

ГИДРОТЕХНИКА

ЛЕ ПЛОК ТУП

О ДВИЖЕНИИ НАНОСОВ НА ПОВОРОТЕ ВОДОВОДА

При движении жидкости на повороте водовода наряду с продольным течением возникают поперечные скорости, которые, складываясь с продольными скоростями, придают потоку винтообразный характер.

Задача настоящего исследования заключается в том, чтобы установить влияние поперечных скоростей на распределение наносов (твердых частиц) в плоскости живого сечения потока при движении жидкости на повороте водовода. Наглядную картину этого влияния получим тогда, когда при прочих одинаковых условиях дадим решение этой же задачи для прямого участка водовода, где поперечные скорости равны нулю.

Поставленную задачу приближенно решаем следующим образом. Дифференциальное уравнение движения наносов на прямом участке водовода при равномерном движении жидкости в общем виде можно представить так:

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(A \frac{\partial s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A \frac{\partial s}{\partial z} \right) + \omega \frac{\partial s}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

где s — мутность потока в любой точке плоскости живого сечения потока; A — коэффициент турбулентного перемешивания; ω — гидравлическая крутизна наносов; z — вертикальная ось; y — поперечная ось. Начало координатной системы расположено на поверхности жидкости, ось z одновременно является осью симметрии.

Преобразовав уравнение (1) в цилиндрических координатах, получим дифференциальное уравнение движения наносов на повороте водовода

$$U_y \frac{\partial s}{\partial R} + U_z \frac{\partial s}{\partial z} = \frac{gA}{\gamma} \left(\frac{\partial^2 s}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial s}{\partial R} + \frac{\partial^2 s}{\partial z^2} \right) + \frac{g}{\gamma} \left(\frac{\partial A}{\partial R} \frac{\partial s}{\partial R} + \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial s}{\partial z} \right) + \omega \frac{\partial s}{\partial z}, \quad (2)$$

где U_y , U_z — поперечные скорости; R — радиус закругления водовода; g — ускорение силы тяжести; γ — объемная масса воды.

В уравнение (2) входят четыре неизвестные величины: U_y , U_z , A , s . Значение поперечных скоростей определяется из дифференциального уравнения [2]:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial R^2} \left(A \frac{\partial^2 F}{\partial R^2} \right) - \frac{\partial^2}{\partial R^2} \left(A \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(A \frac{\partial^2 F}{\partial R^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z^2} \left(A \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} \right) +$$

$$+ 4 \frac{\partial^2}{\partial R \partial z} \left(A \frac{\partial^2 F}{\partial R \partial z} \right) = 2\varrho U_x \frac{\partial U_x}{\partial z}, \quad (3)$$

$$\text{где } U_y = -\frac{1}{R} \frac{\partial F}{\partial R}; \quad U_z = \frac{1}{R} \frac{\partial F}{\partial R}; \quad (4)$$

$F(x, y)$ — функции поперечной циркуляции; U_x — продольная скорость частицы жидкости до поворота водовода; ϱ — плотность жидкости.

Значение коэффициента турбулентного перемешивания определяется из дифференциального уравнения

$$\frac{\partial}{\partial R} \left(A \frac{\partial U_x}{\partial R} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A \frac{\partial U_x}{\partial z} \right) = g\varrho i, \quad (5)$$

которое по существу является обобщенным выражением общезвестной зависимости

$$A = \varrho \frac{gih}{\frac{dU_x}{dz}}, \quad (6)$$

где h — глубина потока; i — продольный уклон для водовода.

Таким образом, уравнения (2), (3) и (5) составляют замкнутую систему, если считать, что закон распределения продольных скоростей до поворота известен.

Для примера примем, что закон продольных скоростей на прямом участке водовода изменяется по закону Базея:

$$U_x = U_0 - U_{cp} \frac{m}{C} \left[\left(\frac{z}{h} \right)^2 + \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right], \quad (7)$$

где U_0 — значение продольных скоростей на поверхности потока; U_{cp} — средняя скорости по сечению водовода ($U_{cp} = Q/\omega$); C — коэффициент Шези; m — постоянная.

Решение дифференциального уравнения (3) при нулевых значениях скоростей U_y, U_z для направленного к нормали контура водовода прямоугольного сечения при заданном значении U_x по (7) после преобразования можно представить в следующем виде [3]:

$$U_y = M_1 \left[i \cos \frac{\pi y}{2b} + \left(\frac{y}{b} \right)^2 - 1 \right] \left[\mu \pi \cos \frac{\pi z}{h} + 3 \left(\frac{z}{h} \right)^2 - 1 \right]; \quad (8)$$

$$U_z = M_2 \left[-\frac{i\pi}{2} \sin \frac{\pi y}{2b} + 2 \left(\frac{y}{b} \right) \right] \left[\mu \sin \frac{\pi z}{h} + \frac{z}{h} \left(\frac{z^2}{h^2} - 1 \right) \right], \quad (9)$$

$$\text{где } M_1 = \frac{4\rho}{A_{cp}} \frac{m}{C} \frac{U_{cp} U_0}{R} b^2 M_0; \quad M_2 = -\frac{4\rho}{A_{cp}} \frac{m}{C} \frac{U_{cp} U_0}{R} hb M_0; \quad (10)$$

M_0, λ, ρ — постоянные коэффициенты, значения которых приведены в [3].

