

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

А. А. КАРАФИЛЯН

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ПРОФИЛЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ  
 В ПЛАНЕ ВОДОСЛИВОВ

Работа посвящена теоретическому исследованию построения профиля шахтных водосливов параболического очертания и с плоским порогом с учетом сил давления воды в сечении потока и на поверхности водослива, кривизны сливного фронта в плане и шероховатости сливной поверхности.

Обозначения (рис. 1):  $v$ ,  $h$ ,  $\omega$  — скорость движения частицы жидкости из центральной струи, глубина потока на водосливе и площади сечения;  $v_0$ ,  $h_0$ ,  $\omega_0$  — те же величины на гребне водослива;  $L$  — длина сливного фронта на гребне;  $Q_0$  — расчетный расход водослива;  $Q_{\alpha}$  — расход по сектору с центральным углом  $\alpha = \chi\pi$ ;  $\chi$  — смоченный параметр;  $R_g$  — гидравлический радиус;  $p$ ,  $p_1$  — осредненное давление в сечении и действительное давление в контакте с водосливом;  $\rho$  — плотность жидкости;  $\tau_0$  — касательное напряжение в контакте с водосливом;  $t$  — время;  $\varphi$  — угол между касательной к траектории центральной струи и осью  $x$ ;  $r$  — радиус кривизны траектории центральной струи;  $n$  — коэффициент шероховатости водослива.

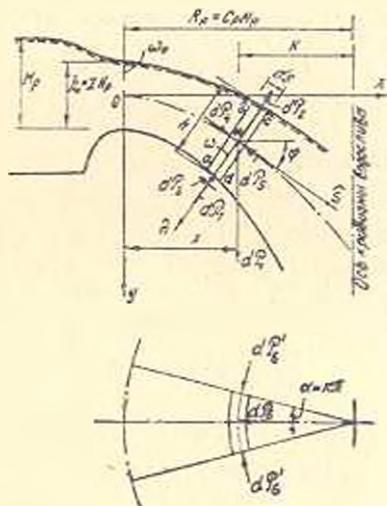


Рис. 1. Расчетная схема профилей криволинейных в плане водосливов.

Действующие силы на элементарный объем  $abcd$  следующие:

- 1) сила тяжести  $dP_1 = \rho g \omega ds$ ; 2) центробежная сила  $dP_2 = \rho \omega ds v^2 / r$ ;
- 3) сила сопротивления  $dP_3 = \tau_0 \chi ds$ ; 4) сила давления по направлению течения жидкости  $dP_4 = 2(p + 0,5dp)(h - 0,5dh)(R + 0,5ds \cos \varphi) \times \chi \sin 0,5k\pi$ ;
- 5) сила давления в направлении против течения жидкости  $dP_5 = 2(p - 0,5dp)(h + 0,5dh)(R - 0,5ds \cos \varphi) \sin 0,5k\pi$ ;
- 6) сила бокового давления  $dP_6 = p h ds$ ; 7) сила реакции  $dP_7 = p_1 \chi ds$ .

При переливе воды через водослив может происходить перераспределение давлений во всех сечениях струи. В общем случае среднее давление в сечении можно записать в виде:

$$p = k_0 \rho g h \cos \varphi, \quad (1)$$

где  $k_0$  — безразмерный коэффициент, значение которого зависит от закона распределения давлений в сечении. При безвакуумном профиле шахтного водослива:  $0 < k_0 < 0,5$ .

В зависимости от распределения давлений в сечении струи действительное давление воды в контакте с водосливом можно записать в виде:

$$p_1 = k_{01} \rho g h \cos \varphi, \quad (2)$$

где  $k_{01}$  может быть как положительным, так и отрицательным.

Принимая движение жидкости на водосливе одномерным, уравнения движения элементарного объема  $abcd$  в проекциях, касательной к траектории центральной струи и на внутреннюю нормаль, запишутся в виде:

$$\begin{cases} \rho v ds dv/dt = dP_1 \sin \varphi - dP_2 + dP_1 - dP_3 - dP_4; \\ dP_1 \cos \varphi - dP_2 - dP_3 = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Из-за малости силы сопротивления для упрощения решения задачи при составлении системы уравнений (3) принято, что сила  $dP_1$  почти параллельна с осью  $s$ .

Имея в виду, что  $Q_p = L m_p \sqrt{2gH^3}$ , где  $m_p$  — расчетное значение коэффициента расхода водослива, а  $L$  при шахтном водосливе равно  $L = 2\pi R$ :

$$\begin{aligned} Q_{kx} &= Q_p k = R_p/L; & h &= Q_{kx}/k = R_c; & R &= R_p - x; & \omega &= k = R/L; \\ x &= k = (R + 0,5h \sin \varphi); & \tau_0/v_0 &= v_0; & t &= \omega^2/C^2 R_p, \end{aligned}$$

где  $C$  — коэффициент Шези.

