

А. М. Азатян

Новый аналитический метод экономического расчета подводящих каналов гидроэлектростанций

§ 1. Введение

Экономический расчет канала, в общем случае решения задачи, сводится к определению экономически наиболее выгодных параметров канала по заданному расчетному расходу его, в зависимости от геологических и топографических условий прохождения трассы на каждом данном участке его.

Наилучший экономический эффект при проектировании подводящего канала достигается при некотором, вполне определенном для каждого конкретного случая, значении потерь напора, при котором эксплуатационные издержки по каналу S_1 , в совокупности (со стоимостью потерянной энергии $S_2 = u \Delta$), представляются минимальными, т. е. при условии минимума функции

$$S = S_1 + u \Delta, \quad (1)$$

где Δ — потерянная энергия в *квт-часах*,

u — стоимость одного *квт-часа* энергии.

Из условия минимума функции S следует, что

$$u = \frac{\partial S_1}{\partial \Delta},$$

означающем, что себестоимость единицы дополнительной энергии, получаемой благодаря приращению потерь напора вследствие небольшого изменения размеров канала, должна быть равна себестоимости энергии на заменяющих станциях.

Для экономического расчета подводящих каналов, на основе приведенных выше принципов, исходят из следующих условий и данных:

а) Условия расчета. Расчет должен быть определен экономически выгодные сечения и уклоны по участкам канала; при этом каждый участок должен быть рассчитан на пропуск максимального расхода воды в условиях равномерного движения, с увязкой горизонтов воды при переходе от одного сечения канала к другому.

б) Условия проектирования. Перед тем как приступить к экономическому расчету, следует по отдельным участкам канала установить: тип облицовки, толщину облицовки, заложение откосов,

запас в строительной высоте над расчетным горизонтом воды, коэффициент шероховатости, стоимость единицы отдельных видов работ и пр.

Весьма важным является также правильное назначение расположения расчетного горизонта воды относительно поверхности земли, определяемое на основе изучения геологических и топографических условий прохождения трассы канала, при котором принимаются во внимание: устойчивость косогора в отношении оползней, возможность прорыва борта при мелком заложении канала на косогоре, пригодность вынутого из выемки грунта для устройства насыпных берм, тип облицовки, если таковая применяется, и т. д. Совокупность приведенных выше данных отражает условия проектирования, зависящие как от характерных особенностей трассы канала, так и от технико-экономических соображений.

в) Характерный продольный профиль. Основным техническим документом для проектирования канала и расчетов по нему является характерный продольный профиль трассы канала и поперечные сечения. При пользовании характерным продольным профилем полагают, что в ограниченной полосе вдоль деривации геологические и топографические условия трассы канала являются однотипными при любом расположении трассы в пределах этой полосы и что для выбора наиболее выгодного варианта трассы (т. е. наиболее выгодного уклона ее) можно пользоваться одним продольным профилем, достаточно точно отражающим условия прохождения трассы канала по всем возможным вариантам ее. Иначе говоря, от идеального характерного продольного профиля требуется, чтобы: а) поперечные сечения трассы были бы ограничены сверху прямолинейной поверхностью земли и б) в пределах каждого поперечного сечения геологические условия были бы однообразными. В большинстве случаев практики эти условия, с небольшими отклонениями в ту и другую сторону, соблюдаются; только в исключительных случаях, при проведении трассы канала в сильно пересеченной, холмистой местности, с пестрой геологией, экономический расчет канала производится на основе составления проекта канала по нескольким индивидуальным продольным профилям непосредственным сравнением вариантов канала по отдельным проектам.

§ 2. Существующие методы экономического расчета подводящих каналов

Для экономического расчета подводящих каналов наиболее часто применяется метод сравнительных экономических подсчетов; последовательность расчетов по этому методу, иллюстрирующая его громоздкость, представляется в следующем виде:

а) на характерный продольный профиль наносится линия горизонта воды;

б) в частном случае решения задачи, когда ширина канала по дну известна, задаются не менее чем четырьмя скоростями движения воды и на основе гидравлического расчета получают четыре варианта сечения канала, отличающихся друг от друга глубиной наполнения и уклоном;

в) по каждому сечению канала производится подсчет количества работ по облицовке и по выемке грунта; большой трудоемкостью при этом отличается подсчет количества земляных работ на основе продольного профиля и поперечных сечений по нему;

г) определяют стоимость канала и эксплуатационные издержки по нему для каждого варианта. Определяют также стоимость потерянной энергии по отдельным вариантам.

д) построением экономических кривых находят наиболее выгодную скорость движения воды для заданной ширины канала по дну, по которой и окончательно подбирают сечение канала.

В общем случае решения задачи задаются различной шириной канала по дну, в количестве не меньшем четырех, и для каждого частного значения ширины, в указанной выше последовательности, производят расчет, после чего определяют экономически наиболее выгодные значения ширины канала по дну и глубине наполнения его.

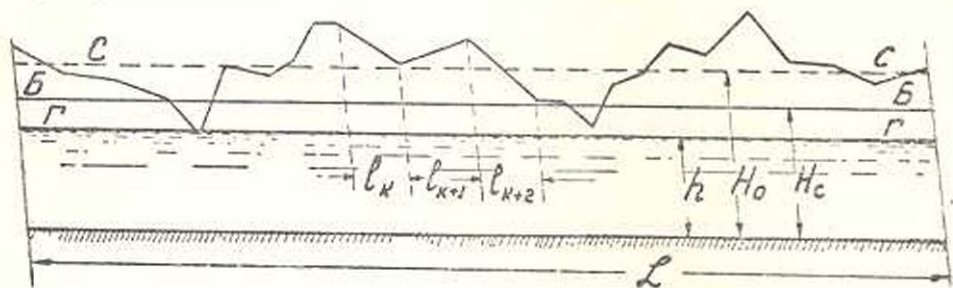
Многими авторами, в целях облегчения расчетов, предложены аналитические методы экономического расчета подводящих каналов. Все эти методы исходят из предположения постоянства глубины и площади поперечного сечения выемки по всей длине канала, при котором продольный профиль трассы канала представляется в виде прямой, параллельной дну канала. Одно только это допущение сильно ограничивает возможность применения этих методов для точного экономического расчета подводящих каналов. Помимо того, эти методы дают решение задачи, исходя из подобия живых сечений потока по различным вариантам канала; получаемое таким образом решение задачи следует признать решением частным, соответственно принятому частному значению $\beta = \frac{b}{h}$. Отметим также, что при постоянной глубине

