

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 627.132:532.543

*Алибеков А.К.*

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ КАНАЛОВ

*Alibekov A.K.*

### DESIGN OF PARABOLIC CHANNELS

*Получены зависимости явного нахождения гидравлических параметров параболических каналов в земляном русле и объемов выемки, необходимых при их проектировании и строительстве, исходя из условия обеспечения устойчивости откоса при максимальном расходе воды.*

**Ключевые слова:** *параболический канал, устойчивость грунтовых откосов, канал в выемке, размывающая скорость.*

*The dependence of the apparent location of the hydraulic parameters of parabolic channels in earthen channel and volume of dredging required in their design and construction, on the basis of conditions to ensure the stability of the slope at the maximum water flow rate.*

**Key words:** *the parabolic channel, the stability of soil slopes, the channel in dredging, not washing away speed.*

**Введение.** В практике водохозяйственного строительства особенно при больших расходах экономически выгодно транспортировать воду с помощью каналов. Из-за большой протяженности их приходится трассировать в земляном русле, хотя потери воды при этом будут больше по сравнению с облицованными каналами. Что касается формы поперечного сечения, принятые на стадиях проектирования и строительства, формы в естественных условиях эксплуатации переходят в параболическую форму.

**Постановка задачи** включала в себя получение зависимостей явного определения параметров параболических каналов с учетом устойчивости земляных откосов и допускаемых скоростей течения воды.

**Методика исследования.**

1. Основные задачи при гидравлическом расчете каналов (определение размеров живого сечения, уклона, средней и допускаемых скоростей, глубины наполнения канала при различных расходах) решаются с помощью уравнения равномерного движения [1 – 3 и др.]:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (1)$$

где  $Q$  - расход канала;

$R$  - гидравлический радиус,  $R = \omega/\chi$ ;

$\omega$  – площадь живого сечения;

$\chi$  – смоченный периметр;

$C$  - коэффициент Шези, по формуле Маннинга  $C = R^{1/6}/n$ ;

$n$  – коэффициент шероховатости русла;

$i$  – продольный уклон дна канала.

Расчет параболических каналов усложняется из-за формы сечения и выбора критерия устойчивости откосов.

Как известно, уравнение параболы имеет вид:

$$x^2 = 2pz, \quad (2)$$

где  $p$  – параметр параболы;

$x$  и  $z$  – координаты (рисунок 1).

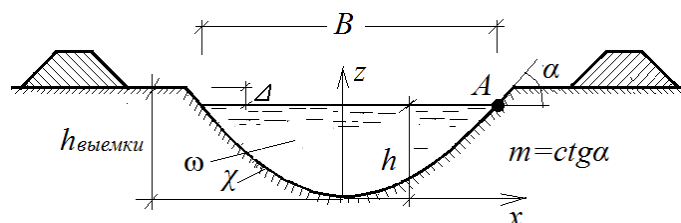
Основные зависимости для определения гидравлических элементов сечения (ширины по урезу воды  $B$ , площади живого сечения  $\omega$  и смоченного периметра  $\chi$ ) имеют вид (рисунки 1, 2):

$$B = 2\sqrt{2ph}, \quad (3)$$

$$\omega = \frac{2}{3}Bh = \frac{4}{3}\sqrt{2ph^3}, \quad (4)$$

$$\chi = p \left[ \sqrt{2\tau(1+2\tau)} + \ln(\sqrt{2\tau + \sqrt{1+2\tau}}) \right], \quad (5)$$

где  $\tau = h/p$ .



**Рисунок 1** – Расчетная схема канала

Отсюда вытекает, что каналы параболического очертания можно рассчитать или путем подбора (задаваясь значением глубины потока  $h$ ), или же при помощи соответствующих справочных графиков.

Главным из определяющих факторов при проектировании параболических каналов и поиске оптимальных значений остается выбор значения параметра параболы  $p$ . С другой стороны, в приведенных выше формулах этот параметр никак не связан с устойчивостью откосов канала, необходимость чего видна из следующих рассуждений [6].

