

of Instability of Tubes Conveying Fluids, Journal of Acoustical Society of America, 77, 887, 1985.

6. Hill J.L., Swanson C.P. Effects of Lumped Masses on the Stability of Fluid Conveying Tubes, Transactions ASME, Journal of Applied Mechanics, 37, 494, 1970.

7. Kang, M.G. Effect of rotary inertia of concentrated masses on the natural vibration of fluid conveying pipes, Journal of the Korean Nuclear Society. – 1999. – Vol. 31. – Number 2. – Pp. 202-213.

8. Chakraborty S. Some Applications of Dirac's Delta Function in Statistics for more Than One Random Variable, Applications and Applied Mathematics. – 2008. – Vol. 3. – Issue 1. – Pp. 42-54.

9. Païdoussis M.P. Fluid-Structure Interactions: Slender Structures and Axial Flow, Volume 1, Second edition 2014, London: Elsevier

10. Wu T.T., Raju P.P. Vibration of a Fluid Conveying Pipe Carrying a Discrete Mass, Transactions ASME, Journal of Pressure Vessel Technology. – 1974. – November, 154.

Критерии авторства

Лолов Д., Лилкова-Маркова С., Балабанов В.И. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Лолов Д., Лилкова-Маркова С., Балабанов В.И. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Статья поступила в редакцию 24.02.2021 г.

Одобрена после рецензирования 22.03.2021 г.

Принята к публикации 05.04.2021 г.

of Instability of Tubes Conveying Fluids, Journal of Acoustical Society of America, 77, 887, 1985.

6. Hill J.L., Swanson C.P.. Effects of Lumped Masses on the Stability of Fluid Conveying Tubes, Transactions ASME, Journal of Applied Mechanics, 37, 494, 1970.

7. Kang M.G. Effect of rotary inertia of concentrated masses on the natural vibration of fluid conveying pipes, Journal of the Korean Nuclear Society, Vol. 31, Number 2, pp. 202-213, 1999.

8. Chakraborty S. Some Applications of Dirac's Delta Function in Statistics for more Than One Random Variable, Applications and Applied Mathematics, Vol. 3, Issue 1, pp. 42-54, 2008.

9. Païdoussis M.P. Fluid-Structure Interactions: Slender Structures and Axial Flow, Volume 1, Second edition 2014, London: Elsevier.

10. Wu T.T., Raju P.P. Vibration of a Fluid Conveying Pipe Carrying a Discrete Mass, Transactions ASME, Journal of Pressure Vessel Technology, November, 154, 1974.

Criteria of authorship

Lolov D., Lilkova-Markova S., Balabanov V.I. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Lolov D., Lilkova-Markova S., Balabanov V.I. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 24.02.2021

Approved after reviewing 22.03.2021

Accepted for publication 05.04.2021

Оригинальная статья

УДК 502/504:627.8

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-77-84

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЛЕТАРСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ

КОСИЧЕНКО ЮРИЙ МИХАЙЛОВИЧ, д-р техн. наук, профессор

Kosichenko-11@mail.ru

БАЕВ ОЛЕГ АНДРЕЕВИЧ ✉, канд. техн. наук, начальник Гидротехнического отдела

oleg-baev1@yandex.ru

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации «РосНИИПИМ»; 346400, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190. Россия

Приведены расчеты основных параметров Пролетарского магистрального канала для полигонального сечения при его реконструкции для различных вариантов. Разработана методика гидравлического расчета, которая основывается на определении

коэффициента приведения полигональной формы сечения к трапецидальной по формуле А.А. Угинчуса. Затем находится площадь сечения каждого элемента после приведения к трапецидальному сечению, вычисляются смоченные периметры, гидравлический радиус и коэффициент Шези каждого элемента сечения. Для земляного русла канала полученные гидравлические характеристики близко соответствовали проектным данным по расходу и средней скорости течения. Земляное русло канала с ледяным покровом имеет значительное снижение гидравлических параметров от проектного сечения как по расходу до $36,0 \text{ м}^3/\text{с}$ (или на 33%), так и по средней скорости течения до $0,410 \text{ м/с}$. Земляное расширенное несимметричное русло характеризуется увеличенным расходом до $57,47 \text{ м}^3/\text{с}$, площадью живого сечения 101 м^2 и смоченным периметром $42,0 \text{ м}$ по сравнению с проектным сечением. Для русла участка канала с защитным креплением из каменной наброски и гравийно-галечниковым покрытием получены сниженные характеристики как по расходам, так и по средним скоростям течения, что обусловлено высоким значением их коэффициентов шероховатости. При этом установлено, что снижение коэффициентов шероховатости защитных покрытий при эксплуатации за счет кольматации частиц наносов приведет к повышению расходов воды в канале. Однако процесс кольматации наносами защитного слоя из каменного материала будет проходить медленно, в течение 10 лет и более.