выемки по длине канала расчет методом сравнительных экономических подсчетов чрезвычайно облегчается, так как при этом отпадает наиболее громоздкая часть работы — подсчет количества работ по продольному профилю, и поэтому аналитические методы существенного ускорения расчета не дают. В силу приведенных выше недостатков существующих аналитических методов в проектной практике в большинстве случаев применяется метод сравнительных экономических подсчетов, гарантирующий, несмотря на громоздкость расчета, достаточную точность решения задачи.

Предлагаемое ниже решение задачи, являясь аналитическим, лишено указанных выше недостатков существующих аналитических методов и не уступает им по простоте своего решения.

§ 3. Предлагаемый метод экономического расчета подводящих каналов

1. Пусть на фиг. 1 представлен характерный продольный профиль канала и требуется определить экономическое сечение канала при показанном на фигуре расположении горизонта воды Г—Г относительно поверхности земли. При заданном расчетном расходе Q_{max} отдельные варианты канала будут отличаться друг от друга шириной канала по дну b и расчетной глубиной наполнения h . Расчетом требуется определить экономически выгодные значения этих параметров. Зная их, нетрудно будет определить также третью неизвестную величину — уклон канала i .



Фиг. 1.

Отдельные варианты канала будут отличаться стоимостью выемки и стоимостью облицовки; все прочие виды работ по каналу, как-то дренаж, швы облицовки, устройство насыпных берм, нагорных канав, инспекторской дороги и пр., будут иметь одинаковую (или почти одинаковую) стоимость, и при экономическом сравнении вариантов отпадут.

Как было указано в § 1, экономически выгодное сечение подводящего канала должно удовлетворить условию минимума функции (1), где S_1 — эксплуатационные издержки по каналу, определяемые как

$$S_1 = a_b A_b + a_{ob} A_{ob}.$$

Здесь a_b и a_{ob} — нормативные коэффициенты ежегодных отчислений от стоимости выемки A_b и стоимости облицовки A_{ob} .

Обозначая среднюю площадь сечения выемки между последовательными точками продольного профиля через F , расстояние между точками l , стоимость 1 м³ выемки c_b , периметр облицовки X_{ob} и стоимость 1 м² облицовки с учетом подготовки, облицовки, торкретирования и пр. c_{ob} , получим:

$$A_b = c_b \Sigma F l.$$

$$A_{ob} = c_{ob} X_{ob} L.$$

При наличии водосбросного сооружения в конце подводящего канала потерянная энергия равна:

$$\Sigma = 9,81 Q_{c9} Li\eta, \quad (2)$$

где Q_{cp} — среднегодовой расход подводящего канала,
 T — число часов в году,
 η — к. п. д. турбины и генератора,
 i — уклон канала.

Подставляя значения Λ_b , Λ_{06} и Ξ в (1), получим:

$$S = a_b c_b \Sigma F l + a_{06} c_{06} X_{06} L + 9,81 Q_{cp} L i T \eta.$$

Определяя уклон канала по показательной формуле

$$i = \frac{Q_{max}^2 n^2}{\omega^2 R^{1+2y}}$$

и обозначая постоянную величину

$$9,81 Q_{cp} T \eta u Q_{max}^2 n^2 = M, \quad (3)$$

получим окончательно:

$$S = a_b c_b \Sigma F l + a_{06} c_{06} X_{06} L + ML \frac{1}{\omega^2 R^{1+2y}}. \quad (4)$$

Полученное выражение представляет функцию двух независимых переменных b и h .

Минимум этой функции будем иметь при

$$a_b c_b \Sigma l \frac{\partial F}{\partial b} + a_{06} c_{06} L \frac{\partial X_{06}}{\partial b} + ML \frac{\partial}{\partial b} \left(\frac{1}{\omega^2 R^{1+2y}} \right) = 0; \quad (5)$$

$$a_b c_b \Sigma l \frac{\partial F}{\partial h} + a_{06} c_{06} L \frac{\partial X_{06}}{\partial h} + ML \frac{\partial}{\partial h} \left(\frac{1}{\omega^2 R^{1+2y}} \right) = 0. \quad (6)$$

2 Определение значения частных производных

а) Определение $\Sigma l \frac{\partial F}{\partial b}$ и $\Sigma l \frac{\partial F}{\partial h}$

В общем случае какого угодно сечения канала, при уширении канала на Δb (при неизменном положении оси канала), получим приращение площади сечения выемки в виде заштрихованных на фигуре 2

полосок шириной $\frac{\Delta b}{2}$ по откосам канала; очевидно, что предел отношения

$\frac{\Delta F}{\Delta b}$ будет равен полусумме проекций откосов выемки на вертикаль, т. е.

