измерений структуры открытого потока при бурном состоянии (при числе Фруда $F > 1$).

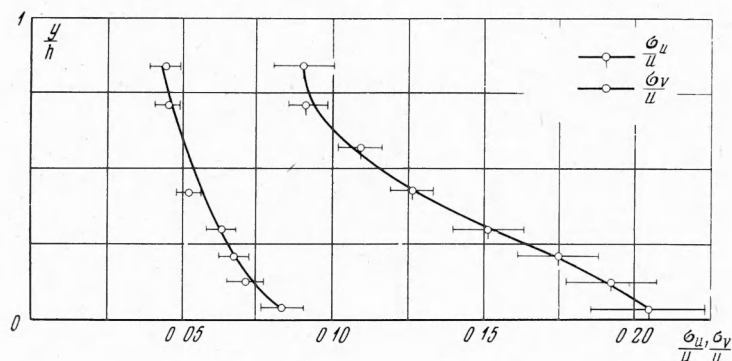
Опыты проводились в стеклянном лотке шириной $B = 19.9$ см переменного уклона длиной 7.0 м, дно лотка покрывалось гравием со средним диаметром в пределах $7 < d < 10$ мм.

Измерение осредненных скоростей выполнено трубкой Пито, а исследование структуры потока — кинематографическим методом.

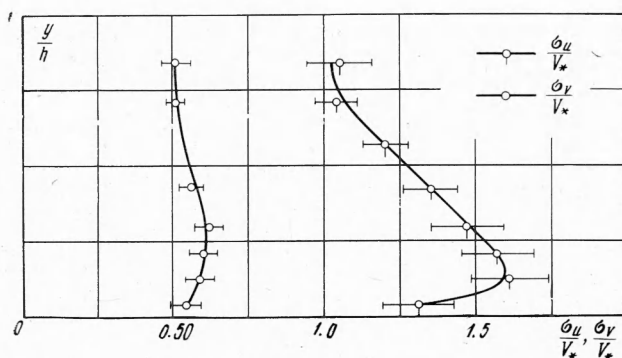
Плоский поток характеризовался средней скоростью $V = 130$ см/сек, значениями динамической скорости $V_* = 14.95$ см/сек, числом Рейнольдса $R = 225000$, числом Фруда $F = 3.47$ и коэффициентом гидравлического трения $\lambda = 0.106$. Эти значения определялись по формулам

$$V_* = \sqrt{ghJ}, \quad R = \frac{4hV}{\nu}, \quad F = \frac{\alpha V^2}{gh}, \quad \lambda = 8 \left(\frac{V_*}{V} \right)^2$$

Здесь h — глубина потока, g — ускорение силы тяжести, J — гидравлический уклон, ν — кинематический коэффициент вязкости, α — коэффициент кинетической энергии.



Фиг. 1



Фиг. 2

Расчетный створ, в котором проведены исследования турбулентных кинематических характеристик, находился на расстоянии 4.5 м от входа в лоток, что составляет до 80 глубин равномерного потока. Равномерность потока контролировалась сопоставлением эпюр распределения осредненных скоростей по длине потока.

Результаты исследования распределения среднеквадратических значений пульсаций скорости по осевой вертикали живого сечения потока приведены в таблице и на фиг. 1 и 2.

Рассмотрение полученного материала позволило сделать следующие выводы.

1. Абсолютные значения среднеквадратических пульсаций, равно как и их безразмерные значения, отнесенные к какой-либо средней характеристике живого сечения (максимальной скорости u_+ , средней по сечению скорости V , динамической скорости V_*), растут с увеличением расстояния от дна, достигая максимума на некотором расстоянии, примерно равном $0.12h$. По достижении этой точки упомянутые величины

$$\sigma_u, \sigma_v, \sigma_u/u_+, \sigma_v/u_+, \sigma_u/V, \sigma_v/V, \sigma_u/V_*, \sigma_v/V_*$$

начинают убывать и вблизи свободной поверхности принимают практически постоянные значения.

y/h	u/V_*	σ_u/u	σ_v/u	σ_u/V_*	σ_v/V_*	σ_u/U_+	σ_v/U_+	σ_u/V	σ_v/V
0.038	6.4	0.204	0.083	1.31	0.53	0.113	0.046	0.150	0.061
0.125	8.4	0.192	0.071	1.61	0.59	0.139	0.051	0.186	0.068
0.211	9.0	0.174	0.067	1.57	0.60	0.135	0.052	0.180	0.069
0.297	9.75	0.151	0.063	1.47	0.62	0.127	0.053	0.169	0.071
0.425	10.7	0.126	0.052	1.35	0.56	0.116	0.048	0.155	0.064
0.570	11.0	0.109	—	1.20	—	0.103	—	0.139	—
0.711	11.4	0.091	0.045	1.04	0.506	0.090	0.044	0.119	0.058
0.840	11.6	0.090	0.044	1.05	0.506	0.090	0.044	0.120	0.058

2. Среднеквадратические значения пульсаций скорости, отнесенные к местной осредненной скорости u (интенсивности турбулентности σ_u/u , σ_v/u), неуклонно растут от свободной поверхности по направлению к дну.

3. Продольные среднеквадратические пульсации скорости σ_u значительно превышают по величине вертикальные σ_v . Это расхождение имеет место по всей вертикали, включая область вблизи свободной поверхности.

Сопоставляя факты, отмеченные в первом и втором выводах, можно сделать предположение о том, что характеристика турбулентных пульсаций скорости с помощью такого показателя, как среднеквадратические значения, отнесенные к местной осредненной скорости σ_u/u , σ_v/u , будет более рациональной, ибо приводит к простой схеме потока, не требующей разделения его на зоны, отличающиеся законом изменения относительных среднеквадратических значений пульсаций скорости, как это имеет место, если принять показатели

$$\sigma_u/u_+, \sigma_v/u_+, \sigma_u/V, \sigma_v/V, \sigma_u/V_*, \sigma_v/V_*$$

Третий вывод означает, что в бурном потоке имеет место анизотропность турбулентности по всей глубине потока. Анизотропность турбулентности вблизи стенок оказывается более существенной, чем анизотропность, наблюдаемая вблизи свободной поверхности, где отношение σ_u/σ_v оказывается порядка ~ 2 .

Измерения проводились в период с 1966 по 1967 год в Московской лаборатории регулирования речных русел и водохозяйственного баланса Государственного гидрологического института, а также в гидрофизической лаборатории МГУ им. М. В. Ломоносова. При проведении опытов автор пользовался советами К. И. Россинского и Б. А. Фидмана.