Выразив полную скорость в виде

$$v = v_x/\cos \varphi = \frac{dx}{dt}/\cos \varphi \quad \text{и} \quad v = v_y/\sin \varphi = \frac{dy}{dt} \sin \varphi,$$

принимая при малых углах  $\sin 0,5k\pi \approx 0,5k\pi$  и вводя обозначения

$$\begin{aligned} gx/v_0^2 &= \bar{x}, & gy/v_0^2 &= \bar{y}, & gt/v_0 &= \bar{t}, & d\bar{x}/d\bar{t} &= \bar{x}', \\ d\bar{y}/d\bar{t} &= \bar{y}', & d^2\bar{x}/d\bar{t}^2 &= \bar{x}'', & d^2\bar{y}/d\bar{t}^2 &= \bar{y}'', & R_p/H_p &= c_p, \end{aligned}$$

решение системы уравнений (3) после некоторых преобразований приведет к системе дифференциальных уравнений в безразмерных величинах [1]:

$$\begin{cases}
 \bar{x}'' = A_0 \bar{x}'^2 / a^2 \bar{v}^3 - B_0 \bar{x}'^2 \bar{y}' / a \bar{v}^6 - A_0 \bar{x}'^2 / a^2 \bar{v}^3 + k_{01} \bar{x}' \bar{y}' / \bar{y}^3 + \\
 + k_{01} B_0 \bar{x}'^2 \bar{y}' / a \bar{v}^6 + C_0 \bar{x}' \bar{y}'^2 / a^2 \bar{v}^3 + D_0 \bar{x}'^4 \bar{y}'^3 / a^3 \bar{v}^6 - \\
 - E_0 a \bar{v}^3 \bar{x}' + F_0 \bar{x}' \bar{y}' / a; \\
 \bar{y}'' = 1 + A_0 \bar{x}'^2 \bar{y}' / a^2 \bar{v}^3 - B_0 \bar{x}' \bar{y}'^2 / a \bar{v}^6 - A_0 \bar{x}' \bar{y}' / a^2 \bar{v}^3 - k_{01} \bar{x}'^2 / \bar{v}^3 + \\
 + k_{01} B_0 \bar{x}' \bar{y}'^2 / a \bar{v}^6 - C_0 \bar{x}'^2 \bar{y}' / a^2 \bar{v}^3 + D_0 \bar{x}'^4 \bar{y}'^3 / a^3 \bar{v}^6 + \\
 - E_0 a \bar{v}^3 \bar{y}' - F_0 \bar{y}'^2 / a,
 \end{cases} \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned}
 A_0 &= k_0 z / c_p; & B_0 &= k_0 z^3 / 2m_p^2; & C_0 &= k_{01}; & z / 2c_p; \\
 D_0 &= k_0 k_{01}; & z^4 / 4c_p m_p^2; & F_0 &= 2gn^2 m_p^2 / z^3 \sqrt{zH}; \\
 F_0 &= gn^2 m_p^2 / c_p z^2 \sqrt{zH}; & a &= 1 - a_0 \bar{x}; & a_0 &= 2m_p^2 / c_p z^2.
 \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь  $z = h_0 / H_p$ . Начальные условия будут:

$$\bar{t} = 0; \quad \bar{x} = 0; \quad \bar{y} = 0; \quad \bar{x}' = 1; \quad \bar{y}' = 0. \quad (6)$$

В системе уравнений (4) можно рассматривать различные частные случаи, при которых или отсутствует та или иная сила, или водослив в плане ( $R_p = \infty$ ) принимается прямолинейным. Подробнее рассмотрен случай, когда давление на поверхности равно атмосферному ( $aP_s = 0$ ,  $k_{01} = 0$ ). Предварительные численные решения на ЭВМ «Напри-2» показали, что учет сил трения  $dP_s$  и давлений  $dP_s$ ,  $dP_s$  практически не меняют очертание центральной струи. Основное отклонение очертания центральной струи относительно к очертанию, рассчитанному по методу [2], происходит только под влиянием боковых сил  $aP_s'$ . Дальнейшие вычисления проведены без учета сил  $dP_s$ ,  $dP_s$  и  $dP_s$  по системе уравнений:

$$\begin{cases}
 \bar{x}'' = A_0 \bar{x}'^2 / a^2 \bar{v}^3; \\
 \bar{y}'' = 1 + A_0 \bar{x}' \bar{y}' / a^2 \bar{v}^3.
 \end{cases} \quad (7)$$

Скорость и глубина потока на водосливе определяются формулами:

$$\begin{aligned}
 \bar{v} = v/v_0 = \sqrt{\bar{x}'' + \bar{y}''}; & \quad \bar{h} = gk/v_0^2 = z^3 c_p / 4m_p^4 \bar{v} (R_p - \bar{x}); \\
 \bar{R}_p = gR_p / \bar{v}_0^2.
 \end{aligned}$$

Сравнительный анализ показывает (рис. 2), что профиль шахтного водослива, построенный с учетом кривизны водослива в плане, отклоняется от профилей, построенных по методам [2, 3] в сторону увеличения диаметра сливной воронки (не на гребне) и вертикальной шахты. Хотя это отклонение незначительно и составляет всего 2—5%, но имея в виду, что при построении профиля по методу [2] пропускная способность шахтного водослива по данным наших лабораторных исследований всегда меньше расчетного, увеличение диаметра верти-

кальной шахты на 2—3% приводит к увеличению пропускной способности до 10% и обеспечению сброса расчетного расхода.

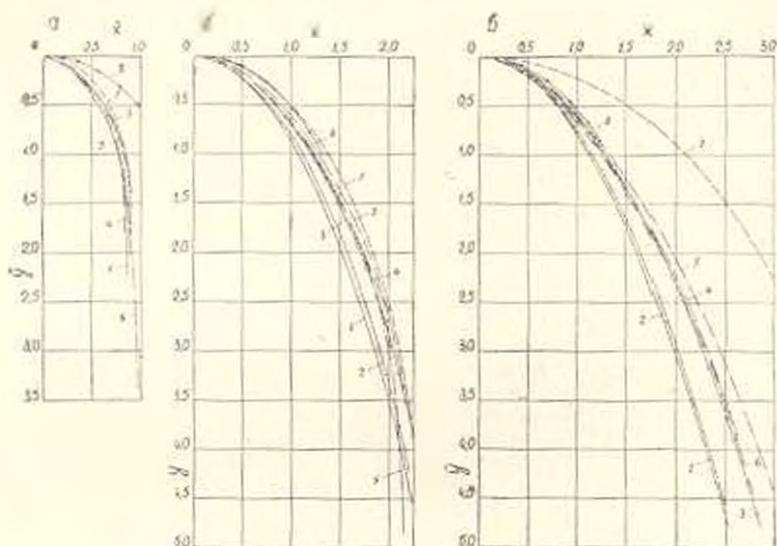


Рис. 2. Очертания поверхностей шахтного водослива практического профиля для различных значений: а)  $c_p = 2$ ; б)  $c_p = 3,5$ ; в)  $c_p = 5$ . 1 — по автору; 2 — по А. Н. Ахутину при  $m_p = 0,46 = \text{const}$ ; 3 — то же при  $m_p = f(H_p, R_p)$ ; 4 — по В. Г. Скрыге; 5 — по И. И. Романько; 6 — по В. Е. Вагнеру; 7 — по П. П. Мойсу; 8 — по А. И. Севко

Имея в виду, что учет различных сил при расчете профиля шахтного водослива не приводит к его ошутимому изменению, а наоборот усложняет этот расчет, требуя применение ЭВМ, предлагается впредь применять расчетный метод [2], вводя следующие дополнения [1]:

— для обеспечения сброса расчетного расхода диаметр вертикальной шахты определить по формуле:

$$\bar{d}_{\text{в. ш.}} = 2,36 - 0,04c_p, \quad (10)$$

которая получена с помощью аппроксимации кривой зависимости

$$\bar{d}_{\text{в. ш.}} = f(c_p);$$

— учитывать влияние различных факторов при расчете значения коэффициента расхода  $m_p$ .

Полученная система дифференциальных уравнений (1) при известных значениях коэффициента  $k_0$ , дает возможность рассчитать очертания водосливов с положительным или отрицательным (вакуумный профиль) давлением. Для определения значения  $k_0$ , необходимо провести некоторые дополнительные эксперименты по выявлению закономерности изменения давления по глубине переливающегося слоя воды на водосливе.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Каринфилян А. А.* Гидравлические исследования и методика расчета шахтных водосливов.— Дис. — канд. техн. наук — Ереван, 1978.— 221 с.
2. *Ахитян А. Н.* Шахтные водосливы.— Гидротехническое строительство, 1965, № 1, с. 18—22.
3. *Мойс П. П.* Шахтные водосбросы. Библиотека гидротехника и гидроэнергетики, вып. 15.— М.: Энергия, 1970.— 79 с.