

технических объектов: оценка риска и принятие решений / А. Б. Векслер, Д. А. Ивашинцов, Д. В. Стефанишин. – СПб.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2002. – 592 с.

7 Поколения оросительных систем: прошлое, настоящее, будущее: монография / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012. – 164 с.

8 Федеральная целевая программа «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы» (утв. Постановлением Правительства РФ от 12 октября 2013 г. № 922) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru>, 2019.

9 Косиченко, Ю. М. Исследования в области борьбы с фильтрацией и эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений / Ю. М. Косиченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2012. – № 2(06). – 9 с. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec108-field6.pdf.

10 Косиченко, Ю. М. Математическое и физическое моделирование фильтрации через малые повреждения противофильтрационных устройств из полимерных геомембран / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2014. – Т. 274. – С. 60–74.

11 Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

12 Косиченко, Ю. М. Расчетная оценка надежности конструкций противофильтрационных экранов из геокомпозитов / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – 2015. – Т. 275. – С. 68–77.

13 Kosichenko, Yu. M. Geo-Composite Materials with Preset Properties and their Application in Hydraulic Engineering Construction / Yu. M. Kosichenko, O. A. Baev // Solid State Phenomena. – 2018. – Vol. 284. – P. 970–974.

14 Косиченко, Ю. М. Вопросы безопасности и эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / Ю. М. Косиченко // Природообустройство. – 2008. – № 3. – С. 67–71.

15 Kosichenko, Y. M. Modified geomembrane compositions for hydraulic structure impervious coatings / Y. M. Kosichenko, O. A. Baev // Materials Engineering and Technologies for Production and Processing III. Materials Science. – 2017. – P. 548–553.

16 Гидротехнические сооружения. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 33-01-2003): СП 58.13330.2012: утв. М-вом регион. развития Рос. Федерации 29.12.11: введ. в действие с 01.01.13. – М.: Минрегион России, 2012. – 39 с.

УДК 631.671

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

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

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ НА ФИЛЬТРАЦИЮ ИЗ МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА

Целью исследований является разработка методики расчета потерь при фильтрации из каналов, выполненных в земляном русле, на примере Бурлинского магистрального канала (МК) в Алтайском крае. В качестве исходных данных использовались продольные профили на первом – четвертом бьефах и физико-механические свойства грунтов по трассе Бурлинского МК. Расчеты потерь проводились по формулам свободной и подпертой фильтрации. Результаты расчета показывают, что суммарные потери на фильтрацию при проектном расходе в канале $Q = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$ составляют $0,474 \text{ м}^3/\text{с}$, или 1,3 %, и при расходе $Q = 10 \text{ м}^3/\text{с} - 0,228 \text{ м}^3/\text{с}$, или 2,3 %. Полученные результаты свидетельствуют о незначительных фильтрационных потерях из канала,

что обусловлено малой степенью водопроницаемости грунтов основания. В связи с этим в данном случае нецелесообразно применение на Бурлинском МК противофильтрационных облицовок.

Ключевые слова: расчет потерь на фильтрацию, свободная и подпертая фильтрация, магистральный канал.

Yu. M. Kosichenko, A. V. Kolganov, V. F. Sil'chenko, E. A. Kozarezova

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

THE MAIN CANAL SEEPAGE LOSSES CALCULATION

The aim of the research is to develop a methodology for calculating canal seepage losses done in the earthen canal as illustrated by the Burlinskiy Main Canal (MK) in Altai Territory. The longitudinal profiles on the first and fourth pools and the physical-mechanical properties of soils along the Burlinskiy MK highway were used as the initial data. The losses calculations were done using the gravity and backwater filter equations. The calculation results show that the total filtration losses at a design flow rate in the canal of 36.5 m³/s is 0.474 m³/s, or 1.3 %, and at a flow rate of 10 m³/s is 0.228 m³/s, or 2.3 %. The results obtained suggest slight filtration losses from the canal, which is due to the low degree of soil permeability of foundations. So, to use seepage control lining on Burlinskiy Main Canal in this case is inappropriate.

