

УДК 502/504:626.82

С. О. КУРБАНОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия имени В. М. Кокова»

И. С. РУМЯНЦЕВ

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

МЕТОДИКА И МОДЕЛЬ РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ ПОЛИГОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Приведена новая методика расчетного обоснования энергетических каналов полигонального профиля с двумя и тремя парами симметричных откосов. Составлена блок-схема модели расчета наивыгоднейших полигональных сечений, позволяющая оптимизировать расчет и использовать электронные системы проектирования каналов.

Деривационный канал, полигональное сечение, гидравлически наивыгоднейшее сечение, метод оптимизации, блок-схема модели расчета, электронные системы проектирования.

In the article a new methodology of the calculated substantiation of energy channels of a polygonal profile with two and three pairs of symmetrical slopes is given. The flow chart of the calculated model of the most optimal polygonal sections is made allowing optimizing estimation and using electronic systems of channels projecting.

Energy channels of polygonal profile, hydraulically most optimal sections, calculated capacity.

Энергетические деривационные каналы сооружают для подвода воды от источников к гидроэлектростанциям. Особенностью деривационных каналов является их незначительная длина, редко превышающая 5...10 км. При проектировании таких каналов стремятся обеспечить расчетную пропускную способность с минимально возможными потерями энергии по длине канала. Для этой цели в большей степени подходят гидравлически наивыгоднейшие сечения (ГНС) каналов, которые характеризуются максимальной пропускной способностью и минимальным смоченным периметром χ_{\min} . К оп-

тимальному полукруглому сечению более близко находятся полигональные сечения, которые являются гидравлически наивыгоднейшими в сравнении с другими призматическими сечениями [1–3].

Методика гидравлического и технико-экономического расчетов энергетических каналов полигонального профиля разработана профессором А. А. Угинчусом [4]. Однако результаты проведенных авторами статьи исследований показали, что его методика не позволяет определить наивыгоднейшие характеристики упомянутых каналов.

Задачей гидравлического расчета

энергетических каналов является подбор гидравлически наиболее выгодного сечения и уклона канала, которые обеспечивают расчетную пропускную способность при минимальных потерях энергии по длине канала. Для выбора гидравлически эффективного сечения и уклона при минимальных возможных материальных затратах требуется произвести расчет по оптимизации сечения и уклона деривационного канала. Одним из авторов (С. О. Курбановым) разработаны научные основы и гидравлический метод оптимизации полигональных сечений гидротехнических каналов, на их основе получены оптимальные наиболее выгодные сечения и формулы по определению основных гидравлических характеристик с двумя и тремя парами симметричных откосов (рис. 1 и 2) [3, 5–7]. При этом установлено, что гидравлически наиболее выгодные параметры сечения канала не зависят от уклона и скорости движения воды, а зависят от заложений откосов и их соотношений, относительных глубин и относительной ширины.

Для полигонального канала с двумя парами симметричных откосов и треугольным основанием относительная ширина β и относительная глубина α_2 , соответствующие ГНС, определяются по формулам (рис. 1)

$$\beta = \frac{B_1}{h_1} \geq 2m_2\alpha_2; \quad (1)$$

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

наиболее точно характеризующим полигональное сечение. Выражения (1) и (2) являются интегральными показателями, характеризующими оптимальное сечение канала полигонального профиля с двумя симметричными верхними m_1 и двумя донными откосами m_2 , глубинами h_1 и h_2 . Эти выражения позволяют упростить методику гидравлического и технико-экономического расчета данного канала. 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:

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

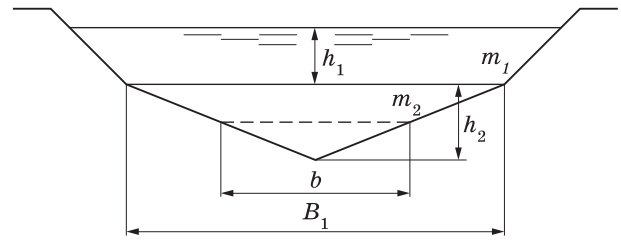


Рис. 1. Канал полигонального сечения с двумя парами симметричных откосов

При гидравлическом расчете задают среднюю скорость движения воды в канале v и по ней определяют площадь живого сечения $\omega = Q_{\max}/v$. Затем определяют глубину h_1 , по ней уточняют $h_2 = \alpha h_1$. Смоченный периметр χ , гидравлический радиус R , коэффициент Шези C и уклон канала определяют по формулам равномерного режима движения воды [1–3].

