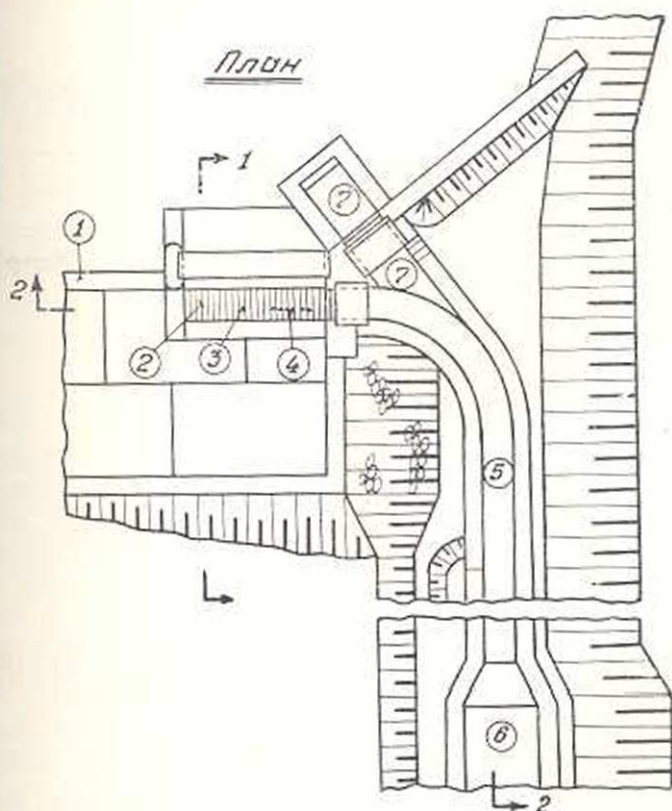


ГИДРАВЛИКА

Х. А. Навоян

Пропускная способность донной решетки горного водозабора

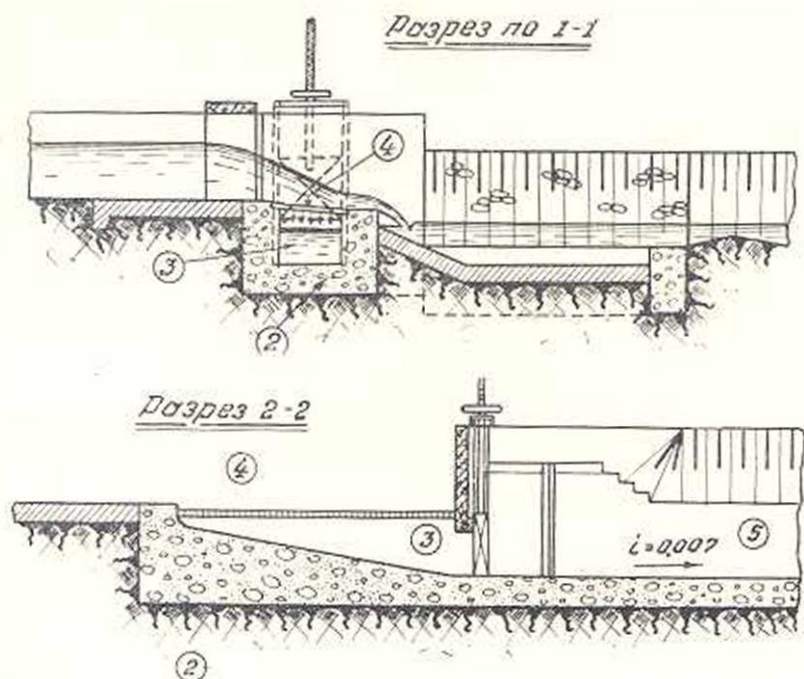
Горный водозабор с донной решеткой (фиг. 1 и 2) состоит из своеобразной плотины в виде донного порога, не создающего препятствия стоку воды и проходу наносов вниз по реке. Порог этот



Фиг. 1.

