

ГИДРАВЛИКА

Р. А. ОВНЯНИН

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АЭРИРОВАННОГО ПОТОКА ПРИ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ

Исследованию аэрации водных потоков на быстротоках посвящено довольно много работ теоретического и экспериментального характера, главной задачей которых является определение гидравлических параметров аэрированного потока.

В [1] отмечена целесообразность применения в расчетах двухслойной модели аэрированного потока: водовоздушный и воздушнокапельный. Там же приводятся зависимости для определения параметров водовоздушного потока. Расход воды и этой части определяется по формуле:

$$Q_n = b h_n (1 - C_{\text{в}}) u_{\text{ср}} \quad (1)$$

где h_n — глубина водовоздушного потока; b — ширина подтока; $u_{\text{ср}}$ — средняя скорости водовоздушного потока; $C_{\text{в}}$ — средняя концентрация воздуха в водовоздушном потоке.

Для определения расхода воды в воздушнокапельной части, выясним вопрос о распределении водяных капель в указанной части аэрированного потока.

Распределение водяных капель в аэрированном потоке. Наблюдения показывают, что при аэрации происходит отрыв капель воды от потока, которые вместе с движущимся воздухом составляют воздушнокапельный поток. Капли воды выбрасываются из потока и под действием поперечных составляющих пульсационных скоростей $u_{\text{п}}$. Так как последние являются случайными величинами и подчиняются нормальному закону распределения [2], то естественно предположить, что распределение капель воды в воздушнокапельном потоке также подчиняется этому закону.

Количество капель воды на расстоянии x_2 от поверхности раздела (рис. 1) на основании теории вероятностей может быть определено по формуле:

$$S(x_2) = \frac{1}{h} \exp \left[- \left(\frac{x_2}{k} \right)^2 \right] \quad (2)$$

где h_k — максимальная высота отлета капли от поверхности раздела, которая при принятом нормальном законе распределения капля (случайных величин) равна [3]:

$$h_k = 3h. \quad (6)$$

Имея ввиду, что h (или h_k) зависит от вертикальной составляющей пульсационной скорости u_v , т. е.

$$h = f\left(\frac{\overline{u_v^2}}{2g}\right), \quad (7)$$

а $\overline{u_v^2} = Ku_v^2 = KgR \sin \theta$ (где K — коэффициент пропорциональности), по данным опытов построен график зависимости h от $R \sin \theta$, который приведен на рис. 2.

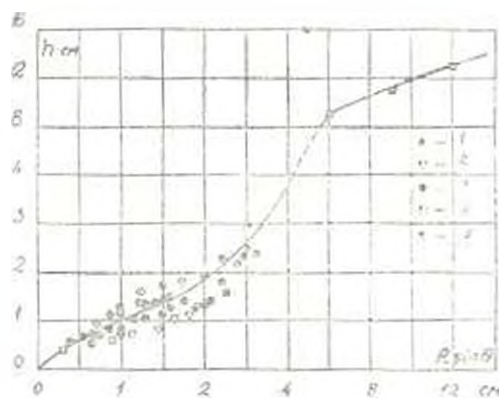


Рис. 2. Зависимость h от $R \sin \theta$

Если в уравнение (4) подставить значение u_k из (5), то с учетом (6) получится:

$$Q_k = bu_k S_n h \quad (8)$$

или

$$Q_k = \alpha_1 u_{\text{аэр}} b S_n h, \quad (9)$$

где $\alpha_1 = \frac{u_k}{u_{\text{аэр}}}$, значение которого по данным опытов находится в пределах от 0,9 до 0,99.

Скорость $u_{\text{аэр}}$ удобно определить через среднюю скорость неварированного потока u_0 . Если примем, что структура формулы Шези в обоих случаях та же самая, то, исходя из этого, между скоростями получим следующую связь:

$$u_{\text{аэр}} = \alpha_0 \sqrt{\frac{i}{l_{\text{а-р}}}}. \quad (10)$$

В зависимости от средней концентрации воздуха и водовоздуш-

ном потоке значения отношений коэффициентов сопротивления $\frac{K}{R^2}$ находятся в пределах от 1,0 до 1,26 [1].

Основная расчетная формула. Гидравлический расчет аэрированного потока сводится к использованию зависимостей, полученных в [1] и в настоящей работе для определения параметров аэрированного потока. Основным расчетным уравнением является уравнение баланса расходов воды в обеих частях аэрированного потока:

$$Q = Q_0 + Q_a \quad (11)$$

Из уравнения (11) определяем глубину водовоздушной части

$$h_a = \frac{Q - Q_0}{b(1 - C_0 \sin \theta)} \quad (12)$$

Полная глубина аэрированного потока h_d определяется как сумма глубин двух потоков

$$h_d = h_0 + h_a = h_0 + 3h_a \quad (13)$$

Ниже приводится пример гидравлического расчета аэрированного потока при следующих данных: расход воды $Q = 27 \text{ м}^3/\text{сек}$; уклон дна $\sin \theta = 0,44$; коэффициент шероховатости $n = 0,016$; ширина быстроготока $b = 3,5 \text{ м}$ (сечение прямоугольное); длина быстроготока 360 м.

