

Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортюнова. – № 4393333; заявл. 16.03.88; опубл. 15.10.90, Бюл. № 38. – 7 с.

5 Пат. 1703782 СССР, МПК Е 02 В 8/08. Рыбопропускное сооружение / Шкура В. Н., Чистяков А. А., Шелестова Н. А.; заявитель и патентообладатель Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортюнова. – № 4654820; заявл. 16.01.89; опубл. 07.01.92, Бюл. № 1. – 6 с.

6 Пат. 1544879 СССР, МПК Е 02 В 8/08. Рыбоход / Сукало Г. М., Шкура В. Н., Гуюмджибашян А. Г., Анискин В. С.; заявитель и патентообладатель Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортюнова. – № 4447105; заявл. 23.05.88; опубл. 23.02.90, Бюл. № 7. – 4 с.

7 Конструктивные схемы и методики гидравлического расчета элементов рыбо-водных комплексов на базе оросительно-обводнительных каналов / В. Н. Шкура [и др.]. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2018. – 43 с.

8 Баев, О. А. Рыбоводный комплекс на базе оросительно-обводнительного канала и малой реки / О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, В. Н. Шкура // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 151–156.

9 Щедрин, В. Н. Рыбоводный комплекс на базе оросительного канала и малой реки / В. Н. Щедрин, В. Н. Шкура, О. А. Баев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 38–43.

10 Баев, О. А. Компонентно-конструктивные решения приканальных рыбоводных бассейнов / О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, В. Н. Шкура // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 13–18.

УДК 626.823

Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов, В. Ф. Сильченко, Е. А. Козарезова

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА ПРИ ЧАСТИЧНОМ ЗАРАСТАНИИ РУСЛА

Целью исследований является разработка методики гидравлического расчета магистрального канала трапецеидального сечения с учетом частичного зарастания русла растительностью на примере Бурлинского магистрального канала в Алтайском крае. Данный канал находился длительное время в недостроенном состоянии и поэтому сильно зарос растительностью. После окончания строительства канал стал эксплуатироваться со сниженным расходом при условии частичного зарастания русла. Для проведения гидравлического расчета использовались данные натурных обследований по коэффициентам шероховатости однородных участков канала. В результате расчетов установлено, что для пропуска по каналу проектного расхода $Q = 10 \text{ м}^3/\text{с}$ потребуется дальнейшая расчистка русла с коэффициентами шероховатости, близкими к проектным ($n = 0,027 \dots 0,030$), при незначительном заглублении русла на 0,20–0,40 м.

Ключевые слова: гидравлический расчет, магистральный канал, частичное зарастание русла, коэффициенты шероховатости.

Yu. M. Kosichenko, A. V. Kolganov, V. F. Silchenko, E. A. Kozarezova

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

THE HYDRAULIC CALCULATION OF THE MAIN CANAL AT WATER COURSE PARTIAL OVERGROWTH

The aim of the research is to develop a method of hydraulic calculation of the main canal' trapezoidal section taking into account the partial overgrowth of water course with vegetation by the example of Burlinsky main canal in Altai Territory. This canal has stayed half constructed for a long time and therefore was heavily overgrown with vegetation. After the completion of the construction, the canal began to be exploited at the reduced rate under condition of canal partial overgrowing. The data of field surveys on roughness coefficients of homogeneous reaches were used for the hydraulic calculation. As a result of the calculations it was found that to pass the designed flow rate $Q = 10 \text{ m}^3$ per second through the canal, the further clearing of the canal with roughness coefficients close to the design ($n = 0.027...0.030$) will be required, with a slight lowering of the canal by 0.20–0.40 m.

Key words: hydraulic calculation, main canal, partial overgrowth of water course, roughness coefficients.

Введение. Актуальность изучения вопросов гидравлического расчета заключается в том, что при длительной эксплуатации крупных каналов происходит снижение их гидравлической эффективности за счет зарастания водной растительностью, приводящего к снижению пропускной способности канала, отклонению основных параметров живого сечения канала от проектных значений, увеличению потерь воды на фильтрацию, значительному уменьшению КПД каналов. Важно разработать методику расчета и использовать ее для оценки снижения пропускной способности.

Строительство Бурлинского магистрального канала (МК) было начато еще в 1983 г. и проводилось вплоть до 1991 г., в этот период была выполнена часть земляных работ на канале (первый и второй бьефы) и бетонных работ (НС-1 и НС-2). С 1991 г. строительство канала было приостановлено и возобновлено только с 2003 г. К 2010 г. весь комплекс оставшихся работ по строительству канала (третий и четвертый бьефы) и сооружений (НС-3 и НС-4) был полностью выполнен, и магистральный канал был принят в эксплуатацию [1, 2].

Таким образом, возраст первого и второго бьефов канала к 2010 г. составил 27 лет, а третьего и четвертого бьефов – 8–14 лет. Поскольку в этот период канал еще не работал, то на нем не проводились эксплуатационные работы по уходу, а также не осуществлялся текущий ремонт. В результате состояние русла канала ухудшалось, вначале наблюдалось его зарастание травой и мелким кустарником, а затем крупным кустарником и деревьями. Вследствие этого существенно изменилась шероховатость русла по сравнению с проектным значением коэффициента шероховатости (0,020–0,0225). Коэффициенты шероховатости русла канала до расчистки, по данным Е. Д. Кошелевой, К. Б. Кошелева [2], достигли $n = 0,10\text{--}0,15$.

Расчетами заросших русел каналов занимались В. Т. Чоу [3], Э. Л. Беновицкий [4], В. С. Боровков [5], А. Д. Альтшуль и Нгуен Тай [6], В. Ю. Ляпин [7], Ю. М. Косиченко [8], S. Petryk, G. Bosmajian [9] и др.

Материалы и методы. Оценка шероховатости русла канала при его зарастании проводилась в 2007 г., а после расчистки русла в 2009 г. При этом коэффициенты шероховатости русла второго бьефа после расчистки, по данным Е. Д. Кошелевой, К. Б. Кошелева [2], на 27.07.2009 составили от 0,025 до 0,10.

В таблице 1 приведены исходные данные о шероховатости русла по участкам Бурлинского МК после его расчистки в 2009 г., составленные по картам шероховатости, для I–IV бьефов [2] (схема бьефов приведена в работе Ю. М. Косиченко, Д. В. Баклановой, В. Ф. Сильченко [1]). Коэффициенты шероховатости задавались по данным натурных обследований по участкам канала с однородной шероховатостью [2] по длине трассы в соответствии с таблицей шероховатости В. Т. Чоу [3] и экспертной оценки характера зарастания канала.

Методика гидравлического расчета канала базируется на использовании основного уравнения равномерного движения воды в открытом русле (формула Шези) [1]:

$$Q = \omega \cdot C \sqrt{R \cdot i},$$

где Q – расход воды, м³/с;

ω – площадь живого сечения канала, м²;

C – коэффициент Шези, м^{0,5}/с;

R – гидравлический радиус, м;

i – уклон дна канала.

Таблица 1 – Исходные данные о шероховатости русла по участкам Бурлинского МК (по данным обследований Е. Д. Кошелевой, К. Б. Кошелева [2])

Параметр на участке канала	Характеристика участка шероховатости канала						
I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)							
l_i , м	100		600		200		
n_i , м	0,025		0,03		0,025		
II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)							
l_i , м	600	2000	2000	650	750	500	250
n_i , м	0,035	0,03	0,025	0,05	0,10	0,03	0,05
III бьеф (ПК 82 – ПК 130)							
l_i , м	1629		1044		1890		
n_i , м	0,02*		0,03		0,15		
IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)							
l_i , м	300	350	1200	1500	2200	1400	1300
n_i , м	0,03	0,10	0,03	0,025	0,06	0,07	0,10
IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)							
l_i , м	5400		2000		1800		
n_i , м	0,10		0,07		0,06		
* – новый участок (2007 г.) с $n = 0.02$.							

Результаты и обсуждение. Коэффициент шероховатости русла магистрального канала при частичном его зарастании определим как средневзвешенное значение по длине каждого бьефа, используя данные таблицы 1.

Средневзвешенное значение коэффициента шероховатости участка (бьефа) канала найдем по формуле:

$$n_{\text{ср.взв.}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = \frac{n_1 l_1 + n_2 l_2 + n_3 l_3 + \dots + n_k l_k}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_k}, \quad (1)$$

где $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$ – коэффициенты шероховатости однородных по шероховатости участков канала в пределах каждого бьефа;

$l_1, l_2, l_3, \dots, l_k$ – длина однородных по шероховатости участков канала, м (км).

Рассмотрим определение средневзвешенного значения коэффициента шероховатости для каждого бьефа канала согласно зависимости (1) по данным значений n_i однородных участков русла, представленным в таблице 1:

- для первого бьефа:

$$n_{\text{ср.взв.1}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = \frac{0,025 \cdot 100 + 0,03 \cdot 600 + 0,025 \cdot 200}{100 + 600 + 200} = 0,0283;$$

- для второго бьефа:

$$n_{\text{ср.взв.2}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = 0,035 \cdot 600 + 0,03 \cdot 2000 + 0,025 \cdot 2000 + 0,05 \cdot 650 + 0,10 \cdot 750 + \\ + 0,03 \cdot 500 + 0,05 \cdot 250 / 600 + 2000 + 2000 + 650 + 750 + 500 + 250 = 0,0394;$$

- для третьего бьефа:

$$n_{\text{ср.взв.3}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = \frac{0,02 \cdot 1629 + 0,03 \cdot 1044 + 0,15 \cdot 1890}{1629 + 1044 + 1890} = 0,0761;$$

- для четвертого бьефа (участок ПК 130 – ПК 210):

$$n_{\text{ср.взв.4(1)}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = 0,03 \cdot 300 + 0,10 \cdot 350 + 0,03 \cdot 1200 + 0,03 \cdot 1500 + 0,06 \cdot 2200 + \\ + 0,07 \cdot 1400 + 0,10 \cdot 1300 / 300 + 350 + 1200 + 1500 + 2200 + 1400 + 1300 = 0,057;$$

- для четвертого бьефа (участок ПК 210 – ПК 304):

$$n_{\text{ср.взв.4(2)}} = \frac{\sum n_i l_i}{\sum l_i} = \frac{0,1 \cdot 5400 + 0,07 \cdot 2000 + 0,06 \cdot 1800}{5400 + 2000 + 1800} = 0,0856.$$

В соответствии с проведенными расчетами средневзвешенные значения коэффициентов шероховатости участков (бьефов) Бурлинского МК составили: $n_{\text{ср.взв.1}} = 0,0283$, $n_{\text{ср.взв.2}} = 0,0394$, $n_{\text{ср.взв.3}} = 0,0761$, $n_{\text{ср.взв.4(1)}} = 0,057$, $n_{\text{ср.взв.4(2)}} = 0,0856$.

Результаты гидравлического расчета Бурлинского МК по уточнению параметров при проектных режимах работы канала с нормальным расходом $Q_n = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_n = 10,0 \text{ м}^3/\text{с}$ при частичном зарастании русла по участкам (бьефам) представлены в таблице 2.

Проведенные расчеты показывают, что после частичного зарастания русла канала при $Q_n = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$ расчетные гидравлические параметры значительно изменились. Увеличение коэффициента шероховатости русла, особенно для третьего и четвертого бьефов, привело к увеличению нормальной глубины канала почти в два раза. Так, для третьего бьефа при зарастании русла нормальная глубина составила $h_n = 6,35 \text{ м}$ против глубины для проектного русла с $n = 0,020$ $h_n = 3,63 \text{ м}$ [1], а для четвертого бьефа на втором участке $h_n = 5,87 \text{ м}$ против $h_n = 2,89 \text{ м}$. Изменение шероховатости русла также привело к существенному увеличению площади живого сечения соответственно в 2,65 раза (третий бьеф) и в 3,14 раза (четвертый бьеф).

При этом средние скорости течения в русле канала снизились в первом – втором бьефах в 1,26–1,57 раза, в третьем – четвертом бьефах в 2,68–3,13 раза. При этом последние значения скоростей в третьем – четвертом бьефах оказались существенно меньше допустимой незаиляющей.

Аналогичные результаты были получены при нормальном расходе $Q_n = 10,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Нормальные глубины при частичном зарастании русла увеличились по сравнению с проектным руслом [1]: в первом – втором бьефах в 1,09–1,27 раза, в третьем – четвертом бьефах в 1,62–1,75 раза; соответственно средние скорости при зарастании русла снизились в 1,15–1,46 и 2,25–2,30 раза.

На основании проведенных гидравлических расчетов Бурлинского МК при частичном зарастании русла можно заключить, что при проектном расходе $Q_n = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$ потребуется углубить русло канала в первом – втором бьефах более чем на 0,5–1,0 м, а в третьем – четвертом бьефах – на 2,5–3,0 м.

Таблица 2 – Результаты гидравлического расчета Бурлинского МК по уточнению параметров при проектных режимах работы канала по участкам (бьефам) при частичном зарастании русла (по данным на 2009 г.)

Участок канала (бьеф)	Задаваемый параметр по проекту				Расчетный гидравлический параметр							
	b , м	m	i	n	h , м	ω , м ²	χ , м	R , м	C , м ^{0,5} /с	Q , м ³ /с	v , м/с	$v_{\text{нез}}$, м/с
$Q_H = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$												
I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)	5,0	2,5	0,0001	0,0283	3,93	58,14	26,14	2,12	42,10	36,47	0,627	0,366
II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)	5,0	3,0	0,00006	0,0394	4,72	89,77	34,73	2,59	32,43	36,29	0,404	0,381
III бьеф (ПК 82 – ПК 130)	5,0	3,0	0,00004	0,0761	6,35	152,72	45,16	3,38	20,35	36,14	0,236	0,406
IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)	5,0	3,0	0,00003	0,0570	6,16	144,64	43,35	3,29	25,38	36,47	0,252	0,404
IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)	10,0	4,0	0,00003	0,0856	5,87	196,53	58,41	3,36	18,53	36,58	0,186	0,406
$Q_H = 10,0 \text{ м}^3/\text{с}$												
I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)	5,0	2,5	0,0001	0,0283	2,17	22,62	16,68	1,35	37,76	9,95	0,439	0,323
II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)	5,0	3,0	0,00006	0,0394	2,71	35,58	22,14	1,61	28,68	10,02	0,281	0,337
III бьеф (ПК 82 – ПК 130)	5,0	3,0	0,00004	0,0761	3,80	62,32	29,03	2,14	17,28	9,98	0,160	0,363
IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)	5,0	3,0	0,00003	0,0570	3,63	57,68	27,96	2,06	21,96	9,97	0,172	0,359
IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)	10,0	4,0	0,00003	0,0856	3,41	80,61	38,12	2,11	15,53	9,97	0,123	0,361
Примечание – Закрашенные области значений скоростей движения характеризуют недопустимые режимы работы канала, когда скорости в канале будут меньше допускаемых незаиляемых ($v < v_{\text{нез}}$).												

Такой вариант реконструкции Бурлинского МК со значительным заглублением русла, особенно по длине третьего и четвертого бьефов с протяженностью этого участка более 22,0 км, приведет к большому объему земляных работ, связанных одновременно с углублением и расширением русла. Помимо этого, при его реализации потребуются реконструкция всех четырех насосных станций с дополнительной установкой на каждой из них пяти насосных агрегатов (каждый расходом 5,0 м³/с). В связи с этим данный вариант реконструкции магистрального канала окажется неприемлемым как с экономической точки зрения (по причине больших затрат), так и с технической точки зрения (по причине дополнительной установки 20 насосных агрегатов и, соответственно, строительства четырех дополнительных зданий насосных станций).

При проектном (эксплуатационном) расходе канала $Q_n = 10,0$ м³/с и частичном зарастании русла также потребуется некоторое его заглубление, хотя и значительно меньшее, чем при $Q_n = 36,5$ м³/с. Заглубление русла составит: в первом бьефе – 0,18 м, втором бьефе – 0,58 м, третьем бьефе – 1,67 м, четвертом бьефе – 1,13–1,47 м.

Второй вариант реконструкции канала при его проектном (эксплуатационном) расходе $Q_n = 10,0$ м³/с является наиболее реальным и не потребует дополнительных значительных затрат. По данному варианту достаточно провести очистку поверхности русла от кустарников и их корней на глубину 20–40 см с тем, чтобы обеспечить коэффициент шероховатости поверхности русла, близкий к проектному ($n = 0,027...0,030$).

В этом случае, как показывают расчеты (таблица 2), пропускная способность будет достаточной ($Q_n = 10,0$ м³/с) при незначительном заглублении русла. При этом средние скорости течения возрастут до значений 0,40–0,45 м/с, превышающих допускаемые незаиляющие ($v > v_{нез}$), что обеспечит нормальный режим канала без заиления его русла.

По результатам выполнения гидравлического расчета каналов с частично заросшим руслом разработана программа для ЭВМ, зарегистрированная Роспатентом [10].

Наряду с проблемами, которые возникают при зарастании русел каналов, целесообразно учесть требования к экологической безопасности [11] и особенности управления водораспределением оросительных каналов [12].

Выводы

1 Так как строительство Бурлинского МК происходило в течение длительного периода, русло канала до ввода в эксплуатацию сильно заросло кустарником и деревьями, и поэтому в 2007–2009 гг. была проведена его расчистка от крупных деревьев и кустарников. С целью уточнения параметров канала были рассчитаны гидравлические характеристики с учетом натурных данных о коэффициентах шероховатости русла.

2 Выполненные расчеты показывают, что после расчистки русла Бурлинского МК при расходе $Q_n = 36,5$ м³/с гидравлические параметры при частичном зарастании русла значительно изменились, и особенно для третьего и четвертого бьефов. При этом средние скорости на этих участках значительно снизились (в 2,5–2,3 раза) и стали меньше допускаемых незаиляющих, что приведет к заилению русла и свидетельствует о недопустимости такого режима работы канала.

3 На основании проведенных расчетов при расходе $Q_n = 36,5$ м³/с потребуется углубить русло на этих участках на 2,5–3,0 м, что приведет к большому объему земляных работ. Кроме того, при таком варианте реконструкции потребуются дополнительная установка 20 насосных агрегатов и строительство дополнительных зданий насосных станций. В связи с этим данный вариант реконструкции магистрального канала окажется неприемлемым как с экономической, так и с технической точки зрения.

4 Наиболее реальным является вариант реконструкции канала, предусматривающий его эксплуатацию при проектном расходе $Q_n = 10,0$ м³/с. Он потребует незначи-

тельных затрат, связанных с очисткой поверхности русла от кустарников и их корней, с тем чтобы обеспечить коэффициент шероховатости русла, близкий к проектному ($n = 0,027...0,030$).

Список использованных источников

- 1 Косиченко, Ю. М. Уточнение гидравлических параметров магистрального канала трапецеидального сечения / Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова, В. Ф. Сильченко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 80–86.
- 2 Кошелева, Е. Д. Компьютерное моделирование взаимодействия грунтовых и поверхностных вод в зоне Бурлинского магистрального канала / Е. Д. Кошелева, К. Б. Кошелев. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2010. – 238 с.
- 3 Чоу, В. Т. Гидравлика открытых каналов / В. Т. Чоу: [пер. с англ.]. – М.: Стройиздат, 1969. – 464 с.
- 4 Беновицкий, Э. Л. Вывод расчетных зависимостей для коэффициента шероховатости частично заросшего русла / Э. Л. Беновицкий // Водные ресурсы. – 1988. – № 1. – С. 68–74.
- 5 Боровков, В. С. Русловые процессы и динамика речных потоков на урбанизированных территориях / В. С. Боровков. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 286 с.
- 6 Альтшуль, А. Д. Гидравлические сопротивления при фильтрации воды в растительном слое почвы / А. Д. Альтшуль, Нгуен Тай // Метеорология и гидрология. – 1973. – № 12. – С. 77–80.
- 7 Ляпин, В. Ю. Гидравлические сопротивления в открытых руслах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.16 / Ляпин Валерий Юрьевич. – М., 1994. – 42 с.
- 8 Косиченко, Ю. М. Расчет коэффициентов шероховатости заросших русел каналов / Ю. М. Косиченко // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 1997. – № 2. – С. 75–80.
- 9 Petryk, S. Analysis of flow through vegetation / S. Petryk, G. Bosmajian // J. Hydraulics Division. – 1975. – Vol. 101, iss. 7. – P. 871–884.
- 10 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018665666. Методика гидравлического расчета параметров каналов с частично заросшим руслом / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов, О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, В. Ф. Сильченко; заявитель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2018662709, заявл. 13.11.18.
- 11 Васильев, С. М. Повышение экологической безопасности способов орошения для формирования устойчивых агроландшафтов в аридной зоне: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Васильев Сергей Михайлович. – Волгоград, 2006. – 35 с.
- 12 Щедрин, В. Н. Повышение эффективности управления водораспределением и совершенствование конструкций открытых оросительных систем: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Щедрин Вячеслав Николаевич. – Новочеркасск, 1995. – 56 с.

УДК 626.88

А. Ю. Гарбуз, О. А. Баев

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПАРАМЕТРЫ РЫБОВОДНЫХ БАССЕЙНОВ

Целью исследований являлась разработка рыбоводно-технического обоснования конструирования и установления параметров открытосредовых бассейнов, используемых для культивирования рыб. Объектом исследования являются открытосредовые приканальные рыбоводные бассейны различного функционального назначения, питаю-