обычно состоит из двух частей: глухой 1 и водоприемной 2. В водоприемной части порога 2 устроена, поперек оси реки, открытая галерея 3, перекрытая горизонтальной или слабонаклонной в сторону нижнего бьефа решеткой 4.

Ввиду того, что берега горных рек имеют крутые склоны, устройство отстойника непосредственно на продолжении галереи невозможно, поэтому почти всегда в галерее примыкает отводящий криволинейный канал 5 небольшой длины. К отводящему каналу примыкает отстойник 6, обычно однокамерный с периодической



Фиг. 2.

промывкой, и далее—деривационный или магистральный канал. В зимнее время решетка обычно замерзает и ее пропускная способность резко падает, поэтому горный водозабор снабжается зимним водоприемником 7, через который в зимнее время расход поступает в отводящий канал, минуя решетку и водоприемную галерею.

В настоящей статье приводится расчет пропускной способности донной решетки.

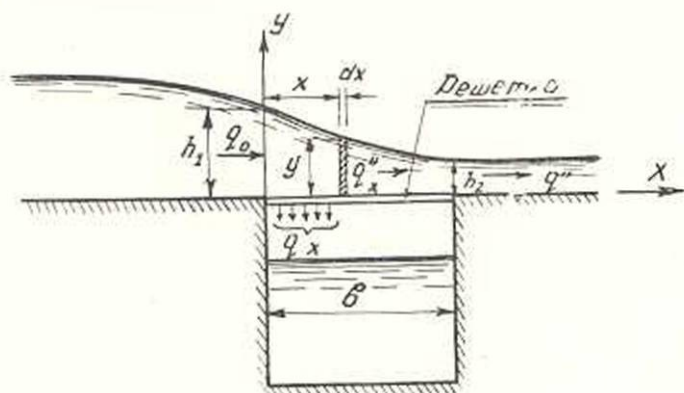
Вода, движущаяся через гребень плотины (порога), в которой устроена водозаборная галерея, частично проваливается через решетку в галерею, а частично поступает в нижний бьеф. Таким образом, для потока, движущегося поверх решеток, имеет место явление, которое соответствует движению потока с переменным расходом в направлении движения, а именно, явление отделения части потока.

Для общего расхода, поступающего на решетку, в любом сечении с абсциссой  $x$  (фиг. 3) можно написать следующую зависимость:

$$Q_0 = Q_x + Q_x'', \quad (1)$$

где  $Q_x$  — расход, поступающий в галерею от начала решеток до сечения с абсциссой  $x$ ;

$Q''_x$  — расход потока, движущегося поверх решеток в сечении с абсциссой  $x$ .



Фиг. 3.

Для единичных расходов будем иметь:

$$q_0 = q_x + q''_x, \quad (2)$$

откуда

$$q_x = q_0 - q''_x. \quad (3)$$

Таким образом легко вычислить  $q_x$ , имея значение  $q''_x$ , к вычислению которого и переходим.

Имеем:

$$\omega''_x = y; \quad v''_x = \frac{q''_x}{y} \quad \text{и} \quad dv''_x = \frac{y dq''_x - q''_x dy}{y^2}, \quad (4)$$

где  $\omega''_x$  — площадь живого сечения потока, движущегося поверх решеток, на один погонный метр ширины потока;

$v''_x$  — средняя скорость потока;

$y$  — ордината свободной поверхности потока.

Общее уравнение установившегося движения жидкости с переменным расходом вдоль пути, впервые предложенное В. М. Маккавеевым<sup>1</sup>, имеет следующий вид:

$$\frac{dy}{dx} + \frac{v''_x}{g} \frac{dv''_x}{dx} + \frac{v''_x (v''_x - v_1)}{g Q''_x} \frac{dQ''_x}{dx} + K v''_x{}^3 = 0, \quad (5)$$

где  $v_1$  — проекция скорости отделившейся жидкости на направление движения основного потока. В рассматриваемом случае, очевидно,  $v_1 = 0$ .

$K v''_x{}^3$  — член, учитывающий потери на трение о стены и дно водотока.