Расчет ведется в следующей последовательности.

1) Определяем гидравлические элементы потока при равномерном движении (без учета аэрации), см. табл. 1.

Таблица 1

b	R_0	n_0	γ_0	R_0	C_0	n_0	Q
3,5	0,4	1,4	1,8	0,326	51,7	19,6	27

2) По формуле Войнич-Сяноженцкого [5] определяем критическое значение скорости $v_{кр}^{кр}$, при котором возникает явление аэрации

$$v_{кр}^{кр} = 6,63 \left[gK \cos \theta \left(1 - \frac{0,0023}{R^2} \right) \right]^{1/2} \left(1 - 8,7 \frac{n}{R^{1,6}} \right)^{-1} =$$

$$= 6,63 \left[9,81 \cdot 0,326 \cdot 0,898 \left(1 - \frac{0,0023}{0,326^2} \right) \right]^{1/2} \cdot \left(1 - 8,7 \frac{0,016}{0,326^{1,6}} \right)^{-1} =$$

$$= 9,8 \text{ м/сек.}$$

Скорость равномерного движения $v_0 > v_{кр}^{кр}$. Следовательно, поток на быстроготоке аэрирован. (Если $v_0 < v_{кр}^{кр}$, то поток не аэрирован.)

3) Определяем критическую глубину потока. Для прямоугольного сечения:

При довольно большой длине быстроготока и тем возрастает подпопной режым движения. Поэтому при расчете проверяют: с какого угла на быстроготоке возникает подпопное движение? Метод расчета быстроготока на подпопное движение подробно изложен в работе [1].

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{2Q^2}{gb^2}} = \sqrt[3]{\frac{1,05 \cdot 27^2}{9,81 \cdot 3,5^2}} = 1,85 \text{ м.}$$

4) Для определения местоположения створа, в котором возникает аэрация, пользуемся следующим графическим способом: задаваясь значением глубины H в пределах $H_0 \leq H \leq h_{кр}$ (см. табл. 2), строим кривые зависимости $v_{кр} = f(H)$ и $u = \frac{Q}{bH} = g(H)$. Точка пересечения этих кривых (рис. 3) укажет глубину и скорость в створе, где бу-

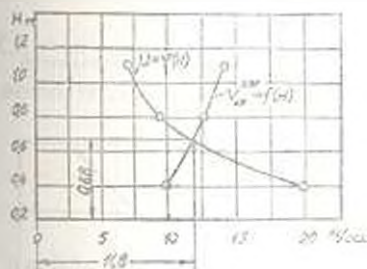


Рис. 3. Определение глубины и скорости потока в створе начала аэрации.

дет наблюдаться явление аэрации потока, а именно: $H = 0,68 \text{ м}$ и $u = 11,8 \text{ м/сек}$.

Таблица 2

H	R	$v_{кр}$	u
0,4	0,326	9,8	14,69
0,8	0,550	12,6	9,65
1,1	0,675	14,0	7,00

Расстояние створа от начала быстротока, где возникает явление аэрации, определяется по формуле установившегося неравномерного движения:

$$\frac{l}{H_0} \sin \theta = \tau_0 - \tau_1 - (1 - f_0)[\tau(\tau_0) - \tau(\tau_1)].$$

Для приведенного примера это расстояние равно 12 м.

5) Определяем среднюю высоту отлета капель воды h из графика рис. 2. Для значения $R, \sin \theta = 0,326 \cdot 0,41 = 0,133 \text{ м}$ $h = 0,13 \text{ м}$.

6) Определяем среднюю концентрацию воздуха и подовоздушной части потока по формуле [1]:

$$C_{ср} = \frac{2,3}{m} \lg \frac{1 + x}{1 + xe^{-x}},$$

где

$$x = \frac{C_0}{1 - C_0}; \quad m = \frac{u \cos \theta}{g \pi_0}.$$

При

$$\sin \theta > 0,4, \quad C_n = 0,7 \sin \theta + 0,23 = 0,54 \text{ и } \alpha = 1,17$$

$$u_* = \sqrt{\frac{g R_0 \sin \theta}{C_n}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 0,326 \cdot 0,41}{1,17}} = 1,18 \text{ м/сек.}$$

Коэффициент β определяем на графика (рис. 4) в зависимости от величины

$$\frac{2\alpha \sin 2\theta}{u_*} = \frac{2 \cdot 0,24 \cdot 0,79}{1,18} = 0,322$$

чему соответствует значение $\beta = 0,04$. Далее находим: $m = 4,55$; $C_{1p} = 1,168$.