$$\frac{\partial F}{\partial b} = \frac{Y_1 + Y_2}{2} = Y. \quad (7)$$

Точно так же, при заглублении канала на Δh , при неизменной ширине канала по дну b , получим приращение в площади сечения выемки в виде заштрихованных на фигуре 3 полосок; при этом

$$\Delta F = (b + Y_1 m_1 + Y_2 m_2) \Delta h;$$

$$\frac{\partial F}{\partial h} = b + Y_1 m_1 + Y_2 m_2 = X.$$

В частном случае, когда $m_1 = m_2$,

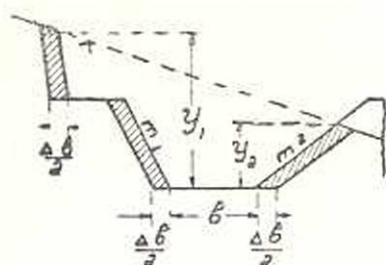
$$X = b + 2mY. \quad (8)$$

Так как Y и X линейные величины, то

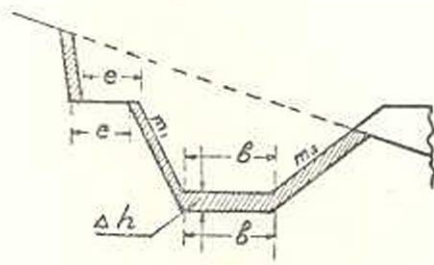
$$\Sigma l \frac{\partial F}{\partial b} = \Sigma/Y = LY_0. \quad (9)$$

$$\Sigma l \frac{\partial F}{\partial h} = \Sigma/X = LX_0, \quad (10)$$

где L —длина рассматриваемого участка подводящего канала $L = \Sigma l$; Y_0 и X_0 —значения линейных величин Y и X при $H = H_0$, где H_0 —средняя глубина выемки на длине участка L .



Фиг. 2.



Фиг. 3.

Совершенно точно величина H_0 может быть определена по формуле $H_0 = \frac{\Sigma/H}{L}$. С достаточной точностью эта величина может быть

определена графически проведением на продольном профиле линии С—С (фиг. 1), параллельно линии горизонта воды с таким расчетом, чтобы суммарная площадь выступов продольного профиля над этой линией была бы равна площади впадин под ней. Определение положения линии С—С на продольном профиле по предлагаемому методу равносильно подсчету количества работ по каналу методом сравнительных экономических подсчетов и притом для всех возможных вариантов канала.

Значения Y и X для наиболее часто встречающихся сечений канала приводятся в приложении 1.

$$б) \text{Определение } \frac{\partial}{\partial b} \left(\frac{1}{\omega^2 R^{1+2y}} \right) \text{ и } \frac{\partial}{\partial h} \left(\frac{1}{\omega^2 R^{1+2y}} \right).$$

При одинаковых откосах канала m , подставляя

$$\omega = (b + mh)h = (\beta + m)h^2,$$

$$X = b + kh = (\beta + k)h,$$

где ω —живое сечение, X —смоченный периметр,

$$\beta = \frac{b}{h}, \quad (11)$$

$$k = 2 \sqrt{1 + m^2}. \quad (12)$$

после дифференцирования получим:

$$\frac{\partial}{\partial b} \left(\frac{1}{\omega^2 R^{1+2y}} \right) = \frac{(\beta + k)^{2y} [(1 + 2y)(\beta + m) - (3 + 2y)(\beta + k)]}{(\beta + m)^{4+2y} h^{6+2y}} =$$

$$= \frac{1}{h^{6+2y} \varphi(\beta)}, \quad (13)$$

$$\frac{\partial}{\partial h} \left(\frac{1}{\omega^2 R^{1+2y}} \right) = \frac{(\beta + k)^{2y} [(1 + 2y)(\beta + m)k - (3 + 2y)(\beta + k)(\beta + 2m)]}{(\beta + m)^{4+2y} h^{6+2y}} =$$

$$= \frac{1}{h^{6+2y} f(\beta)}. \quad (14)$$

В приложении приведены значения функции $\varphi(\beta)$, $f(\beta)$ и $h^{6.4}$ для часто употребляемого значения $y=0.2$, при котором, следовательно,

$$C = \frac{1}{n} R^{0.2}.$$

в) Определение $\frac{\partial X_{об}}{\partial b}$ и $\frac{\partial X_{об}}{\partial h}$.

При одинаковых откосах канала,

$$X_{об} = b + k(h + z),$$

где z — запас в строительной высоте облицовки над расчетным горизонтом; $k = 2 \sqrt{1 + m^2}$

$$\frac{\partial X_{об}}{\partial b} = 1; \quad (15)$$

$$\frac{\partial X_{об}}{\partial h} = k. \quad (16)$$

3. Расчетные формулы. Подставляя полученные значения частных производных из (9), (10), (13), (14), (15) и (16) в (5) и (6), получим окончательно формулы:

$$(a_b c_b Y_0 + a_{об} c_{об}) h^{6.4} \varphi(\beta) = M, \quad (17)$$

$$(a_b c_b X_0 + k a_{об} c_{об}) h^{6.4} f(\beta) = M. \quad (18)$$

При наличии готовых таблиц значений $\varphi(\beta)$ и $f(\beta)$ решение задачи по определению экономического сечения подводящего канала сильно упрощается. При этом, только в общем случае решения задачи следует пользоваться обоими расчетными уравнениями. В частных случаях, когда известна одна из величин b , h или β , достаточно пользоваться только уравнением (17).

4. Для иллюстрации метода ниже приводим решение 3 примеров для случая подводящего канала с водосбросным сооружением в конце.

Условия задачи: $Q_{\max} = 30 \text{ м}^3/\text{сек}$; $Q_{\text{ср}} = 20 \text{ м}^3/\text{сек}$; $m=1$; $m'=4$; $m_1=0.5$; $n=0.016$. Тип сечения канала № 1; $e=2.0 \text{ м}$. Толщина облицовки

с подготовкой $\delta = 0,3$ м, при стоимости облицовки по дну $c_{об} = 50$ руб/м² и по откосам $c'_{об} = 60$ руб/м²; $c_b = 12$ руб/м³; $a_b = 0,05$; $a_{об} = 0,07$, $u = 0,03$ руб/квт-час; $\eta = 0,825$; $z = 0,5$ м; пусть, помимо этого, по продольному профилю положение линии С—С (см. фиг. 1) получилось на 1,10 м выше горизонта воды в канале.

Пример I. Определить сечение канала при расчетном наполнении $h = 2,5$ м.