<sup>1</sup> В. М. Маккавеев. Теория гидродинамических процессов с большим гашением энергии. Труды Второго всесоюзного гидрологического съезда, ч. III, стр. 53. Ленинград, 1930.

Для коротких участков и при интенсивном изменении расхода этим членом можно пренебречь.

При указанных условиях, принимая во внимание (4), уравнение (5), после преобразований, можно представить в таком виде:

$$\frac{1}{g} \frac{q_x''}{y} \left( \frac{y dq_x'' - q_x'' dy}{y^2} \right) + \frac{1}{g} \frac{q_x''}{y^2} dq_x'' + dy = 0, \quad (6)$$

или

$$2yq_x'' dq_x'' - q_x''^2 dy + gy^2 dy = 0. \quad (7)$$

Нетрудно убедиться, что (7) — однородное дифференциальное уравнение первого порядка. Для решения его подставим

$$q_x'' = y \cdot u; \quad 2q_x'' dq_x'' = ydu + udy, \quad (8)$$

где  $u$  — новая переменная.

После несложных преобразований будем иметь:

$$du = -gy dy. \quad (9)$$

После интегрирования находим:

$$u = -\frac{gy^2}{2} + C. \quad (10)$$

Или, имея в виду соотношения (8)

$$\frac{q_x''^2}{y} = -\frac{gy^2}{2} + C, \quad (11)$$

откуда

$$q_x'' = \sqrt{y \left( C - \frac{gy^2}{2} \right)}. \quad (12)$$

Произвольную постоянную интегрирования находим из (12), имея в виду начальные условия (см. фиг. 3): при  $y = h_1$ ,  $q_x'' = q_0$ .

Имеем:

$$C = \frac{q_0^2}{h_1} + \frac{gh_1^2}{2}. \quad (13)$$

По данным опытов

$$h_1 = 0,8 \sqrt[3]{\frac{q_0^2}{g}}, \quad (14)$$

или

$$q_0 = 1,4 h_1 \sqrt{gh_1}. \quad (15)$$

Подставляя это значение  $q_0$  в (13), находим

$$C = 2,45 gh_1^2, \quad (16)$$

и, следовательно,

$$q_x'' = \sqrt{y (2,45 gh_1^2 - 0,5 gy^2)}. \quad (17)$$

Имея в виду соотношение (3), можно написать:

$$q_x = q_0 - \sqrt{y(2.45gh_1^2 - 0.5gy^2)}. \quad (18)$$

Полный расход, поступающий в галерею, найдем из (18), приняв  $y = h_2$ , где  $h_2$  — глубина потока в конце решетки:

$$q = q_0 - \sqrt{h_2(2.45gh_1^2 - 0.5gh_2^2)}, \quad (19)$$

или, имея в виду соотношение (15),

$$q = q_0 \left( 1 - \sqrt{0.256 \frac{h_2}{h_1} \left( 4.91 - \frac{h_2^2}{h_1^2} \right)} \right). \quad (20)$$

Обозначая

$$\sigma = 1 - \sqrt{0.256 \frac{h_2}{h_1} \left( 4.91 - \frac{h_2^2}{h_1^2} \right)}, \quad (21)$$

окончательно будем иметь

$$q = \sigma \cdot q_0. \quad (22)$$

Таким образом, если будет известна  $h_2$  (или отношение  $\frac{h_2}{h_1}$ ), то легко вычислить, по зависимости (22), расход поступающий в галерею.

Переходим к выводу уравнения свободной поверхности потока над решеткой.

Дифференцирование уравнения (12) дает

$$dq_x = \frac{C - \frac{3}{2}gy^2}{2 \sqrt{y \left( C - \frac{gy^2}{2} \right)}} dy, \quad (23)$$

Обращаясь к фиг. 3, можно написать

$$q_x = \int_0^x \mu K_p \sqrt{2gy} \, dx,$$

или

$$dq_x = \mu K_p \sqrt{2gy} \, dx, \quad (24)$$

где  $\mu$  — коэффициент расхода решетки. Решетку можно рассматривать, как ряд донных горизонтальных щелей, истечение через которые аналогично истечению из донных отверстий. Для решетки из прутьев прямоугольного поперечного сечения можно принять  $\mu = 0.85$ ; до накопления соответствующего опытного материала для других решеток также можно принять  $\mu = 0.85$ .

