

Для цитирования: Алибеков А.К., Алибеков Г.А. Модели определения максимальной степени наполнения каналов круговой формы сечения. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019; 46(2): 28-36. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-2-28-36

For citation: Alibekov A.K., Alibekov G.A. Models for determining maximum degree filling channels of circular section shape. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (2): 28-36. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-2-28-36

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 627.132:532.543

DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-2-28-36

МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ НАПОЛНЕНИЯ КАНАЛОВ КРУГОВОЙ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ

Алибеков А.К.¹, Алибеков Г.А.²

¹Дагестанский государственный технический университет,

¹367026 г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия,

²367015 г. Махачкала, пр. М.Ярагского, 81а, 57, Россия,

¹e-mail: ali.dgtu@rambler.ru, ²e-mail: galibekov@inbox.ru

Резюме. Цель. Задача состояла в получении модели для определения максимально возможной степени наполнения каналов круговой формы сечения в земляном русле, исходя из условия обеспечения устойчивости откосов и минимального объема выемки грунта при их возведении, а также в поиске оптимальной степени наполнения укрепленных каналов замкнутого профиля, соответствующей максимальной пропускной способности. **Метод.** В работе использованы аналитические методы дифференциального исчисления и решения неявных уравнений. **Результат.** Для решения поставленных задач, подборе методов исследования и критериев оптимизации параметров каналов учтен опыт отечественных и зарубежных исследователей. Рассмотрены два случая каналов круговой формы сечения: в земляном русле; укрепленный замкнутого поперечного профиля. Для случая гидравлически наивыгоднейшего кругового канала в земляном русле путем приравнивая первой производной уравнения окружности обратной величине допустимого коэффициента заложения откосов получено аналитическое решение для определения максимальной степени наполнения из условия устойчивости откосов, которая оказалась не зависящей от величины транспортируемого расхода воды и гидравлических элементов потока. В случае несвязных грунтов, слагающих русло, круговой канал можно наполнить на глубину, не превышающую 20 процентов от радиуса канала. При этом средняя скорость потока должна оставаться в пределах от незаиляющей до неразмывающей. Для возможности нахождения расхода даны аналитические выражения нахождения гидравлических элементов потока в круговом канале. При определении объема выемки грунта по возведению канала учтено превышение бровки канала над максимальным уровнем воды в канале. Для случая укрепленного канала замкнутого поперечного профиля путем взятия производных из формулы Шези получены оптимальные значения расхода и средней скорости. **Вывод.** Укрепленный замкнутого кругового профиля канал имеет максимальную пропускную способность при относительной степени наполнения 0,938, а максимальная средняя скорость движения жидкости в безнапорном канале достигается при степени наполнения 0,815.. Для определения максимально допустимой относительной степени наполнения в случае канала кругового сечения в земляном русле получены аналитические зависимости, до применения которых по справочной литературе предварительно нужно принять величину коэффициента заложения откоса для данного вида грунта ложа канала.

Ключевые слова: канал круговой формы сечения, устойчивость грунтовых откосов, канал в земляном русле, канал замкнутого профиля, объем выемки грунта

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

MODELS FOR DETERMINING MAXIMUM DEGREE FILLING CHANNELS OF CIRCULAR SECTION SHAPE

Ali K. Alibekov¹, Gaidar A. Alibekov²

¹Daghestan State Technical University,

¹70, I.Shamil Ave., Makhachkala 367026, Russia,

²81a, 57 M. Yaragsky Str., Makhachkala 367015, Russia,

¹e-mail: ali.dgtu@rambler.ru, ²e-mail: galibekov@inbox.ru

Abstract Objectives The task was to obtain a model for determining the maximum possible degree of filling the circular section channels in the earthen channel based on the condition of ensuring the stability of slopes and the minimum volume of excavation during their construction, as well as finding the optimum degree of filling fortified channels of a closed profile corresponding to maximum throughput. **Method** In work analytical methods of differential calculus and the solution of implicit equations are used. **Result** The experience of domestic and foreign researchers was taken into account to solve the set tasks, select research methods and criteria for optimizing channel parameters. Two cases of circular-shaped channels are considered: 1) in the earth channel, 2) reinforced with a closed transverse profile. For the case of a hydraulically most advantageous circular channel in the earthen channel, equating the first derivative of the equation of a circle with the reciprocal of the allowable embedding coefficient of the slopes obtained an analytical solution for determining the maximum degree of filling from the slope stability condition, which was not dependent on hydraulic flow elements. In the case of non-cohesive soils that form the channel, the circular channel can be filled to a depth not exceeding 20 percent of the channel radius. At the same time, the average flow rate should remain in the range from non-venting to non-blurring. In order to be able to determine the flow rate, analytical expressions are given for finding hydraulic flow elements in a circular channel. When determining the volume of excavation for the construction of the channel, the excess of the channel edge above the maximum water level in the channel was taken into account. For the case of a fortified channel of a closed transverse profile, by taking the derivatives from the Chezy formula, we obtained the optimal values of flow rate and average velocity. **Conclusion** A fortified closed circular profile channel has a maximum capacity with a relative degree of filling of 0.938, and the maximum average velocity of a fluid in a pressureless channel is achieved with a degree of filling of 0.815. To determine the maximum permissible relative degree of filling in the case of a circular section channel in the earthen channel, analytical dependences were obtained, before using which, according to the reference literature, it is necessary to take the value of the slope coefficient for this type of channel bed soil.

Key words: circular channel of section, stability of soil slopes, channel in the earthen channel, channel of the closed profile, volume of excavation

Введение. При проектировании каналов, предназначенных для подачи воды потребителю на цели водоснабжения, водоотведения, орошения и осушения земель, для нужд различных технологических процессов производства, необходимо решить ряд задач, определяющих стоимость объекта: выбор трассы прокладки канала и формы сечения, оценка пропускной способности, сравнение вариантов крепления в случае размываемости грунта ложа канала и др. [1-3, 7-8, 13-16 и др.]. Основными факторами, влияющими на принятие практически приемлемых решений, являются величина подаваемого расхода, топографические и геологические условия района. Относительно формы поперечного сечения канала в [4, 6, 12] показано, что при одинаковой величине площади живого сечения каналы круговой формы предпочтительнее в силу минимальной поверхности трения и соответственно максимальной пропускной способности. В отношении типа крепления ложа канала можно считать экономически выгодным транспортирование воды с помощью каналов без крепления в земляном русле, поскольку из всех типов со-

оружений каналы являются самыми протяженными объектами. Однако при большой степени наполнения откосы каналов кругового сечения без крепления подвержены обрушению, а канал - разрушению.

Постановка задачи. Представляются актуальными задачами нахождение максимально допустимой степени наполнения неукрепленных каналов в земляном русле и поиск оптимальной степени наполнения круговых каналов замкнутого профиля с твердыми стенками с целью обеспечения максимальной пропускной способности.

Постановка задачи заключалась в получении модели для определения максимально возможной степени наполнения каналов круговой формы сечения в земляном русле, исходя из обеспечения устойчивости откосов и минимального объема выемки грунта при их строительстве и реконструкции, а также в поиске оптимальной степени наполнения укрепленных каналов замкнутого профиля, соответствующей максимальной пропускной способности.

Методы исследования. Для решения поставленных задач, подборе методов исследования и критериев оптимизации параметров каналов предварительно был выполнен обзор работ отечественных и зарубежных исследователей [6-10, 17-21 и др.]. В результате, объектом исследования выбран гидравлически наивыгоднейший профиль канала круглой формы сечения (рис. 1).

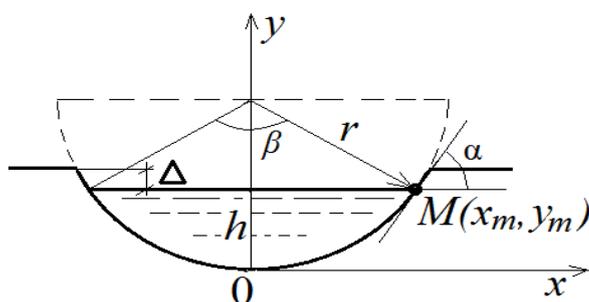


Рис.1 Расчетная схема канала кругового сечения в земляном русле
Fig. 1. The design scheme of the channel of circular cross section in the earthen channel

1. Рассмотрим неукрепленный круговой канал в обычном земляном русле. Устойчивость земляных откосов каналов обеспечивается с помощью придания откосу уклона, не превышающего значения, определяемого коэффициентом заложения откосов [12]:

$$m = \operatorname{ctg} \alpha, \quad (1)$$

где α – максимально допустимый для конкретного вида грунта угол наклона откоса к горизонту.

При глубине потока до 5 м коэффициент m можно находить по справочным материалам в зависимости от вида грунта. При глубинах более 5 м этот коэффициент находят из опыта эксплуатации каналов, работающих в подобных условиях.

В этом случае или при отсутствии аналогов коэффициент заложения откосов необходимо установить на основе расчета. Можно также отметить, что заложение подводной части откоса является более пологим, чем над водой (в пределах превышения бровки канала над уровнем воды в канале Δ , рис. 1).

Таким образом, в дальнейшем для нахождения максимально возможной степени наполнения канала круговой формы сечения в земляном русле угол наклона α касательной к окружности в точке уреза воды $M(x_m, y_m)$ примем по условию (1).

Для решения первой поставленной задачи по определению координат точки M напишем уравнение окружности радиуса r , приняв самую нижнюю точку канала за начало отсчета (рис.1):

$$x^2 + (r - y)^2 = r^2, \quad (2)$$

где y – ордината, из (2)

$$y = r - \sqrt{r^2 - x^2}. \quad (3)$$

Далее найдем производную полученной функции (3) в точке M , которая по определению равна $\operatorname{tg} \alpha$, и с учетом условия (1) получим:

$$y'_m = \frac{-x_m}{\sqrt{r^2 - x_m^2}} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha} = \frac{1}{m}. \quad (4)$$

Половина ширины уреза воды по верху (абсцисса точки M) из (4)

$$x_m = \frac{r}{\sqrt{m^2 + 1}}. \quad (5)$$

Полученное выражение x_m подставим в (3) и выразим ординату точки M , которая с другой стороны является максимально допустимой глубиной воды в канале h :

$$y_m = r - mx_m = r \left(1 - \frac{m}{\sqrt{m^2 + 1}} \right) = h. \quad (6)$$

Отсюда максимально допустимое относительное наполнение канала:

$$\left(\frac{h}{r} \right)_{\max} = 1 - \frac{m}{\sqrt{m^2 + 1}}. \quad (7)$$

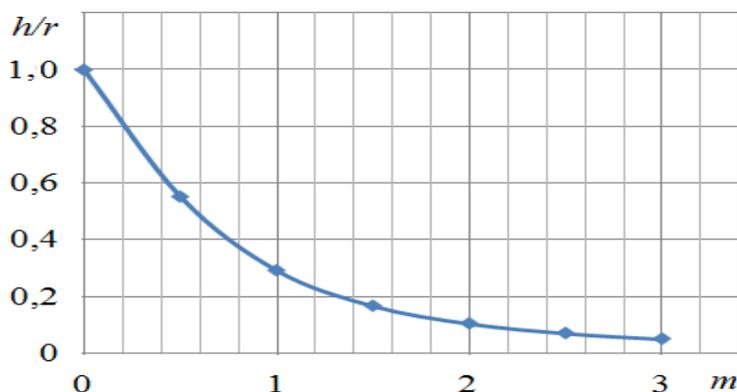


Рис. 2. Зависимость относительной глубины наполнения канала от коэффициента заложения откоса
 Fig. 2. The dependence of the relative depth of the filling channel on the coefficient of the slope

Обсуждение результатов. Анализ зависимости (7) и ее наглядное графическое представление на рис. 2 позволяют отметить:

- максимальная относительная степень наполнения гидравлически наиболее выгоднейшего канала кругового сечения не зависит от величины транспортируемого расхода воды и гидравлических элементов потока,

- для несвязных грунтов ложа канала (с меньшим значением сил сцепления частиц грунта между собой) круговой канал можно наполнить не более, чем $h = 0,2r$.

Выразим далее гидравлические элементы потока через коэффициент заложения откоса, которые компактнее можно выразить через центральный угол β (рис. 1).

Предварительно из равенства углов с взаимно перпендикулярными сторонами найдем связь

$$\frac{\beta}{2} = \alpha. \quad (8)$$

Отсюда с учетом (4) максимальный центральный угол

$$\beta_{\max} = 2 \arctg \left(\frac{1}{m} \right). \quad (9)$$

При разных расходах воды в канале будет соответствующая степень наполнения канала h . Зависимость для определения центрального угла при любой глубине h будет иметь вид:

$$\beta = 2 \arccos \left(1 - \frac{h}{r} \right),$$

где $0 < \beta \leq \beta_{\max}$, град.

Заметим, что рис. 2 и зависимости (8) и (9) соответствуют критерию устойчивости грунтового откоса, а другие требования проектирования каналов могут налагать соответствующие дополнительные ограничения: обеспечение максимальной пропускной способности, минимизация объема выемки грунта, потерь воды на фильтрацию и испарение, нахождение средней скорости потока в пределах от незаиляющей до размывающей и др. [5, 9, 11].

Найдем основные гидравлические элементы потока для сечения канала, изображенного на рис. 1:

- площадь живого сечения потока

$$\omega = (\pi\beta/180^0 - \sin\beta)r^2/2, \quad (10)$$

- смоченный периметр

$$\chi = \pi r \beta / 180^0,$$

- гидравлический радиус, $R = \omega/\chi$,

- ширина по урезу воды

$$B = 2r \sin(\beta/2),$$

- средняя скорость по формуле Шези

$$v = C \sqrt{Ri}, \quad (11)$$

где i - продольный уклон дна канала,

C - коэффициент Шези, для определения которого предложено множество методик, наиболее простой для выполнения расчетов представляется формула Маннинга:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6},$$

n – коэффициент шероховатости материала ложа канала.

Зависимости для определения средней скорости и расхода в случае безнапорного равномерного движения воды в открытых руслах получим путем подставки в (11) выражений входящих параметров и после небольших преобразований можно получить:

$$v = 9,3627r^{2/3} \frac{\sqrt{i}}{n} (0,01745 - \beta^{-1} \sin \beta)^{5/3}. \quad (12)$$

$$Q = \omega v = 4,6812r^{8/3} \frac{\sqrt{i}}{n} (0,01745\beta^{3/5} - \beta^{-2/5} \sin \beta)^{5/3}. \quad (13)$$

Одним из параметров, необходимых для нахождения объема выемки грунта при возведении или реконструкции канала, является превышение бровки Δ над максимальным уровнем воды в канале (рис.1), которая из-за сложности учета не учтена многими исследователями. Согласно [12 и др.] величина Δ определяется по таблице в зависимости от расхода, хотя отмечается, что она учитывает: увеличение шероховатости русла канала в процессе эксплуатации, подпор у различных сооружений на канале, влияние на глубину потока заиления и встречного ветра, снижающего скорость течения воды, осадку дамбы и смыв грунта дамб осадками, другие факторы.

Из сказанного вытекает сложность оценки величины Δ , поскольку перечисленные факторы могут встречаться в различных сочетаниях и трудно оценить вероятность их совместного появления. В [5] путем аппроксимации табличных данных из [12] для каналов без облицовки, с грунтово-пленочным экраном и для сооружений при наличии аэрации или сбойности течения предложена зависимость:

$$\Delta = 0,2 + 0,008Q - 0,00004Q^2.$$

Аналитическое представление Δ позволяет точнее подсчитать объем грунта выемки, а также автоматизировать процесс выполнения расчетов на ЭВМ.

Необходимый объем выемки грунта при прокладке канала полностью в выемке

$$V_{\text{выем}} = \omega_{\text{в}} l,$$

где площадь сечения выемки находят по (10) при $\beta = 2\arccos(1-(h + \Delta)/r)$.

2. Далее рассмотрим случай укрепленных круговых каналов замкнутого профиля с твердыми стенками (рис.3).

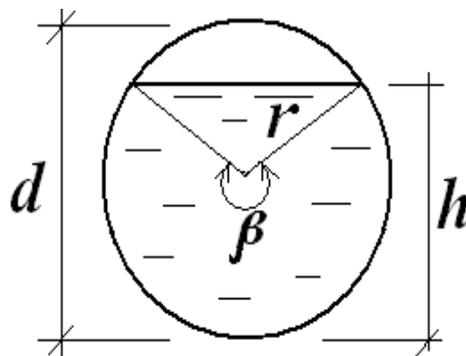


Рис. 3. Круговой канал замкнутого профиля
 Fig. 3. The circular channel of the closed profile

Степень наполнения канала, при которой обеспечивается пропуск максимального расхода при заданной форме и размерах сечения, является оптимальной по этому критерию и ее значение можно получить из условия:

$$\text{при } Q = Q_{\max} \quad dQ/d\beta = 0. \quad (14)$$

Для конкретного кругового сечения канала r и $n = \text{const}$. Тогда при положительных и (или) постоянных значениях r , n и i условие (14) поиска экстремума функции расхода (13) и скорости (12) запишутся в виде:

$$\frac{dQ}{d\beta} = 0 \rightarrow \frac{d(0,0174533\beta^{3/5} - \beta^{-2/5} \sin \beta)^{5/3}}{d\beta} = 0,$$

$$\frac{dv}{d\beta} = 0 \rightarrow \frac{d(0,0174533 - \beta^{-1} \sin \beta)^{2/3}}{d\beta} = 0.$$

По результатам расчетов, выполненных по полученным формулам при различных h , i , n , r , построены графики, представленные на рис. 4, где явно видно наличие экстремумов исследуемых функций расхода и скорости.

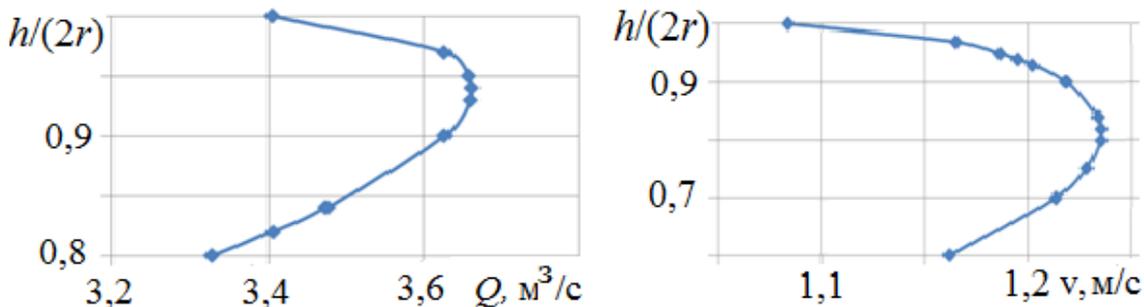


Рис.4. Зависимости $Q = f(h/(2r))$ и $v = f(h/(2r))$
 Fig. 4. Dependences $Q = f(h / 2r)$ and $v = f(h / (2r))$

Вывод. 1. Укрепленный замкнутого кругового профиля канал имеет максимальную пропускную способность при значении центрального угла $\beta = 302,327^\circ$ или, выражая это через практический параметр, относительной степени наполнения $h/(2r) = 0,938$.

При такой степени наполнения пропускается расход на 7,6 % больше по сравнению с полным наполнением сечения канала.

Это обстоятельство обусловлено тем, что при степени наполнения канала $h/(2r) > 0,938$ смоченный периметр χ растет быстрее площади живого сечения ω , тогда гидравлический радиус R , а с ним и расход Q , начинают уменьшаться. А максимальная средняя скорость движения жидкости в безнапорном канале имеет место при $\beta = 258,1^\circ$ или $h/(2r) = 0,815$.

2. В случае канала кругового сечения в земляном русле для определения максимально допустимой относительной степени наполнения рекомендуется пользоваться зависимостью (7), предварительно установив по справочной литературе величину коэффициента заложения откоса для данного вида грунта ложа канала.

При этом средние скорости потока должны находиться в пределах: более незаиляющей и не более размывающей. Стоит также отметить, что полученные модели (12) и (13) удобны для выполнения расчетов в силу их близости к одномерным.

Библиографический список:

1. Алибеков А.К. Поиск оптимальной длины холостой части магистрального оросительного канала// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2011. – № 2 (21). – С. 99-104.
2. Алибеков А.К. Оптимальная относительная ширина канала по дну в земляном русле// Мониторинг. Наука и технологии. – 2012. № 3 (12). – С.48-52.

3. Алибеков А.К. Проектирование параболических каналов// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2015. - № 37. - С.18 – 25.
4. Алибеков А.К. Основы гидравлики: теория и практика Учебное пособие. – Махачкала: ФГБОУ ВО «ДГТУ», 2016. – 172 с.
5. Алибеков А.К., Гасанов К.А. Проектирование каналов в земляном русле с оптимальными параметрами: Учебное пособие. – Махачкала: ФГБОУ ВПО «ДГТУ», 2013. - 112 с.
6. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (Гидравлика). – СПб.: СПбГПУ, 2007. – 545 с.
7. Демет'ев В.Г. Орошение. – М.: Колос, 1979. - 304 с.
8. Курбанов С.О. Развитие теории, методов расчетного обоснования и проектирования каналов и зарегулированных русел с полигональным поперечным сечением: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: ФГБОУ «МГУП», 2013. - 57 с.
9. Мирцхулава Ц. Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости. - М.: Колос, 1967. – 178 с.
10. Михалев М.А. Расчет магистральных каналов// Инженерно-строительный журнал, 2013. № 4(39). – С. 83 - 93.
11. Михалев М.А., Алибеков А. К. Условие начала трогания несвязных грунтов. В кн.: Гидравлика русловых потоков: Сб. науч. тр. – Калинин: КГУ: 1985. – С. 8 - 14.
12. СП 100.13330.2016 Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 65 с.
13. Угинчус А.А. Гидравлические и технико-экономические расчеты каналов. – М.: Стройиздат, 1965. - 274 с.
14. Bhattacharjya R.K., Satish M.G. Optimal design of a stable trapezoidal channel section using hybrid optimization technique// Journal of Irrigation and Drainage Engineering. – 2007. – Vol. 133. – P. 323–329.
15. Chahar B.R. Optimal design of a special class of curvilinear bottomed channel section// Journal of Hydraulic Engineering. 2007. 133. Pp. 571–576.
16. Das A. Chance constrained optimal design of trapezoidal channels// Journal of Water Resources Planning and Management. – 2008. – Vol. 134. – P. 310–313.
17. Easa S.M. New and improved channel cross section with piecewise linear or smooth sides// Canadian Journal of Civil Engineering. – 2011. – Vol. 38. – P. 690–697.
18. Fatchullaev A.M., Arifjanov A.M. Optimization of hydraulic parameters of irrigation canals in earthen channel// European science review. – 2016. –№ 9-10. – P. 220 - 223.
19. Fatchullaev A.M., Hazratov A.N. Limit irrigation canals regimes in earthen channel// Agro ilm. – Number 3(15). – 2010. – P. 41 - 42.
20. Shen H., Zhang X., Qiao W. Partition curve of hydraulic radius and average sidewall and bed shear stresses in open-channel flows. Journal of Hydroelectric Engineering. – 2011. – Vol. 30. – P. 44 - 48.
21. Sun G., Wei W., Zhang P., Yang G., Hu W. Calculation of optimal hydraulic cross section of a cubic parabola-shape open channel// Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC 2011. Article No. 5748593.

References:

1. Alibekov A.K. Poisk optimal'noy dliny kholostoy chasti magistral'nogo orositel'nogo kanala// Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki. 2011. № 2 (21). pp. 99-104. [Alibekov A.K. Search for the optimal length of the blank part of the main irrigation canal // Bulletin of the Daghestan State Technical University. Technical science. 2011. No. 2 (21). pp. 99-104. (In Russ.)]
2. Alibekov A.K. Optimal'naya odnositel'naya shirina kanala po dnu v zemlyanom rusle// Monitoring. Nauka i tekhnologii. – 2012. № 3 (12). – S.48-52. [Alibekov A.K. The optimal relative width of the channel along the bottom in the earthen channel // Monitoring. Science and technology. 2012. No. 3 (12). pp. 48-52. (In Russ.)]
3. Alibekov A.K. Proyektirovaniye parabolicheskikh kanalov// Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki. 2015. № 37. pp.18 – 25. [Alibekov A.K. Design of parabolic channels // Herald of the Daghestan State Technical University. Technical science. 2015. No. 37. pp.18 - 25. (In Russ.)]
4. Alibekov A.K. Osnovy gidravliki: teoriya i praktika Uchebnoye posobiye. – Makhachkala: FGBOU VO «DGTU», 2016. – 172 s. [Alibekov A.K. Fundamentals of Hydraulics: Theory and Practice Study Guide. - Makhachkala: FSBEI HE "DSTU", 2016. 172 p. (In Russ.)]
5. Alibekov A.K., Gasanov K.A. Proyektirovaniye kanalov v zemlyanom rusle s optimal'nymi parametrami: Uchebnoye posobiye. – Makhachkala: FGBOU VPO «DGTU», 2013. - 112 s. [Alibekov A.K., Gasanov K.A. Designing channels in an earthen channel with optimal parameters: a manual. - Makhachkala: FSBEI HPE DGTU, 2013. - 112 p. (In Russ.)]
6. Girgidov A.D. Mekhanika zhidkosti i gaza (Gidravlika). – SPb.: SPbGPU, 2007. – 545 s [Girgidov A.D. Mechanics of fluid and gas (Hydraulics). SPb.: SPbSPU, 2007. 545 p. (In Russ.)]
7. Dement'yev V.G. Orosheniye. – М.: Колос, 1979. - 304 s. [Dementiev V.G. Irrigation. M.: Kolos, 1979. 304 p. (In Russ.)]

8. Kurbanov S.O. Razvitiye teorii, metodov raschetnogo obosnovaniya i proyektirovaniya kanalov i zaregulirovannykh rusel s poligonal'nym poperechnym secheniyem: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. naauk. – M.: FGBOU «MGUP», 2013. – 57 s. [Kurbanov S.O. Development of the theory, methods of calculation justification and design of channels and regulated channels with a polygonal cross section: author. dis. ... Dr. tech. science. - M.: FSBEI "MGUP", 2013. - 57 p. (In Russ.)]
9. Mirtskhulava TS. Ye. Razmyv rusel i metodika otsenki ikh ustoychivosti. - M.: Kolos, 1967. – 178 s. [Mirtskhulava Ts. E. Channel erosion and methods for assessing their stability. - M.: Kolos, 1967. 178 p. (In Russ.)]
10. Mikhalev M.A. Raschet magistral'nykh kanalov// Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, 2013. № 4(39). – S. 83 - 93. [Mikhalev M.A. Calculation of the main canals // Civil Engineering Journal, 2013. No. 4 (39). - S. 83 - 93. (In Russ.)]
11. Mikhalev M.A., Alibekov A. K. Usloviye nachala trovaniya nesvyaznykh gruntov. V kn.: Gidravlika rus-lovykh potokov: Sb. nauch. tr. – Kalinin: KGU: 1985. – S. 8 - 14. [Mikhalev MA, Alibekov AK. The condition for the start of moving off disconnected soils. In the book: Hydraulics of channel flows: Sat. scientific tr - Kalinin: KSU: 1985.- S. 8 - 14. (In Russ.)]
12. SP 100.13330.2016 Meliorativnyye sistemy i sooruzheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.06.03-85. - M.: TsITP Gosstroya SSSR, 1986. – 65 s. [SP 100.13330.2016 Reclamation systems and facilities. Updated version of SNIp 2.06.03-85. - M.: TsITP Gosstroy of the USSR, 1986. - 65 p. (In Russ.)]
13. Uginchus A.A. Gidravlicheskiye i tekhniko-ekonomicheskkiye raschety kanalov. – M.: Stroyizdat, 1965. – 274 s. [Uginchus A.A. Hydraulic and technical and economic calculations of channels. - M.: Stroyizdat, 1965. 274 p.]
14. Bhattacharjya R.K., Satish M.G. Optimal design of a stable trapezoidal channel section using hybrid optimization technique// Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 2007. Vol. 133. pp. 323–329.
15. Chahar B.R. Optimal design of a special class of curvilinear bottomed channel section// Journal of Hydraulic Engineering. 2007. 133. Pp. 571–576.
16. Das A. Chance constrained optimal design of trapezoidal channels// Journal of Water Resources Planning and Management. 2008. Vol. 134. pp. 310–313.
17. Easa S.M. New and improved channel cross section with piecewise linear or smooth sides// Canadian Journal of Civil Engineering. 2011. Vol. 38. pp. 690–697.
18. Fatchullaev A.M., Arifjanov A.M. Optimization of hydraulic parameters of irrigation canals in earthen channel// European science review. 2016. No. 9-10. pp. 220 - 223.
19. Fatchullaev A.M., Hazratov A.N. Limit irrigation canals regimes in earthen channel// Agro ilm. No. 3(15). 2010. pp. 41 - 42.
20. Shen H., Zhang X., Qiao W. Partition curve of hydraulic radius and average sidewall and bed shear stresses in open-channel flows. Journal of Hydroelectric Engineering. 2011. Vol. 30. P. 44 - 48.
21. Sun G., Wei W., Zhang P., Yang G., Hu W. Calculation of optimal hydraulic cross section of a cubic parabola-shape open channel// Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC 2011. Article No. 5748593.

Сведения об авторах:

Алибеков Али Казибекович – кандидат технических наук, доцент, кафедра бурения нефтяных и газовых скважин.

Алибеков Гайдар Алиевич – соискатель.

Information about the authors:

Ali K. Alibekov - Cand.Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Oil and Gas Well Drilling.

Gaidar A. Alibekov- Aspirant.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 17.04.2019.

Принята в печать 30.05.2019.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 17.04.2019.

Accepted for publication 30.05.2019.