

УДК 556.53

Ю. М. Косиченко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

Е. Г. Угроватова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛИГОНАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ КАНАЛОВ В ЗЕМЛЯНОМ РУСЛЕ

Целью работы является апробация методики расчета канала рационального профиля в земляном русле на примере Невинномысского канала и сравнение полученных результатов с реальными параметрами действующего канала. С целью упрощения решения предложено полигональное сечение заменить приведенным трапецидальным сечением. Используя основное уравнение равномерного движения в открытом русле, получили зависимость для параметра оптимизации и разработали методику расчета основных параметров полигонального рационального профиля, которую апробировали на примере Невинномысского канала.

Ключевые слова: полигональное сечение, земляное русло, гидравлически наивыгоднейшее сечение.

Yu. M. Kosichenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

E. G. Ugrovatova

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

OPTIMIZATION OF THE POLYGONAL CANAL CROSS SECTION IN THE EARTH CANAL

The aim of the work is to test the calculation methodology for the rational profile canal in an earth canal by the example of the Nevinnomysskiy Canal and to compare the results obtained with the actual parameters of the operating canal. In order to simplify the solution, the polygonal cross-section is proposed to be replaced with the given trapezoidal cross-section. Using the basic equation of uniform motion in an open canal, a dependence for the optimization parameter has been obtained and a technique for calculating the basic parameters of a polygonal rational profile, which was tested using the example of the Nevinnomysskiy Canal has been developed.

Key words: polygonal section, earth canal, the most efficient hydraulic cross-section.

Введение. Вопросы оптимизации поперечных сечений каналов представляют значительный интерес, поскольку объем земляных работ определяется непосредственно площадью сечения каналов.

Изучением оптимизации поперечных сечений каналов занимались многие ученые: Р. Р. Чугаев [1], А. А. Угинчус [2], А. М. Латышенков [3], С. О. Курбанов и Н. В. Ханов [4] и др.

Как известно, абсолютно наивыгоднейшим с гидравлической точки зрения сечением будет такое, при котором обеспечивается максимальный расход в канале [2, 3].

При минимальном значении периметра смоченной части русла $\chi_{\min}$ происходит снижение объемов выполняемых работ и материалов для устройства облицовки канала.

При разных значениях коэффициентов откосов параметр гидравлически наивыгоднейшего профиля канала трапецидального сечения будет равен [1]:

$$\beta_{г.н.} = \sqrt{1+m_1^2} + \sqrt{1+m_2^2} - (m_1 + m_2),$$

где m_1 и m_2 – коэффициенты заложения откосов канала.

Значения параметра гидравлически наивыгоднейшего профиля канала при разных m_1 и m_2 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения параметра наивыгоднейшего профиля канала

m	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
$\beta_{г.н.}$	2	1,56	1,236	1,0	0,828	0,606	0,472	0,385	0,325	0,246

Поскольку гидравлически наивыгоднейшие профили каналов получаются узкими и глубокими, то с практической точки зрения они будут неудобными при эксплуатации. Поэтому целесообразно получить профили каналов, в которых отношение скоростей $\vartheta/\vartheta_{г.н.}$ было бы на 2–3 % меньше единицы.

В таких каналах отношение площадей $\omega/\omega_{г.н.}$ на 2–3 % должно превышать единицу. При малых отклонениях от гидравлически наивыгоднейшей площади $\omega_{г.н.}$ параметр $\beta = b/h$ резко возрастет. В этом случае площадь сечения канала рекомендуется назначить в пределах $\omega \leq (1,01...1,05)\omega_{г.н.}$.

Материалы и методы. Для расчета таких каналов Р. Р. Чугаев [1] предложил ввести понятие практически наивыгоднейшего параметра $\beta_{г.н.}^0$, при котором величина ω будет незначительно отличаться от $\omega_{мин}$. При этом каналы будут иметь относительно малую глубину.

Параметр $\beta_{г.н.}^0$ будет иметь значение в пределах:

$$\beta_{г.н.} \leq \beta_{г.н.}^0 \leq \beta_{г.н.пред}$$

где $\beta_{г.н.пред}$ находится по формуле:

$$\beta_{г.н.пред} = 2,5 + \frac{m}{2}.$$

Так как каналы абсолютно гидравлически наивыгоднейшего сечения, как правило, получаются неудобными с практической точки зрения, их целесообразно проектировать только для некоторых типов мелиоративных каналов – сбросных и коллекторно-дренажных.

В связи с этим крупные магистральные каналы не проектируют с гидравлически наивыгоднейшим профилем. Малые мелиоративные каналы систем орошения и осушения целесообразно проектировать с профилем, близким к гидравлически наивыгоднейшему.