Представим на рисунке 2 графики зависимостей форм параболы при различных значениях параметра  $p$ : с увеличением  $p > 1$  имеем более пологие каналы с большей устойчивостью откосов, а при значениях  $p < 1$  увеличивается крутизна и устойчивость откоса канала уменьшается, а при  $p = 1$  имеем некоторое промежуточное решение. Понятно, что крутые откосы неукрепленных каналов будут разрушаться, а в случае пологих каналов увеличиваются объем выемки грунта и отводимая под канал площадь.

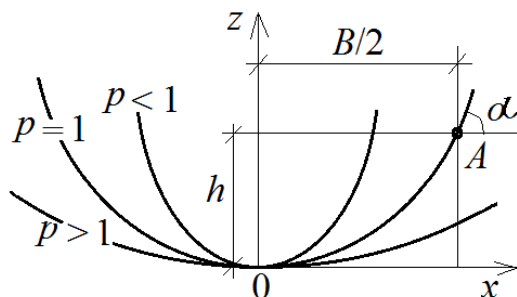


Рисунок 2 – Формы параболы

В качестве критерия устойчивости откосов канала в земляном русле в выемке примем условие равенства допустимого (минимального) значения коэффициента заложения откоса  $m$  из [1] котангенсу угла  $\alpha$  в точке  $A$  параболы при максимальной глубине наполнения канала  $h$ :

$$m = \operatorname{ctg} \alpha. \quad (6)$$

Это условие является выражением естественного процесса, происходящего в природе, когда под действием различных природных факторов, в конечном итоге, заложение откоса стремится к естественному состоянию для данного вида грунта.

С целью практического использования критерия (6) выразим из уравнения параболы (2) ординату  $z$  (глубину канала  $h$ ):

$$z = x^2/(2p) \quad (7)$$

Первая производная функции (7)

$$\frac{dz}{dx} = \frac{x}{p} = \operatorname{tg} \alpha.$$

В соответствии с (6) имеем  $m = 1/z'$ , а из (2) выразим

$$x = \sqrt{2pz} = \sqrt{2ph}.$$

Тогда, связь с коэффициентом заложения откосов  $m$  и параметром параболы примет вид:

$$m = \frac{dx}{dz} = \frac{p}{x} = \frac{p}{\sqrt{2ph}}$$

Отсюда в явном виде параметр  $p$  равен:

$$p = 2hm^2. \tag{8}$$

Поскольку в расчетах трудно задаваться нужным значением параметра параболы, а значения коэффициента заложения откосов по условию устойчивости в [1 и др.] заданы, выразим параметры параболического канала через  $m$ . Для этого подставим полученное выражение (8) в (3) – (5):

$$B = 2\sqrt{2 \cdot 2hm^2 h} = 4mh, \tag{9}$$

$$\omega = \frac{2}{3} Bh = \frac{4}{3} \sqrt{2 \cdot 2hm^2 h^3} = \frac{8}{3} mh^2, \tag{10}$$

$$\chi = 2hm^2 \left[ \sqrt{\frac{1}{m^2} \left(1 + \frac{1}{m^2}\right)} + \ln \left( \sqrt{\frac{1}{m^2} + \sqrt{1 + \frac{1}{m^2}}} \right) \right]. \tag{11}$$

Подставим в формулу Шези (1) полученные выражения и значение коэффициента  $C$  по формуле Маннинга:

$$\begin{aligned} Q &= \omega C \sqrt{Ri} = \omega \sqrt{Ri} \cdot \frac{R^{1/6}}{n} = \frac{\sqrt{i}}{n} \omega R^{2/3} = \frac{\sqrt{i}}{n} \omega \left( \frac{\omega}{\chi} \right)^{2/3} = \frac{\sqrt{i}}{n} \frac{\omega^{5/3}}{\chi^{2/3}} = \\ &= \left( \frac{8}{3} \right)^{5/3} \frac{\sqrt{i}}{n} \frac{(mh^2)^{5/3}}{\left\{ 2hm^2 \left[ \sqrt{\frac{1}{m^2} \left(1 + \frac{1}{m^2}\right)} + \ln \left( \sqrt{\frac{1}{m^2} + \sqrt{1 + \frac{1}{m^2}}} \right) \right] \right\}^{2/3}}. \end{aligned}$$