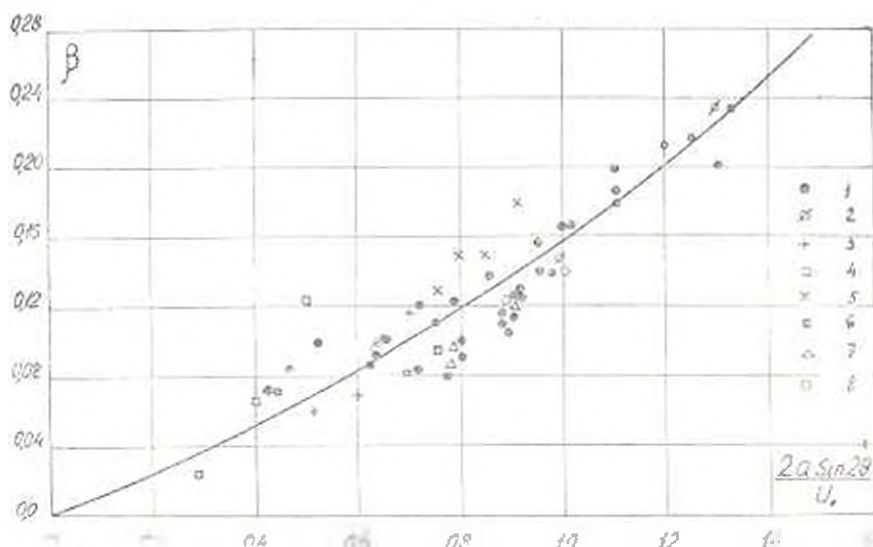


Рис. 4. Зависимость β от $2\alpha \sin 2\theta$ по опытам: 1—Страуба и Андерсона; 2—Страуба и Лемба; 3—на быстроте Гисландона; 4—на быстроте Ая-Геле; 5—Хальбрюна; 6—Исаевича; 7—Грандкото; 8—Овьян

7) Определяем значение отношения коэффициентов сопротивления по формуле [1]:

$$\frac{\lambda_{2p}}{\lambda} = \frac{2,3}{m} \lg \frac{1}{1 + \alpha e^{-m}} + \frac{1}{1 - \alpha e^{-m}} = 0,168 + 0,982 = 1,15.$$

8) По формуле (10) определяем среднюю скорость водно-воздушной части потока:

$$v_{ср} = u_* \sqrt{\frac{\lambda}{\lambda_{2p}}} = 18,3 \text{ м/сек.}$$

9) По формуле (9) определяем расход воды в воздушнокапельной части потока, принимая $\alpha_2 = 0,9$

$$Q_k = z_1 U_{a,up} b S_{0,1} h = 0,9 \cdot 18,3 \cdot 3,5 \cdot 0,46 \cdot 0,13 = 3,46 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

10) Определяем глубину подовоздушной части потока по формуле (1):

$$h_n = \frac{Q - Q_k}{b(1 - C_{cp}) u_{a,up}} = \frac{27 - 3,46}{3,5(1 - 0,168) \cdot 18,3} = 0,44 \text{ м.}$$

11) Полная глубина аэрированного потока будет:

$$h_{a,up} = h_n + 3h = 0,44 + 3 \cdot 0,13 = 0,83 \text{ м.}$$

Армянское отделение
института „Гидропроект“

Поступило 7.VII.1970.

Ի. Ա. ՇՈՐԵԱՆՅԱՆ

ԱՆՈՒՑՎԱԾ ԶՐԱՆՈՍԱՆԻՐ ՀԻՊՐԱՎԻԿԱԿԱՆ ՀԱՎԱՍԱՐԱԶԱԿ
ՇԱՐՈՒՄԱՆ ԳԵՊԳՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Վ. Փ. Ո. Վ. Ո. Վ.

Առաջինը ջրատեսակի հիդրավիկական հաշվարկի մասին հայտնա-
գատարար է դիտել հոսանքի երկհաղ մասերը՝ բաղկացած ջրաօդային և
օդակաթիլային մասերից: Ընդ որում, ջրաօդային հոսանքի նկատմամբ հարկ
է կիրառել դիսկրետ միջավայրերին վերաբերվող համապարտմանը [1]: Ընդ
վերաբերվում է օդակաթիլային հոսանքին, որտեղ ջրի կաթիլների բաշխումը
կախված է պատահական մեծություններից, սույն առիթով է բնորոշվի հա-
վանականությունների առկայության օրինակներով: Երևելով զրանից, որտեղ և
լի էրը և կաթիլների թվերի միջին բաշխումները օդակաթիլային հոսանքում
հավանում շարունակված է աշխարհում ջրատեսակի հիդրավիկական հաշ-
վարկի մեթոդը սույն հոդվածում և [1] առաջինը բանաձևերով և բերվում է
հաշվարկի օրինակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Овчинни Р. А. Коэффициент сопротивления и распределение концентрации воздуха в аэрированных потоках. Известия АН Арм. ССР (серия Т. II), т. XXI, № 3, 1971.
2. Микский Е. М. Турбулентность речного потока. Гидрометиздат, А., 1952.
3. Вейнцель Е. С. Теория вероятностей. Физматгиз, 1962.
4. Галайдар А. О. Элементарные и комплексные исследования жидкостей в сверхбурном потоке. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 7, А., 1963.
5. Воднич-Сяноженский Т. Г., Санжаровский В. В. Критерии аэрации паводочных бурных потоков и их экспериментальная проверка, паводочные и неустойчивые движения аэрированных потоков. Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 52, А., 1969.