В работах А. А. Угинчуса, А. М. Латышенкова и др. [2, 3] было указано, что поперечные профили каналов необходимо выполнять близкими к абсолютно гидравлически наивыгоднейшему сечению за счет незначительного уменьшения (на 2–3 %) средней скорости движения потока. В результате можно отказаться от неудобных и невыгодных сечений (узких и глубоких) с параметрами формы канала $\beta = 0,25...0,83$ и перейти к более удобным трапецидальным сечениям с $\beta = 2,2...4,4$ [3]. Такой профиль канала можно назвать рациональным, так как он будет выгодным с гидравлической точки зрения (близким к гидравлически наивыгоднейшему сечению) и более удобным с практической точки зрения (легче проводить очистку каналов от наносов различными механизмами).

Применение полигональных сечений в крупных каналах объясняется тем, что они соответствуют естественной плавной форме сечения, очерчиваемой по части окружности или параболы.

С целью определения параметра оптимизации рационального профиля канала полигонального сечения $\beta_{\text{рац}}$ используем уравнение равномерного движения в открытом русле [1]:

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = K = \omega C \sqrt{R}, \quad (1)$$

где Q – расход канала, м³/с;

i – уклон дна канала;

ω – площадь сечения канала, м²;

C – коэффициент Шези;

R – гидравлический радиус, м.

Согласно предложению А. М. Латышенкова [3] учтем соотношения между скоростью и площадью сечения в виде:

$$A_0 = \frac{v}{v_{\text{г.н.}}} = \frac{\omega_{\text{г.н.}}}{\omega}, \quad (2)$$

где A_0 – коэффициент скорости, принимаемый равным 0,97;

v , $v_{\text{г.н.}}$ – средние скорости живого сечения, близкого к гидравлически наивыгоднейшему, и гидравлически наивыгоднейшего сечения, м/с;

ω , $\omega_{\text{г.н.}}$ – площади живого сечения, близкого к гидравлически наивыгоднейшему, и гидравлически наивыгоднейшего сечения, м².

Учитывая сложность определения параметра $\beta_{\text{рац}}$ для полигонального сечения, по предложению А. А. Угинчуса [2] для упрощения расчетов приведем откосы полигонального сечения к фиктивному трапецидальному сечению $m_{\text{пр}}$. Тогда параметр $\beta_{\text{рац}}$ трапецидального сечения рассчитывается по общеизвестной формуле с учетом приведенного заложения откоса:

$$\beta_{\text{г.н.}} = \left(\frac{b}{h} \right)_{\text{г.н.}} = 2 \left(\sqrt{1 + m_{\text{пр}}^2} - m_{\text{пр}} \right). \quad (3)$$

Заменяя в основном уравнении (1) гидравлические параметры ω , R и C выражениями в соответствии с уравнениями (2) и (3):

$$\omega = 1,03 \cdot \omega_{\text{г.н.}} = 1,03 \cdot h_{\text{г.н.}}^2 \cdot (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}}),$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h \cdot (\beta + m_{\text{пр}})}{(\beta + 2\sqrt{1 + m_{\text{пр}}^2})},$$

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6} = \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{h \cdot (\beta + m_{\text{пр}})}{\beta + 2\sqrt{1 + m_{\text{пр}}^2}} \right]^{1/6},$$

запишем его в виде:

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = 1,03 \cdot h_{\text{г.н.}}^2 \cdot (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}}) \cdot \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{h(\beta + m_{\text{пр}})}{\beta + 2\sqrt{1 + m_{\text{пр}}^2}} \right]^{2/3},$$

где h – глубина канала, м;

$m_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент заложения откосов;

β – относительная ширина канала по дну;

χ – смоченный периметр, м;

n – коэффициент шероховатости русла.

Приняв $\beta = \beta_{\text{рац}}$, получим выражение для определения параметра оптимизации $\beta_{\text{рац}}$ фиктивного трапецеидального профиля канала рационального профиля, близкого к гидравлически наивыгоднейшему сечению [5]:

$$\beta_{\text{рац}} = \frac{2\sqrt{1+m_{\text{пр}}^2}(Q \cdot n)^{3/2} - h \cdot m_{\text{пр}}[i^{0.5}1,03h_{\text{г.н.}}^2(\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2}}{h[i^{0.5}1,03h_{\text{г.н.}}^2(\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2} - (Q \cdot n)^{3/2}}. \quad (4)$$

Учитывая, что $A_h = \frac{h}{h_{\text{г.н.}}}$ [3], запишем $h = A_h \cdot h_{\text{г.н.}}$. Откуда, если принять

$$A_9 = 0,97, \text{ по А. М. Латышенкову } A_h = \frac{1 - \sqrt{1 - A_9^4}}{A_9^{5/2}}, \quad A_h = 0,713. \text{ Тогда } h = 0,713h_{\text{г.н.}}.$$

Подставляя его в формулу (4), запишем в более общем виде:

$$\beta_{\text{рац}} = \frac{A \cdot 2\sqrt{1+m_{\text{пр}}^2} - B \cdot m_{\text{пр}}}{B - A},$$

где $A = (Q \cdot n)^{3/2}$;

$$B = 0,713h_{\text{г.н.}}^4[1,03i^{0.5}(\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2}.$$

Параметр $h_{\text{г.н.}}$ для фиктивного трапецеидального сечения вычисляем по формуле:

$$h_{\text{г.н.}} = \sqrt[4]{\frac{(A \cdot 2\sqrt{1+m_{\text{пр}}^2})}{B' m_{\text{пр}}}}, \quad (5)$$

где $B' = 0,713[1,03i^{0.5}(\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2}$.

Далее рассмотрим предлагаемую авторами методику расчета канала рационального полигонального сечения [5].

1 Задаемся глубинами элементов полигонального сечения $h_1, h_2, h_3, h = h_1 + h_2 + h_3$.

2 Принимаем в первом приближении относительные глубины каждой части полигонального сечения: нижней $\alpha_1 = h_1 / h$, средней $\alpha_2 = h_2 / h$, верхней $\alpha_3 = h_3 / h$.

3 Находим приведенные значения коэффициентов заложения откосов трапецеидального сечения [3]:

$$m_{\text{пр}} = \frac{(1 + 2\alpha_2 + 2\alpha_3) \cdot m_1 + (\alpha_2^2 + 2\alpha_2\alpha_3) \cdot m_2 + \alpha_3^2 m_3}{(1 + \alpha_2 + \alpha_3)^2},$$

$$m'_{\text{пр}} = \frac{m'_1 + \alpha_2 m'_2 + \alpha_3 m'_3}{1 + \alpha_2 + \alpha_3},$$

$$\text{где } m'_1 = 2\sqrt{1+m_1^2};$$

$$m'_2 = 2\sqrt{1+m_2^2};$$

$$m'_3 = 2\sqrt{1+m_3^2};$$

где m_1, m_2, m_3 – коэффициенты заложения откосов элементов полигонального сечения.

4 Находим $\beta_{\text{г.н.}}$:

$$\beta_{\text{г.н.}} = \left(\frac{b}{h}\right)_{\text{г.н.}} = 2\left(\sqrt{1+m_{\text{пр}}^2} - m_{\text{пр}}\right).$$

5 Вычисляем значение параметра рационального профиля фиктивного трапецеидального канала по формуле (4):

$$\beta_{\text{рац}} = \frac{2\sqrt{1+m_{\text{пр}}^2} (Q \cdot n)^{3/2} - h \cdot m_{\text{пр}} [i^{0.5} 1,03 h_{\text{г.н.}}^2 (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2}}{h [i^{0.5} 1,03 h_{\text{г.н.}}^2 (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2} - (Q \cdot n)^{3/2}}.$$

6 Определяем $h_{\text{г.н.}}$ по формуле (5):

$$h_{\text{г.н.}} = \sqrt[4]{\frac{(A \cdot 2\sqrt{1+m_{\text{пр}}^2})}{B' m_{\text{пр}}}},$$

где $B' = 0,713 [1,03 i^{0.5} (\beta_{\text{г.н.}} + m_{\text{пр}})]^{3/2}$.

7 Находим полную глубину канала полигонального рационального профиля:

$$h_{\text{рац}} = 0,713 \cdot h_{\text{г.н.}}$$

8 Находим ширину по дну полигонального рационального профиля:

$$b_{\text{рац}} = \beta_{\text{рац}} \cdot h_{\text{рац}}$$

9 Вычисляем площадь живого сечения и смоченный периметр полигонального рационального профиля:

$$\omega_{\text{рац}} = (b_{\text{рац}} + m_{\text{пр}} \cdot h_{\text{рац}}) \cdot h_{\text{рац}},$$

$$\chi_{\text{рац}} = b_{\text{рац}} + 2h_{\text{рац}} \cdot \sqrt{1+m_{\text{пр}}^2}.$$

10 Определяем глубину h_1 для полигонального рационального профиля:

$$h_1 = \frac{h_{\text{рац}}}{1 + \alpha_2 + \alpha_3},$$

$$h_1 = \frac{3\chi}{2(m_1' - m_1 + k_2 + k_3)} - \sqrt{\frac{(3\chi)^2}{4(m_1' - m_1 + k_2 + k_3)^2} - \frac{\omega}{m_1' - m_1 + k_2 + k_3}},$$

где $k_2 = \alpha_2(m_2' - m_1' + \alpha_2 m_2' + \alpha_3 m_3' - 2m_1 - \alpha_2 m_2 + \alpha_3 m_2' - 2\alpha_3 m_2)$;

$$k_3 = \alpha_3(m_3' + m_1' + \alpha_3 m_3' - 2m_1 - \alpha_3 m_3).$$

11 Находим глубины h_2 , h_3 и h :

$$h_2 = \alpha_2 \cdot h_1,$$

$$h_3 = \alpha_3 \cdot h_1,$$

$$h = h_1 + h_2 + h_3.$$

12 При значении полной глубины h , отличающейся от ранее заданной, на втором этапе выполняется пересчет параметров рационального полигонального профиля.

13 Определяем ширину по верху каждой части рационального профиля полигонального сечения:

$$B_1 = b_{\text{рац}} + 2m_1 h_1,$$

$$B_2 = B_1 + 2m_2 h_2,$$

$$B_3 = B_2 + 2m_3 h_3.$$

Результаты и обсуждение. Далее приведем расчет рационального профиля полигонального сечения на примере Невинномысского канала при следующих данных: $Q = 75 \text{ м}^3/\text{с}$; $m_1 = 3$; $m_2 = 2$; $m_3 = 1,5$; $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1$; $n = 0,0225$; $i = 0,00014$.

В таблице 2 даны результаты расчетов всех параметров, а сравнение с Невинномысским каналом – в таблице 3.

Согласно выполненным расчетам, основные расчетные параметры полигонального рационального профиля (см. таблицу 3): глубина h , ширина по дну b , ширина канала по верху B_3 и параметр β – получены близкими к земляному руслу Невинномысского канала [5].

Таблица 2 – Результаты расчетов канала по методике авторов

$m_{пр}$	$m'_{пр}$	$\beta_{г.н.}$	$h_{г.н.}, м$	$\beta_{рац}$	$h_{рац}, м$	$b_{рац}, м$	$\omega_{рац}, м^2$	$\chi_{рац}, м$
2,5	4,8	0,385	5,63	2,88	4,01	11,56	86,6	33,1

Продолжение таблицы 2

$R_{рац}, м$	$\Theta_{рац}, м/с$	$h_1, м$	$h_2, м$	$h_3, м$	$B_1, м$	$B_2, м$	$B_3, м$
2,67	0,87	1,34	1,34	1,34	19,6	24,96	30,3

Таблица 3 – Сравнение расчетных параметров с Невинномысским каналом

Наименование сечения канала	Задаваемый параметр				Расчетный параметр			
	$Q, м^3/с$	$\Theta, м/с$	i	n	$h, м$	β	$b, м$	$B_3, м$
Расчетное сечение	75,0	0,87	0,00014	0,0225	4,0	2,88	11,6	30,3
Сечение Невинномысского канала	75,0	1,04	0,00014	0,0250	3,9	2,56*	$\frac{6,0}{10,0}^*$	31,6

* Расчет параметров проводился для деформированного русла.

Вывод. На основании сравнения полученных параметров расчетного сечения с сечением натурального канала можно заключить, что параметры близки к рациональному расчетному профилю.

Список использованных источников

- 1 Чугаев, Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости) / Р. Р. Чугаев. – 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.
- 2 Угинчус, А. А. Гидравлические и технико-экономические расчеты каналов / А. А. Угинчус. – М.: Стройиздат, 1965. – 274 с.
- 3 Каналы систем водоснабжения и ирригации (рекомендации по проектированию и эксплуатации каналов) / А. М. Латышенков [и др.]. – М.: Стройиздат, 1972. – 153 с.
- 4 Курбанов, С. О. Основы оптимизации полигональных сечений гидротехнических каналов / С. О. Курбанов, Н. В. Ханов // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 12. – С. 27–31.
- 5 Косиченко, Ю. М. Исследование гидравлически выгодного профиля полигонального сечения крупных каналов и их гидравлических сопротивлений / Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватова // Природообустройство. – 2014. – № 2. – С. 85–89.

УДК 620(075.8)

А. Н. Рыжаков, А. А. Кузьмичёв, Л. Н. Медведева

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

Д. В. Белых

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация; Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ОБЪЕКТАХ МЕЛИОРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ПРИГОРОДНОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ)

В статье представлены результаты исследований использования солнечной энергии на объектах мелиорации. Предложен вариант размещения на магистральном канале Пригородной оросительной системы Краснодарского края солнечных панелей в количестве, необходимом для покрытия потребляемой мощности одного агрегата