

**С. О. КУРБАНОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова

**Н. В. ХАНОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

**МЕТОДИКА РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ ПОЛИГОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ**

*Дано обоснование необходимости проектирования мелиоративных каналов полигонального профиля. Сделан анализ авторских разработок по полигональным каналам наивыгоднейших сечений и методам их оптимизации. На основе полученных результатов аналитических исследований приведена методика и модель расчетного обоснования каналов полигонального сечения с двумя и тремя парами симметричных откосов и шириной понизу  $b \geq 0$ .*

*Каналы полигонального профиля, наивыгоднейшее сечение, оптимальные параметры, модель расчетного обоснования, блок-схема расчета.*

*There is given a substantiation of the necessity of designing reclamation canals of a polygonal profile. The analysis of authors' developments on the polygonal canals of optimal sections and methods of their optimization is made. And on the basis of the received results of analytical researches the method and model of the rated substantiation of canals of a polygonal section with two and three pairs of symmetric slopes and width low  $b \geq 0$  is given.*

*Canals of a polygonal profile, optimal section, optimal parameters, model of rated substantiation, calculation flow-chart.*

Большие и средние мелиоративные каналы с пропускной способностью более 10 м<sup>3</sup>/с целесообразно проектировать в формате полигонального профиля. В основном это магистральные и межхозяйственные каналы оросительно-обводнительных систем [1, 2].

При гидравлическом расчете каналов решают вопросы выбора оптимальной трассы и уклона канала, наивыгоднейшего поперечного сечения с эффективной облицовкой. С этой целью рассматривают ряд вариантов каналов с разными уклонами и поперечными сечениями. Для каждого варианта проводят гидравлические и технико-экономические расчеты, затем выбирают наиболее оптимальный вариант. Это большой объем расчетов, который очень сложно выполнить вручную (существующие методы гидравлического расчета каналов не позволяют использовать современные системы электронного проектирования) [3–7].

При автоматической системе проектирования требуется составить математическую модель расчета с алгоритмами определения гидравлических и технико-экономических параметров

каналов. Для составления математической модели воспользуемся методикой оптимизации полигональных сечений и материалами авторских изобретений по полигональным каналам наивыгоднейшего сечения, полученными ранее [3, 8–11]. На их основе составим блок-схему модели расчета. При составлении блок-схемы вначале необходимо принять трассу и уклон канала, которые определим по продольному профилю с учетом обеспечения минимума земляных работ и баланса грунтовых масс. Принимается и форма поперечного сечения канала с двумя или тремя парами симметричных откосов. При этом для каждого рассматриваемого сечения составляем отдельную блок-схему модели расчета.

Методика и модель расчетного обоснования энергетических каналов полигонального профиля имеет свои особенности и опубликована ранее [12].

На основе анализа результатов аналитических и экспериментальных исследований для полигональных каналов с двумя парами симметричных откосов и треугольным основанием получены безразмерные критерии оптимизации их

сечений, выраженные через относительную ширину  $\beta$  и относительную глубину  $\alpha_2$  (рис. 1):

$$\beta_2 = \frac{B}{h_1} \geq 2m_2\alpha_2; \quad \alpha_2 = \frac{h_2}{h_1} \geq \frac{\sqrt{1+m_1^2}}{\sqrt{1+m_2^2}}. \quad (1)$$

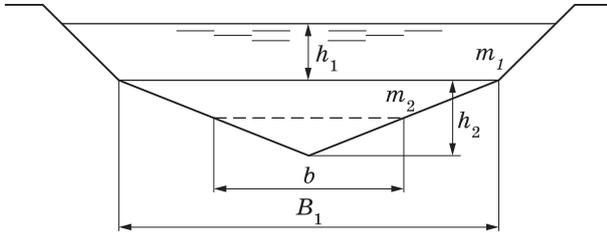


Рис. 1. Полигональное сечение с двумя парами симметричных откосов и шириной понизу  $b \geq 0$

Эти формулы выражают основные признаки формы поперечного сечения полигонального канала и служат критериями оптимизации его сечения. С их помощью легко выражаются основные гидравлические характеристики канала через одну переменную  $h_1$  – глубину верхней части сечения.

При этом оптимальные значения заложений откосов и их соотношения лежат в следующих пределах:

$$m_1 = 0,5 \dots 1,5; \quad m_2 = 3 \dots 8; \quad m_1/m_2 = 1/4 \dots 1/8. \quad (2)$$

Гидравлический радиус (с учетом ранее полученных формул [3, 4])

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{\omega}{2h_1(\sqrt{1+m_1^2} + \alpha_2\sqrt{1+m_2^2})}; \quad (3)$$

средняя скорость потока

$$v = C\sqrt{RI} = \frac{1}{n} \left( \frac{h_1(\beta + m_1 + m_2\alpha^2)}{2(\sqrt{1+m_1^2} + \alpha\sqrt{1+m_2^2})} \right)^{2/3} i^{1/2}. \quad (4)$$

Расход канала

$$Q = \omega v, \quad (5)$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости, который является известной величиной;  $I$  – гидравлический уклон потока, который принимается в практических расчетах равным уклону дна канала  $i$ , который также в большинстве случаев бывает известным;  $C$  – коэффициент Шези.

Для полигональных каналов с тремя парами симметричных откосов критерии и формулы по определению их характеристик видоизменяются с учетом увеличения количества откосов и глубин (рис. 2). Критерии оптимизации сечений для этих каналов принимают следующий вид:

$$\beta = \frac{B}{h_1} \geq 2m_2\alpha_2 + 2m_3\alpha_3; \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_2 = \frac{h_2}{h_1} \geq \frac{\sqrt{1+m_1^2}}{\sqrt{1+m_2^2}}; \\ \alpha_3 = \frac{h_3}{h_1} \geq \frac{\sqrt{1+m_1^2}}{\sqrt{1+m_3^2}}. \end{array} \right.$$

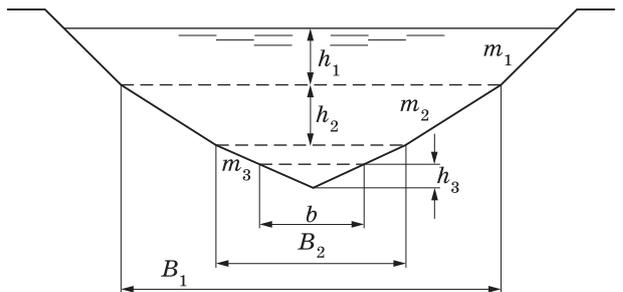


Рис. 2. Полигональное сечение с тремя парами симметричных откосов и шириной понизу  $b \geq 0$

Уравнения (6) связывают все основные параметры сечения полигонального канала с тремя парами симметричных откосов в безразмерные критерии, с помощью которых упрощаются гидравлические и технико-экономические расчеты. На канал с такими параметрами (6) и наиболее выгодными значениями заложений откосов –

$$m_1 = 0 \dots 1,5; \quad m_2 = 1,5 \dots 3; \quad m_3 = 4 \dots 8; \quad m_1/m_2 = m_2/m_3 = 1/4 \dots 1/6 \quad (7)$$

выдан патент на изобретение [4]. При этом гидравлический радиус определяется по зависимости

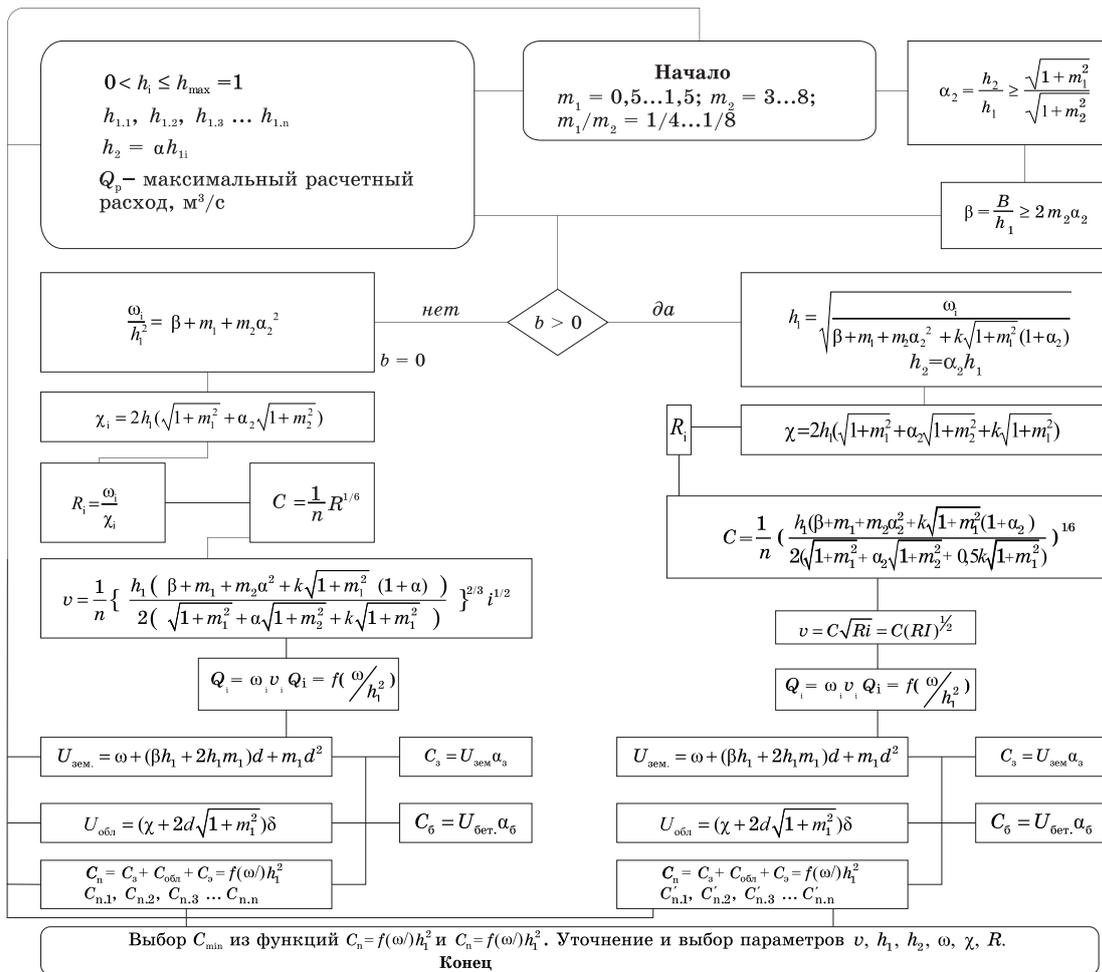
$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{h_1(\beta + m_1 + m_3\alpha_3^2 + 2m_2\alpha_3\alpha_2 + m_2\alpha_2^2)}{2(\sqrt{1+m_1^2} + \alpha_2\sqrt{1+m_2^2} + \alpha_3\sqrt{1+m_3^2})}. \quad (8)$$