Ключевые слова: коэффициент шероховатости, магистральный канал, реконструкция, кольматация, противофильтрационное покрытие

Формат цитирования: Косиченко Ю.М., Баев О.А. Обоснование эффективности магистрального канала при реконструкции // Природообустройство. – 2021. – № 2. – С. 77-84. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-77-84.

© Косиченко Ю.М., Баев О.А., 2021

Scientific article

JUSTIFICATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE PROLETARIAN MAIN CANAL DURING RECONSTRUCTION

KOSICHENKO YURI MIKHAILOVICH, doctor of technical sciences, professor

Kosichenko-11@mail.ru

BAEV OLEG ANDREEVICH✉, candidate of technical sciences, head of the hydraulic engineering department

oleg-baev1@yandex.ru

Russian Research Institute of Land Reclamation «RosNIIPM»; 346400, Novochoerkassk, pr. Baklanovskij, 190. Russia

Calculations of the main parameters of the Proletarsky main canal for a polygonal section during its reconstruction for various options are presented. A method for hydraulic calculation of the Proletarsky main canal has been carried out. The developed method of the hydraulic calculation is based on the determination of the coefficient of reduction of the polygonal shape of the section to the trapezoidal one according to the formula of A.A. Uginchus. Then the cross-sectional area of each element is found after reduction to a trapezoidal section, the wetted perimeters, hydraulic radius and Shezi coefficient of each section element are calculated. For the earthen channel of the canal, the obtained hydraulic characteristics closely matched the design data for the flow rate and average current velocity. The earthen channel of the canal with an ice cover has a significant decrease in hydraulic parameters from the design section, both in terms of flow rate up to $36.0 \text{ м}^3/\text{с}$ (or by 33%) and in terms of the average flow velocity up to 0.410 м/с . The widened asymmetrical earthen channel is characterized by an increased discharge up to $57.47 \text{ м}^3/\text{с}$, an effective cross-section of 101 м^2 and a wetted perimeter of 42.0 м in comparison with the design section. For the channel of the canal section with a protective strengthening made of a rock fill and gravel-pebble coating, reduced characteristics were obtained both in terms of flow rates and average flow rates which is due to their high value of roughness coefficients. At the same time, it was found that a decrease in the roughness coefficients of protective coatings during operation due to the colmatage of alluviums particles will

lead to an increase in water consumption in the canal. However, the process of alluviums colmatage of the protective layer of stone material will be slow, for 10 years or more.

Keywords: roughness coefficient, main canal, reconstruction, colmatage, anti-filtration coating

Format of citation: Kosichenko Yu.M., Baev O.A. Justification of the effectiveness of the Proletarian main canal during reconstruction // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 2. – S. 77-84. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-77-84.

Введение. Пролетарский магистральный канал (ПМК) является продолжением Донского магистрального канала (ДМК). Он берет начало в концевой части ДМК на ПК 1122+00 (112 км). Протяженность ПМК составляет 83,4 км, ширина канала по дну – 4,0 м, глубина воды в канале – 4,5 м, русло полигонального сечения, заложение откосов в нижней части – 1:4 до глубины 2-2,5 м, в верхней части – 1:2; пропускная способность составляет 54,0 м³/с, уклон дна – 0,00004, коэффициент шероховатости

русла (n) до реконструкции равен 0,02. Канал проходит в земляном русле в полувыемке-полунасыпи, в местах прохождения балок – в насыпи с высотой дамб обвалования до 6,0 м. Трасса канала проложена в средних суглинках, под которыми на отдельных участках вскрываются известняки и пески. На этих участках канала устроена противифльтрационная защита толщиной 1,0 м в виде экрана из глинистых грунтов (табл. 1).

На рисунке 1 представлена линейная схема Пролетарского МК.