При определении значений коэффициентов турбулентного перемешивания для упрощения задачи взамен уравнения (5) будем пользоваться гипотезой о пропорциональности коэффициента турбулентного перемешивания местным продольным скоростям, т. е.

$$A = KU_z. \quad (11)$$

По известным значениям U_y, U_z и A из уравнений (1) и (2) можно определить распределение мутности в плоскости живого сечения потока до поворота и на повороте водотока. Задача решается численным методом. Для этого представим эти уравнения в конечно-разностном виде. Уравнение (2) примет вид:

$$\frac{\kappa A}{\gamma} \left| \frac{S_{n-1,k} + S_{n+1,k} - 2S_{n,k}}{\Delta y^2} + \frac{S_{k+1,n} + S_{k-1,n} - 2S_{k,n}}{\Delta z^2} \right| + \left| \frac{\kappa}{\gamma} \frac{(A_{n+1,k} - A_{n,k})}{\Delta y} + \frac{\kappa A}{\gamma R} - U_y \left| \frac{(S_{n-1,k} - S_{n,k})}{\Delta z^2} + \left| \frac{g}{\gamma} \frac{(A_{k+1,n} - A_{k,n})}{\Delta z} + \omega - U_z \right| \right. \right. \\ \left. \left. \frac{(S_{k+1,n} - S_{k,n})}{\Delta z} \right| = 0, \quad (12)$$

где $\Delta y, \Delta z$ — шаги по направлениям осей y, z (рис. 1).

При заданных значениях M_1, M_2, ω, K по формулам (7) — (11) вычисляются значения U_y, U_z и A для узловых точек сетки (рис. 1).

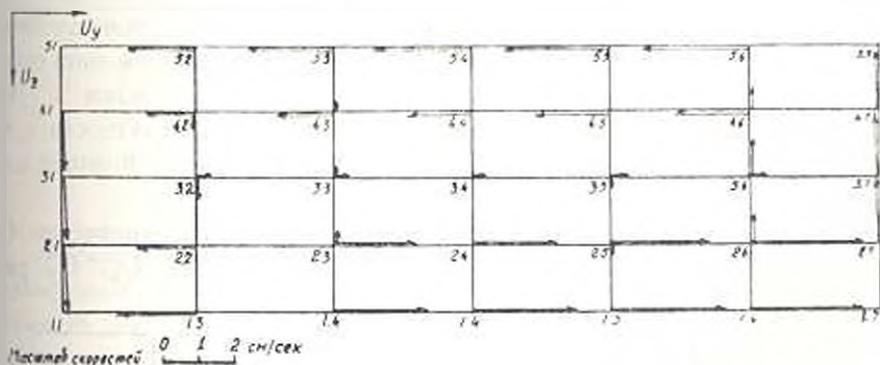


Рис. 1. Схема распределения поперечных скоростей U_y и U_z .

Граничными условиями для уравнения (12) являются значения мутности потока на контуре водотока. Для определения мутности потока в придонном слое поступаем следующим образом.

Используя известные формулы Великанова М. А., Егизарова П. В. и др. о транспортирующей способности потока, придонную мутность для плоско-параллельного потока в обобщенном виде можно представить следующим образом:

$$s_0 = D s^2 s; \quad (13)$$

$$\tau = \gamma h i, \quad (14)$$

где D — коэффициент, численное значение которого, если в основу взять формулу Великанова М. А. [4], можно определить по формуле

$$D = \frac{0,0022}{\gamma h s z^2}, \quad (15)$$

где x — постоянная Кармана; z — постоянная.

Используя (13), при наличии поперечных скоростей выражение придонной мутиности потока на повороте водовода можно представить в следующем виде:

$$s = D(\tau_1 + \tau_2). \quad (16)$$

Значения придонных касательных скоростей τ_1 , τ_2 определяются по формулам:

$$\tau_1 = \gamma h i; \quad (17)$$

$$\tau_2 = A \left(\frac{\partial U_z}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial z} \right). \quad (18)$$

Используя выражения (8) и (9), по формуле (18) нетрудно определить значение τ_2 . Значение мутиности для соответствующих точек придонного слоя потока определяется по (15).

Результаты этих расчетов приведены на рис. 1.