Средняя скорость потока

$$v = \frac{1}{n} \left\{ \frac{h_1(\beta + m_1 + m_2\alpha^2 + k\sqrt{1+m_1^2}(1+\alpha))}{2(\sqrt{1+m_1^2} + \alpha\sqrt{1+m_2^2} + k\sqrt{1+m_1^2})} \right\}^{2/3} i^{1/2}. \quad (9)$$

На основе методики оптимизации полигональных сечений для мелиоративных каналов полигонального профиля с двумя и тремя парами симметричных откосов и шириной понизу  $b > 0$  получено несколько блок-схем математической модели их расчетного обоснования [3].

Рассмотрим математическую модель расчета полигонального канала с двумя парами симметричных откосов  $m_1, m_2$  и шириной понизу  $b \geq 0$ . Алгоритм



**Блок-схема модели расчета мелиоративного канала полигонального сечения с двумя парами симметричных откосов**

расчета: вначале принимаем характеристики ГНС  $m_1, m_2, \alpha_2$  и  $\beta$  по условиям (1) и (2); затем задаем ряд значений глубин  $h_1$  из условия  $0 < h_1 \leq h_{\max}$ . Для каждого заданного значения  $h_1$  определяем  $\omega, \chi, R$ , среднюю скорость  $v_i$  и расход канала  $Q_1$ . Расчет повторяем для каждого следующего значения  $h_1$  и определяем  $Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ , пока максимальное значение расхода  $Q_{i \max}$  не получится больше максимального расчетного расхода канала  $Q_p$ . При этом значение  $\omega/h_1^2$  остается постоянным для всех этих расчетов. Далее расчеты повторяем также при других постоянных значениях  $m_1, m_2, \alpha_2$  и  $\beta$  и при тех же заданных значениях  $h_1$ . Определяем значения  $\omega, \chi, R, v, Q$ , соответствующие каждому заданному значению  $h_1$ , а также постоянное для всех этих параметров значение  $\omega/h_1^2$ . Все эти расчеты повторяем и при третьих и четвертых значениях  $m_1, m_2, \alpha_2$  и  $\beta$ . Затем графически или по методу итерации уточняем значение  $h_1$ , соответствующее  $Q_p$ , и по  $h_1$  определяем и

уточняем все остальные гидравлические характеристики канала:  $h_2, \omega, \chi, R$ . Затем определяем объем и стоимость земляных и бетонных работ  $U_{зем.}, C_3$  и  $U_{обл.}, C_6$  на строительство одного погонного метра канала, ежегодные затраты на содержание и эксплуатацию канала  $C_9$ . Приведенные затраты на строительство одного погонного метра канала

$$C_{\Pi} = C_3 + C_{обл.} + C_9. \quad (10)$$

Весь этот расчет повторяем и для сечения с двумя парами симметричных откосов, но с шириной понизу  $b > 0$ , при этом  $b$  принимаем по выражению

$$b = kh_1\sqrt{1+m_1^2}, \quad (11)$$

где  $k$  – коэффициент запаса, равный 1...4 (для ГНС  $k = 1$ ).