Таблица 1

Участки канала, проложенные в суглинках с противифльтрационным экраном из глинистых грунтов

Table 1

Sections of the canal, laid in loams with anti-filtration screen of clay soils

№ п/п	Наименование грунта <i>Description of the soil</i>	Пикетаж <i>Stationing</i>	Длина участка, м <i>Length of the section, m</i>
1	Известняк, песок / <i>Limestone, sand</i>	1481-1506	2500
2	Известняк, песок / <i>Limestone, sand</i>	1520-1549	2900
Итого в известняках / Total in limestones			5400
3	Супеси / <i>Clay sand</i>	1560-1563	300
4	Супеси / <i>Clay sand</i>	1566-1570	400
5	То же / <i>The same</i>	1749-1764	1500
6	То же / <i>The same</i>	1796-1890	600
Итого в супеси / Total in clay sand			2800
Всего / Total			8200

Пролетарский МК предназначен для орошения и обводнения засушливых районов Ростовской области. К нему подвешена площадь орошения на 22,8 тыс. га, которая составляет Пролетарскую оросительную систему.

Наиболее опасные участки расположены на двух участках канала, где находятся известняк и карстовые породы на ПК 1481-1506 и ПК 1520-1549. Поэтому на данных участках предусмотрена реконструкция Пролетарского МК. Участок канала длиной 250 м (в районе х. Наумовский), где наблюдались карстовые явления, был реконструирован в 2015 г.

В результате проведенных натурных обследований Пролетарского МК выявлены следующие дефекты канала: деформации откосов на ПК 1630-1640 с их обрушением

в виде вертикальных стенок канала в верхней их части (рис. 2), выходы фильтрационного потока в приканальную зону, размывы и заиливание русла канала, зарастание водной и древесной растительностью.

Вопросами проектирования и гидравлического расчета каналов занимались П.Г. Киселев [1], А.М. Латышенков [2, 3], А.А. Угинчус [4], В.Т. Чоу [5-6], Е.К. Рабкова [7], Ю.М. Косиченко, О.А. Баев и К.Г. Гурин [8-11], А.Г. Алимов [12], Ф.К. Абдразаков [13] и др.

Материалы и методы исследований. В качестве материалов исследования используем известные зависимости для гидравлических расчетов с целью разработки методики для определения основных параметров потока при реконструкции Пролетарского МК [1, 2].

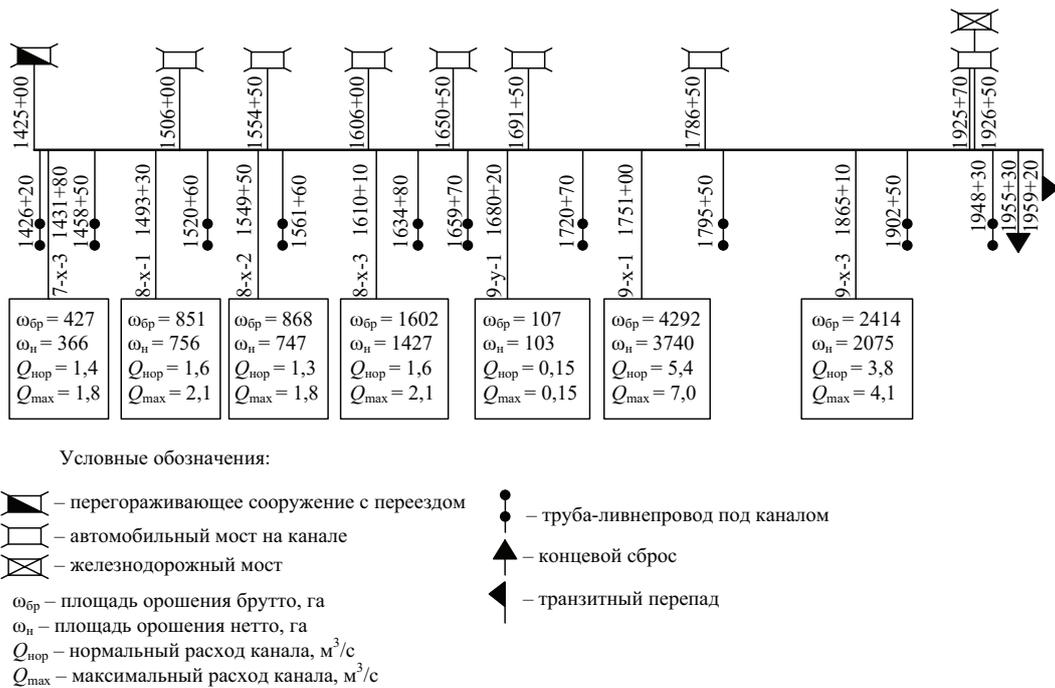


Рис. 1. Линейная схема Пролетарского МК

Fig. 1. Linear scheme of the Proletarian MC



Рис. 2. Деформация откосов ПМК на ПК 1630-1640

Fig. 2. Deformation of PMC slopes on PC 1630-1640

Рассмотрим методику гидравлического расчета Пролетарского МК, которая включает в себя изложенные ниже пункты.