Окончательное выражение для определения пропускной способности канала

$$Q = 3,2304 \frac{\sqrt{i}}{n} h^{8/3} \frac{m^{1/3}}{\left( \frac{1}{m} \sqrt{1 + \frac{1}{m^2}} + \ln \sqrt{\frac{1}{m^2} + \sqrt{1 + \frac{1}{m^2}}} \right)^{2/3}}. \tag{12}$$

В задачах, где расход  $Q$  является известной величиной, из (12) можно получить явное выражение для определения глубины наполнения канала:

$$h = \left( \frac{Qn}{3,2304\sqrt{i}} \right)^{3/8} m^{-1/8} \left[ \frac{1}{m} \sqrt{1 + \frac{1}{m^2}} + \ln \sqrt{\frac{1}{m^2} + \sqrt{1 + \frac{1}{m^2}}} \right]^{1/4}. \tag{13}$$

2. Помимо учтенной выше устойчивости откоса на обрушение, необходимо соблюдать как минимум еще два условия: устойчивость русла на размыв и недопущение заиления канала.

При больших скоростях в каналах наблюдаются размывы дна и откосов, разрушение облицовок, в результате чего теряется командование, разрушают-

ся дамбы, происходит заиление нижележащих участков. При малых скоростях в каналах откладываются наносы, каналы сильно зарастают водной растительностью. Вследствие уменьшения площади поперечного сечения и увеличения шероховатости пропускная способность канала уменьшается. Чтобы обеспечить устойчивость русла каналов, при выборе расчетной скорости течения необходимо соблюдать условие: скорость течения должна быть меньше допустимой неразмывающей скорости  $v_{\text{нер}}$  и больше допустимой незаиляющей скорости  $v_{\text{нез}}$ .

Допускаемой скоростью на заиление  $v_{\text{нез}}$  называется та минимальная скорость течения воды, при которой наносы данного гранулометрического состава транспортируются по каналам, не выпадая по пути потока. Незаиляющая скорость зависит главным образом от количества наносов, их гранулометрического состава, размеров поперечного сечения канала и уклона его. В. В. Пославский и Г. С. Чекулаев ввели понятие о транспортирующей способности потока  $\rho$ , как о максимальном количестве наносов данного гранулометрического состава, которое может переносить поток при определенных гидравлических характеристиках русла. Строгое теоретическое решение задачи о взвешивании наносов в турбулентном потоке пока отсутствует, поэтому для определения  $\rho$  и  $v_{\text{нез}}$  используют преимущественно эмпирические зависимости.

Обычно применяют формулу Е. А. Замарина, полученную в результате анализа и обобщения опытного материала по многим оросительными системам.

По Е. А. Замарину, удельная транспортирующая способность потока ( $\text{кг/м}^3$ ):

$$\rho = \frac{700v}{W_0} \sqrt{\frac{RIv}{W}},$$

где  $v$  - средняя скорость течения, м/с;

$I$  - гидравлический уклон потока;

$W$  - средняя гидравлическая крупность взвешенных наносов, мм/с;

$W = W_0$ , если  $W > 2$  мм/с и  $W_0 = 2$  мм/с, если  $W < 2$  мм/с.

Средняя гидравлическая крупность наносов:

$$W = \sum \rho_i W_i / 100,$$

где  $\rho_i$  - процентное содержание наносов той или иной фракции;

$W_i$  - средняя гидравлическая крупность фракций, принимаемая по А.Н. Гостунскому:

$$W_i = (W_1 + 3W_2)/4,$$

где  $W_1$  и  $W_2$  - наибольшее и наименьшее предельные значения гидравлической крупности для данной фракции.

Для состояния, соответствующего незаилающей скорости, справедливо равенство  $\rho = \rho_m$ , где  $\rho_m$  — мутность потока, и тогда из формулы Е. А. Замакина получаем выражение для допустимой скорости на заиление:

$$v_{нез} = \sqrt[3]{\frac{\rho_m^2 W_0^2 W}{700^2 R I}}. \quad (14)$$

Для постоянных оросительных каналов минимальные скорости рекомендуется принимать не менее 0,3 м/с и только при заборе осветленной воды из водохранилищ они могут быть снижены до 0,2 м/с.

Важна также оценка допускаемой неразмывающей скорости  $v_{нер}$ . Чем больше данная скорость и степень турбулентности потока, тем интенсивнее проявляются размывы русла. В [1 и др.] допускаемую неразмывающую скорость потока для связных грунтов рекомендуется принимать в зависимости от среднего диаметра и плотности частиц грунта, глубины потока, содержания в воде глинистых частиц, разнозернистости грунта, типа и режима работы каналов, а для глинистых грунтов — в зависимости от расчетного удельного сцепления грунта и содержания в нем солей, содержания в воде глинистых частиц, плотности грунта, средней глубины потока, типа и режима работы канала. Для каналов с расходом более 50 м<sup>3</sup>/с значение неразмывающей скорости рекомендуется устанавливать на основании специальных исследований.

Допускаемую неразмывающую скорость потока для несвязных грунтов можно определить по формуле [4 -5]:

$$v_{нер} = u_{*0}(2/\lambda)^{0,5}, \quad (15)$$

где  $u_{*0}$  — динамическая скорость потока, отвечающая началу трогания частиц зернистого несвязного материала;

$\lambda$  — коэффициент гидравлического трения.

Для области гидравлически гладких русел, когда диаметр частиц грунта  $0,1 \text{ мм} \leq d \leq 0,25 \text{ мм}$

$$u_{*0} = 0,502 Ar_d^{-0,15} \sqrt{\rho' g d},$$

$$\lambda = 0,0008 + 0,0435 Ar_R^{-0,083} \lambda^{0,118}.$$

Для области доквадратичного сопротивления,  $0,25 \text{ мм} \leq d \leq 1 \dots 2 \text{ мм}$

$$u_{*0} = 0,314 Ar_d^{-0,068} \sqrt{\rho' g d},$$

$$\lambda = (4 \ln \frac{R}{\Delta_{\vartheta}} - 1,4 Ar_{\Delta_{\vartheta}} + 11,28)^{-2}.$$

Для области квадратичного сопротивления,  $d \geq 1 \dots 2 \text{ мм}$

$$u_{*0} = 0,162 \sqrt{\rho' g d},$$

$$\lambda = (4 \ln \frac{R}{\Delta_{\vartheta}} + 4,25)^{-2},$$

где  $\rho' = (\rho_{гр}/\rho_v - 1)$  - относительная плотность взвешенного грунта,

$$Ar_d = \frac{gd^3}{\nu_B^2} \rho', \quad Ar_{\Delta\varnothing} = \frac{g\Delta\varnothing^3}{\nu_B^2} \rho', \quad Ar_R = \frac{gR^3}{\nu_B^2} \rho'$$

- критерии Архимеда, вычисляемые по диаметру частиц грунта  $d$ , эквивалентной шероховатости  $\Delta\varnothing$  и гидравлическому радиусу  $R$ ,  $\Delta\varnothing \approx d$  при  $d \leq 4$  мм,  $\Delta\varnothing \approx 0,82d$  при  $4 \text{ мм} < d \leq 20 \text{ мм}$ ,  $\Delta\varnothing \approx 0,5d$  при  $d > 20 \text{ мм}$ ,

$\rho_B$ ,  $\nu_B$  – соответственно плотность и коэффициент кинематической вязкости воды.