По анализу полученных результатов выбираем наиболее выгодный вариант. В соответствии с методологией оптимизации полигональных сечений и алгоритмами расчета составляем блок-схему модели расчета полигонального канала с двумя парами симметричных откосов

и шириной понизу  $b > 0$ . Аналогичные блок-схемы модели расчетного обоснования можно составить и для другого сечения с тремя парами симметричных откосов  $m_1, m_2, m_3$  и шириной понизу  $b > 0$ . При этом основные параметры и характеристики сечения необходимо принять также из условия ГНС с соответствующими значениями  $m_1, m_2, m_3, \alpha_2, \alpha_3$  и  $\beta$ .

По результатам расчета можно составить графики функции  $C_n = f(\omega/h_1^2)$  и  $C'_n = f(\omega/h_1^2)$ . Программа позволяет графически и аналитически отобразить эти функции и по ним найти минимум функции, из которых выбираем наименьшее значение  $C_{n \min}$ . Далее уточняем и окончательно выбираем основные параметры гидравлических характеристик канала  $v, h_1, h_2, \omega, \chi, R$ , соответствующие  $C_{n \min}$ . Все эти уточненные параметры и характеристики мелиоративного канала являются оптимальными для заданных условий.

#### Выводы

По материалам аналитических исследований получены методика и модель расчетного обоснования мелиоративных каналов полигонального профиля с двумя и тремя парами симметричных откосов и шириной понизу  $b \geq 0$ . Новая методика с разными моделями расчета позволяет использовать современные системы электронного проектирования каналов, тем самым обеспечить более точный выбор их оптимальных гидравлических характеристик.

**1. Алиев Т. А.** Определение и анализ числовых характеристик гидравлических параметров крупных земляных каналов в связных грунтах: Научные исследования при проектировании канала «Сибирь – Средняя Азия»: сб. науч. тр. – М.: Союзводпроект, 1985. – С. 46–54.

**2. Алтуни В. С.** Методические основы гидравлического расчета крупных земляных каналов: сб. науч.-метод. статей по гидравлике. – М.: Высшая школа, 1980. – Вып. 3. – С. 17–31.

**3. Курбанов С. О., Ханов Н. В.** Основы оптимизации полигональных сечений гидротехнических каналов // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 12. – С. 27–31.

**4. Курбанов С. О., Созаев А. А.** Расчетное обоснование эффективности и надежности лотковых каналов призматического сечения // Известия вузов. Сев.-Кав. регион. Технические науки. – 2008. – № 2. – С. 84–87.

**5. Курбанов С. О., Созаев А. А.** Основы проектирования и расчетного обоснования транзитных лотков полигонального профиля // Вести ВолгГАСУ. – 2010. – № 9. – Вып. 19(38). Строительство и архитектура. – С. 136–142

**6. Курбанов С. О.** Исследование гидравлических характеристик энергетических каналов несимметричного полигонального профиля // Гидротехническое строительство. – 2011. – № 1. – С. 42–45.

**7. Румянцев И. С., Курбанов С. О.** Гидравлически наиболее выгодное сечение полигонального канала: сб. науч. трудов МГУП. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2003. – С. 9–17.

**8. Гидротехнический канал МКИ Е 02 В 5/00: А. с. № 1640271 / С. О. Курбанов, Н. В. Ханов (СССР).** – № 4625064/15; заявл. 26.12.1988; опубл. 07.04.91. – Бюл. № 13. – 3 с.

**9. Гидротехнический канал: Пат. 2189420 Российская Федерация, МПК Е 02 В 5/00 / С. О. Курбанов, К. С. Курбанов; заявитель и патентообладатель Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия.** – № 2000114269/13; заявл. 05.06.2000; опубл. 20.05.03. – Бюл. № 14. – 5 с.

**10. Гидротехнический канал из сборных железобетонных элементов: Пат. 2369688 Российская Федерация, МПК 02 В 5/00 / С. О. Курбанов, А. А. Созаев; заявитель и патентообладатель Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия.** – № 2007123089/03; заявл. 19.06.07; опубл. 10.10.09. – Бюл. № 28. – 5 с.

**11. Способ возведения лотка полигонального профиля из сборных железобетонных блоков: Пат. 2366778 РФ МПК Е02В 5/00 / С. О. Курбанов, А. А. Созаев; заявитель и патентообладатель Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия; опубл. 10.09.2009. – Бюл. № 25 – 6 с.**

**12. Курбанов С. О., Румянцев И. С.** Методика и модель расчетного обоснования энергетических каналов полигонального профиля // Природообустройство. – 2011. – № 5. – С. 42–46.

Материал поступил в редакцию 28.01.13.

*Курбанов Салигаджи Омарович, кандидат технических наук, доцент  
Тел. 8-928-706-48-45*

*Ханов Нартмир Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Гидравлика»  
Тел. 8 (499) 976-00-19*