1. Вначале задаются известные параметры канала: уклон дна канала i , коэффициент шероховатости земляного русла n , глубина канала по оси h_p , заложение откосов для полигонального сечения m_1 и m_2 , ширина канала по урезу воды B ; ширина канала по дну b .

2. Затем определяются расчетные параметры в такой последовательности:

- принимаем глубину в первом сечении равной $h_1 = 1,0$ м;

- вычисляем коэффициент приведения полигональной формы сечения к трапецидальной по формуле А.А. Угинчуца [4]:

$$m_{пр} = \frac{m'_1 + \alpha_2 m'_2}{1 + \alpha_2},$$

где $m_{пр}$ – приведенный коэффициент откоса для трапецидального сечения;

$$m'_1 = 2\sqrt{1 + m_1^2}, \quad m'_2 = 2\sqrt{1 + m_2^2},$$

где m_1 и m_2 – коэффициенты заложения откосов полигонального сечения; $\alpha_2 = h_2 / h_1$ – коэффициент приведения сечения по глубине к значению глубины h_1 ;

- определяем площадь сечения каждого элемента сечения после приведения к трапецидальному сечению:

$$\omega_1 = (b + m_{пр} \cdot h_1) \cdot h_1; \quad \omega_2 = (b + m_{пр} \cdot h_2) \cdot h_2;$$

$$\omega_3 = [b + m_{пр} (h_3)] h_3; \quad \omega_4 = (b + m_{пр} \cdot h_4) \cdot h_4,$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 – глубина каждого элемента сечения канала, м;

- вычисляем смоченные периметры приведенных трапецидальных сечений:

$$\chi_1 = b + 2h_1\sqrt{1 + m_{пр}^2}; \quad \chi_2 = 2h_2\sqrt{1 + m_{пр}^2};$$

$$\chi_3 = 2h_3\sqrt{1 + m_{пр}^2}; \quad \chi_4 = 2h_4\sqrt{1 + m_{пр}^2};$$

- вычисляем гидравлический радиус каждого элемента сечения:

$$R_1 = \frac{\omega_1}{\chi_1}; R_2 = \frac{\omega_2}{\chi_2}; R_3 = \frac{\omega_3}{\chi_3}; R_4 = \frac{\omega_4}{\chi_4};$$

- находим коэффициент Шези каждого элемента приведенного сечения по формуле Н.Н. Павловского [1, 5]:

$$C_1 = \frac{1}{n_1} R_1^y; C_2 = \frac{1}{n_2} R_2^y; C_3 = \frac{1}{n_3} R_3^y; C_4 = \frac{1}{n_4} R_4^y;$$

- определяем расход каждого элемента приведенного сечения [1]:

$$Q_1 = \omega_1 C_1 \sqrt{R_1 \cdot i}; \quad Q_2 = \omega_2 C_2 \sqrt{R_2 \cdot i};$$

$$Q_3 = \omega_3 C_3 \sqrt{R_3 \cdot i}; \quad Q_4 = \omega_4 C_4 \sqrt{R_4 \cdot i}.$$

3. Расчет канала при зимнем его режиме эксплуатации проводится по формуле Н.Н. Павловского [2] для определения приведенного коэффициента шероховатости:

$$n_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{л}} \chi_{\text{л}} + n_{\text{п}} \chi_{\text{п}}}{\chi_{\text{л}} + \chi_{\text{п}}},$$

где $n_{\text{л}}$ и $n_{\text{п}}$ – коэффициент шероховатости нижней поверхности ледяного покрова и земляного русла канала; $\chi_{\text{л}}$, $\chi_{\text{п}}$ – смоченный периметр для нижней поверхности ледяного покрова и земляного русла.

4. Как отмечено во введении, на отдельных участках Пролетарского МК были обнаружены карстовые явления на протяжении 250 м, которые приводили к образованию ям и провалов. Указанные явления привели к выводам о том, что на этих

участках необходимо создание непроницаемых экранов из бентонитовых матов с защитным покрытием из каменной наброски. Однако создание на таких участках защитного покрытия из каменной наброски будет приводить к повышенной шероховатости русла, где коэффициент шероховатости достигнет, по данным [1], значения $n = 0,0350$. Такое высокое значение коэффициента шероховатости будет наблюдаться в первые годы эксплуатации (1-3 года), а в дальнейшем покрытие из каменной наброски будет постепенно кольматироваться мелкими фракциями наносов. Через 10 лет кольматация приведет к практически полному занесению пор мелкими и средними частицами наносов с коэффициентами шероховатости, близкими к земляному руслу канала (0,020).

Цель исследований: обоснование гидравлической эффективности Пролетарского МК при его реконструкции.

Результаты и обсуждения. Для обоснования эффективности Пролетарского МК рассмотрим схемы полигональных сечений русла до реконструкции (расширенное несимметричное русло) и после реконструкции (сужено заглубленное симметричное русло). Для этих сечений приняты заложения откосов: в верхней части – более крутые с заложением 1:2, в нижней – более пологие с заложением 1:4. Ширина сечений канала по дну до реконструкции составляла 15,0 м, после реконструкции – 4,0 м. Ширина по урезу воды до реконструкции составляла 37,0 м, после реконструкции – 31,0 м. Расчетная схема Пролетарского МК при реконструкции показана на рисунке 3.

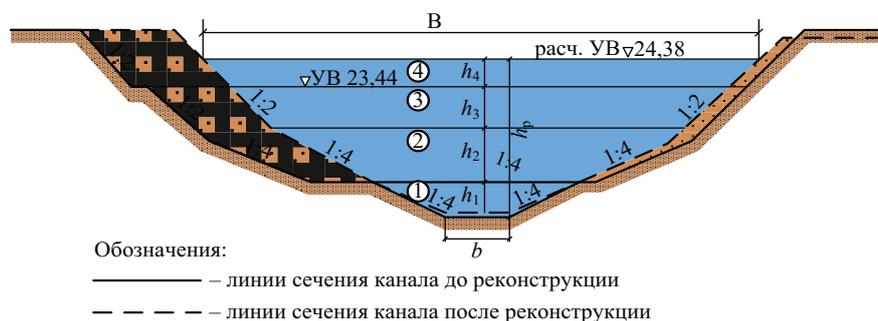


Рис. 3. Расчетная схема Пролетарского МК на поперечнике 1 (ПК-1512)

Fig. 3. Design diagram of the Proletarian MC on the diameter 1 (PC1512)

Результаты гидравлического расчета Пролетарского МК приведены в таблице 2.

Для земляного сечения коэффициент шероховатости русла близко соответствовал проектному значению $n = 0,020$. Основные гидравлические характеристики канала

получены близкими к проектным: расход по расчету авторов – 53,68 м³/с (по проекту – 54,0 м³/с). В случае земляного русла с ледяным покровом коэффициент шероховатости принимался по расчету как приведенный по формуле Н.Н. Павловского [1, 2], который

Таблица 2

Table 2

Результаты гидравлического расчета Пролетарского магистрального канала

Results of the hydraulic calculation of the Proletarian main canal

Наименование русла канала Name of the canal channel	Задаваемые параметры / Defined parameters					Расчетные параметры / Design parameters						
	$\frac{n}{n_{np}}$	i	$h_p, м$	m_1	m_2	B, м	$\omega, м^2$	χ_r, χ_p	R, м	C, $м^{0,5}/с$	U, $м/с$	Q, $м^3/с$
Земляное русло проектное / Designed earth channel	0,020		4,5	4,0	2,0	31,0	87,75	32,61	2,69	58,98	0,615	53,68
Земляное русло с ледяным покровом / Earth channel with ice cover	$\frac{0,017}{0,0191}$		4,5	4,0	2,0	31,0	87,75	31,0	1,38	55,25	0,410	36,0
Земляное расширенное русло (до реконструкции) Earth widened channel (before reconstruction)	0,020	0,00004	4,5	4,0	2,0	37,0	101,0	42,0	2,41	57,91	0,535	57,48
Русло участка канала с креплением гравийно-галечниковым покрытием Channel of the canal section with gravel-pebble coating	0,0275*		4,5	4,0	2,0	31,0	87,75	32,61	2,33	41,88	0,404	35,48
Русло участка канала с креплением каменной наброской Channel of the canal section with rock fill strengthening	0,0245**		4,5	4,0	2,0	31,0	87,75	31,61	2,33	47,01	0,453	39,82
	0,035*		4,5	4,0	2,0	31,0	87,75	32,61	2,69	33,70	0,384	33,71
	0,0285**		4,5	4,0	2,0	31,0	87,75	32,61	2,69	41,40	0,429	37,67

Примечание: * – коэффициент шероховатости русла канала без кольматации частицами наносов; ** – коэффициент шероховатости русла канала после кольматации частицами наносов.

Notes: * – roughness coefficient of the canal channel without colmatage of alluvia particles; ** – roughness coefficient of the canal channel after colmatage of alluvia particles.

составил $n_{np} = 0,0191$. При этом расход существенно уменьшился до значения $Q = 36,0 м^3/с$, что на 33% меньше проектного. Такое снижение расхода обусловлено влиянием трения нижней поверхности ледяного покрова.

Гидравлический расчет русла участка канала с креплением гравийно-галечниковым покрытием показал, что принятый начальный коэффициент шероховатости этого покрытия в начале эксплуатации будет соответствовать, по данным Е.К. Рабковой [7], значению 0,0275 (без кольматации частицами наносов), а при кольматации частицами наносов при эксплуатации за 4-5 лет он будет снижаться до 0,0245. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что расход при эксплуатации будет увеличиваться с 35,48 $м^3/с$ до 39,82 $м^3/с$, или на 12,2%.

Для другого варианта крепления каменной наброской с начальным коэффициентом шероховатости участка канала, равным 0,035, по данным [1], при эксплуатации он может снизиться до значения 0,0285 (после 3-4 лет). При этом расход в канале может снизиться с 33,71 $м^3/с$ до 37,67 $м^3/с$, или на 11,7%.

Таким образом, очевидно, что в случае устройства на участке канала покрытия с высоким коэффициентом шероховатости он будет снижаться, а расход, наоборот, будет увеличиваться. При этом в предельном случае коэффициент шероховатости может достигнуть значения, соответствующего земляному руслу на этом участке, а расход достигнет предельного значения, равного проектному значению, то есть 54,0 $м^3/с$.

Исходя из вышеизложенных соображений, можно предположить, что коэффициенты шероховатости русла канала с гравийно-галечниковым покрытием и покрытием из каменной наброски будут снижаться за достаточно длительный период с начального значения (соответственно 0,0285 и 0,0350) до конечного значения в пределе, равного земляному руслу или близком к нему (рис. 4, 5).

Проведенные нами расчеты (рис. 4, 5) показывают, что в случае изменения глубины потока в русле канала от 0 до 4,5 м, а также снижения коэффициентов шероховатости от 0,035 до 0,020 для каменной наброски и от 0,0275 до 0,020 для гравелисто-галечникового покрытия при периоде эксплуатации до 10 лет или более коэффициенты шероховатости будут снижаться для каменной наброски от 0,035 до 0,020, или на 43%, для гравийно-галечникового покрытия – от 0,0275 до 0,020, или на 27%.

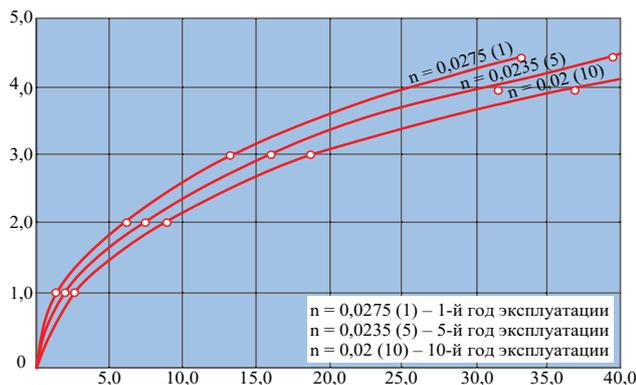


Рис. 4. График изменения расходов в Пролетарском МК в зависимости от глубины в канале, коэффициента шероховатости каменной наброски и времени эксплуатации канала с учетом кольятации пор