Key words: canal seepage losses calculation, free and backwater filtration, main canal.

Введение. Фильтрация воды из канала в земляном русле часто приводит к большим потерям воды, достигающим 20–40 % от водозабора, а также вызывает подтопление территорий и подъем уровня грунтовых вод. Различают свободную и подпертую фильтрацию из каналов, установившуюся и неуставившуюся.

Расчетам фильтрации из каналов посвящены работы Н. Н. Павловского [1], С. Ф. Аверьянова [2], В. В. Ведерникова [3], Н. Н. Веригина [4], Ю. М. Косиченко [5, 6] и других авторов. Вопросы эксплуатации магистральных каналов и их эксплуатационной надежности рассматривались в работах В. Н. Щедрина и др. [7, 8].

Свободная фильтрация наблюдается в том случае, когда фильтрационный поток из канала не связан с потоком грунтовых вод. При этом на некоторой глубине залегает сильно проницаемый слой грунта, играющий роль дренажа.

Подпертая фильтрация имеет место при близком залегании грунтовых вод, когда фильтрационный поток взаимодействует с грунтовыми.

Установившаяся фильтрация происходит при длительной работе канала, когда скорость и другие параметры фильтрационного потока остаются постоянными. Неуставившаяся фильтрация обычно наблюдается в начальный период работы канала и характеризуется изменением параметров во времени.

Материалы и методы. Для расчета свободной фильтрации из каналов используются следующие формулы согласно рекомендациям С. Ф. Аверьянова [2] и СП 100.13330.2012 [9]:

- формула Б. К. Ризенкампфа (для каналов трапецеидальной формы) при $b/h_0 < 4$:

$$Q_{\Phi} = 0,0116k_{\mu}(B + 2h_0);$$

- формула В. В. Ведерникова (для каналов трапецеидальной формы) при $b/h_0 > 4$:

$$Q_{\Phi} = 0,0116k(B + Ah_0);$$

- формула Н. Н. Павловского (для каналов полигональной или параболической формы):

$$Q_{\phi} = 0,0116k(B + 2h_0),$$

где Q_{ϕ} – расход фильтрационных потерь, м³/с на 1 км длины канала;

k – коэффициент фильтрации грунта ложа канала, м/сут;

B – ширина канала по верху, м;

h_0 – нормальная глубина воды в канале, м;

A, μ – коэффициенты, определяемые по справочным таблицам в зависимости от m и b/h_0 [9].

В качестве исходных данных при определении коэффициента фильтрации использовались продольные профили с геологическим строением на первом – четвертом бьефах и физико-механические свойства грунтов по трассе Бурлинского МК, представленные в работе Е. Д. Кошелевой, К. Б. Кошелева [10] (таблица 1).

Таблица 1 – Физико-механические свойства грунтов геологических слоев трассы Бурлинского МК

Тип грунта слоя продольного профиля	Обозначение слоя	Удельный вес γ_y , т/м ³	Объемный вес γ_o , т/м ³	Объемный вес скелета $\gamma_{ск}$, т/м ³	Пористость n , %	Коэффициент пористости e	Коэффициент фильтрации k_{ϕ} , м/сут
Суглинки легкие и средние	10а	2,72	1,90	1,57	41,4	0,723	0,1
Супеси легкие и тяжелые	10б	2,69	1,73	1,64	39,0	0,64	0,3
Супеси легкие, пылеватые	6б	2,75	1,62	1,34	51,0	1,05	0,2
Пески пылеватые	10е	2,67	2,07	1,70	–	0,571	1,5
Суглинки легкие, средние и тяжелые	10в	2,73	1,99	1,60	41,2	0,70	0,05
Глины легкие, пылеватые	11а	2,74	2,00	1,62	40,6	0,686	0,001

Для определения осредненного коэффициента фильтрации слоистой толщи грунтового основания под каналом используем расчетную формулу, рекомендованную в справочном пособии ВНИИ ВОДГЕО [11] для слоистых пластов при фильтрации нормально слоям:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n m_i / k_i},$$

где m_i – мощности i -х слоев, м;

k_i – коэффициенты фильтрации отдельных i -х слоев или участков, м/сут;

В случае подпертой фильтрации из канала расчет проводим по методике Ю. М. Косиченко и Е. Г. Угроватовой [12] с использованием следующих формул:

$$Q_{\Phi} = T \frac{2\bar{h}_k \cdot L_k}{\Phi_k + \sqrt{\frac{T \cdot z_*}{\xi_{\Pi}}}},$$

где Q_{Φ} – потери при подпертой фильтрации, м³/сут;

T – средняя проводимость водоносной толщи, м²/сут:

$$T = k(h_* + \frac{\bar{h}_k}{2}),$$

где k – осредненный коэффициент фильтрации слоистой толщи грунта основания, м/сут;

h_* – глубина уровня грунтовых вод до водоупора, м;

$\bar{h}_k$ – разность уровней воды в канале и уровня грунтовых вод, м, определяемая как:

$$\bar{h}_k = h_k - h_*,$$

где h_k – расстояние от уровня воды в канале до условного водоупора;

L_k – длина участка (бьефа) канала, м;

Φ_k – фильтрационное сопротивление на гидродинамическое несовершенство канала, м, определяемое по формуле:

$$\Phi_k = \Phi'_k + 2\Phi''_k,$$

где Φ'_k и Φ''_k – фильтрационные сопротивления соответственно при безразмерных сопротивлениях f'_k и f''_k :

$$\Phi'_k = h_k f'_k,$$

$$\Phi''_k = h_k f''_k,$$

$$f'_k = \frac{B_k}{2h_k} - 1,466 \lg ch \frac{\pi B_k}{4h_k},$$

$$f''_k = 0,733 \lg ch \frac{\pi B_k}{4h_k},$$

где B_k – ширина канала по верху, м;

z_* – глубина залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли, м;

ξ_{Π} – интенсивность испарения с поверхности почвы, м/сут.

Результаты и обсуждение. Расчеты потерь на фильтрацию из Бурлинского МК проводились для трех бьефов при свободной фильтрации и отдельно для четвертого бьефа при свободной фильтрации (для сравнения) – в числителе и для подпертой фильтрации (при глубине залегания грунтовых вод $z_{г.в.} = 3,0 \dots 5,0$ м) – в знаменателе.

В таблице 2 приведены результаты расчетов для двух проектных расходов $Q_n = 36,5$ м³/с и $Q_n = 10,0$ м³/с.

Анализ результатов расчетов показывает, что при расходе $Q_n = 36,5$ м³/с общие потери на фильтрацию из Бурлинского МК во всех четырех бьефах при свободной фильтрации составляют всего 2,3 % от расхода в голове канала, а при подпертой фильтрации потери снижаются до 1,3 % от расхода в канале.

Таблица 2 – Результаты расчета потерь на фильтрацию из Бурлинского МК при проектных режимах работы канала по участкам (бьефам)

Участок канала (бьеф)	Задаваемый параметр по проекту				Расчетный гидравлический параметр					
	b , м	m	B , м	k , м ³ /сут	h_n , м	L , м	$z_{г.в.}$	T , м ³ /сут	Q_{ϕ} , м ³ /с	%
$Q_n = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$										
I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)	5,0	2,5	23,0	0,232	3,60	1100	17,0	–	0,055	0,15
II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)	5,0	3,0	26,8	0,102	3,63	6850	15,0	–	0,171	0,47
III бьеф (ПК 82 – ПК 130)	5,0	3,0	26,8	0,10	3,63	4800	15,0	–	0,190	0,48
IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)	5,0	3,0	26,8	0,057	3,63	5500	3,0	1,65	$\frac{0,077}{0,0145}$	$\frac{0,21}{0,038}$
IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)	10,0	4,0	33,12	0,108	2,89	11930	3,0–5,0	2,75	$\frac{0,360}{0,044}$	$\frac{0,38}{0,12}$
Суммарные потери на фильтрацию $\sum Q_{\phi} = \frac{0,853}{0,474} \approx \frac{2,3}{1,3}$										
$Q_n = 10,0 \text{ м}^3/\text{с}$										
I бьеф (ПК 2 + 40 – ПК 13 + 50)	5,0	2,5	15,00	0,232	1,99	1100	17,0	–	0,035	0,35
II бьеф (ПК 13 + 50 – ПК 82)	5,0	3,0	17,78	0,102	2,13	6850	15,0	–	0,111	1,11
III бьеф (ПК 82 – ПК 130)	5,0	3,0	19,04	0,10	2,34	4800	15,0	–	0,082	0,82
IV бьеф (ПК 130 – ПК 210)	5,0	3,0	20,0	0,057	2,50	5500	3,0	1,51	$\frac{0,056}{0,010}$	$\frac{0,56}{0,10}$
IV бьеф (ПК 210 – ПК 304 + 30)	10,0	4,0	25,5	0,108	1,94	11930	3,0	2,58	$\frac{0,272}{0,020}$	$\frac{2,72}{0,20}$
Суммарные потери на фильтрацию $\sum Q_{\phi} = \frac{0,556}{0,228} \approx \frac{5,6}{2,3}$										
Примечание – В числителе приведены значения потерь при свободной фильтрации, в знаменателе – при подпертой фильтрации.										

В случае проектного расхода $Q_n = 10,0 \text{ м}^3/\text{с}$ суммарные потери при свободной фильтрации из канала по абсолютной величине снижаются до $0,556 \text{ м}^3/\text{с}$ против $0,853 \text{ м}^3/\text{с}$ при расходе $Q_n = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$, с учетом подпертой фильтрации в четвертом бьефе уменьшаются до $0,228 \text{ м}^3/\text{с}$ против $0,473 \text{ м}^3/\text{с}$ для большего проектного расхода. Однако суммарные потери на фильтрацию из Бурлинского МК по отношению к проектному расходу увеличиваются до $5,6 \%$ при свободной фильтрации против $2,3 \%$ при расходе $Q_n = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$ и при подпертой фильтрации до $2,3 \%$ против $1,3 \%$ при $Q_n = 36,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таким образом, на основании полученных результатов расчета можно сделать вывод о том, что потери на фильтрацию из канала незначительны и меньше допустимого предельного значения для категории магистральных каналов, составляющего 10% от расхода в канале.

Выводы. Проведенные расчеты потерь на фильтрацию из Бурлинского МК свидетельствуют о незначительной величине суммарных потерь, не превышающих $1,3\text{--}2,3 \%$ в зависимости от принятого проектного расхода в канале. В связи с этим нецелесообразно применение на канале противофильтрационных облицовок.

Список использованных источников

- 1 Павловский, Н. Н. Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные положения. Собрание сочинений. Т. 2 / Н. Н. Павловский. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 772 с.
- 2 Аверьянов, С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод / С. Ф. Аверьянов. – М.: Колос, 1982. – 237 с.
- 3 Ведерников, В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа / В. В. Ведерников. – М.; Л.: Госстройиздат, 1939. – 248 с.
- 4 Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем / С. В. Васильев [и др.]; под ред. Н. Н. Веригина. – М.: Колос, 1970. – 440 с.
- 5 Косиченко, Ю. М. Гидравлика мелиоративных каналов / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НИМИ, 1992. – 175 с.
- 6 Косиченко, Ю. М. Каналы переброски стока России / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.
- 7 Основные принципы и методы эксплуатации магистральных каналов и сооружений на них: монография / В. Н. Щедрин [и др.]. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – 361 с.
- 8 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – М.: Росинформагротех, 2005. – 392 с.
- 9 Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85: СП 100.13330.2016: утв. М-вом стр-ва и жилищ.-комму. хоз-ва Рос. Федерации 16.12.16: введ. в действие с 17.06.17. – М.: Стандартинформ, 2016. – 229 с.
- 10 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.
- 11 Справочное пособие к СНиП. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях / ВНИИ ВОДГЕО. – 1989. – 220 с.
- 12 Косиченко, Ю. М. Сравнительный анализ применения высоконадежных облицовок для снижения потерь на фильтрацию / Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 2(58). – С. 16–21.