3. Для определения объема выемки грунта при возведении канала нужно знать превышение бровок канала над максимальным уровнем воды в канале  $\Delta$  (рисунок 1). Фактически это превышение зависит от множества факторов: увеличение шероховатости по мере эксплуатации, заиливание, уменьшение скорости течения при встречном ветре, подпоры у мостов и водоподпорных сооружений, осадка после возведения, смыл грунта при выпадении атмосферных осадков и др. Для уменьшения просадки грунта по трассе каналов рекомендуется предварительно замачивать. Учесть все факторы при назначении  $\Delta$  очень трудно и поэтому используют опыт эксплуатации уже построенных каналов. В [2] путем аппроксимации табличных данных из [1] для каналов без облицовки, с грунтово-пленочным экраном и для сооружений при наличии аэрации или сбойности течения предложена зависимость:

$$\Delta = 0,2 + 0,008Q - 0,00004Q^2.$$

Тогда с учетом (10) объем выемки грунта на длине  $l$  равен:

$$V_{\text{выем}} = 2m\Delta(2h + \Delta)l. \quad (16)$$

**Вывод.** При проектировании параболических каналов в земляном русле в выемке для определения гидравлических параметров получены выражения (8) - (12), которые базируются на условии устойчивости земляных откосов на обрушение. Явность этих выражений создаст удобства проектировщикам. Значения допускаемых скоростей течения воды в каналах можно найти по [1], зависимостям (14), (15) или рекомендациям других авторов. Полный объем выемки грунта при возведении канала можно найти по зависимости (16).

При выполнении расчетов по предлагаемым зависимостям предварительно по [1 и др.] для данного вида грунта ложа канала принимаются коэффициенты шероховатости русла  $n$  и заложения откосов  $m$ . Далее из равенства  $m = \text{ctg}\alpha$  определяется угол  $\alpha$  наклона к горизонтали касательной, проведенной в точке уреза воды при максимальной глубине канала. Точка параболы с найденным углом  $\alpha$  определяет положение линии уреза воды поверху, от которой отсчитываются остальные параметры.

#### Библиографический список:

1. СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 65 с.

2. Алибеков А.К., Гасанов К.А. Проектирование каналов в земляном русле с оптимальными параметрами: Учебное пособие. – Махачкала: ФГБОУ ВПО «ДГТУ», 2013.
3. Дементьев В.Г. Орошение. – М.: Колос, 1979. - 304 с.
4. Михалев М.А., Алибеков А. К. Условие начала трогания несвязных грунтов. В кн.: Гидравлика русловых потоков: Сб. науч. тр. – Калинин: КГУ: 1985. – С. 8 - 14.
5. Михалев М.А. Распределение скорости течения по живому сечению каналов различного поперечного сечения при равномерном движении. Сб. науч. тр. ЛПИ. Л.: ЛПИ, 1982, № 383. – С. 8 - 15.
6. Алибеков Г.А. Математическое моделирование максимальной длины гидравлических каналов в естественном русле с помощью ЭВМ// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2014. – № 2(33). – С. 31-40.

**УДК 620.98**

*Герейханов Р.К., Магомедов А.М.*

## **СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

*Gerey Khanov R.K., Magomedov A.M.*

## **METHOD FOR INCREASING THE ACCURACY OF MEASUREMENT INTELLIGENT ELECTRICITY METERING SYSTEMS**

*В данной статье рассматриваются вопросы повышения точности измерений первичных средств сбора информации, проводится анализ методов автоматической коррекции погрешностей, на основе которых предлагается решение проблем, связанных с увеличением точности устройств сбора и учета электроэнергии.*

**Ключевые слова:** *точность измерений, электроэнергия, погрешность, алгоритм.*

*This article discusses the issues of improving the accuracy of measurements of the primary means of gathering information, the analysis of methods for automatic correction of errors on the basis of which the proposed solution to the problems associated with increasing the accuracy of data collection devices and electricity metering.*

**Key words:** *accuracy of measurements, electric power, error, algorithm.*