Решение: Пользуемся уравнением (17).

$$[0,05 \cdot 12,0 Y_0 + 0,07 \cdot 50] 2,50^{6,4} \varphi(\beta) = M$$

$$M = 9,81 \cdot 0,03 \cdot 20 \cdot 8760 \cdot 0,825 (30 \cdot 0,016)^2 = 9770$$

$$H_c = 0,30 + 2,50 + 0,50 = 3,30 \text{ м}$$

$$0,5 P = 0,5 B + 3,30; H - H_c = 1,10 - 0,5 = 0,60 \text{ м}$$

$$Y_0 = 3,30 + 0,5 \cdot \left[\frac{0,5 B + 3,30 + 0,6 \cdot 4}{4 - 0,5} - \frac{0,5 B + 3,30 - 2,4}{4 + 0,5} \right],$$

или

$$Y_0 = 3,30 + 0,5 [1,43 - 0,032 B].$$

Полагая предварительно $B = 3,0$ м, получим $Y_0 = 4,06$ м. Уравнение (17) примет вид:

$$[0,6 \cdot 4,06 + 3,5] 352,2 \varphi(\beta) = 9770,$$

откуда $\varphi(\beta) = 4,68$, $\beta = 1,87$, $b = 1,87 \cdot 2,50 = 4,67$ м. Перерасчета по новому значению $b = 4,67$ м не производим, так как это почти не скажется на результате.

Пример II. Определить сечение канала при ширине его по дну $b = 2,80$ м.

Решение: $B = 2,80 + 2 \cdot 0,30 \cdot 0,41 = 3,05$ м; $H_c = h + 0,80$ м.

$$0,5 P = \frac{3,05}{2} + h + 0,80 = 2,32 + h;$$

$$Y_0 = h + 0,80 + 0,5 \cdot \left[\frac{0,5 \cdot 3,05 + h + 0,80 + 2,40}{3,5} - \frac{0,5 \cdot 3,05 + h + 0,80 - 2,4}{4,5} \right],$$

или

$$Y_0 = 1,032 h + 1,527.$$

Расчетное уравнение примет вид:

$$[0,6(1,032 h + 1,527) + 3,50] h^{6,4} \varphi(\beta) = 9770,$$

или

$$[0,62 h + 4,42] h^{6,4} \varphi(\beta) = 9770.$$

Задаваясь различными значениями h , будем определять соответствующие значения b . Расчет ведем в табличной форме.

Построением кривой $b = f(h)$ найдем, что при ширине канала $b = 2,80$ м соответствующее наполнение канала будет $h = 3,09$ м, при котором уклон канала равен $i = 0,00036$. Точно так же решается задача при заданной величине β .

Пример III. Решим задачу в общем случае. Пользуемся обоими расчетными уравнениями (17) и (18). На основе (17) составляем таб-

Таблица 1

h	[]	$h^{6.4}$	$f(\beta)$	β	b
2,0	5,65	84,44	20,45	2,33	6,66
2,50	5,97	352,2	4,64	1,87	4,67
3,00	6,28	1134	1,373	1,07	3,21
3,50	6,59	3034	0,488	0,58	2,03

лицу 1 (см. пример II). На основе уравнения (18) составляем таблицу 2.

$$X_0 = B + 2mY_0,$$

так как $B = b + 0,25$; $m = 1$; $Y_0 = 1,032h + 1,527$.

Поэтому $X_0 = b + 1,032h + 1,78$.

Уравнение (18) примет вид:

$$[0,05 \cdot 12X + 0,07 \cdot 60 \cdot 2,83] h^{6.4} f(\beta) = 9770,$$

или $[0,06b + 0,62h + 12,95] h^{6.4} f(\beta) = 9770.$

Таблица 2

h	b	[]	$h^{6.4}$	$f(\beta)$	β'	β
2,0	6,65	17,62	84,44	6,57	4,80	3,33
2,50	4,67	17,34	352,2	1,60	2,20	1,87
3,0	3,21	16,74	1134	0,513	1,18	1,07
3,5	2,03	17,16	3034	0,188	0,56	0,58

Построением кривых $\beta = f_1(h)$ и $\beta' = f_2(h)$ найдем в пересечении их искомые параметры канала: $h = 3,43$ м; $\beta = 0,64$; $b = 0,64 \cdot 3 \cdot 43 = 2,20$ м.

§ 4. Случай саморегулирующегося подводящего канала

(Без водосбросного сооружения в конце канала)

Сечение саморегулирующегося подводящего канала обычно подбирается по условию пропуска среднекубического расхода в условиях равномерного движения.

Расчет канала по среднекубическому расходу производится по выведенным в § 3 формулам (17) и (18) с той только разницей, что потери напора в данном случае выражаются через среднекубический расход $Q_{ср.к.} = \sqrt[3]{\frac{\Sigma Q^3 t}{T}}$, в соответствии с чем параметр M будет иметь вид:

$$M = 9,81 \text{ и } \eta T n^2 Q_{\text{ср.к.}}^3$$

Помимо этого, при определении Y_0 и X_0 величину H_0 следует определять для сечения канала со средней площадью выемки, т. е. для сечения примерно в середине длины деривации; отметим попутно, что расчет саморегулирующегося подводящего канала производится по индивидуальному продольному профилю (а не по характерному), ввиду единственности трассы канала, при обычно принимаемых горизонтальных бермах.

Полученное в результате расчета сечение должно быть проверено на пропуск максимального расчетного расхода, с построением кривой спада по известной глубине воды в голове канала. В случае интенсивной формы кривой спада, а тем более образования критической глубины в конце деривации, приведенный выше метод экономического расчета не может быть рекомендован. В этом случае следует подобрать, по условию пропуск максимального расчетного расхода, такое сечение канала, при котором эксплуатационные издержки для среднекубического расхода были бы минимальными.

§ 5. Расчет канала по заданной средней скорости потока

Такую задачу чаще всего приходится решать для деривационного канала в земляном русле, когда по условию неразрывности русла ограничивают скорость движения потока.

При одинаковом живом сечении канала $\omega = \frac{Q}{v}$ отдельные варианты его будут отличаться друг от друга шириной по дну b , расчетной глубиной наполнения h и зависящим от этих величин уклоном канала i . Исключая поэтому при экономическом сравнении вариантов постоянную величину ω , получим расчетное уравнение в виде:

$$[a_b c_b (Y_0 - h) + a_{06} c_{06}] h^{6.4} \varphi(\beta) = M.$$

Вторым уравнением для определения β и h будет:

$$\omega = (\omega + m) h^2.$$

§ 6. Расчет канала по заданному уклону

Разделив уравнение (18) на (17), получим:

$$\frac{X_0 + gk}{Y_0 + g} = \psi(\beta),$$

где

$$g = \frac{a_{06} c_{06}}{a_b c_b}, \quad \psi(\beta) = \frac{\varphi(\beta)}{f(\beta)}.$$

По этой формуле можно определить экономическое сечение канала по заданной пропускной способности его

$$K = \frac{Q}{Vi}.$$

В частном случае необлицованного канала формула примет вид (после подстановки $X_0 = b + 2mY_0$)

$$\frac{b}{Y_0} = \psi(\beta) - 2m.$$

Выводы

Предлагаемый метод экономического расчета подводящих каналов ГЭС дает возможность быстрого и точного определения экономически выгодных параметров канала, как в общем, так и в частных случаях решения задачи. При пользовании прилагаемыми таблицами весь расчет сводится к простым арифметическим выкладкам.

Предлагаемым методом можно производить экономический расчет подводящего канала, проходящего полностью в насыпи, или имеющего одну или две бортовые подпорные стены, а также учесть различную стоимость выемки грунта по глубине выемки.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

Поступило 25 III 1953

Приложение 1

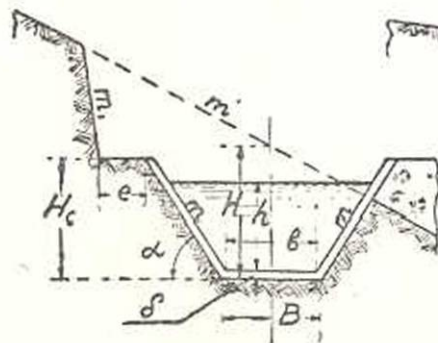
Формулы для определения Y и X для различных сечений канала.

1. Для сечения канала по фиг. 4:

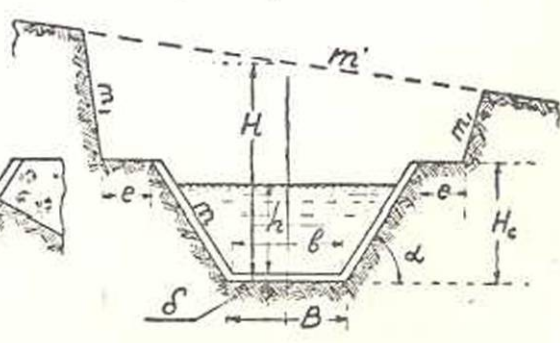
$$Y = \frac{H + H_c}{2} + \frac{1}{2} \left[\frac{0,5P + (H - H_c)(m' - m) + e}{m' - m_1} - \frac{0,5P}{m' + m} \right].$$

2. При $m_1 = m$, получим:

$$Y = H + 0,5P\lambda + \frac{e}{2(m' - m)}.$$



Фиг. 4.



Фиг. 5.

3. При $m_1 = m$ и $e = 0$,

$$Y = H + 0,5P\lambda.$$

4. Для сечения канала по фиг. 5:

$$Y = H + 0,5 [B + 2m H_c + 2e + 2m_1(H - H_c)] \frac{m_1}{m'^2 - m_1^2}.$$

5. При $m_1 = m$:

$$Y = H + 0,5\lambda(P + 2e).$$

6. При $m_1 = m$ и $e = 0$:

$$Y = H + 0,5P\lambda.$$

7. При $m' = 0$, во всех случаях $Y = H$.

8. При неодинаковых откосах канала:

$$Y = (Y_1 + Y_2)0,5 \text{ (см. фиг. 2).}$$

Во всех случаях:

$$X = B + 2mY.$$

$$B = b + 2g \frac{\alpha}{2},$$

$$P = B + 2mH,$$

$$\lambda = \frac{m}{m'^2 - m^2}.$$

Приложение 2

ЗНАЧЕНИЯ $h^{6,4}$

h	$h^{6,4}$	h	$h^{6,4}$	h	$h^{6,4}$	h	$h^{6,4}$	h	$h^{6,4}$
0,50	0,0112	0,76	0,171	1,01	1,036	1,26	4,400	1,51	13,96
0,51	0,0134	0,77	0,188	1,02	1,135	1,27	4,617	1,52	14,58
0,52	0,0153	0,78	0,204	1,03	1,203	1,28	4,840	1,53	15,21
0,53	0,0172	0,79	0,221	1,04	1,285	1,29	5,102	1,54	15,85
0,54	0,0195	0,80	0,240	1,05	1,367	1,30	5,350	1,55	16,52
0,55	0,0218	0,81	0,260	1,06	1,450	1,31	5,630	1,56	17,22
0,56	0,0246	0,82	0,282	1,07	1,542	1,32	6,030	1,57	17,94
0,57	0,0274	0,83	0,304	1,08	1,630	1,33	6,204	1,58	18,68
0,58	0,0303	0,84	0,327	1,09	1,736	1,34	6,490	1,59	19,45
0,59	0,0342	0,85	0,353	1,10	1,840	1,35	6,826	1,60	20,25
0,60	0,0381	0,86	0,381	1,11	1,950	1,36	7,160	1,61	21,07
0,61	0,0423	0,87	0,410	1,12	2,070	1,37	7,499	1,62	21,92
0,62	0,0468	0,88	0,442	1,13	2,186	1,38	7,850	1,63	22,80
0,63	0,0520	0,89	0,474	1,14	2,280	1,39	8,228	1,64	23,71
0,64	0,0576	0,90	0,509	1,15	2,446	1,40	8,610	1,65	24,66
0,65	0,0635	0,91	0,547	1,16	2,580	1,41	9,016	1,66	25,63
0,66	0,0708	0,92	0,586	1,17	2,732	1,42	9,530	1,67	26,63
0,67	0,0771	0,93	0,629	1,18	2,890	1,43	9,866	1,68	27,67
0,68	0,0852	0,94	0,673	1,19	3,044	1,44	10,329	1,69	28,74
0,69	0,0930	0,95	0,720	1,20	3,210	1,45	10,780	1,70	29,85
0,70	0,1030	0,96	0,771	1,21	3,387	1,46	11,270	1,71	30,99
0,71	0,1120	0,97	0,823	1,22	3,520	1,47	11,770	1,72	32,17
0,72	0,1220	0,98	0,881	1,23	3,762	1,48	12,290	1,73	33,38
0,73	0,1340	0,99	0,934	1,24	3,960	1,49	12,830	1,74	34,64
0,74	0,1450	1,00	1,00	1,25	4,171	1,50	13,400	1,75	35,93
0,75	0,1590	—	—	—	—	—	—	—	—

Приложение 2 (продолжение)

h	h ^{6,4}	h	h ^{6,4}	h	h ^{6,4}	h	h ^{6,4}	h	h ^{6,4}
1,76	37,26	2,26	184,6	2,76	663,5	3,26	1926	3,76	4800
1,77	38,64	2,27	189,9	2,77	679,0	3,27	1964	3,77	4832
1,78	40,06	2,28	195,3	2,78	694,9	3,28	2003	3,78	4965
1,79	41,52	2,29	200,9	2,79	711,0	3,29	2042	3,79	5050
1,80	43,03	2,30	206,6	2,80	727,5	3,30	2082	3,80	5136
1,81	44,58	2,31	212,4	2,81	744,3	3,31	2123	3,81	5223
1,82	46,18	2,32	218,3	2,82	761,4	3,32	2164	3,82	5311
1,83	47,83	2,33	224,4	2,83	778,8	3,33	2206	3,83	5401
1,84	49,53	2,34	230,7	2,84	796,6	3,34	2249	3,84	5492
1,85	51,28	2,35	237,0	2,85	814,7	3,35	2292	3,85	5583
1,86	53,07	2,36	243,6	2,86	833,2	3,36	2337	3,86	5677
1,87	54,93	2,37	250,2	2,87	852,0	3,37	2381	3,87	5772
1,88	56,83	2,38	257,6	2,88	871,2	3,38	2427	3,88	5869
1,89	58,80	2,39	264,1	2,89	890,7	3,39	2473	3,89	5966
1,90	60,82	2,40	271,2	2,90	910,6	3,40	2520	3,90	6065
1,91	62,90	2,41	278,6	2,91	930,9	3,41	2568	3,91	6165
1,92	65,03	2,42	292,7	2,92	951,6	3,42	2617	3,92	6267
1,93	67,23	2,43	298,7	2,93	972,6	3,43	2666	3,93	6370
1,94	69,49	2,44	301,5	2,94	994,1	3,44	2716	3,94	6474
1,95	71,82	2,45	309,5	2,95	1016	3,45	2767	3,95	6580
1,96	74,21	2,46	317,7	2,96	1038	3,46	2819	3,96	6687
1,97	76,66	2,47	326,0	2,97	1061	3,47	2872	3,97	6796
1,98	79,17	2,48	334,6	2,98	1084	3,48	2925	3,98	6907
1,99	81,78	2,49	343,3	2,99	1107	3,49	2979	3,99	7018
2,00	84,44	2,50	352,2	3,00	1131	3,50	3034	4,00	7132
2,01	87,19	2,51	361,3	3,01	1156	3,51	3090	4,01	7246
2,02	88,89	2,52	370,6	3,02	1181	3,52	3147	4,02	7363
2,03	93,53	2,53	380,2	3,03	1206	3,53	3204	4,03	7481
2,04	95,86	2,54	389,9	3,04	1231	3,54	3263	4,04	7600
2,05	98,97	2,55	399,8	3,05	1258	3,55	3323	4,05	7722
2,06	102,3	2,56	410,0	3,06	1284	3,56	3383	4,06	7845
2,07	105,2	2,57	420,3	3,07	1311	3,57	3444	4,07	7968
2,08	108,5	2,58	430,9	3,08	1339	3,58	3506	4,08	8093
2,09	111,9	2,59	441,7	3,09	1367	3,59	3570	4,09	8223
2,10	115,4	2,60	452,7	3,10	1396	3,60	3634	4,10	8353
2,11	119,0	2,61	464,0	3,11	1425	3,61	3701	4,11	8484
2,12	122,6	2,62	475,5	3,12	1454	3,62	3765	4,12	8616
2,13	126,4	2,63	487,2	3,13	1484	3,63	3832	4,13	8731
2,14	130,2	2,64	499,2	3,14	1515	3,64	3900	4,14	8888
2,15	134,2	2,65	511,4	3,15	1548	3,65	3969	4,15	4026
2,16	138,2	2,66	523,9	3,16	1578	3,66	4039	4,16	9167
2,17	142,3	2,67	536,6	3,17	1610	3,67	4110	4,17	9308
2,18	146,6	2,68	549,6	3,18	1643	3,68	4182	4,18	9452
2,19	151,0	2,69	562,9	3,19	1676	3,69	4256	4,19	9598
2,20	155,4	2,70	576,4	3,20	1710	3,70	4330	4,20	9748
2,21	160,0	2,71	590,3	3,21	1744	3,71	4406	4,21	9895
2,22	164,7	2,72	604,3	3,22	1779	3,72	4482	4,22	10050
2,23	169,5	2,73	618,6	3,23	1815	3,73	4560	4,23	10200
2,24	174,4	2,74	633,3	3,24	1851	3,74	4639	4,24	10355
2,25	179,5	2,75	648,2	3,25	1888	3,75	4719	4,25	10512

Приложение 2 (продолжение)

h	$h^{6,4}$	h	$h^{6,4}$	h	$h^{6,4}$	h	$h^{6,4}$	h	$h^{6,4}$
4,26	10672	4,62	17935	4,98	28991	5,34	45317	5,70	68795
4,27	10833	4,63	18185	4,99	29365	5,35	45861	5,71	69583
4,28	10995	4,64	18438	5,00	29744	5,36	46411	5,72	70365
4,29	11162	4,65	18693	5,01	30129	5,37	46967	5,73	71149
4,30	11329	4,66	18951	5,02	30513	5,38	47532	5,74	71949
4,31	11499	4,67	19216	5,03	30904	5,39	48103	5,75	72760
4,32	11670	4,68	19480	5,04	31300	5,40	48674	5,76	73568
4,33	11845	4,69	19746	5,05	31700	5,41	49259	5,77	74397
4,34	12021	4,70	20015	5,06	32104	5,42	49842	5,78	75225
4,35	12201	4,71	20291	5,07	32513	5,43	50433	5,79	76058
4,36	12380	4,72	20569	5,08	32923	5,44	51031	5,80	76904
4,37	12562	4,73	20850	5,09	33343	5,45	51637	5,81	77758
4,38	12747	4,74	21135	5,10	33763	5,46	52242	5,82	78611
4,39	12934	4,75	21420	5,11	34189	5,47	52861	5,83	79485
4,40	13125	4,76	21712	5,12	34620	5,48	53480	5,84	80356
4,41	13318	4,77	22005	5,13	35057	5,49	54106	5,85	81251
4,42	13511	4,78	22302	5,14	35493	5,50	54740	5,86	82142
4,43	13708	4,79	22605	5,15	35940	5,51	55381	5,87	83041
4,44	13907	4,80	22903	5,16	36388	5,52	56030	5,88	83952
4,45	14109	4,81	23215	5,17	36842	5,53	56686	5,89	84874
4,46	14312	4,82	23525	5,18	37300	5,54	57340	5,90	85790
4,47	14520	4,83	23839	5,19	37765	5,55	58004	5,91	86731
4,48	14730	4,84	24157	5,20	38230	5,56	58673	5,92	87670
4,49	14928	4,85	24476	5,21	38705	5,57	59362	5,93	88618
4,50	15155	4,86	24803	5,22	39183	5,58	60039	5,94	89590
4,51	15373	4,87	25130	5,23	39665	5,59	60734	5,95	90557
4,52	15592	4,88	25461	5,24	40152	5,60	61435	5,96	91538
4,53	15814	4,89	25799	5,25	40647	5,61	62136	5,97	92514
4,54	16039	4,90	26138	5,26	41147	5,62	62854	5,98	93517
4,55	16265	4,91	26480	5,27	41647	5,63	63572	5,99	94526
4,56	16494	4,92	26830	5,28	42153	5,64	64297	6,00	95534
4,57	16730	4,93	27180	5,29	42672	5,65	65031		
4,58	16965	4,94	27531	5,30	43191	5,66	65773		
4,59	17202	4,95	27894	5,31	43709	5,67	66514		
4,60	17444	4,96	28253	5,32	44240	5,68	67273		
4,61	17688	4,97	28612	5,33	44779	5,69	68030		

Приложение 3

ЗНАЧЕНИЯ ФУНКЦИЙ $\varphi(\beta)$ и $f(\beta)$

β	$m=0$		$m=0,5$		$m=1,0$		$m=1,5$	
	$\varphi(\beta)$	$f(\beta)$	$\varphi(\beta)$	$f(\beta)$	$\varphi(\beta)$	$f(\beta)$	$\varphi(\beta)$	$f(\beta)$
0,20	0,000075	0,000355	0,0202	0,0197	0,1660	0,030	0,574	—
0,30	0,000185	0,00133	0,0315	0,0295	0,2280	0,101	0,718	0,222
0,40	0,00165	0,00382	0,0555	0,0138	0,3050	0,133	0,883	0,262
0,50	0,00123	0,0115	0,0335	0,0323	0,4000	0,165	1,078	0,307
0,60	0,0030	0,0200	0,1235	0,0335	0,5120	0,202	1,300	0,353
0,70	0,0170	0,0318	0,174	0,101	0,6470	0,243	1,555	0,417
0,80	0,0295	0,0158	0,239	0,140	0,8030	0,290	1,845	0,478
0,90	0,0476	0,0345	0,330	0,175	0,9900	0,340	2,160	0,540
1,00	0,073	0,0873	0,417	0,215	1,2010	0,395	2,530	0,613
1,10	0,107	0,1135	0,526	0,259	1,4550	0,458	2,925	0,685
1,20	0,152	0,1405	0,677	0,311	1,73	0,523	3,335	0,772
1,30	0,203	0,172	0,842	0,350	2,05	0,595	3,870	0,856
1,40	0,281	0,210	1,033	0,411	2,40	0,670	4,40	0,942
1,50	0,368	0,250	1,255	0,483	2,79	0,755	4,990	1,010
1,60	0,474	0,313	1,513	0,558	3,24	0,841	5,625	1,145
1,70	0,599	0,388	1,797	0,632	3,73	0,935	6,320	1,250
1,80	0,749	0,415	2,225	0,714	4,25	1,027	7,035	1,350

Приложение 3 (продолжение)

β	$m=0$		$m=0,5$		$m=1,0$		$m=1,5$	
	$\varphi(\beta)$	$I(\beta)$	$\varphi(\beta)$	$I(\beta)$	$\varphi(\beta)$	$I(\beta)$	$\varphi(\beta)$	$I(\beta)$
1,90	0,918	0,491	2,49	0,802	4,84	1,130	7,915	1,475
2,00	1,122	0,561	2,90	0,894	5,47	1,240	8,780	1,600
2,10	1,352	0,35	3,35	0,992	6,16	1,357	9,750	1,730
2,20	1,615	0,717	3,85	1,093	6,93	1,480	10,770	1,860
2,30	1,913	0,802	4,41	1,200	7,75	1,605	11,875	2,005
2,40	2,245	0,893	5,00	1,315	8,63	1,74	13,05	2,15
2,50	2,615	0,990	5,65	1,430	9,58	1,87	14,30	2,31
2,60	3,030	1,050	6,38	1,560	10,62	2,01	15,65	2,46
2,70	3,49	1,20	7,15	1,71	11,72	2,16	17,05	2,62
2,80	4,00	1,31	8,01	1,85	12,97	2,32	18,50	2,79
2,90	4,56	1,43	8,92	1,97	14,16	2,48	20,13	2,96
3,00	5,15	1,55	9,89	2,12	15,47	2,65	21,85	3,14
3,10	5,81	1,67	10,97	2,27	16,90	2,82	23,35	3,33
3,20	6,55	1,81	12,25	2,44	18,40	3,00	25,50	3,52
3,30	7,33	1,96	13,27	2,60	20,00	3,17	27,50	3,71
3,40	8,17	2,10	14,55	2,77	21,65	3,36	29,50	3,91
3,50	9,07	2,25	15,95	2,94	23,50	3,55	31,75	4,12
3,60	10,07	2,41	17,38	3,13	25,40	3,76	34,00	4,32
3,70	11,12	2,58	18,95	3,31	27,40	3,96	36,45	4,55
3,80	12,13	2,75	20,60	3,51	28,90	4,16	38,90	4,77
3,90	13,33	2,91	22,35	3,71	31,6	4,39	41,60	5,00
4,00	14,72	3,10	22,05	3,91	34,0	4,62	44,35	5,25
4,10	16,10	3,27	26,10	4,12	36,4	4,85	47,30	5,48
4,20	17,50	3,46	28,10	4,34	38,4	5,08	50,15	5,74
4,30	19,07	3,67	30,30	4,56	41,6	5,33	53,30	5,98
4,40	20,65	3,86	32,50	4,79	44,0	5,56	56,65	6,22
4,50	22,40	4,08	34,90	5,02	47,5	5,80	60,00	6,50
4,60	24,20	4,28	37,30	5,25	50,6	6,06	63,60	6,78
4,70	26,15	4,50	39,35	5,50	53,5	6,32	67,20	7,03
4,80	28,15	4,73	42,70	5,75	56,8	6,58	71,20	7,35
4,90	30,25	4,96	45,50	6,00	60,4	6,88	75,20	7,63
5,00	32,50	5,20	48,40	6,26	63,2	7,18	79,25	7,90
5,10	34,80	5,45	51,55	6,53	68,5	7,48	83,50	8,21
5,20	37,30	5,68	54,4	6,81	71,5	7,77	88,00	8,53
5,30	39,50	5,96	58,15	7,08	75,6	8,07	92,60	8,85
5,40	42,00	6,21	61,75	7,41	79,7	8,37	97,50	9,15
5,50	45,4	6,47	65,35	7,67	84,0	8,67	102,50	9,52
5,60	48,3	6,73	69,15	7,98	88,5	8,98	107,50	9,82
5,70	51,5	7,03	73,15	8,30	93,2	9,30	113,00	10,14
5,80	54,7	7,34	77,30	8,62	98,0	9,62	118,00	10,50
5,90	58,0	7,62	81,25	8,92	103,0	9,95	124,00	10,83
6,00	61,4	7,99	85,90	9,25	108,0	10,29	129,50	11,20
6,10	64,9	8,21	90,60	9,67	113,5	10,64	135,50	11,56
6,20	68,9	8,55	95,25	9,5	119,0	10,99	141,60	11,92
6,30	72,9	8,83	100,35	10,25	125,0	11,34	148,00	12,26
6,40	77,0	9,16	105,50	10,60	130,5	11,70	154,50	12,63
6,50	81,1	9,48	110,50	10,95	136,5	12,04	161,50	13,00
6,60	85,5	9,81	115,75	11,22	142,5	12,40	168,30	13,40
6,70	90,0	10,14	121,65	11,66	149,0	12,78	175,60	13,83
6,80	94,5	10,50	127,25	12,03	156,0	13,18	183,00	14,20
6,90	99,3	10,80	133,20	12,37	162,0	13,59	190,50	14,65
7,00	104,2	11,17	139,00	12,77	170,0	14,00	197,00	15,05

Ա. Մ. Ազատյան

ՀԻՂՐՈՒՆԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ԱՌԲԵՐՈՂ ՋՐԱՆՑՔՆԵՐԻ ՏՆՏԵՍԱԿԱՆ
ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՆՈՐ ԱՆԱԼԻՏԻԿ ՄԵՅՈՂ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հիղրոնեկտրակայանների առերևող ջրանցքների տնտեսական հաշվարկման առաջարկվող մեթոդը հնարավորություն է տալիս արագ և ճշգրիտ որոշելու ջրանցքի՝ տնտեսական տեսակետից նպաստավոր պարամետրները խնդրի ինչպես ընդհանուր, այնպես էլ մասնավոր լուծման դեպքերում: Հողվածում գետեղված աղյուսակներից օգտվելիս ջրանցքի ամբողջ հաշվարկը վերածվում է պարզ թվաբանական գործողությունների:

Առաջարկվող մեթոդով հնարավոր է կատարել այն առերևող ջրանցքի տնտեսական հաշվարկը, որն ամբողջովին անցնում է լիցքով, կամ ունի մեկ կամ երկու կողային հենապատեր, ինչպես նաև հաշվի առնել գրունտահանման տարրեր արժեքներն ըստ փորվածքի խորություն: