

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология

Hydraulic engineering, hydraulics and engineering hydrology

Научная статья

УДК 626.31

doi: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-52-59

**Расчетная модель оптимизации сечений полигональных
гидротехнических каналов**

Салигаджи Омарович Курбанов¹, Ахмед Абдулкеримович Созаев^{✉2},
Аскер Замирович Бахов³

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект
Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

¹05bereg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5230-7053>

^{✉2}sozaev07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8505-124X>

³asker.bahov@mail.ru

Аннотация. В настоящее время каналы различного назначения прямоугольного и трапецеидального сечений получили более широкое распространение, чем каналы полигонального профиля. При этом известно, что каналы полигонального профиля экономически и гидравлически более эффективные, а вопросы надежности и эффективности прямоугольных и трапецеидальных каналов остаются актуальными. Рекомендованные в технической и нормативной литературе методы гидравлического и технико-экономического расчета полигональных каналов для их проектирования не позволяют подобрать сечения с оптимальными характеристиками, нет научно обоснованных методов проектирования и расчетного обоснования. И зарубежная практика проектирования каналов полигонального профиля использует сложные методики гидравлического расчета, причем недоступные для открытого применения. Предлагаемая апробированная модель расчета для оптимизации сечений по методике Курбанова С. О. обеспечивает получение оптимального соотношения глубин, заложений откосов, относительной ширины и ширины канала понизу, которые в совокупности дают более устойчивые гидравлические режимы. В основе модели расчета по предлагаемой методике лежит получение безразмерных критериев оптимизации сечения канала – относительной ширины и относительной глубины, которые являются интегральными показателями оптимального сечения канала полигонального профиля. На основе этих критериев предложена расчетная модель подбора оптимальных гидравлических и технико-экономических характеристик каналов полигонального профиля. Эта модель легко выражается через график оптимизации сечений, которая может быть эффективно использована при проектировании и реконструкции мелиоративных и энергетических каналов полигонального сечения.

Ключевые слова: водопроводящие каналы, полигональные сечения, гидравлическая эффективность, методика расчета, критерии оптимизации сечения канала, относительная ширина и относительная глубина

Для цитирования. Курбанов С. О., Созаев А. А., Бахов А. З. Расчетная модель оптимизации сечений полигональных гидротехнических каналов // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 3(41). С. 52–59. doi: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-52-59

Original article

Computational model of optimization of polygonal sections of hydraulic channels

Saligaji O. Kurbanov¹, Ahmed A. Sozaev^{✉2}, Asker Z. Bakhov³

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik, Russia, 360030

¹05bereg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5230-7053>

^{✉2}sozaev07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8505-124X>

³asker.bahov@mail.ru

Abstract. Currently, channels for various purposes of rectangular and trapezoidal sections have become more widespread than channels of polygonal profile. At the same time, it is known that polygonal channels are economically and hydraulically more efficient, and the issues of reliability and efficiency of rectangular and trapezoidal channels remain relevant. The methods of hydraulic and technical and economic calculation of polygonal channels recommended in the technical and regulatory literature for their design do not allow selecting sections with optimal characteristics, there are no scientifically sound design methods and calculation justification. And the foreign practice of designing polygonal profile channels uses complex methods of hydraulic calculation, and not available for open use. The proposed proven calculation model for optimizing cross sections according to the Kurbanov S.O. method. provides an optimal ratio of depths, slope deposits, relative width and channel width below, which together give more stable hydraulic modes. The calculation model based on the proposed methodology is based on obtaining dimensionless optimization criteria for the channel section – relative width and relative depth, which are integral indicators of the optimal channel section of a polygonal profile. Based on these criteria, a computational model for selecting optimal hydraulic and technical and economic characteristics of polygonal profile channels is proposed. This model is easily expressed through a cross-section optimization graph, which can be effectively used in the design and reconstruction of reclamation and energy channels of polygonal cross-section.

Keywords: water supply channels, polygonal sections, hydraulic efficiency, calculation method, optimization criteria for the channel section, relative width and relative depth

For citation. Kurbanov S.O., Sozaev A.A., Bakhov A.Z. Computational model of optimization of polygonal sections of hydraulic channels. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2023;3(41):52–59. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-52-59

Введение. На Юге России и Северном Кавказе проблемы проектирования и строительства гидротехнических каналов призматического профиля для целей мелиорации и гидроэнергетики являются актуальными.

Рекомендованные в технической и нормативной литературе методы гидравлического и технико-экономического расчета каналов при их проектировании не позволяют подобрать сечения с оптимальными характеристиками, особенно каналов полигонального профиля, для которых в существующей нормативно-технической литературе отсутству-

ют научно обоснованные методы проектирования и расчетного обоснования.

Приведенные в нормативно-технической литературе и используемые на практике методы расчета не дают возможности подбора для полигональных каналов наивыгоднейших сечений и решения задач по оптимизации их сечений.

В открытом доступе нет подробной информации и о зарубежном опыте проектирования полигональных каналов.

Цель исследования – разработка расчетной модели оптимизации полигональных сечений при проектировании гидротехнических каналов призматического профиля.

Материал, методы и объекты исследования. Из каналов призматического профиля каналы полигонального сечения, наиболее близкие к полукруглому профилю, являются гидравлически наивыгоднейшими. Методологические основы гидравлического расчета каналов полигонального сечения по методике Курбанова С. О. были опубликованы в начале 2000 годов в ведущих научно-технических журналах [1, 2]. Более подробные рекомендации по основам оптимизации сечений полигональных каналов были приведены в статье, опубликованной в журнале «Гидротехническое строительство» [3].

Теоретические исследования, проведенные по предлагаемой методике, позволили получить эффективные сечения с наивыгоднейшими параметрами для полигональных каналов [4, 5].

Гидравлические наивыгоднейшие сечения (ГНС) по предлагаемой методике могут быть определены для полигональных каналов различного назначения (энергетических, мелио-

ративных и др.). А оптимизация сечения предполагает для полигональных каналов необходимость получения еще и экономически обоснованных параметров сечения, обеспечивающих минимальные затраты на строительство.

Результаты исследования. Исследования различного рода полигональных сечений позволили получить для каналов с треугольным основанием и двумя парами симметричных откосов (рис. 1) параметры оптимизации сечения [6–8]. Основным параметром является относительная ширина β , которую можно определить по формуле

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

где:

B_1 – ширина по верху донных откосов;

h_1 – глубина канала по высоте боковых откосов;

m_2 – заложение донных откосов;

α – относительная глубина.

Безразмерный критерий относительной ширины β более полно характеризует данное полигональное сечение.

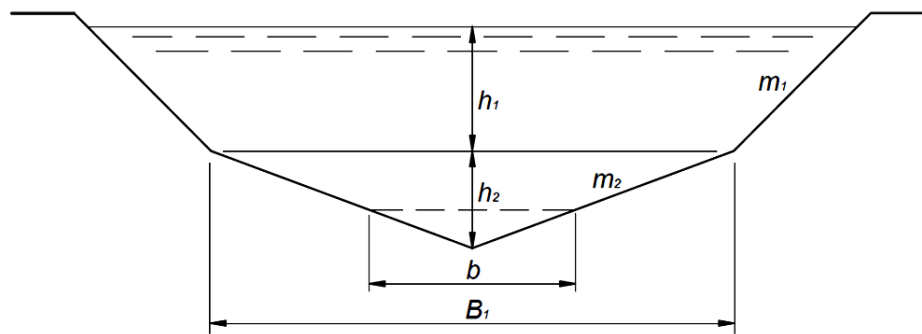


Рисунок 1. Поперечное сечение канала с двумя парами симметричных откосов
Figure 1. A channel of polygonal cross-section with two pairs of symmetrical slopes

В формуле (1) в виде простой математической зависимости увязаны безразмерные параметры полигонального сечения. Относительная ширина, выражаемая формулой, характеризует поперечное сечение канала и является главным параметром для оптимизации полигонального сечения. Данная схема позволяет легко подобрать для рассматриваемого канала гидравлически наивыгоднейшее сечение.

Для оптимизации полигонального сечения по нашей модели также важным критерием

является относительная глубина. Этот параметр можно определить по формуле

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

где:

m_1 – заложение бокового откоса.

Таким образом, интегральные показатели, определяемые по формулам (1) и (2) для полигональных каналов с двумя симметричными парами откосов (боковыми m_1 и дон-

ными m_2), характеризуют оптимальное сечение (рис. 1).

Получены оптимальные значения заложений откосов m_1 и m_2 . Определены их оптимальные соотношения:

$$\begin{aligned} m_1 &= 0,5-1,5; & m_2 &= 3-8; \\ m_1/m_2 &= 1/4-1/8. \end{aligned} \quad (3)$$

Площадь живого сечения:

$$\omega = h_1^2 (\beta + m_1 + m_2 \alpha^2), \quad (4)$$

$$\frac{\omega}{h_1^2} = (\beta + m_1 + m_2 \alpha^2) \quad (4a)$$

На основе этих критериев можно построить расчетную модель подбора наиболее оп-

тимальных (гидравлических и технико-экономических) характеристик каналов полигональных сечений. Эта модель легко выражается через графики оптимизации сечений (рис. 2): $Q = f(\frac{\omega}{h_1^2})$ – график 1 зависимости расхода канала от безразмерной величины – относительной площади живого сечения; и $C_n = f(\frac{\omega}{h_1^2})$ – график 2 зависимости стоимости строительства 1 п.м. канала (руб.) от относительной площади живого сечения. Отношение $\frac{\omega}{h_1^2}$ постоянная для всех вариантов сечения канала с заданными значениями m_1, m_2 и α, β .

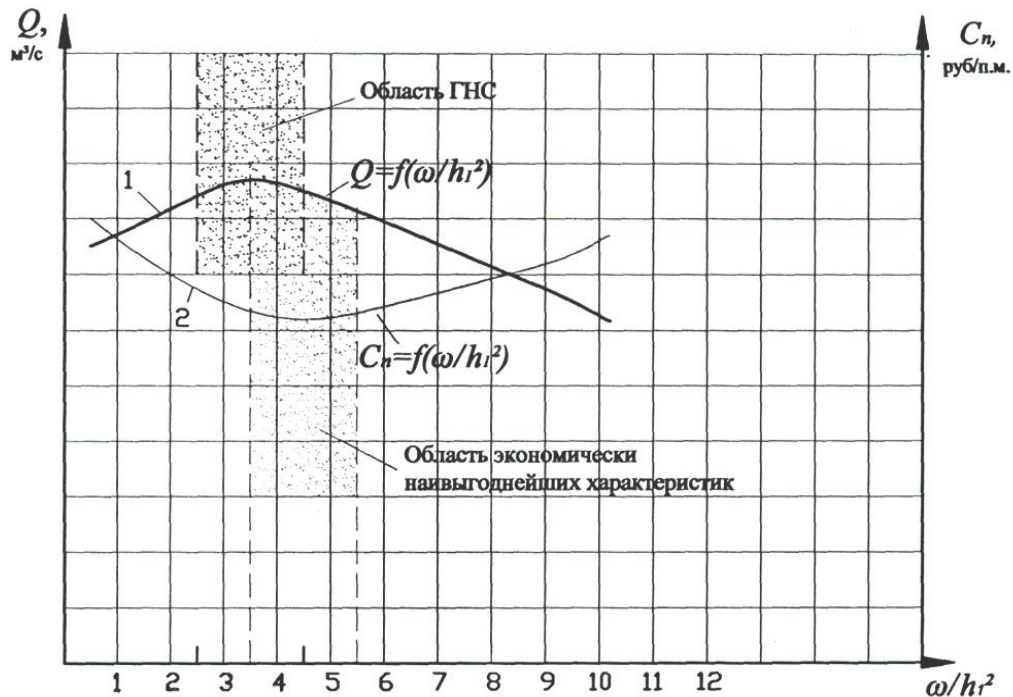


Рисунок 2. Графики подбора оптимальных характеристик полигональных сечений каналов:

1 – кривая функции $Q = f(\frac{\omega}{h_1^2})$; 2 – кривая функции $C_n = f(\frac{\omega}{h_1^2})$

Figure 2. Graphs for selecting the optimal characteristics of the polygonal sections of the channels:

1 – curve of the function $Q = f(\frac{\omega}{h_1^2})$; 2 – curve of the function $C_n = f(\frac{\omega}{h_1^2})$

График-модель оптимизации сечения полигональных каналов строится в следующей последовательности. Вначале для каждого анализируемого варианта сечения канала определяются необходимые гидравлические

параметры и отношение $\frac{\omega}{h_1^2}$. Далее – соответствующие им показатели пропускной способности Q_i .

По полученным значениям строится график зависимости $Q = f(\omega/h_1^2)$ (кривая 1).

Согласно графику, при максимальном и близком к максимальному расходу Q_b , характеристики сечения будут соответствовать гидравлически наивыгоднейшим. Плавный выпуклый участок на вершине графика 1, соответствующий относительно постоянной величине расхода, образует область с параметрами гидравлически наивыгоднейших значений полигонального сечения канала. Эта область будет меняться с учетом условий прохождения канала. Соответственно, на графике $Q = f(\omega/h_1^2)$ между значениями

ω/h_1^2 выбирается область ГНС с относительно постоянными характеристиками, в нашем примере от 2,5 до 4,5.

Выбор наиболее оптимального варианта сечения канала осуществляется с учетом и технико-экономических показателей рассматриваемых вариантов. Для этого определяют приведенные затраты на строительство 1 п.м. канала:

$$C_n = C_3 + C_{об} + C_3, \quad (5)$$

где:

C_3 – стоимость земляных работ по устройству 1 п.м. канала;

$C_{об}$ – стоимость облицовки (крепления) 1 п.м. канала;

C_3 – затраты эксплуатационные на 1 п.м. канала.

Строится график зависимости $C_n = f(\omega/h_1^2)$ (кривая 2). По данному гра-

фику, в пределах значений ω/h_1^2 определяется область с минимальными значениями приведенных затрат C_n , соответствующими экономически оптимальным характеристикам, примерно от 3,5 до 5,5.

И для каналов с тремя парами симметричных откосов математическая модель для определения параметров полигонального сечения (рис. 3) аналогичная, однако в критериях и формулах для определения характеристик сечения необходимо учитывать соответствующее количество откосов и глубин [6, 9], относительная ширина:

$$\beta = \frac{B_1}{h_1} \geq 2m_2\alpha_2 + 2m_3\alpha_3, \quad (6)$$

относительные глубины:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_2 &= \frac{h_2}{h_1} \geq \frac{\sqrt{1+m_1^2}}{\sqrt{1+m_2^2}}, \\ \alpha_3 &= \frac{h_3}{h_1} \geq \frac{\sqrt{1+m_1^2}}{\sqrt{1+m_3^2}}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

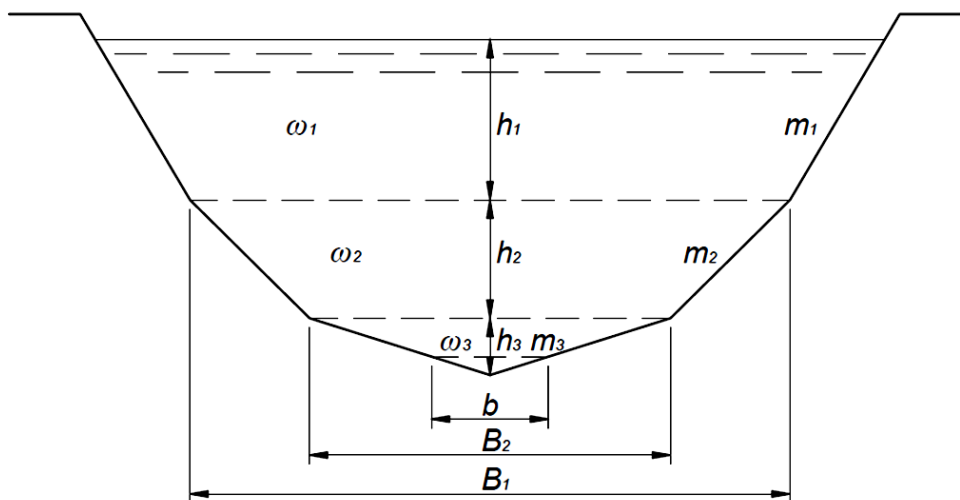


Рисунок 3. Полигональный канал с тремя парами симметричных откосов
Figure 3. Polygonal section channel with three pairs of symmetrical slopes

В данном случае характеристики сечения канала выражаются переменной h_1 , а значения заложений откосов, соответствующих наивыгоднейшим, и их соотношения:

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

Площадь живого сечения:

$$\omega = h_1^2 (\beta + m_1 + m_3 \alpha_3^2 + 2m_2 \alpha_3 \alpha_2 + m_2 \alpha_2^2), \quad (9)$$

$$\frac{\omega}{h_1^2} = (\beta + m_1 + m_3 \alpha_3^2 + 2m_2 \alpha_3 \alpha_2 + m_2 \alpha_2^2). \quad (9a)$$

По вышеописанной методике и для полигональных каналов с тремя парами откосов строится график оптимизации сечения (рис. 2). По графику подбирается оптимальное сечение канала, удовлетворяющее гидравлические условия при минимальных затратах [3, 9, 10].

Выводы. Модель расчета и методика оптимизации сечений позволяют получить для полигональных каналов основные параметры, обеспечивающие устойчивые гидравлические режимы со стабильной турбулентной структурой потока. Это достигается за счет получения сечений с оптимальными глубинами, заложениями откосов, шириной канала и в т. ч. понизу. Материальные затраты на строительство каналов и их эксплуатацию уменьшаются.

Вышеприведенную методику и модель расчетного обоснования эффективных сечений полигонального канала можно применять для проектирования новых и реконструкции существующих каналов различного назначения. При их использовании возможная экономическая эффективность достигает 30% и более.

Список литературы

1. Курбанов С. О., Ханов Н. В. К гидравлическому расчету наивыгоднейших сечений энергетических каналов полигонального профиля // Гидротехническое строительство. 2003. № 7. С. 43–47.
2. Kurbanov S.O., Khanov N.V. A hydraulic analysis of the most efficient section of a power engineering channel with a polygonal profile // Power Technology and Engineering. 2003. Т. 37. № 4. С. 213–216.
3. Курбанов С. О., Ханов Н. В. Основы оптимизации полигональных сечений гидротехнических каналов // Гидротехническое строительство. 2008. № 12. С. 27–31.
4. Пат. 22189420 Российская Федерация, МПК E02B 5/00. Гидротехнический канал / С. О. Курбанов, К. С. Курбанов; заявитель и патентообладатель Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия. № 2000114270/13; заявл. 05.06.2000; опубл. 20.09.2002. 11 с.
5. Пат. №2369688 Российская Федерация, МПК E02B 5/00. Гидротехнический канал полигонального профиля из сборных железобетонных элементов / С. О. Курбанов, А. А. Созаев; заявитель и патентообладатель Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия. № 2007123089/03; заявл. 19.06.2007; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36. 8 с.
6. Курбанов С. О., Ханов Н. В. Методика расчетного обоснования мелиоративных каналов полигонального профиля // Природообустройство. 2014. № 1. С. 50–53.
7. Курбанов С. О., Румянцев И. С. Методика и модель расчетного обоснования энергетических каналов полигонального профиля // Природообустройство. 2011. № 5. С. 41–46.
8. Курбанов С. О., Созаев А. А. Основы проектирования и расчетного обоснования транзитных лотков полигонального профиля // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2010. № 19 (38). С. 136–142.
9. Курбанов С. О., Созаев А. А. Научные основы проектирования гидротехнических каналов полигонального профиля: монография. Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2020. 110 с.
10. Созаев А. А., Курбанов С. О. Методологические рекомендации по проектированию и расчетному обоснованию мелиоративных каналов полигонального профиля: рекомендации. Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2020. 42 с.

References

1. Kurbanov S.O., Khanov N.V. On the hydraulic calculation of the most advantageous cross-sections of polygonal profile energy channels // *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*. 2003;(7):43–47. (In Russ.)
2. Kurbanov S.O., Khanov N.V. A hydraulic analysis of the most efficient section of a power engineering channel with a polygonal profile. *Power Technology and Engineering*. 2003;37(4):213–216.

3. Kurbanov S.O., Khanov N.V. Fundamentals of optimization of polygonal sections of hydrotechnical channels // *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2008. No. 12. Pp. 27–31. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo*. 2008;(12):27–31. (In Russ.)
4. Pat. No 22189420 Russian Federation, MPK E02B 5/00. 20, Hydraulic canal. S.O. Kurbanov, K.S. Kurbanov; applicant and patent holder Kabardino-Balkarskaja gosudarstvennaja sel'skokhozjajstvennaja akademija. No. 2000114270/13; dec. 05.06.2000; publ. 20.09.2002. 11 p. (In Russ.)
5. Pat. No. 2369688 Russian Federation, MPK E02B 5/00. Hydrotechnical channel made from pre-fabricated reinforced concrete members. S.O. Kurbanov, A.A. Sozaev; applicant and patent holder Kabardino-Balkarian State Agricultural Academy. No. 2007123089/03; dec. 19.06.2007; publ. 27.12. 2008, Bull. No. 36. 8 p. (In Russ.)
6. Kurbanov S.O., Khanov N.V. Method of rated substantiation of reclamation canals of a polygonal profile. *Priodoobusroistvo*. 2014;(1):50–53. (In Russ.)
7. Kurbanov S.O., Rumyantsev I.S. Methodology and model of calculated substantiation of energy channels of a polygonal profil. *Priodoobustroistvo*. 2011;(5): 41–46. (In Russ.)
8. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Basic principles of projecting and calculation of transit chute with broken section. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd state university of architecture and civil engineering]. 2010;19(38):136-142. (In Russ.)
9. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. *Nauchnie osnovi proektirovaniya gidrotekhnicheskikh kanalov poligonalnogo profilya* [Scientific bases of designing hydraulic channels of polygonal profile]: *monografiya*. Nalchik: KBGAU, 2020. 110 p. (In Russ.)
10. Sozaev A.A., Kurbanov S.O. *Metodologicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu i raschetnomu obosnovaniyu meliorativnikh kanalov poligonalnogo profilya* [Methodological recommendations for the design and computational justification of reclamation channels of polygonal profile]: *rekomendatsii*. Nalchik: KBGAU, 2020: 42 p. (In Russ.)

Сведения об авторах

Курбанов Салигаджи Омарович – кандидат технических наук, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 2067-1130, Author ID: 361638, Scopus ID: 7006253868, Researcher ID: AAB-7875-2020

Созаев Ахмед Абдулкеримович – кандидат технических наук, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 8151-1898, Author ID: 805100, Scopus ID: 57219247588, Researcher ID: AAB-7728-2020

Бахов Аскер Замирович – аспирант кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова»

Information about the authors

Saligaji O. Kurbanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 2067-1130, Author ID: 361638, Scopus ID: 7006253868, Researcher ID: AAB-7875-2020

Ahmed A. Sozaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 8151-1898, Author ID: 805100, Scopus ID: 57219247588, Researcher ID: AAB-7728-2020

Asker Z. Bakhov – Postgraduate student of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 06.04.2023;
одобрена после рецензирования 05.05.2023;
принята к публикации 15.05.2023.*

*The article was submitted 06.04.2023;
approved after reviewing 05.05.2023;
accepted for publication 15.05.2023.*