

ГИДРАВЛИКА

Վ. Օ. ТОКМАԶՅԱՆ, Դ. Ո. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

К ГИДРАВЛИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ ШАХТНОГО ВОДОСЛИВА

Существующий метод расчета шахтного водослива предложен А. Н. Ахутиным [1]. Радиус шахтного водослива определяется на основе универсальной формулы водослива:

$$R_1 = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{Q}{m \sqrt{2gH^3}} + ts \right), \quad (1)$$

где  $m$ ,  $H$  — коэффициент расхода и напор водослива;  $t$ ,  $s$  — число и ширина бычков;  $\varepsilon$  — коэффициент сжатия, принимаемый в среднем 0,9 (при наличии бычков).

При  $2 < R_1/H < 5$  применяется водослив с практическим профилем, а при  $R_1/H > 7$  — с плоским гребнем. Длину гребня берут  $3,5 H < B < (0,4 - 0,5) R_1$ , а угол наклона —  $\varphi = 6^\circ - 9^\circ$  (рис. 1). Далее принимается, что в конце гребня глубина равна  $0,65 H$ .

Профиль водослива делается безвакуумным, а диаметры шахты и отводящего тоннеля принимаются из расчета, чтобы весь напор  $H_1$  затрачивался для преодоления гидравлических сопротивлений в напорной системе. Аналогичен и расчет шахтного водослива с практическим профилем без плоского гребня.

Имеем следующие возражения к отмеченному методу.

1. Формула водослива (1) приемлема для случая, когда в начальном сечении геометрический уклон больше критического ( $i_0 = \sin \varphi > i_{cr}$ ) и водослив является не подтопленным.

2. Значение глубины в конце гребня, принятое  $0,65 H$ , является грубо приближенным и необоснованным. Оно зависит от значений исходных гидравлических параметров.

3. Безвакуумный профиль не всегда является рациональным и даже возможным. При больших расходах и малых напорах  $H$  диаметры поронки, шахты и тоннеля получаются большими. Пересечение кривых свободных поверхностей струй на оси происходит на большой глубине. Возможно также, что пересечение будет на глубине больше фактической  $H_1$ . При безвакуумном профиле уменьшается общий напор системы  $H_1$ , что приводит к увеличению диаметров шахты и отводящего тоннеля. Нам кажется целесообразным профиль водослива выбрать напорным, с близким пересечением кривых свободной поверхности, что

обеспечивает меньшие значения диаметров шахты и тоннеля и экономически более выгодно.

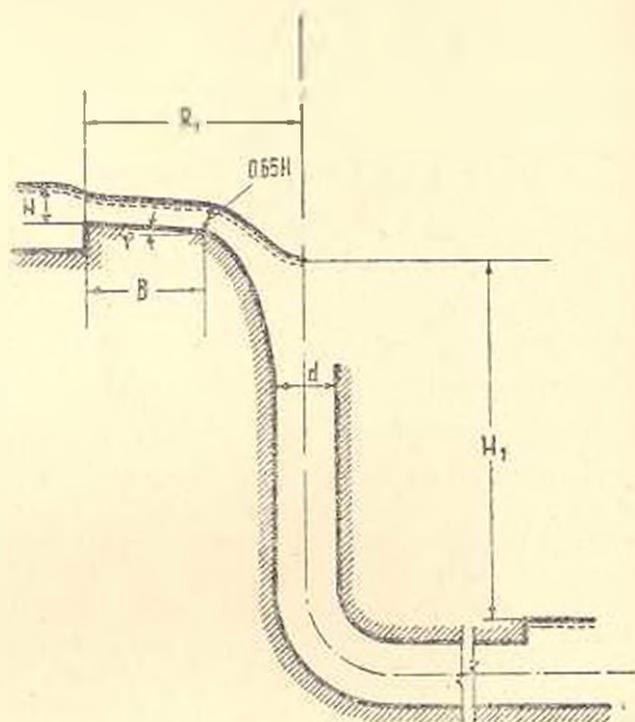


Рис. 1.

4. Метод не дает возможности гидравлического расчета в случае подтопленного водослива и водослива при расходах и диаметрах тоннеля и шахты, отличных от расчетного.

5. Полная средняя скорость в произвольном сечении струи ( $v_n$ ) [1] определяется неточно:

$$v_n = \sqrt{v_1^2 + 2gy + 2v_1 \sin \alpha + 2gy}. \quad (2)$$

Третий член под корнем не существует, что легко доказать по энергетическому балансу:

$$\frac{mv_n^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + mgy. \quad (3)$$

где  $m$  — масса воды,  $v_1$  — средняя скорость в начальном сечении (в конце гребня);  $y$  — ордината оси произвольного сечения, считая от начального.

Нами предлагается новый метод гидравлического расчета шахтного водослива, рассматривая движение воды на участке плоского гребня и водосливного профиля любого заданного очертания как неравномерное движение с радиальными линиями тока в плане и криволинейными живыми сечениями по нормали к движению.

Построение кривой свободной поверхности на участке плоского гребня проводится интегрированием на ЭВМ дифференциального уравнения неравномерного движения в цилиндрических координатах [2], которое для данной расчетной схемы имеет вид:

$$\frac{dh}{dr} = \frac{-\sin \varphi + \frac{\alpha q^2}{gr^2 h^3} \left( \frac{n^2 g}{\alpha h^{2\alpha}} + \frac{h}{r} \right)}{\cos \varphi - \frac{\alpha q^2}{gr^2 h^3}} \quad (4)$$

где  $i_0 = \sin \varphi$  — уклон гребня;  $\alpha$  — коэффициент неравномерного распределения скоростей (принимается  $\alpha = 1.1$ );  $h$  — глубина потока;  $r$  — радиус произвольного сечения;  $n$  — коэффициент шероховатости;  $q$  — показатель в формуле Павловского;  $q = \frac{Q}{2\pi}$  — удельный расход.

Граничными условиями будут при:  $r = R_1$ ;  $h = h_{cr}$  ( $R_1$  — радиус гребня водослива;  $h_{cr}$  — критическая глубина).

Анализ уравнения (4) показывает, что для бурного потока по направлению уменьшения радиуса  $r$  (направления движения) геометрическое падение ( $i_0$ ) уменьшает, а гидравлические сопротивления (член  $q^2 n^2 / r^2 h^{3+2\alpha}$ ) и сужение русла (член  $\alpha q^2 / gh^2 r^2$ ) увеличивают глубину. В результате глубина вдоль плоского порога может меняться в довольно широком диапазоне.

Гидравлический расчет воронки сводится к интегрированию дифференциального уравнения неравномерного движения с учетом криволинейности дна по заданному закону профиля, которое имеет вид [3]:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{\left(1 + h \frac{d\varphi}{dl}\right) \sin \varphi - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} \left[1 - \frac{\alpha C^2 R}{g \omega} \left(1 - k \frac{h}{R_0}\right) \frac{d\omega}{dl}\right]}{\cos \varphi - \frac{\alpha Q^2}{g \omega^3} \left[ \left(1 - k \frac{h}{R_0}\right) \frac{d\omega}{dh} + k \frac{\omega}{2R_0} \right]} \quad (5)$$

где  $\varphi$  — угол между вертикалью и направлением данного сечения;  $k$  — коэффициент коррекции ( $k \approx 1.0$ ).

В случае, когда профиль воронки представляет дугу окружности, имеем  $dl = R_0 d\varphi$  ( $R_0$  — радиус кривизны). Площадь живого сечения в нормальном направлении определяется выражением  $\omega = 2\pi r h$ , где  $r$  — средний радиус сечения, равный:

$$r = R_2 - (R_0 \pm 0.5h) \sin \varphi + R_0 \sin \varphi_0 \quad (6)$$

Здесь  $R_2$  — начальный радиус воронки (рис. 2);  $\alpha = 2\pi(r + 0.5h \sin \varphi)$  — смоченный периметр.

Имея в виду, что

$$\frac{d\omega}{dl} = -2\pi h \left(1 + \frac{h}{2R_0}\right) \cos \varphi, \quad \frac{d\omega}{dh} = 2\pi(r - 0.5h \sin \varphi)$$

и принимая коэффициент Шези по формуле Павловского  $C = \frac{1}{n} R^x$ , после преобразований получим:

$$\frac{dh}{d\varphi} = \frac{X}{Y} \quad (7)$$

где

$$X = (R_0 + h) \sin \varphi - \frac{\alpha q^2 R_0}{gr^2 h^3} \left[ \frac{n^2 g \left(1 + \frac{h}{2r} \sin \varphi\right)^{2y+1}}{\alpha h^{2y}} + \right. \\ \left. + \frac{h}{r} \left(1 + \frac{h}{2R_0}\right) \left(1 - k \frac{h}{R_0}\right) \cos \varphi \right], \\ Y = \cos \varphi - \frac{\alpha q^2}{gh^3 r^3} \left[ r \left(1 - \frac{kh}{2R_0}\right) - \frac{h \sin \varphi}{2} \left(1 - \frac{kh}{R_0}\right) \right].$$

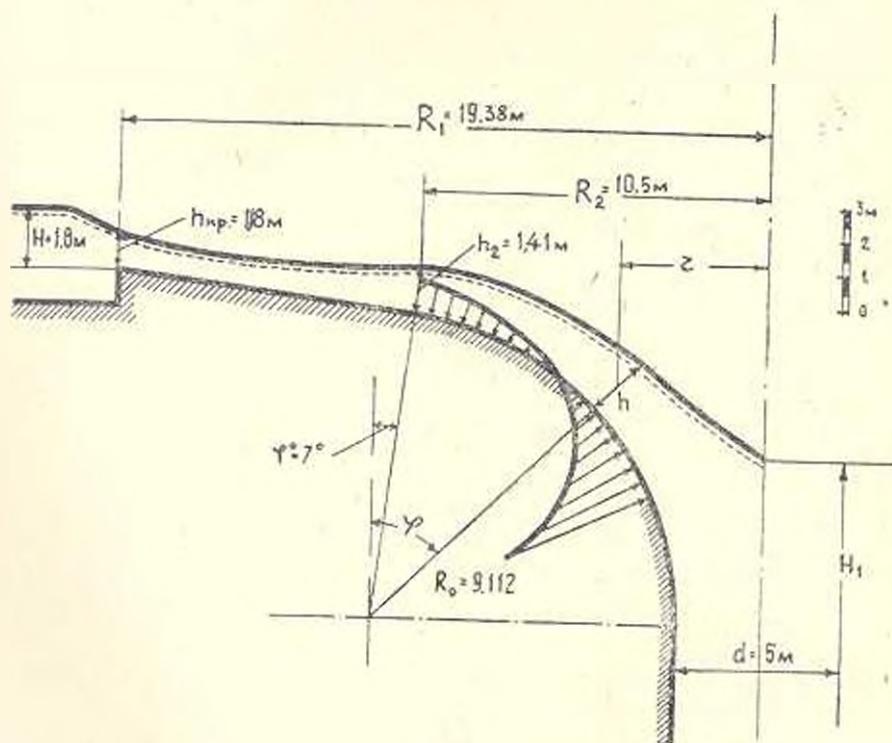


Рис. 2.

Интегрирование (7) на ЭВМ производится аналогично методу, приведенному в [5], и по результатам вычислений строится кривая свободной поверхности на участке воронки.

Давление на поверхности профиля воронки до пересечения кривой свободной поверхности с осью, с учетом его отклонения от гидростатического определится по формуле [4]:

$$\frac{P}{\gamma} = h \cos \varphi - \frac{h v^2}{g R_0} \quad (8)$$

Диаметр отводящего тоннеля определяется из вышеуказанного принципа.

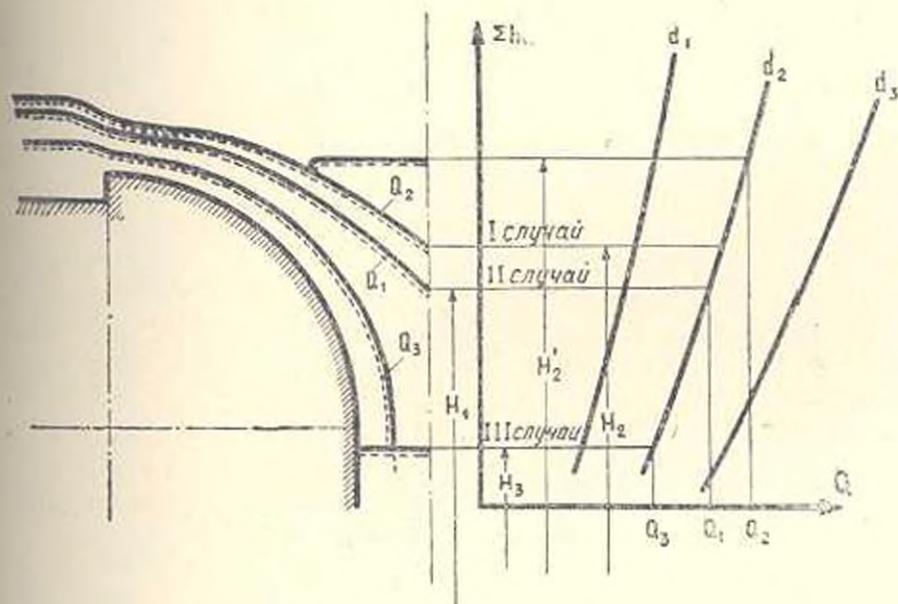


Рис. 3.

Предложенный метод дает возможность провести гидравлический расчет при разных режимах работы шахтного водослива, в том числе и при подтопленном режиме. Пусть в первом случае (рис. 3) при расчетном расходе  $Q_1$  пересечение кривой свободной поверхности с осью происходит на высоте, которая обеспечивает равенство напора  $H_1$  и гидравлических потерь энергии  $\sum h_n$ . Во втором случае при расходе  $Q_2$  пересечение происходит на высоте  $H_2$ . В этом случае образуется круглый гидравлический прыжок и в спокойном режиме уровень над воронкой становится равным  $H_2 = \sum h_n$ , что обеспечивает пропуск данного расхода. Когда уровень при спокойном режиме вследствие круглого прыжка будет выше отметки начала гребня водослива плюс критическая глубина, шахтный водослив работает в подтопленном режиме.

Расход подтопленного водослива определится:

$$Q = \epsilon m (2R_1 - ts) h \sqrt{2g(H - h)}, \quad (9)$$

где  $h$  — возвышение уровня воды в воронке над начальной отметкой гребня.

В третьем случае расход водослива  $Q_3$  настолько мал, что кривая свободной поверхности не пересекается с осью. При этом в шахте установится уровень воды, соответствующий гидравлическим потерям напо-

ра  $H_1 = \sum h_n$ . Нанесение характеристических семейств кривых позволяет анализировать работу шахтного водослива при разных диаметрах тоннеля.

*Пример:*  $Q = 469 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $H = 1,8 \text{ м}$ ;  $d = 5,0 \text{ м}$ ;  $R = 9,11 \text{ м}$ .

Определяем  $R_1$  по (1) —  $R_1 = 19,38 \text{ м}$  и принимаем  $\varphi = 7^\circ$ ,  $B = 8,89 \text{ м}$ .

Критическая глубина в начале гребня без бычков будет:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{xQ^2}{(2\pi R_1)^2 g \cos \varphi}}$$

Интегрируя на ЭВМ уравнение (5) с начальными координатами  $r_1 = R_1 = 19,38 \text{ м}$ ,  $h_1 = h_{кр} = 1,19 \text{ м}$ , получим координаты кривой свободной поверхности до конца плоского гребня. С этого сечения интегрирование производится по (7) до пересечения кривой свободной поверхности с осью шахты. Одновременно определяется и давление вдоль профиля воронки.

На рис. 2 дана кривая свободной поверхности и эпюра давления для указанного примера.

Учет гидравлических сопротивлений незначительно влияет на результаты вычислений и в практических расчетах ими можно в большинстве случаев пренебречь. Указанное условие не только облегчает расчет, но и позволяет его вести при любом сложном профиле, используя метод непосредственного применения уравнения Бернулли.

## Выводы

1. Существующий метод гидравлического расчета шахтного водослива имеет существенные недостатки и нуждается в усовершенствовании.

2. В предлагаемом методе гидравлического расчета шахтного водослива движение воды на участке плоского гребня и водосливной воронки рассматривается как неравномерное с радиальными линиями тока в плане и криволинейными живыми сечениями по нормали к движению.

3. В основу расчетов принимается дифференциальное уравнение неравномерного движения в открытом русле с криволинейным дном, с учетом отклонения давления от гидростатического вследствие воздействия центробежных сил.

4. Предложенный метод позволяет проводить гидравлический расчет шахтного водослива при разных режимах работы.

ЕрIII

им. К. Маркса

Поступило 17.IV 1978

Վ. Շ. ԹՈՐՄԱԶՅԱՆ, Ն. Ի. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՀՈՐԱՆԱՅԻՆ ՋՐԱԹԱՓԻ ՀԻԳՐԱՎԼԻԿԱԿԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո Վ ի ո յ մ

Առաջարկվում է հորանային ջրթափի հիդրավիկական հաշվարկի նոր մեթոդ, որում ջրի շարժումը ջրաթափի շեմքի և ձաղարի վրա դիտարկվում է որպես պլանում շառավիղային հոսքի դժերով և կորագիծ կենդանի կտրվածքներով անհավասարաչափ շարժում: Խնդրի լուծումը հանդում է էՉՄ-ի օգնությամբ շեմքի և ձաղարի մասում անհավասարաչափ շարժման դիֆերենցիալ հավասարման ինտեգրմանը: Առաջարկված մեթոդը հնարավորություն է տալիս կատարելու ջրթափի հիդրավիկական հաշվարկը տարբեր ելքերի և ջրաթափերի սյրոֆիլների համար ինչպես շտուգված, այնպես էլ ստղված ռեժիմների դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Справочник по гидротехнике. М., Госстройиздат, 1955, с. 115.
2. Թոկմաճյան Վ. Օ. Растекание круглой вертикальной струи при встрече с конической поверхностью. Сб. науч. тр. ЕрПИИ, сер. «Строительство и архитектура», т. 26, 1975, с. 160—166.
3. Թոկմաճյան Վ. Օ. О гидравлическом расчете каналов с криволинейным дном. «Известия АН Арм ССР (серия Т. Н.)», т. XXXI, № 3, 1978.
4. Թոկմաճյան Վ. Օ. Распределение давления в каналах с криволинейным дном. Междуз. сб. науч. тр. ЕрПИИ «Строительство и архитектура», сер. XII, вып. 2, Ереван, 1976, с. 268—270.
5. Թոկմաճյան Վ. Օ. К интегрированию дифференциального уравнения неравномерного движения жидкости в открытых руслах. Междуз. сб. науч. тр. ЕрПИИ «Строительство и архитектура», сер. XII, вып. 3, Ереван, 1977, с. 150.