

**ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАНАЛОВ
ПОЛИГОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ИЗ СБОРНЫХ L-ОБРАЗНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ**
JUSTIFICATION OF THE EFFECTIVENESS OF POLYGONAL PROFILE
CHANNELS MADE OF PRECAST L-SHAPED REINFORCED CONCRETE
BLOCKS



УДК 626.82

DOI:10.24411/2588-0209-2020-10258

Созаев Ахмед Абдулкеримович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Землеустройство и экспертиза недвижимости» ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова» (360030, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 1В), ORCID: sozaev07@mail.ru.

Курбанов Салигаджи Омарович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Землеустройство и экспертиза недвижимости» ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова» (360030, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 1В), ORCID: 05bereg@rambler.ru.

Балкизов Афрасим Баширович, кандидат технических наук, декан факультета «Строительство и землеустройство» ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова» (360030, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 1В), ORCID: afrasim_1960@mail.ru.

Сасиков Анатолий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Природообустройство» ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова» (360030, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр. Ленина, 1В), ORCID: rufus1972@mail.ru.

Sozaev Ahmed Abdulkerimovich, candidate of technical sciences, Head of the department "Land management and real estate expertise" of the Kabardino-Balkar

state agrarian university named after V. M. Kokov (360030, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin ave., 1V) ORCID: sozaev07@mail.ru.

Kurbanov Saligadzhi Omarovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department "Land management and real estate expertise" of the Kabardino-Balkar state agrarian university named after V. M. Kokov (360030, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin ave., 1V) ORCID: 05bereg@rambler.ru.

Balkizov Afrasim Bashirovich, candidate of technical sciences, dean of the faculty «Construction and land management» of the Kabardino-Balkar state agrarian university named after V. M. Kokov (360030, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin ave., 1V) ORCID: afrasim_1960@mail.ru.

Sasikov Anatoly Sergeevich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of "Nature management" of the Kabardino-Balkar state agrarian university named after V. M. Kokov (360030, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin ave., 1V) ORCID: rufus1972@mail.ru.

Аннотация: На гидромелиоративных системах Юга России и Северного Кавказа широкое распространение получили каналы открытого типа, прямоугольного и трапецеидального сечений. Меньшее распространение получили каналы полигонального профиля, хотя известна их экономическая и гидравлическая эффективность. Проблемы надежности и эффективности прямоугольных и трапецеидальных каналов остаются актуальными по настоящее время. По результатам проведенных аналитических и экспериментальных исследований гидравлических характеристик каналов предлагается новый метод по конструированию и технологии возведения индустриальной и эффективной конструкции полигонального канала для условий предгорной зоны. Разработаны типовые конструкции L-образных сборных железобетонных блоков, с помощью которых легко можно монтировать полигональные каналы различных конструкций и пропускной способности. Параметры L-образных сборных железобетонных блоков и конструкции каналов приняты из условия обеспечения гидравлически эффективных условий в канале по методике Курбанова С.О. В каналах полигонального поперечного сечения центр тяжести потока сосредотачивается у вершины треугольного основания, устанавливается квазиравномерное движение потока воды. При этом гидродинамические нагрузки потока распределяются по всему сечению канала, гидравлическая эффективность протекания воды и надежность работы канала значительно повышаются. Результаты проведенных аналитических исследований подтверждают высокую эффективность и технологичность предлагаемых

каналов, облицованных из типовых L-образных сборных железобетонных блоков, подтвержденных патентами на изобретения и на которые разрабатываются технические условия.

Авторские разработки по предлагаемым конструкциям каналов из сборных железобетонных блоков, включены в государственную грантовую программу по разработке типовых конструкций гидротехнических сооружений мелиоративных систем.

Annotation: In the hydro-reclamation systems of the South of Russia and the North Caucasus, channels of open type, rectangular and trapezoidal sections are widely used. Polygonal channels are less common, although their economic and hydraulic efficiency is known. Problems of reliability and efficiency of rectangular and trapezoidal channels remain relevant to the present time. Based on the results of analytical and experimental studies of the hydraulic characteristics of the channels, a new method is proposed for the design and technology of the construction of an industrial and efficient polygonal channel structure for the conditions of the foothill zone. Standard designs of L-shaped precast concrete blocks have been developed, with the help of which it is easy to mount polygonal channels of various designs and capacities. The parameters of L-shaped precast concrete blocks and the design of channels are taken from the condition of ensuring hydraulically efficient conditions in the channel according to the method of Kurbanov S. O. In channels of polygonal cross-section, the center of gravity of the flow is concentrated at the top of the triangular base, and a quasi-uniform movement of the water flow is established. While hydrodynamic load flow distributed across the channel cross section, the hydraulic efficiency of the flow of water and the reliability of the channel are greatly increased. The results of the conducted analytical studies confirm the high efficiency and manufacturability of the proposed channels lined with typical L-shaped precast concrete blocks, confirmed by patents for inventions and for which technical conditions are being developed.

The author's developments on the proposed structures of channels made of precast reinforced concrete blocks are included in the state grant program for the development of standard structures of hydraulic structures of reclamation systems.

Ключевые слова: водопроводящие каналы, полигональные сечения, методика расчета, облицовка канала, L-образные блоки, гидравлическая эффективность, эксплуатационная надежность, пропускная способность.

Keywords: water supply channels, polygonal sections, calculation method, channel lining, L-shaped blocks, hydraulic efficiency, operational reliability, throughput.

Проблемы повышения эффективности мелиоративных систем являются актуальными для регионов Северного Кавказа и Юга России. Эти проблемы более остро проявились на предгорных участках, где водопроводящая сеть гидромелиоративных систем в большинстве состоит из каналов призматического сечения. Только на Юге России их общая протяженность составляет более 99 тыс. км. Из них более 70% составляют каналы трапецеидального и прямоугольного сечений и более половины выполнены в облицовке. В настоящее время большая часть облицованных каналов находятся в неудовлетворительном эксплуатационном состоянии, подлежат реконструкции и восстановлению.

Из призматических каналов наименее изученными являются каналы полигонального профиля. Однако в этой области имеются определенные достижения, в частности по теории их гидравлических расчетов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Наиболее обоснованный и достоверный метод гидравлического расчета каналов полигонального профиля различного назначения разработан С.О. Курбановым. По данной методике проводились исследования для определения гидравлической эффективности каналов полигонального профиля.

По методике Курбанова С.О. для обоснования эффективности полигональных каналов вначале принимается наивыгоднейшее значение заложения донных откосов m , вычисляются относительные глубина α и ширина β . Затем, по заданным произвольным значениям h_1 , определяются гидравлические характеристики: площадь живого сечения ω , смоченный периметр χ , гидравлический радиус R , коэффициент Шези C , среднюю скорость V и расход Q . Коэффициент шероховатости n принимается в зависимости от вида и состояния облицовки. По данным расчета строится график зависимости $Q = f(h_1)$. По значению максимального расхода из графика определяется соответствующая глубина h_1 , по которой уточняются все остальные характеристики канала и определяются технико-экономические показатели эффективности принятого сечения канала.

В научной и нормативной технической литературе даются в основном методики и рекомендации по расчетному обоснованию каналов прямоугольного и трапецеидального и сечений. Значительно меньше по гидравлическому расчету и технико-экономическому обоснованию каналов с полигональным поперечным сечением. Имеются определенные достижения, и в частности, достаточно обоснованные методики расчетного обоснования полигональных каналов [1, 2, 7]. В связи с этим, авторами были использованы материалы своих ранее опубликованных работ по полигональным каналам [3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11]. Дополнительно были проведены аналитические исследования по обоснованию реконструкции каналов прямоугольного и трапецеидального сечений и приведения их к полигональному профилю. Разработаны эффективные конструкции и технологические решения по возведению полигональных каналов из сборных L-образных железобетонных блоков. Для них найдены оптимальные характеристики и соотношения заложений откосов.

Для каналов с вертикальными боковыми стенками ($m_1 = 0$) (см. рис. 1) оптимальные значения заложения донных откосов находятся в пределах $m = 4...8$, а значения, соответствующие гидравлически наивыгоднейшему сечению, $m = 4...5$.

Гидравлически наивыгоднейшее сечение канала не всегда является экономически выгодным. Для снижения строительных затрат каналы требуется строить более широкими, т. е. с увеличенными относительными шириной β и глубиной α . Поэтому для

оптимальных (экономически выгодных) сечений полигональных каналов должны выполняться следующие условия [3, 5]:

$$\alpha = \frac{h_2}{h_1} \geq \frac{1}{\sqrt{1+m^2}}, \quad \beta = \frac{B}{h_1} \geq 2m\alpha \quad (1)$$

По результатам расчетов на все возможные варианты поперечного сечения полигонального канала получены значения заложения донных откосов для оптимального сечения, удовлетворяющие условиям эксплуатационной надежности в пределах:

$$m = 2,5 \dots 6,0. \quad (2)$$

Для облицованных каналов полигонального поперечного сечения с двумя парами симметричных откосов (боковыми с заложением m_1 , донными с заложением m_2 и треугольным основанием) (рис. 1) относительная ширина β , соответствующая гидравлически наивыгоднейшему сечению, определяется по зависимости С.О. Курбанова:

$$\beta = \frac{B_1}{h_1} = 2m_2\alpha_2; \quad (3)$$

где B_1 - ширина лотка по основанию стенок, м; h_1 - глубина воды верхней части канала от подножия боковых стенок, м; m_2 - заложение донных откосов; α_2 - относительная глубина; h_2 - глубина донной части канала; m_1 - заложение откосов боковых стен

$$\alpha_2 = \frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1+m_1^2}}{\sqrt{1+m_2^2}}. \quad (4)$$

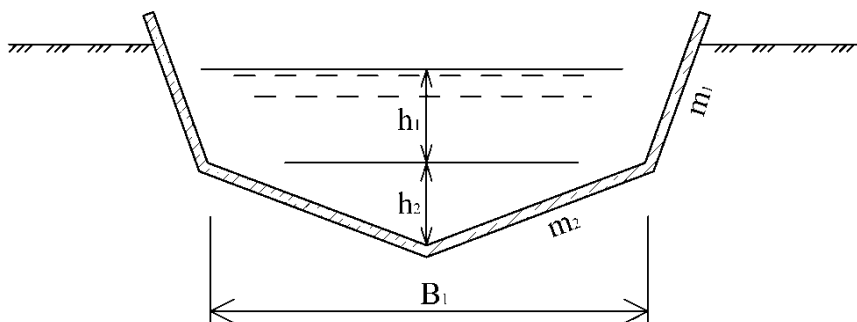


Рисунок 1 – Поперечное сечение полигонального канала с двумя парами симметричных откосов

Гидравлически наивыгоднейшее сечение (ГНС) получено с параметрами:

$$m_1 = 0 - 0,14; \text{ и } m_2 = 2,5; \quad (5)$$

и

$$\beta_{Г.Н.} = \frac{B_1}{h_1} = 1,8. \quad (6)$$

Экономически выгоднейшие значения заложения откосов лежат в более широких пределах $m_1 = 0 - 0,15$ и $m_2 = 2,5 - 5$.

Глубина донной части сечения канала определяется:

$$h_2 = \frac{0,5B_1}{m_2} = \frac{0,5\beta h_1}{m_2}; \quad (7)$$

Площадь живого сечения:

$$\omega = h_1^2 (m_2\alpha_2^2 + \beta + m_1), \quad (8)$$

где

$$h_1 = \sqrt{\frac{\omega}{\beta + m_1 + \alpha_2^2 m_2}}. \quad (9)$$

Смоченный периметр:

$$\chi = 2h_1(\sqrt{1 + m_1^2} + \alpha_2\sqrt{1 + m_2^2}). \quad (10)$$

Водный поток в канале по условиям эксплуатации может быть спокойным равномерным (квазиравномерным) и неравномерным (бурным), с параметром кинетичности $П_k > 1$, уклоном, превышающим критический уклон $i > i_{кр}$ и глубиной воды меньше критической глубины $h < h_{кр}$.

По формулам (1) – (10) производится гидравлический расчет каналов с треугольным основанием и двумя парами симметричных откосов. По результатам этих расчетов можно посчитать технико-экономические показатели каналов.

Под руководством Курбанова С.О. разрабатывается научное направление в области мелиорации и водного хозяйства «Развитие теории методов расчетного обоснования и проектирования каналов и зарегулированных русел полигонального профиля». Им разработаны методики расчета каналов полигонального сечения с двумя и тремя парами симметричных откосов, а также модели расчетного обоснования полигональных каналов и русел для условий предгорных зон [5].

Результаты аналитических исследований подтверждают гидравлическую эффективность и надежность каналов полигонального профиля с двумя парами симметричных откосов. При этом устройство малых каналов полигонального профиля на практике связано с технологическими сложностями, с необходимостью производства вручную больших объемов земляных работ для доработки профиля выемки. Это необходимо для обеспечения точности монтажа сборных элементов и устройства монолитных участков облицовки. Так же невозможно устраивать откосы выемки канала с заданным заложением в грунтах с низким значением удельного сцепления c_n и высоким углом внутреннего трения φ_n (к примеру – гравийно-галечниковых).

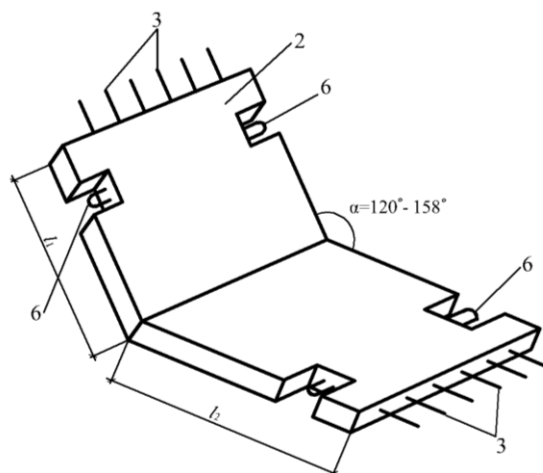
В этих условиях предлагается канал выполнять из однотипных сборных железобетонных блоков уголковой формы [9, 10]. Канал монтируется из трех уголковых (L-образных) блоков (рис. 2а), один из которых центральный, располагается углом по линии вершины треугольного основания канала. По две стороны от основания симметрично укладываются боковые блоки, углы вершин которых должны совпадать с боковыми углами канала. При этом нижние ветки блоков укладываются по линии донных откосов, и верхние по линии боковых стенок канала (рис. 2б и 2в). Уголковые блоки имеют арматурные выпуски, по которым могут соединяться между собой. Стыки замоноличиваются. При строительстве каналов большого поперечного сечения для заполнения участков облицовки между уголковыми блоками и наращивания боковых стенок можно также использовать сборные железобетонные плиты соответствующих размеров и с выпусками арматуры.

Использование типовых сборных уголковых блоков позволит максимально механизировать и снизить затраты на строительство.

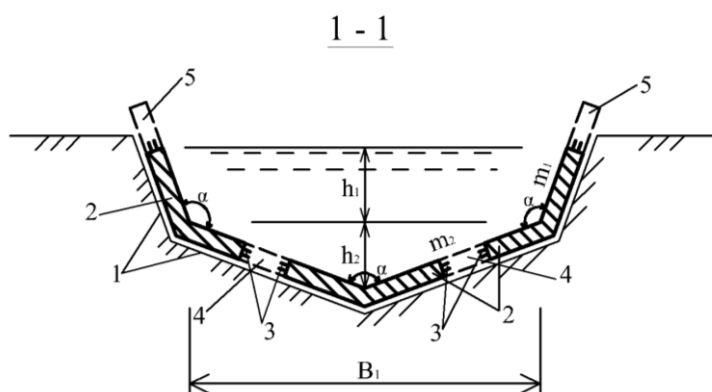
L-образные блоки представляют собой сборные железобетонные изделия с поперечным сечением уголковой формы и с вершиной по центру (рис. 2а). Угол между ветками блока на вершине определен в пределах $120 - 158^\circ$. Угол вершины сечения блоков определен и с учетом возможности создания выгодных гидравлических условий

[11]. По расчетам наивыгоднейшие значения заложений откосов лежат в пределах: $m_1 = 0 \div 1,5$, $m_2 = 1,7 \div 5,1$. При $\alpha = 120^\circ$ полигональный канал имеет вертикальные боковые откосы $m_1 = 0$, а при $\alpha = 158^\circ$ стенки канала имеют заложение $m_1 = 1,5$. То есть

a)



b)



в)

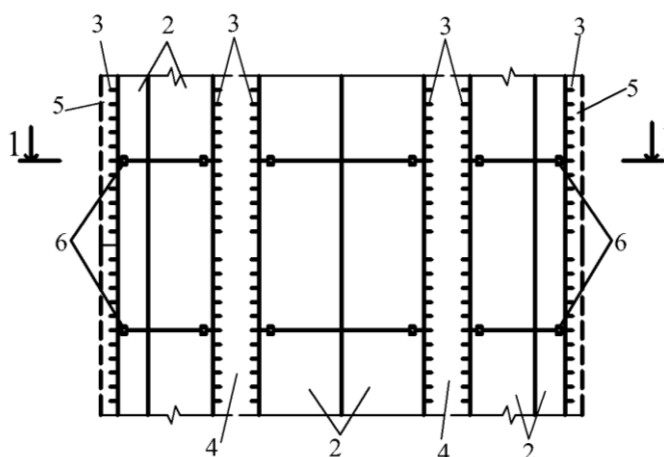


Рисунок 2 – Сборный канал из однотипных и одноразмерных железобетонных блоков правильной уголковой формы: 1 – земляная выемка полигонального сечения; 2 – сборные уголковые блоки; 3 – арматурные выпуски; 4 – монолитные бетонные участки

между блоками; 5 – наращиваемые монолитные бетонные стенки; 6 - монтажные петли в прямоугольных пазах.

Эти параметры близки к гидравлически наивыгоднейшим характеристикам полигонального канала. В таблице 1 приводятся величины угла α и соответствующие значения коэффициентов заложения откосов m_1 и m_2 для гидравлически эффективных сечений.

Унифицированные размеры типовых уголковых блоков могут иметь различные значения, приведенные к определенным стандартам. Однако длина ветвей блоков должна быть одинаковой $l_1 = l_2$, что упростит процессы изготовления и монтажа.

Таблица 1 – Обоснование угла вершины сечения уголковых блоков

Угол вершины сечения уголковых плит, α°	Заложение откосов	
	боковых m_1	донных m_2
120	0	1,7
138	0,45	2,5
140	0,58	2,7
145	0,77	3,2
150	1,0	3,7
155	1,3	4,5
158	1,5	5,1

Таким образом, используя однотипные и одноразмерные сборные железобетонные блоки правильной уголковой формы можно возводить по современным индустриальным методам строительства полигональные каналы с треугольным основанием и вертикальными или наклонными боковыми стенками с характеристиками, близкими гидравлически наивыгоднейшим. Эти сооружения могут эффективно использоваться в качестве водосбросных, сопрягающих и водопроводящих на горных и предгорных участках с высокими скоростями (> 3 м/с) и уклонами выше критических.

Предлагаемые L-образные блоки можно использовать также для реконструкции существующих каналов. В качестве примера можно рассмотреть вариант реконструкции прямоугольного лотка, выполненного из Г-образных блоков и приведения его к полигональному профилю с треугольным основанием. Для этого на дно канала укладываются L-образные блоки (рис. 3).

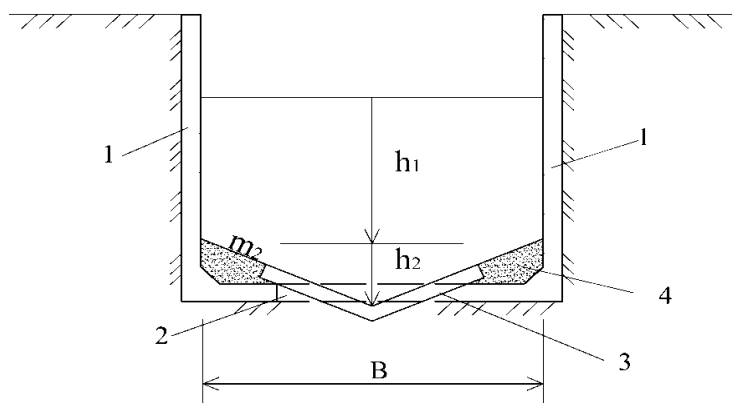


Рисунок 3 – Схема приведения каналов прямоугольного профиля к полигональному: 1 – Г-образные блоки; 2 – старое монолитное дно; 3 – L-образный блок; 4 – бутобетонное заполнение.

Выводы

1. Результаты исследований и анализа материалов опыта эксплуатации, эффективности работы и надежности открытых водопроводящих каналов призматического сечения в условиях предгорной зоны показывают, что:

- существующие и эксплуатируемые на практике мелиоративные каналы характеризуются низкой эффективностью и эксплуатационной надежностью, нуждаются в реконструкции и совершенствовании;

- возникла необходимость реконструкции и как вариант - приведение каналов трапецидального и прямоугольного сечений к полигональному, с эффективной конструкцией облицовки из сборных железобетонных элементов.

2. Разработаны новые конструктивные и технологические решения по возведению каналов полигонального профиля из сборных L-образных железобетонных блоков; усовершенствована методика расчетного обоснования параметров эффективного сечения каналов.

3. В дальнейшем, по результатам реализации предлагаемых конструктивных и технологических решений каналов полигонального профиля из сборных L-образных железобетонных блоков, будут исследованы и определены технические параметры и технологические связи, обеспечивающие повышение эксплуатационной надежности и эффективности каналов для условий горной и предгорной зон; будут найдены и уточнены показатели гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности каналов полигонального профиля.

В настоящее время в рамках выполнения научных исследований за счет средств федерального бюджета № АА-АА-А20-120032690080-3 «Разработка ряда типовых конструкций гидротехнических сооружений для гидромелиоративных систем» авторами разрабатывается техническая документация по внедрению предлагаемых конструкций и технологий строительства мелиоративных каналов.

Литература

1. Агроскин И. И. Гидравлический расчет каналов. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1958. 80 с.
2. Алтунин В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. М.: Колос, 1979. 255 с.
3. Курбанов С. О. Совершенствование расчетов и конструкций креплений каналов и зарегулированных русел: автореф. на соиск. ученой степ. канд. тех. наук: 05.23.07 – гидротехническое строительство. М., 1997. 33 с.
4. Курбанов С. О., Созаев А. А. Расчетное обоснование эффективности и надежности лотковых каналов призматического сечения // Известия вузов. Сев.-Кав. регион. Техн. науки. 2008. № 2. С. 84 - 87.
5. Курбанов С. О., Ханов Н. В. К гидравлическому расчету наивыгоднейших сечений энергетических каналов полигонального профиля // Гидротехническое строительство. 2003. № 7. С. 40-43.

6. Курбанов С. О., Ханов Н. В. К расчету критических глубин каналов полигонального профиля // Гидротехническое строительство. 2004. № 3. С. 42 - 44.
7. Угинчус А. А. Гидравлические и технико-экономические расчеты каналов. М.: Стройиздат, 1965. 274 с.
8. Курбанов С. О. Развитие теории, методов расчетного обоснования и проектирования каналов и зарегулированных русел с полигональным поперечным сечением: автореф. на соиск. ученой степ. докт. тех. наук: 05.23.07 – гидротехническое строительство; 05.23.16 – гидравлика и инженерная гидрология. М., 2013. 41 с.
9. Способ возведения лотка полигонального профиля из сборных железобетонных блоков: пат. 2366778 Рос. Федерация. № 2007123090/03 / Курбанов С.О., Созаев А.А.; заявл. 19.06.2007; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36.
10. Гидротехнический канал из сборных железобетонных элементов: пат. 2369688 Рос. Федерация. № 2007123089/03 / Курбанов С.О., Созаев А.А.; заявл. 19.06.2007; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36.
11. Созаев А. А. Обоснование параметров эксплуатационной надежности облицованных каналов в условиях предгорной зоны: автореф. на соиск. ученой степ. канд. тех. наук: 05.23.07 – гидротехническое строительство. Новочеркасск, 2008. 24 с.

Literatura

1. Agroskin I. I. Gidravlicheskie raschet kanalov. M.; L.: Gosehnergoizdat, 1958. 80 s.
2. Altunin V. S. Meliorativnye kanaly v zemlyanykh ruslakh. M.: Kolos, 1979. 255 s.
3. Kurbanov S. O. Sovershenstvovanie raschetov i konstruktssii kreplenii kanalov i zaregulirovannykh rusel: avtoref. na soisk. uchenoi step. kand. tekhn. nauk: 05.23.07 – gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. M., 1997. 33 s.
4. Kurbanov S. O., Sozaev A. A. Raschetnoe obosnovanie ehffektivnosti i nadezhnosti lotkovykh kanalov prizmaticheskogo secheniya // Izvestiya vuzov. Sev.-Kav. region. Tekhn. nauki. 2008. № 2. S. 84 - 87.
5. Kurbanov S. O., Khanov N. V. K gidravlicheskomu raschetu naivygodneishikh sechenii ehnergeticheskikh kanalov poligonal'nogo profilya // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. 2003. № 7. S. 40-43.
6. Kurbanov S. O., Khanov N. V. K raschetu kriticheskikh glubin kanalov poligonal'nogo profilya // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. 2004. № 3. S. 42 - 44.
7. Uginchus A. A. Gidravlicheskie i tekhniko-ehkonomicheskie raschety kanalov. M.: Stroiizdat, 1965. 274 s.
8. Kurbanov S. O. Razvitie teorii, metodov raschetnogo obosnovaniya i proektirovaniya kanalov i zaregulirovannykh rusel s poligonal'nym poperechnym secheniem: avtoref. na soisk. uchenoi step. dokt. tekhn. nauk: 05.23.07 – gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo; 05.23.16 – gidravlika i inzhenernaya gidrologiya. M., 2013. 41 s.
9. Sposob vozvedeniya lotka poligonal'nogo profilya iz sbornykh zhelezobetonnykh blokov: pat. 2366778 Ros. Federatsiya. № 2007123090/03 / Kurbanov S.O., Sozaev A.A.; zayavl. 19.06.2007; opubl. 27.12.2008, Byul. № 36.
10. Gidrotekhnicheskii kanal iz sbornykh zhelezobetonnykh ehlementov: pat. 2369688 Ros. Federatsiya. № 2007123089/03 / Kurbanov S.O., Sozaev A.A.; zayavl. 19.06.2007; opubl. 27.12.2008, Byul. № 36.

11. Sozaev A. A. Obosnovanie parametrov ehkspluatatsionnoi nadezhnosti oblitsovannykh kanalov v usloviyakh predgornoi zony: avtoref. na soisk. uchenoi step. kand. tekh. nauk: 05.23.07 – gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. Novocherkassk, 2008. 24 s.