Здесь обозначено

$$K_p = \frac{s}{s+d},$$

где  $s$  — расстояние между двумя прутьями решетки,  
 $d$  — толщина прута.

Дифференцирование уравнений (3) дает

$$dq_x'' = -dq_x,$$

или, имея в виду (24),

$$dq_x'' = -\mu K_p \sqrt{2gy} \, dx. \quad (25)$$

Сопоставляя (23) и (25), находим:

$$-\mu K_p \sqrt{2gy} \, dx = \frac{C - \frac{3}{2} gy^2}{2 \sqrt{y \left( C - \frac{gy^2}{2} \right)}} \, dy. \quad (26)$$

Для решения этого дифференциального уравнения перепишем его в следующем виде:

$$2\mu K_p \sqrt{2g} \, dx = \frac{\frac{3}{2} gy^2 - C}{\sqrt{C - \frac{gy^2}{2}}} \cdot \frac{y \, dy}{y^2}, \quad (27)$$

и обозначим

$$t = \sqrt{C - \frac{gy^2}{2}}, \quad (28)$$

где  $t$  — новая переменная.

Имеем:

$$y^2 = (C - t^2) \frac{2}{g}, \quad (29)$$

или

$$y \, dy = -\frac{2t}{g} \, dt. \quad (30)$$

Подставляя соответствующие значения из (28), (29) и (30) в (27), после преобразований находим:

$$2\mu K_p \sqrt{2g} \, dx = -\frac{2C - 3t^2}{C - t^2} \, dt. \quad (31)$$

Интегрирование последнего уравнения не представляет никаких трудностей; опуская процесс интегрирования, приводим результат:

$$x = \frac{\sqrt{C}}{4\sqrt{2g}\mu K_p} \ln \frac{(\sqrt{C} - t_0)(\sqrt{C} + t)}{(\sqrt{C} + t_0)(\sqrt{C} - t)} - \frac{3(t - t_0)}{2\sqrt{2g}\mu K_p}, \quad (32)$$

или, имея в виду (28), можно написать

$$x = i(y). \quad (33)$$

Это и есть уравнение свободной поверхности потока над решеткой.

В уравнении (32)  $t_0$  — постоянная интегрирования

$$t_0 = \frac{q_0}{V h_1} \quad (34)$$

Имея в виду (15), находим:

$$t_0 = 1,4 g h_1 \quad (35)$$

При  $x = b$  и  $y = h_2$ :  $t = t_b$ . Имея это в виду, напомним (28) и (32) в следующем виде:

$$t_b = \sqrt{C - \frac{g h_2^2}{2}} \quad (36)$$

$$b = \frac{\sqrt{C}}{4 \sqrt{2g \mu K_p}} \ln \frac{(\sqrt{C} - t_b)(\sqrt{C} + t_b)}{(\sqrt{C} + t_0)(\sqrt{C} - t_0)} - \frac{3(t_b - t_0)}{2 \sqrt{2g \mu K_p}} \quad (37)$$

Имея в виду, что  $\ln N = 2,3 \lg N$ , подстановкой соответствующих значений из (16), (35) и (36) в (37), после преобразований получим:

$$b = \frac{h_1}{\mu K_p} \left\{ 1,275 \lg \frac{2,22 + \sqrt{4,91 - \frac{h_2^2}{h_1^2}}}{4,2 \frac{h_2}{h_1}} - \frac{0,75 \left[ 1 - \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^2 \right]}{1,98 + \sqrt{4,91 - \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^2}} \right\} \quad (38)$$

Выражение в больших скобках является функцией только отношения глубин. Обозначим его через  $A$ :

$$A = 1,275 \lg \frac{2,22 + \sqrt{4,91 - \frac{h_2^2}{h_1^2}}}{4,2 \frac{h_2}{h_1}} - \frac{0,75 \left[ 1 - \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^2 \right]}{1,98 + \sqrt{4,91 - \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^2}} \quad (39)$$

Тогда зависимость (38) примет следующий вид:

$$b = \frac{h_1}{\mu K_p} A \quad (40)$$

В случае наклонной решетки в зависимость (40) следует ввести поправочный коэффициент  $K_i$ , зависящий от наклона решетки  $i$ , и определяемый из экспериментальной зависимости

$$K_i = 1 - 0,21 i \quad (41)$$

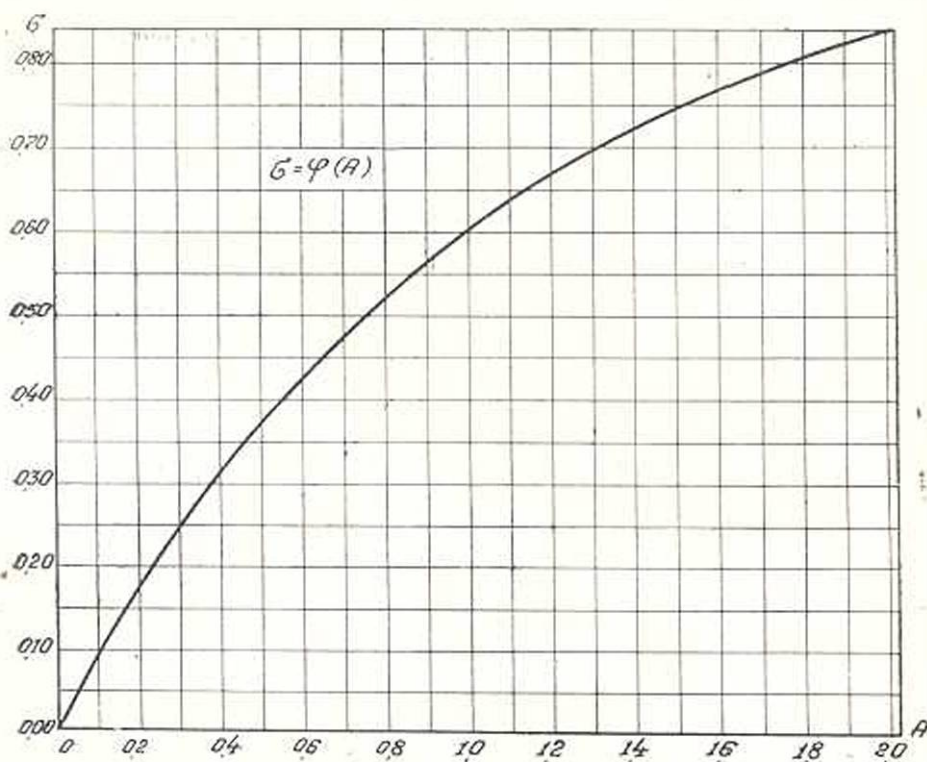
Тогда зависимость (40) можно написать в следующем, более общем виде:

$$b = \frac{h_1}{\mu K_p K_i} A \quad (42)$$

Сопоставление выражений (21) и (39) напоминает параметрическое задание функции, где параметром является отношение глубин  $\frac{h_2}{h_1}$ , а переменными —  $A$  и  $\sigma$ . Следовательно, можно написать

$$\sigma = \varphi(A). \quad (43)$$

Кривая, приведенная на фиг. 4, и представляет функциональную зависимость (43). Отметим, что при  $A = 2,02$  следует принять  $q = q_0$ .



Фиг. 4.

т. е. в этом случае весь расход, поступающий на решетку, проваливается через нее в галерею. Обработка результатов экспериментальных исследований показывает, что в зависимость (22) следует ввести эмпирический коэффициент, равный 1,19; в силу этого зависимость (22) примет следующий вид:

$$q = 1,19 \sigma q_0. \quad (44)$$

Решим два числовых примера. Для удобства перепишем здесь расчетные формулы

$$h_1 = 0,8 \sqrt[3]{\frac{q_0^2}{g}}. \quad (45)$$

$$K_1 = 1 - 0,21 i, \quad (46)$$

$$b = \frac{h_1}{\mu K_p K_i} A, \quad (42)$$

$$\sigma = \varphi(A), \quad (43)$$

$$q = 1,19 \sigma q_0. \quad (44)$$

Пример 1. Данные:  $q_0 = 1,5 \text{ м}^3/\text{сек.}$  на пог. м,  $i = 0,20$ ,  $K_p = 0,333$ ,  $\mu = 0,85$ ,  $b = 1,00 \text{ м.}$

По (14) находим

$$h_1 = 0,8 \sqrt[3]{\frac{q_0^2}{g}} = 0,8 \sqrt[3]{\frac{1,5^2}{9,81}} = 0,49 \text{ м.}$$

По (41)

$$K_i = 1 - 0,21 i = 1 - 0,21 \cdot 0,2 = 0,958.$$

По (42)

$$A = \frac{b K_i K_p \mu}{h_1} = \frac{1,0 \cdot 0,958 \cdot 0,85 \cdot 0,333}{0,49} = 0,544.$$

По (43), при  $A = 0,544$ , находим (см. фиг. 4)

$$\sigma = 0,395.$$

По (44)

$$q = 1,19 \sigma q_0 = 1,19 \cdot 0,395 \cdot 1,5 = 0,70 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Пример 2. Данные:  $q_0 = 0,3 \text{ м}^3/\text{сек.}$ ,  $b = 1,5 \text{ м.}$ ,  $i = 0$ , остальные данные — как в предыдущем примере.

По (14) находим:

$$h_1 = 0,8 \sqrt[3]{\frac{q_0^2}{g}} = 0,8 \sqrt[3]{\frac{0,3^2}{9,81}} = 0,167 \text{ м.}$$

Из (42)

$$A = \frac{b K_i \mu K_p}{h_1} = \frac{1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 0,333}{0,167} = 2,54 > 2,02.$$

Следовательно, весь расход поступает в галерею, т.е.

$$q = q_0 = 0,3 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Армянский сельскохозяйственный  
институт

Խ. Ա. Նուկոյան

ԼԵՌՆԱՅԻՆ ԶՐԸՆԴՈՒՆԻՉԻ ՀԱՏԱԿԱՑԱՆՑԻ ԹՈՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հաղվածում տրվում է (հիմնված փոփոխական մասսայի տեսության վրա) լեռնային ջրընդունիչի հատակացանցի թողունակության հաշվարկը: Պատճված են հեռակալ հաշվարկային բանաձևերը:

$$h_i = 0,8 \sqrt[3]{\frac{q_0^2}{g}}, \quad (14)$$

$$K_i = 1 - 0,21 i, \quad (41)$$

$$b = \frac{h_i}{K_i \mu K_p} A, \quad (42)$$

$$\sigma = \varphi(A), \quad (43)$$

$$q = 1,19 \sigma q_0, \quad (44)$$

որ՝

$h_i$  — ջրի խորությունն է ցանցի սկզբում (նկ. 3),

$q_0$  — գետի տեսակարար հոսքն է,

$g$  — ծանրության ուժի արագացումն է,

$K_i$  — գործակից է, կախված ցանցի թեքությունից,

$i$  — ցանցի թեքությունն է,

$b$  — ստորանցքի լայնքն է,

$\mu$  — հոսքի գործակիցն է,

$K_p = \frac{s}{s+d}$  — ցանցի գործակիցն է,

$s$  — ցանցի երկու ձողերի հեռավորությունն է,

$d$  — մեկ ձողի հաստությունն է,

$A$  և  $\sigma$  — հաշվարկային մեծություններ են, կախված հոսքի խորություններից՝ ցանցի սկզբում և վերջում (այդ կապը տրվում է գրաֆիկորեն),

\*  $q$  — ստորանցք մանող տեսակարար հոսքն է: