

6 Гладштейн, О. И. Геомембраны – уже не инновации, еще не классика / О. И. Гладштейн // Строительство и городское хозяйство в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. – 2012. – № 3. – С. 22–23.

7 Косиченко, Ю. М. Противофильтрационные покрытия из геосинтетических материалов / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – 239 с.

8 Мелиоративные системы и сооружения: СП 81.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 3.07.03-85: введ. в действие с 01.07.86. – М., 1986. – 23 с.

9 Шлее, Ю. Современные технологии строительства полигонов для захоронения отходов с использованием геосинтетических материалов / Ю. Шлее, Х. Н. Никогосов, А. А. Ткачев // Экология и промышленность России. – 2003. – № 1. – С. 18–22.

10 Золотозубов, Д. Г. Исследование сопротивления геосинтетических материалов продавливанию шариком / Д. Г. Золотозубов, О. А. Золотозубова // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 138–146.

11 Рекомендации по проектированию и строительству противофильтрационных устройств из полимерных рулонных материалов / ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», СПб НИИ АКХ им. К. Д. Панфилова, ООО «Гидрокор». – СПб., 1999. – 40 с.

12 Чернов, М. А. Конструкции защитных облицовок каналов и водоемов с применением геосинтетических материалов [Электронный ресурс] / М. А. Чернов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2011. – № 3(03). – 13 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=37&id=42>.

13 ГОСТ 10354-82. Пленка полиэтиленовая. Технические условия. – Введ. 1983-06-30. – М.: Изд-во «Стандартинформ», 2007. – 53 с.

УДК 626.212

Ю. М. Косиченко

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

Е. Г. Угроватова

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ОБЛИЦОВОК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ НА ФИЛЬТРАЦИЮ ИЗ КАНАЛОВ

В статье приводится сравнительный анализ применения различных облицовок крупных каналов комплексного назначения. В качестве облицовки рассматривается в том числе современный геосинтетический материал. Целью расчета является определение потерь на фильтрацию и снижения уровня грунтовых вод при различных вариантах канала. На примере Большого Ставропольского канала и Донского магистрального канала доказана высокая эффективность применения облицовки из современных материалов для снижения фильтрационных потерь и уровня грунтовых вод в зоне канала.

Ключевые слова: канал комплексного назначения, фильтрация из канала, облицовка, геосинтетический материал.

Общие положения. Фильтрация из каналов оказывает сильное влияние на режим грунтовых вод, приводит к подъему их уровня в приканальной зоне, вызывая подтопление, заболачивание и засоление прилегающих к каналам территорий. Поэтому на этапе проектирования необходимо предусмотреть мероприятия, снижающие потери воды из канала.

Крупные каналы в земляных руслах, по существу, являются источником питания грунтовых вод и создания местного напора, так как поддерживают их уровень на высоких отметках [1]. Вследствие этих двух причин амплитуды колебания уровня грунтовых вод в зоне влияния каналов весьма значительны. При исходном глубоком залегании грунтовых вод скорость подъема уровня в полосе влияния каналов обычно максимальная и составляет 2,5–3,0 м/год и более.

В зоне влияния крупных каналов формируется весьма своеобразный вид техногенного (ирригационного) режима грунтовых вод [1]. Именно в полосе влияния каналов, если не провести необходимых мелиоративных мероприятий, процессы заболачивания и засоления возникают в первую очередь.

В предыдущих работах авторов (2013) [2, 3] предложены критерии гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности крупных каналов, которые включают в качестве основного показателя КПД канала. В свою очередь, величина КПД определяется главным образом потерями на фильтрацию.

Потери на фильтрацию из крупных каналов в земляном русле зависят прежде всего от водопроницаемости (коэффициента фильтрации грунтов), а каналов в облицовке – от типа облицовки и характеристики ее водонепроницаемости (условного коэффициента фильтрации облицовки при наличии различных повреждений). В настоящее время для борьбы с фильтрацией из каналов широко используются современные геосинтетические материалы, обладающие высокой эффективностью, надежностью, значительным сроком службы [4].

Теоретические основы методов расчета фильтрационных сопротивлений рассматривались в работах В. М. Шестакова [5], А. Я. Олейника [6], А. И. Мурашко, Б. Ф. Серебренникова и других.

При фильтрационных расчетах дренажа, каналов и других сооружений широко применяется метод фильтрационных сопротивлений, который позволяет во многих случаях без особого снижения точности инженерных расчетов схематизировать сложные течения потоков и представлять их в виде, удобном для приложений [6].

Основные принципы метода фильтрационных сопротивлений заключаются в следующем. Влияние зон резкой деформации фильтрационных потоков, характеризующее падением уровня (напора) в них, может быть учтено фильтрационными сопротивлениями путем замены несовершенных границ совершенными, эквивалентными по фильтрационному расходу и картине фильтрации на некотором удалении от рассматриваемой границы. При такой замене зоны резко изменяющейся фильтрации исключаются из рассмотрения, а на расстоянии мощности слоя грунта основания образуется плановый поток с распределением напоров, которые соответствуют совершенным границам, доведенным до водоупора. Это существенно облегчает разработку методов фильтрационных расчетов дренажа, каналов, водоемов, противофильтрационных завес и гидротехнических сооружений.

Расчет подпертой установившейся фильтрации из канала с различными типами облицовки. Рассмотрим задачу подпертой фильтрации из канала в условиях установившегося движения при отсутствии приканального дренажа и наличии испарения с поверхности грунтовых вод применительно к земляному руслу в облицовке. При этом учтем однослойное и двухслойное грунтовое основание и наличие водоупора, залегающего на конечной глубине.

Решение этой задачи основывается на методе фильтрационных сопротивлений, разработанном для расчета горизонтального и вертикального дренажа А. Я. Олейником [6].

Расчетная схема для однослойного основания представлена на рисунке 1.

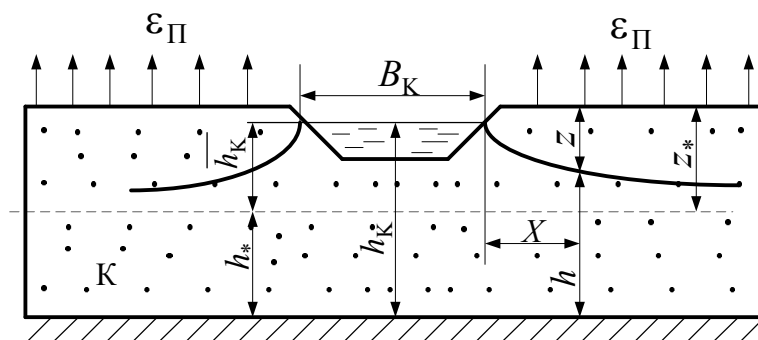


Рисунок 1 – Расчетная схема подпертой фильтрации из канала

Для определения удельного одностороннего расхода из канала в земляном русле используем известную формулу [6]:

$$q_K = T \frac{\overline{h_K}}{\Phi_K + \sqrt{Tz_*/\varepsilon_{\Pi}}}, \quad (1)$$

где T – средняя проводимость водоносной толщи, м²/сут;

$\overline{h_K}$ – разность уровней воды в канале и уровня грунтовых вод, м;

Φ_K – фильтрационное сопротивление, обусловленное гидродинамическим несовершенством канала, м;

z_* – критическая глубина грунтовых вод, м;

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

В случае канала в облицовке расчетная зависимость удельного одностороннего фильтрационного расхода примет вид:

$$q_K = T \frac{\overline{h_K}}{\Phi_K + \Phi_{\text{ОБЛ}} + \sqrt{Tz_*/\varepsilon_{\Pi}}}, \quad (2)$$

где $\Phi_{\text{ОБЛ}}$ – дополнительное фильтрационное сопротивление облицовки канала, м.

В вышеприведенных зависимостях согласно А. Я. Олейнику [6] принято:

$$T = k \left(h_* + \frac{\overline{h_K}}{2} \right),$$

где k – коэффициент фильтрации грунта основания;

$$\overline{h_K} = h_K - h_*,$$

$$\Phi_K = \Phi_K' + 2\Phi_K'',$$

$$\Phi_K' = h_K f_K',$$

$$\Phi_K'' = h_K f_K'',$$

$$f_K' = \frac{B_K}{2h_K} - 1,466 \lg ch \frac{\pi B_K}{4h_K},$$

$$f_K'' = 0,733 \lg cth \frac{\pi B_K}{4h_K}.$$

Дополнительное сопротивление облицовки канала можно определить по следующим формулам:

- Ю. М. Косиченко [7]:

$$\Phi_{\text{ОБЛ}} = 2 \frac{k}{k_{\text{ОБЛ}}} \delta_0, \quad (3)$$

где $k'_{\text{ОБЛ}}$ – осредненный коэффициент фильтрации облицовки, м/сут;

δ_0 – толщина облицовки, м;

- Л. Е. Чернышевской [8]:

$$\Phi_{\text{ОБЛ}} = \frac{\alpha'}{1-\alpha'} \cdot \frac{T \bar{h}_K}{q_K},$$

где α' – коэффициент, определяемый в зависимости от отношений $k/k_{\text{ОБЛ}}$, $\Delta h/h_K$ и S_0 ;

Δh – потеря напора через облицовку.

Ввиду более простого определения $\Phi_{\text{ОБЛ}}$ по выражению (3) рекомендуется использовать данную формулу. Глубину грунтовых вод вблизи канала определяем по формуле:

$$h = h_* + h'_K e^{-\bar{X}},$$

где для канала в земляном русле

$$\begin{aligned} h'_K &= \bar{h}_K - \frac{q_K}{T} \Phi_K = \frac{\bar{h}_K}{a \Phi_K + 1}, \\ \bar{X} &= aX, \\ a &= \sqrt{\frac{\varepsilon_{\Pi}}{Tz_*}}; \end{aligned}$$

для канала в облицовке

$$h'_K = \bar{h}_K - \frac{q_K}{T} (\Phi_K + \Phi_{\text{ОБЛ}}) = \frac{\bar{h}_K}{a(\Phi_K + \Phi_{\text{ОБЛ}}) + 1}.$$

В случае двухслойного грунта расчет фильтрационного расхода проводим по формулам (1) или (2), для определения некоторых параметров используем другие формулы:

$$T = k_1 \left(h_* + \frac{\bar{h}_K}{2} \right) + k_2 m_2,$$

где k_1 , k_2 – коэффициенты фильтрации грунта первого и второго слоев;

m_2 – мощность второго слоя грунта, м;

$$\Phi'_K = \xi_0 \frac{k_2}{k_1} m f'_K(m) + \frac{k_1 - k_2}{k_1} m_1 f'_K(m_1),$$

где $m = h_K + m_2$, м;

m_1 – мощность первого слоя грунта, м, $m_1 = h_K$;

$$\Phi''_K = \varsigma_0 \frac{k_2}{k_1} m f''_K(m) + \frac{k_1 - k_2}{k_1} m_1 f''_K(m_1),$$

$$f'_K = \frac{B_K}{2m} - 1,466 \lg ch \frac{\pi B_K}{4m},$$

$$f''_K = 0,733 \lg ch \frac{\pi B_K}{4m},$$

где ξ_0 , ς_0 – поправочные коэффициенты, определяемые по графикам [6].

Примеры расчетов. По приведенным выше формулам на основании натурных данных [9] произведем расчет фильтрации из Большого Ставропольского канала (БСК-1)

и Донского магистрального канала (ДМК). В качестве исходных данных в расчетах используются:

- для БСК-1: $B_K = 52$ м; $h_K = 10$ м; $\varepsilon_{II} = 0,003$ м/сут; $T = 103,75$ м²/сут; $k_1 = 0,5$ м/сут; $k_2 = 5,0$ м/сут; $k'_{OBL} = 1,5 \cdot 10^{-6}$ см/с; $k'_{OBL} = 10^{-8}$ см/с; $k'_{OBL} = 1,1 \cdot 10^{-10}$ см/с;

- для ДМК: $B_K = 67$ м; $h_K = 15$ м; $\varepsilon_{II} = 0,0033$ м/сут; $T = 52,6$ м²/сут; $k_1 = 0,2$ м/сут; $k_2 = 1,0$ м/сут; $k'_{OBL} = 1,5 \cdot 10^{-6}$ см/с; $k'_{OBL} = 10^{-8}$ см/с; $k'_{OBL} = 1,1 \cdot 10^{-10}$ см/с.

Основные результаты расчетов приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Результаты расчетов потерь на фильтрацию при различных условиях работы канала

Наименование	Потери на фильтрацию на 1 м ²			
	Земляное русло	С противofильтрационной облицовкой		
		бетонопленочная [10]	геосинтетическая [4]	геосинтетическая (европейские нормы) [4]
БСК-1	26,42	22,69	1,03	0,012
ДМК	16,53	15,28	1,23	0,015

В л/(сут·м²)

Таблица 2 – Результаты расчетов изменения уровня грунтовых вод при различных условиях работы канала

Наименование	Глубина грунтовых вод			
	Земляное русло	С противofильтрационной облицовкой		
		бетонопленочная	геосинтетическая	геосинтетическая (европейские нормы)
БСК-1	8,81	8,28	5,14	5,0
ДМК	13,54	13,35	11,19	11,0

В м

Анализ результатов. Анализ результатов расчета в таблице 1 показывает, что как для БСК-1, так и для ДМК потери на фильтрацию с бетонопленочной облицовкой близки к земляному руслу, что объясняется невысокой эффективностью облицовки. В то же время для высокоэффективной геосинтетической облицовки с использованием геомембраны толщиной 1,0–2,0 мм потери на фильтрацию снижаются соответственно более чем в 25 и 13 раз, а с учетом зарубежных требований и норм Евросоюза [4] – в 2200 и 1100 раз.

Согласно данным расчета, представленным в таблице 2, для случая с бетонопленочной облицовкой наблюдается незначительное снижение глубины грунтовых вод: для БСК-1 – на 0,53 м; для ДМК – на 0,2 м. При использовании геосинтетической облицовки снижение глубины грунтовых вод составит для БСК-1 3,67 м, для ДМК – 2,35 м.

Выводы

1 Приведены формулы для расчета фильтрационных потерь при различных вариантах работы канала: отсутствии и наличии противofильтрационной облицовки.

2 Сравнительный анализ применения различных облицовок на примере Большого Ставропольского канала (БСК-1) и Донского магистрального канала (ДМК) показал, что как по российским, так и европейским требованиям современные геосинтетические материалы обладают большей эффективностью при осуществлении противofильтрационных мероприятий.

Список использованных источников

1 Кац, Д. М. Мелиоративная гидрогеология / Д. М. Кац, И. С. Пашковский. – М.: Агропромиздат, 1988. – 256 с.

2 Косиченко, Ю. М. Гидравлическая эффективность и эксплуатационная надежность крупных каналов территориального перераспределения стока [Электронный ресурс] / Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 2(10). – 18 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=171&id=183>.

3 Косиченко, Ю. М. Гидравлические и эксплуатационные критерии функционирования крупных каналов перераспределения стока / Ю. М. Косиченко, Е. Г. Угроватова // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2013. – № 5(174). – С. 62–66.

4 Косиченко, Ю. М. Высоконадежные конструкции противофильтрационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Гидротехническое строительство. – 2014. – № 8. – С. 18–25.

5 Шестаков, В. М. Динамика подземных вод: учеб. / В. М. Шестаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МГУ, 1979. – 369 с.

6 Олейник, А. Я. Геогидродинамика дренажа / А. Я. Олейник. – Киев: Наукова думка, 1981. – 283 с.

7 Косиченко, Ю. М. Экологические аспекты фильтрации из каналов / Ю. М. Косиченко // Гидротехническое строительство. – 1991. – № 5. – С. 21–24.

8 Чернышевская, Л. Е. Создание водосберегающих конструкций каналов оросительных систем: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Чернышевская Людмила Ефимовна. – Киев, 2003. – 33 с.

9 Косиченко, Ю. М. Каналы переброски стока России / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.

10 Защитные покрытия оросительных каналов / под ред. В. С. Алтунина. – М.: ВО «Агропромиздат», 1998. – 160 с.

УДК 626.823.916

Ю. М. Косиченко

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

РАЗВИТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ

Целью исследований являлся анализ этапов применения полимерных и геосинтетических материалов для противофильтрационных покрытий каналов, водоемов и прудов-накопителей за период 1930–2015 гг. Выделено шесть этапов развития исследований в этом направлении: от использования простейших грунтополимерных экранов, представляющих собой смесь грунта и отходов производства, пленочных экранов из нестабилизированного и стабилизированного полиэтилена толщиной от 0,05 до 0,4 мм до применения современных более надежных экранов из геосинтетических материалов – геомембран из полиэтилена высокого давления толщиной 1,0–3,0 мм и геокомпозитных материалов, представляющих сочетание двух-трех различных геосинтетических материалов. На основе опыта применения геосинтетических материалов в международной и российской практике предложена классификация таких материалов для противофильтрационных покрытий и дренажных систем. Анализ сводных данных показателей технической эффективности и надежности противофильтрационных устройств из геосинтетических материалов ведущих зарубежных и отечественных компаний позволил обосновать значения допускаемых показателей их водонепроницаемости с осредненным коэффициентом фильтрации 10^{-8} – 10^{-10} см/с и