

Фильтрация в каналах с земляным руслом и новые методы крепления откосов

Фярид Кинжаевич Абдразаков, Андрей Алексеевич Рукавишников,

Ольга Валентиновна Михеева, Елена Николаевна Миркина

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии
имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Россия

e-mail: abdrzakov.fk@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследования заключается в теоретическом обосновании потерь воды на фильтрацию в каналах с облицованным и земляным руслом. Потеря водных ресурсов негативно отражается на близлежащих территориях из-за поднятия грунтовых вод и заболачивания и подтопления их. Исключение потерь оросительной воды способствует повышению КПД, а также эффективности оросительных мероприятий на орошаемых площадях. Объектом исследования являются оросительные каналы Саратовской области. При проведении исследований использовали метод эмпирического познания, который послужил синтезом для теоретического анализа литературы дедуктивным методом. Теоретический метод включал в себя реферирование, конспектирование и цитирование общих и специальных научных трудов ученых по данному наукоемкому направлению. В работе применяли математические и статистические методы для получения и установления количественных зависимостей между изучаемыми явлениями. В работе получены обобщённые данные о потерях воды из каналов в земляном и облицованном русле, путем использования в расчетах общеизвестных формул Г.К. Ризенкампа и технического кодекса (ТКП 45-3.04-8-2005).

Ключевые слова: мелиорация; фильтрация; безопасность гидротехнических сооружений; КПД; оросительные каналы.

Для цитирования: Абдразаков Ф. К., Рукавишников А. А., Михеева О. В., Миркина Е. Н. Фильтрация в каналах с земляным руслом и новые методы крепления откосов // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 107–114. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i6pp107-114>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Filtration in canals with an earthen bed and new methods of slope stabilization

Fyarid K. Abdrzakov, Andrei A. Rukavishnikov, Olga V. Mikheeva, Elena N. Mirkina

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

e-mail: abdrzakov.fk@mail.ru

Abstract. The relevance of the study lies in the theoretical substantiation of water losses for filtration in canals with lined and earthen bed. Loss of water resources negatively affects nearby territories due to rising groundwater and waterlogging and waterlogging of nearby territories. The elimination of irrigation water losses contributes to improving the efficiency as well as the effectiveness of irrigation measures on the irrigated areas. The object of the study is the irrigation canals of Saratov region. method of empirical knowledge, which served as a synthesis for theoretical analysis of the literature by deductive method, was used in the study. The theoretical method included abstracting, abstracting and quoting general and special scientific works of scientists on the given science-intensive direction. The work used mathematical and statistical methods to obtain and establish quantitative relationships between the phenomena under study. Generalized data on water losses from canals in earthen and lined channels





have been obtained by means of using generally known formulas of G.K. Riesenkampf and technical code (TKP 45-3.04-8-2005) in calculations.

Keywords: reclamation; filtration; safety of hydraulic structures; efficiency; irrigation canals.

For citation: Abdrazakov F. K., Rukavishnikov A. A., Mikheeva O. V., Mirkina E. N. Filtration in canals with an earthen bed and new methods of slope stabilization // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(6):107–114. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i6pp107-114>.

Введение. Саратовская область выделяется среди регионов Российской Федерации по масштабу потерь воды в процессе транспортирования. Соотношение объема водных ресурсов, используемых для орошения и сельскохозяйственного водоснабжения, к общему объему забора из всех возможных источников Саратовской области (среднее значение на протяжении 2015–2020 гг. составляет 1106,5 м³) колеблется от 16 до 19 %. Важно подчеркнуть, что 18,82 % потерь воды в процессе транспортировки связано с фильтрацией. Большая доля воды для орошения (14,2 %) расходуется на фильтрацию, что представляет серьезную проблему. Таким образом, при транспортировании оросительной воды по каналам 10–15 % воды неизбежно теряется [17].

Проблема фильтрации на оросительных каналах заключается в нежелательном явлении потерь воды при прохождении через почву. Она связана с тем, что часть воды, подаваемой на орошение, не доходит до корневой зоны растений и не используется для увлажнения почвы из-за ее фильтрации на пути следования по каналам. Это приводит к неэффективному использованию водных ресурсов, а также снижению производительности орошения и ухудшению качества почвы. Неконтролируемые потери воды при фильтрации могут также привести к негативным последствиям, таким как образование солей в почве и загрязнение подземных вод. В связи с этим решение проблемы фильтрации на оросительных каналах является важным направлением для улучшения эффективности использования водных ресурсов в сельском хозяйстве.

При фильтрации без подпора грунтовая вода проникает через поры грунта, находящегося в зоне аэрации, при неполном насыщении его водой. В данном случае отсутствует взаимодействие между фильтрационным потоком из канала и грунтовым потоком. В свою очередь, при фильтрации с подпором фильтрационный поток из канала соединяется и взаимодействует с грунтовым потоком. Это позволяет увеличить эффективность использования водных ресурсов за счет улучшения водопроницаемости грунта и сокращения потерь воды в процессе транспортировки через грунт [4–6].

Свободная фильтрация в оросительных каналах переходит в подпертую фильтрацию только после достижения уровня грунтовых вод до дна канала. Этот процесс может продолжаться в течение нескольких лет. При этом величина потерь воды зависит в основном от проницаемости дна канала. В результате стабилизации фильтрационного потока скорость его потерь уменьшается, и расход практически не изменяется.