Потери напора по длине деривационного канала определяется по следующей зависимости:

$$h_w = iL = \frac{v^2 L}{C^2 R}, \text{ м.}$$

Количество потерянной электроэнергии на деривационном канале устанавливается по выражению

$$\mathcal{E}_{\text{пот.}} = 86000\eta Q_{\text{ср.}} iL, \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Стоимость потерянной энергии по длине канала

$$C_3 = \mathcal{E}_{\text{пот.}} a_3,$$

где a_3 – стоимость 1 кВт·ч.

Объем земляных работ по выемке грунта в канале

$$U_{\text{выем}} = [\omega + (B_1 + 2h_1 m_1)d + m_1 d^2]L = [m_2 \alpha_2^2 h_1^2 + \beta h_1^2 + m_1 h_1^2 + (\beta h_1 + 2h_1 m_1)d + m_1 d^2]L,$$

где d – превышение бровки канала над расчетным максимальным уровнем воды в канале.

Стоимость земляных работ определяют, зная среднюю стоимость 1 м³ грунта α_3 :

$$C_3 = U_{\text{зем}} \alpha_3.$$

Объем бетонных работ по облицовке канала при толщине облицовки δ

$$U_{\text{бет}} = (2\alpha_2 h_1 \sqrt{1+m_2^2} + 2h_1 \sqrt{1+m_1^2} + 2d \sqrt{1+m_1^2})\delta L, \text{ м}^3.$$

Стоимость бетонных работ

$$C_6 = U_{\text{бет}} \alpha_6.$$

В соответствии с общепринятой методикой расчета полные ежегодные расходы, связанные с сооружением энергетического канала, будут состоять из стоимости земляных работ C_3/T , бетонных работ C_6/T и потерянной

электроэнергии C_3 , т. е.

$$C = \frac{C_3}{T} + \frac{C_6}{T} + C_9, \quad (3)$$

где T – срок окупаемости капитальных вложений, лет.

Такая методика расчета повторяется для каждого следующего заданного значения средней скорости движения воды в канале. По полученным результатам строится график зависимости $C = f(v)$ и по графику выбирают значения наиболее экономичной средней скорости, при которой получаются минимальные ежегодные затраты, необходимые для сооружения энергетического канала.

После этого берется другое гидравлически наиболее выгодное сечение полигонального канала с двумя парами симметричных откосов и шириной внизу $b > 0$. И для этого сечения повторяются расчеты и строится график $C = f(v)$. Из двух сечений выбирается наиболее выгодное и по нему уточняются все остальные гидравлические и технико-экономические характеристики канала.

При значительном расчетном расходе энергетического канала $Q > 40...50 \text{ м}^3/\text{с}$ и глубине $h > 3$ м полигональное сечение с тремя парами симметричных откосов может оказаться более выгодным по сравнению с выше рассмотренным полигональным сечением с двумя парами симметричных откосов (рис. 2). Сначала расчеты проводят для сечения с треугольным основанием, для этого определяют основные гидравлические характеристики канала при тех же заданных значениях средней скорости движения воды в канале – v_1 . Затем определяют площадь живого сечения:

$$\omega = \frac{Q_{\max}}{v}$$

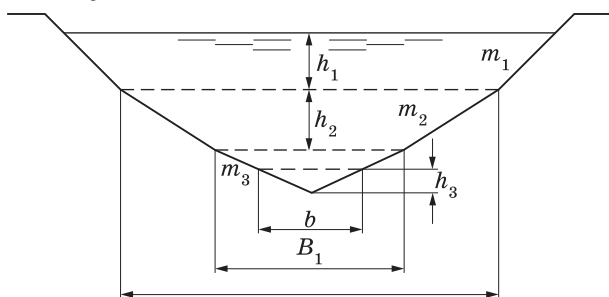


Рис. 2. Полигональное сечение с тремя парами симметричных откосов и шириной внизу $b \geq 0$

Глубину h_1 рассчитывают по форму-

ле, полученной ранее:

$$h_1 = \sqrt{\frac{\omega}{\beta + m_1 + m_3\alpha_3^2 + 2m_2\alpha_3\alpha_2 + m_2\alpha_2^2}}$$

Остальные гидравлические характеристики определяются по приведенной методике, только уточняются объемы земляных и бетонных работ по авторским формулам.

$$U_{\text{зем}} = [\omega + (B_1 + 2h_1m_1)d + m_1d^2]L = \\ = [m_2\alpha_2^2h_1^2 + \beta h_1^2 + m_1h_1^2 + 2m_3\alpha_3\alpha_2 + m_3\alpha_3^2 + \\ + (\beta h_1 + 2h_1m_1)d + m_1d^2]L.$$

$$U_{\text{бет}} = (2\alpha_3h_1\sqrt{1+m_3^2} + 2\alpha_2h_1\sqrt{1+m_2^2} + \\ + 2h_1\sqrt{1+m_1^2} + 2d\sqrt{1+m_1^2})\delta L.$$

Полные ежегодные затраты рассчитывают по зависимости (3). Методика расчета повторяется для каждого заданного значения средней скорости. После строят график зависимости $C = f(v)$ и по графику выбирают экономичную скорость, соответствующую минимальным затратам. По этой же методике расчет повторяется и для полигонального сечения с тремя парами откосов и шириной внизу $b > 0$. В конце строят график зависимости $C = f(v)$, по которому снимают наиболее экономичную скорость. Полученные зависимости ежегодных материальных затрат от средней скорости потока $C = f(v)$ размещают на одном графике, по которому легко выбирают гидравлически наиболее выгодное сечение и экономичную скорость и уклон деривационного канала, при которых обеспечиваются эффективные гидравлические и материальные условия.

Приведенную методику необходимо преобразовать в модель гидравлического расчета энергетического канала. При автоматической системе проектирования требуется математическая модель расчета, которая позволяет рассчитать всевозможные варианты канала (с разными сечениями и уклонами) и выбрать оптимальный вариант. Для этого вначале следует составить блок-схему модели расчета, где привести алгоритмы расчета по определению основных технико-экономических параметров канала.

При составлении блок-схемы вначале задаем параметры ГНС канала с двумя

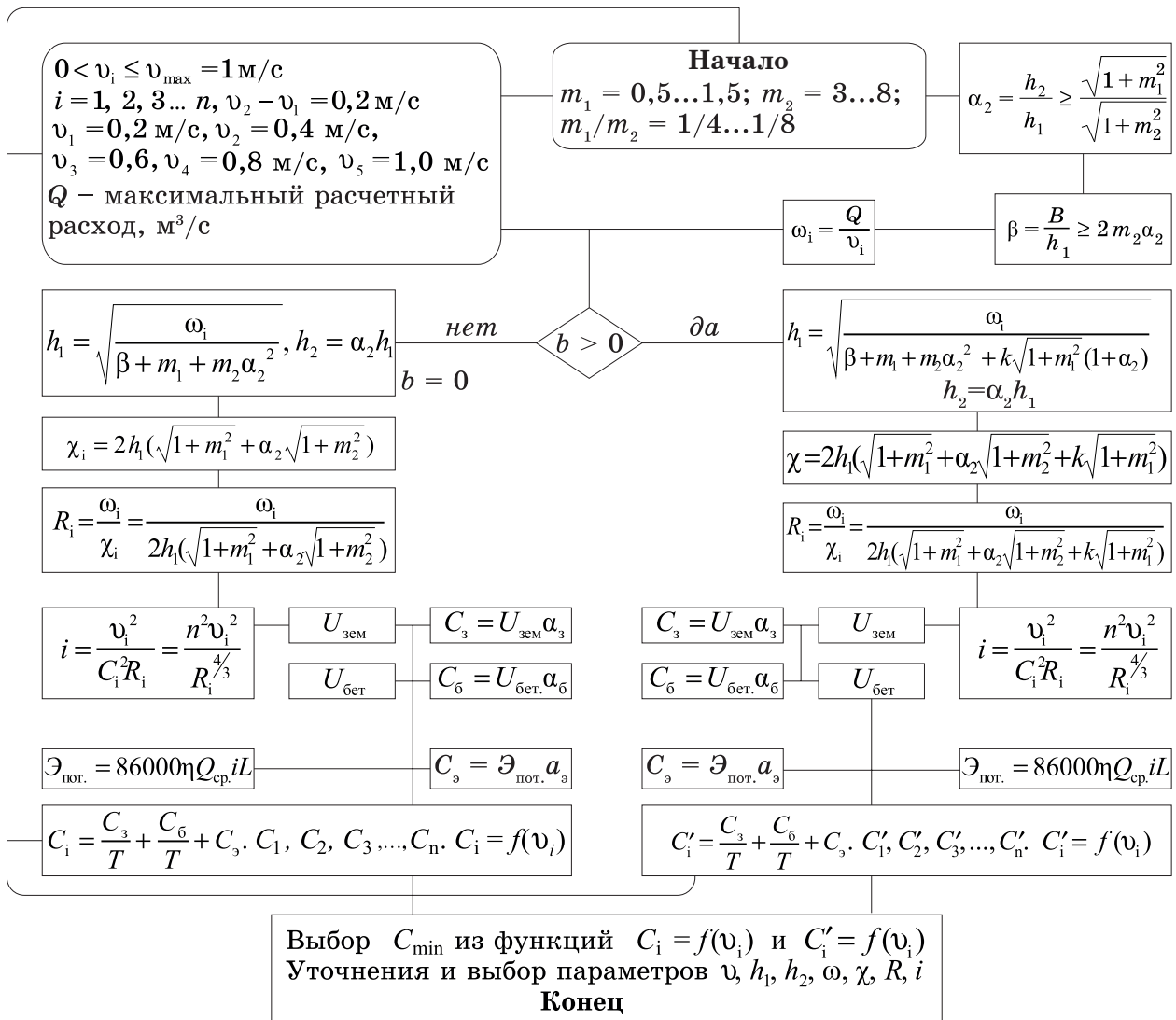


Рис. 3. Блок-схема модели расчетного обоснования деривационного канала полигонального сечения с двумя парами симметричных откосов и шириной внизу $b \geq 0$

парами симметричных откосов и треугольным основанием: $m_1, m_2, \alpha_2, \beta$. Затем задаем еще ряд значений средних скоростей движения воды в канале: $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ (от минимального до максимально возможного значения). Эти данные и расчетный расход канала Q , который всегда известен, и служат входными параметрами модели расчета. Далее для каждого заданного значения средней скорости v_i проводится весь расчет по приведенной методике: определяются ω, χ, R , уклон i канала, стоимость потерянной электрической энергии, объем и стоимость земляных и бетонных работ $U_{\text{зем}}, C_3$ и $U_{\text{бет}}, C_6$, а в конце полные ежегодные затраты C_i . Так, для каждого заданного значения v_i определяется соответствующее значение C_i . После этого берется другое такое же сечение, но с шириной внизу $b > 0$ и другими значениями α_2 и β . При этих данных весь расчет повторяется (рис. 3).

Аналогично берутся входные данные для полигонального канала с тремя парами симметричных откосов: $m_1, m_2, m_3, \alpha_2, \alpha_3$ и $\beta, v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$. По этим данным расчет повторяется, и в конце определяются ежегодные затраты C_i . Таким образом, по полученным результатам составляются графики функции $C_i = f(v_i)$. Программа позволяет графически и аналитически отобразить эти функции и по ним найти минимальные значения функции, из которых выбирают наименьшее значение C_{\min} . Далее уточняется средняя скорость v_i и по ней все остальные характеристики полигонального сечения ω, χ, R и уклон i канала. Все эти уточненные параметры и характеристики деривационного канала являются оптимальными для заданных условий.