После такой подготовительной работы приступили к составлению системы алгебраических уравнений, используя при этом конечно-разностные уравнения (12). Нетрудно заметить, что при этом число неизвестных s , будет равняться числу узловых точек, поэтому точность расчета можно увеличить за счет уменьшения шага сетки. В данном случае имеем 28 уравнений с 28-ю неизвестными s_k . Решение этой системы на ЭВМ дает искомые значения мутиности в узловых точках сетки (рис. 1). Результаты этих расчетов приведены на рис. 2 в виде изолиний мутиности.

Аналогичным образом были выполнены расчеты по уравнению (1) для прямого участка водовода, где поперечные скорости U_z , U_y рав-

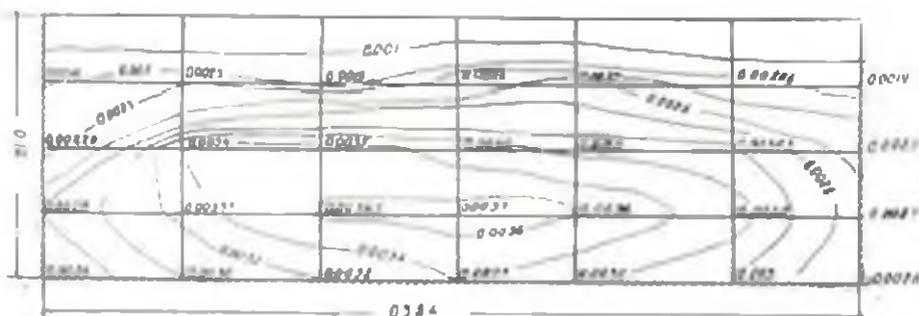


Рис. 2. Изолинии мутиности в циркуляционном потоке

ны нулю. Результаты этих расчетов в виде изолиний мутности приведены на рис. 3.

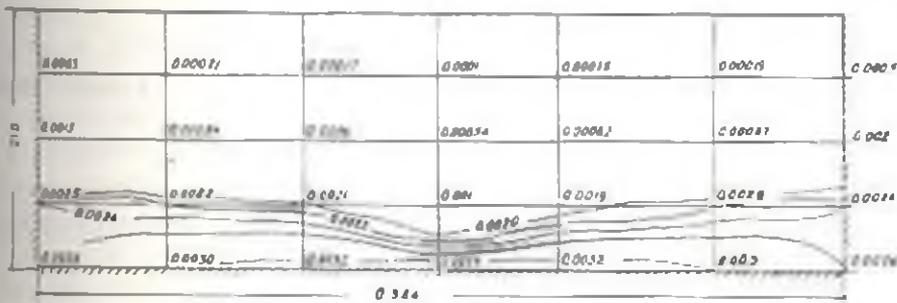


Рис. 3. Изолинии мутности в параллельно-струйном потоке

Сопоставляя изолинии мутностей, приведенные на рис. 2 и 3, нетрудно заметить влияние поперечных скоростей на перераспределение твердых частиц по сечению водовода.

Из данных рис. 2 видно, что на повороте водовода центральная часть потока (зона больших продольных скоростей) активно участвует в процессе переноса твердых частиц во взвешенном состоянии. Этим и объясняется установленный практикой закон о возможности повышения транспортирующей способности потока циркуляционным течением.

Используя этот закон в гидротехнике, разработаны целые системы инженерных мероприятий для борьбы с заилением напорных и безнапорных водоводов, водоприемных сооружений, отстойников и т. д.

ЭрIII км. К. Маркса

Получено 24.II.1975

Լ Ե Վ Ի Կ Ի Տ Ի Ե Յ

ՀՐԱՏԱՐԻ ԱՐՐԱՆՈՒՄ ԶՐԱՅԵՐՈՒԿՆԵՐԻ ՀԱՐՄԱՆ ՎԵՐԱԵՐՅԱԿ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ս Ը

Հողվածը նվիրված է ջրատարի ուղղանում երկֆազ հոսքի պլազմային օրինաչափությունների բացահայտմանը: Ուսումնասիրության հիմքում ընկած են շոքս դիֆերենցիալ հավասարումներ, աչք թվում՝ ջրարերուկների շարժման հավասարումը, լայնական արագությունները և տուրբուլենտ խառնման գործակիցը որոշելու հավասարումները: Ընդունվում է, որ լայնական արագությունների բաշխումը մինչև ուղղանք նախօրոք տրված է:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Аняян А. К. О взвешивании мутности в потоке с поперечной циркуляцией. ДАН СССР, т. 109, №2, 1956.
2. Аняян А. К. Уравнения движения турбулентного потока на повороте водовода. ДАН СССР, т. XСII, № 1, 1973.
3. Аняян А. К. Движение жидкости на повороте водовода. Изд. ИА АрмССР, Ереван, 1957.
4. Велшман М. А. Движение наносов. Издательство речного флота, М., 1948.