Fig. 4. Schedule of changes in costs in the Proletarian MC depending on the depth in the canal, the roughness coefficient of rock fill the stone and the time of operation of the canal taking into account colmatization of pores

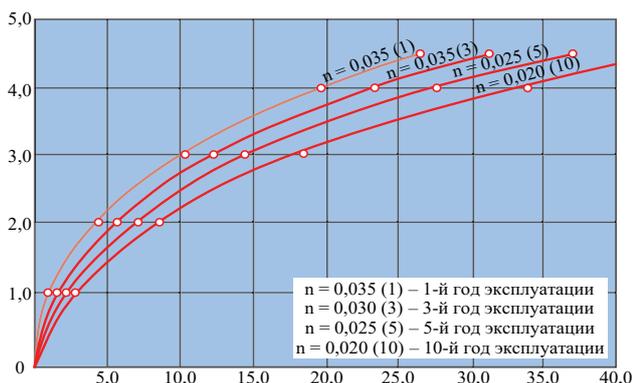


Рис. 5. График изменения расходов в Пролетарском МК в зависимости от глубины в канале, коэффициента шероховатости гравийно-галечниковой отсыпки и времени эксплуатации канала с учетом кольятации пор

Fig. 5. Schedule of changes in costs in the Proletarian MC depending on the depth in the canal, the roughness coefficient of gravel-pebble fill and the time of operation of the canal taking into account colmatization of pores

Выводы

1. Наиболее опасные участки Пролетарского МК расположены на двух участках, где находятся известняк и карстовые

Библиографический список

1. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев и др. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 312 с.

породы (ПК 1481-1506 и ПК 1520-1549), поэтому здесь была предусмотрена реконструкция канала протяженностью 250 м (в районе х. Наумовка). На этом участке канал был реконструирован в 2015 г., когда выполнен экран из бентонитовых матов со слоем глины толщиной 0,5 м и защитным покрытием из каменной наброски толщиной 0,5 м.

2. Проведенные гидравлические расчеты земляного полигонального сечения канала показывают, что русло после реконструкции соответствует симметричному полигональному сечению, а его гидравлические характеристики близко совпадают с проектными (в частности, расход канала равен $53,68 \text{ м}^3/\text{с}$, а для проектного сечения – $54,0 \text{ м}^3/\text{с}$).

3. Существующее расширенное русло Пролетарского МК не соответствует проектному сечению и имеет отличающие характеристики. Так, расход канала получен равным $57,48 \text{ м}^3/\text{с}$, проектный – $54,0 \text{ м}^3/\text{с}$; ширина расширенного русла по дну – 15,0 м, а проектная – 4,0 м; ширина по урезу воды – 37,0 м, проектная – 31,0 м.

4. В случае использования Пролетарского МК в зимний период необходимо учитывать, что основные параметры канала будут снижаться (расход канала составит $36,0 \text{ м}^3/\text{с}$, средняя скорость – $0,410 \text{ м/с}$).

5. Русло участка канала с креплением каменной наброски будет давать в начальный период эксплуатации значительно сниженные параметры (расход – $33,71 \text{ м}^3/\text{с}$, средняя скорость – $0,384 \text{ м/с}$). Следует учитывать, что при эксплуатации Пролетарского МК с коэффициентом шероховатости 0,0285 расход будет составлять $37,61 \text{ м}^3/\text{с}$, скорость потока – $0,429 \text{ м/с}$. При проведении крепления канала гравийно-галечниковым покрытием расход в начальный период будет составлять $35,48 \text{ м}^3/\text{с}$, при снижении коэффициента шероховатости расход будет увеличиваться до $39,82 \text{ м}^3/\text{с}$.

6. При устройстве на участке Пролетарского МК защитного покрытия из каменной наброски с высоким коэффициентом шероховатости 0,035 он будет снижаться по мере его эксплуатации, а расход будет увеличиваться. В предельном случае коэффициент шероховатости может достигнуть значения, соответствующего земляному руслу на этом участке. При этом расход достигнет предельного значения, равного проектному значению, то есть $54,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

References

1. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam / P.G. Kiselev [i dr.]. – M.: EKOLIT. – 2011. – 312 s.

2. Каналы систем водоснабжения и ирригации: Рекомендации по проектированию и эксплуатации каналов / А.М. Латышенков и др. – М.: Стройиздат, 1972. – 153 с.

3. **Латышенков А.М.** Выбор наивыгоднейших размеров каналов трапецеидальной формы // Гидротехника и мелиорация. – 1966. – № 5.

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

5. **Штеренлихт Д.В.** Гидравлика. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 2004. – 656 с.

6. **Чоу В.Т.** Гидравлика открытых каналов: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1969. – 464 с.

7. **Рабкова Е.К.** Проектирование и расчет оросительных каналов в земляном русле. – М.: Изд-во УДН, 1990. – 252 с.

8. **Косиченко Ю.М., Баев О.А.** Расчет коэффициентов шероховатости русел каналов с неоднородными участками // Природообустройство. – 2020. – № 3. – С. 6-14.

9. **Косиченко Ю.М., Гурин К.Г.** Определение приведенного коэффициента шероховатости для неоднородного русла по длине // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 1997. – № 3. – С. 85-88.

10. **Косиченко Ю.М.** Обобщение данных по шероховатости русел каналов в земляном русле и облицовке // Экология и водное хозяйство. – 2020. – № 2 (5). – С. 155-168.

11. **Косиченко Ю.М., Баев О.А.** Гидравлическая эффективность оросительных каналов при эксплуатации // Вестник МГСУ. – 2020. – № 8. Т. 15. – С. 1147-1162.

12. **Алимов А.Г.** Современные противотрационные конструкции защитных облицовок каналов и водоемов // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 7. – С. 26-36.

13. **Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А.** Оценка перспективы использования бетонного полотна в качестве облицованного материала оросительных каналов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 4 (60). – С. 327-339.

Критерии авторства

Косиченко Ю.М., Баев О.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Косиченко Ю.М., Баев О.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию: 03.03.2021 г.

Одобрена после рецензирования 22.03.2021 г.

Принята к публикации 05.04.2021 г.

2. Kanaly sistem vodosnabzheniya i irrigatsii: rekomendatsii po proektirovaniyu i ekspluatatsii kanalov / A.M. Latyshenkov [i dr.]. – M.: Strojizdat, 1972. – 153 s.

3. **Latyshenkov A.M.** Vybora naivygodnejshih razmerov kanalov trapetseidальной формы // Gidrotehnika i melioratsiya. – 1966. – № 5.

4. **Uginchus A.A.** Gidravlicheskie i tehniko-ekonomicheskie raschety kanalov. – M.: Strojizdat, 1965. – 274 s.

5. **Shterenliht D.V.** Gidravlika. 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Kolos, 2004. – 656 s.

6. **Chou V.T.** Gidravlika otkrytyh kanalov [per. s angl.]. – M.: Srojizdat, 1969. – 464 s.

7. **Rabkova E.K.** Proektirovanie i raschet orositelnyh kanalov v zemlyanom rusle. – M.: Iz-vo UDN, 1990. – 252 s.

8. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Raschet koeffitsientov sherohovatosti rusel kanalov s neodnorodnymi uchastkami // Prirodoobustrojstvo, 2020. – № 3. – S. 6-14.

9. **Kosichenko Yu.M., Gurin K.G.** Opredelenie privedennogo koeffitsienta sherohovatosti dlya neodnorodnogo rusla po dline // Izvestiya vuzov Sev. – Kav. Region. Tehnicheskie nauki, 1997. – № 3. – S. 85-88.

10. **Kosichenko Yu.M.** Obobshchenie dannyh po sherohovatosti rusel kanalov v zemlyanom rusle i oblitsovke // Ekologiya i vodnoe hozjajstvo, 2020. – № 2(5). – S. 155-168.

11. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Gidravlicheskaya effektivnost orositelnyh kanalov pri ekspluatatsii // Vestnik MGSU, 2020. – T. 15. – № 8. – S. 1147-1162.

12. **Alimov A.G.** Sovremennye protivofiltratsionnye konstruksii zashchitnyh oblitsovok kanalov i vodoemov // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo, 2008. – № 7. – S. 26-36.

13. **Abdrzakov F.K., Rukavishnikov A.A.** Otsenka perspektivy ispolzovaniya betonno go polotna v kachestve oblitsovannogo materiala orositelnyh kanalov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie, 2020. – № 4 (60). – S. 327-339.

Criteria of authorship

Kosichenko Yu.M., Baev O.A. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Kosichenko Yu.M., Baev O.A. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 03.03.2021

Approved after reviewing 22.03.2021

Accepted for publication 05.04.2021