По материалам аналитических исследований получена методика и модель расчетного обоснования деривационных

каналов полигонального профиля с двумя и тремя парами симметричных откосов и шириной внизу $b \geq 0$. Новая методика с разными моделями расчета позволяет использовать современные системы электронного проектирования каналов, тем самым обеспечить более точный выбор их оптимальных гидравлических характеристик.

1. **Агроскин И. И.** Гидравлический расчет каналов. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1958. – 80 с.

2. **Косиченко Ю. М.** Каналы переброски стока России. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.

3. **Курбанов С. О., Ханов Н. В.** К гидравлическому расчету наивыгоднейших сечений энергетических каналов полигонального профиля // Гидротехническое строительство. – 2003. – № 7. – С. 40–43.

4. **Угинчус А. А.** Гидравлические и технико-экономические расчеты каналов – М.: Стройиздат, 1965. – 274 с.

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

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

7. Гидротехнический канал: патент № 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.

Материал поступил в редакцию 23.09.11.

Курбанов Салигаджа Омерович, кандидат технических наук, доцент
E-mail: 05bcreg@rambler.ru

Румянцев Игорь Семенович, доктор технических наук, профессор
Тел. 8(499)976-24-60

УДК 502/504:627.132:532.543

М. А. МИХАЛЕВ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

А. К. АЛИБЕКОВ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дагестанский государственный технический университет», Махачкала

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ТИПА ОПОРЫ И ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ МЕСТНОГО РАЗМЫВА

Предлагаются расчетные зависимости для определения глубины и плановых параметров воронки размыва русла у опор на свайных фундаментах. Область определения многофакторной функции исследована методами математического планирования эксперимента при соблюдении требований теории подобия и размерностей.

Местный размыв, защита от размыва, свайные опоры, многофакторный эксперимент.

There are proposed calculated dependencies for determination of the depth and planned parameters of the erosion pool at the pile work footing. The definition domain of the multi-factor function is investigated by methods of mathematical planning of the experiment under observation of the requirements of the similarity and dimensionality theory

Local erosion, erosion protection, piles footing, multi-factor experiment.