Для расчета фильтрационных потерь в оросительных каналах необходимо учитывать различные параметры, включая гидравлические свойства грунта, уклон канала, геометрические размеры канала и другие факторы. Одним из методов расчета фильтрационных потерь является метод, основанный на формуле Дарси-Вейсбаха, которая описывает поток жидкости через грунт. Для применения данного метода необходимо измерить гидравлический радиус канала, коэффициент фильтрации грунта и разность уровней воды между началом и концом канала. На основе этих данных можно определить величину фильтрационных потерь в канале. Другим методом является метод баланса воды, который основан на сравнении количества воды, поступающей в канал, с количеством воды, вытекающей из него. Разность между этими величинами определяет количество фильтрационных потерь. В дополнение к этому, фильтрация может оказывать отрицательное воздействие на окружающую территорию, вызывая подъем уровня грунтовых вод, что может привести к засолению или заболачиванию земель. Эти негативные последствия могут оказаться дорогостоящими и могут привести к значительному экономическому ущербу [4–7].

Определение объема фильтрационных потерь на типичных участках оросительных каналов может быть полезным для прогнозирования воздействия фильтрации на режим грунтовых вод в прилегающей зоне канала. Предоставление точных данных о потерях также может помочь в разработке стратегий для сокращения негативного влияния фильтрации на окружающую среду, включая использование дренажных систем для водоотведения из прилегающих территорий. Эти

меры могут способствовать сохранению качества почвы и снижению негативного воздействия на экосистему, что, в свою очередь, может сэкономить дополнительные затраты на восстановление природных ресурсов в будущем.

Цель исследования – рассчитать фильтрацию в канале с земляным руслом, дать научно обоснованные рекомендации по предотвращению фильтрации из каналов.

Методика исследований. Фильтрационный расчет каналов заключается в определении фильтрационных потерь воды из каналов и может быть выполнен в соответствии со ТКП 45-3.04-8-2005.

Свободная фильтрация. Потери воды из каналов непрерывного действия в земляном русле рассчитывают по следующим зависимостям (табл. 1, 2):

для каналов трапецеидальной формы:

при $b/h < 4$

$$Q_{\phi} = 0,0116K\mu(B + 2h), \quad (1)$$

при $b/h > 4$

$$Q_{\phi} = 0,0116K(B + Ah); \quad (2)$$

2) для каналов полигональной и параболической формы:

$$Q_{\phi} = 0,0116K(B + 2h), \quad (3)$$

где b – ширина по дну, м; Q_{ϕ} – фильтрационный расход на 1 км длины капала, м³/с; K – коэффициент фильтрации грунтов ложа канала, м/сут.; B – ширина по урезу воды, м; μ – поправочный коэффициент; A – коэффициент бокового растекания потока.

Таблица 1

Зависимость μ от коэффициента откоса m и отношение b/h

Коэффициент откоса m	b/h		
	2	3	4
1,0	0,98	1,00	1,14
1,5	0,78	0,98	1,04
2,0	0,62	0,82	0,94

Таблица 2

Значения коэффициента бокового растекания фильтрационного потока в зависимости от размеров сечения канала

Коэффициент откоса m	b/h						
	5	6	7	10	12,5	15	20
1,0	3,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,0	4,2
1,5	2,5	2,7	3,0	3,2	3,4	3,6	3,9
2,0	2,1	2,3	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6

При многослойном основании коэффициент фильтрации определяется по формуле

$$K_{\phi} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{\frac{t_1}{K_1} + \frac{t_2}{K_2} + \dots + \frac{t_n}{K_n}}, \quad (4)$$

где $t_1, t_2, \dots, t_n$ – мощность грунта, м; $K_1, K_2, \dots, K_n$ – коэффициенты фильтрации слоя грунта, м/сут.

Фильтрационные потери из облицованного канала при установившейся свободной фильтрации и одинаковой толщине облицовки экрана на дне и откосах рассчитывают по формуле

$$Q_{\phi} = 0,0116K_3 \frac{h + t_3}{t_3} (b + h\sqrt{1 + m^2}), \quad (5)$$

где K_3 – коэффициент фильтрации облицовки экрана, м/сут.; t_3 – толщина облицовки, м

Усреднённые коэффициенты фильтрации противофильтрационных покрытий каналов и величина фильтрационных потерь представлены в табл. 3, 4.



**Усредненные коэффициенты фильтрации противофильтрационных покрытий каналов
(с учетом фильтрации через швы) (ТКП 45-3.04-8-2005)**

Противофильтрационное покрытие	Усредненный коэффициент фильтрации, м/сут.
Бетонные монолитные облицовки, качество швов удовлетворительное	0,0007.....0,0003
Бетонные монолитные облицовки со швами, герметизированными профильными прокладками типа «констоп»	0,0002
Железобетонные сборные облицовки, швы герметизированы пороизолом и битумно-полимерными мастиками	0,0007.....0,0003
Железобетонные сборные облицовки, швы герметизированы тиоколовыми мастиками	0,0004.....0,00025
Сборные бетонопленочные облицовки	0,0003....0,00025
Монолитные бетонопленочные облицовки	0,0003....0,0002
Асфальтобетонные облицовки	0,0004....0,0002
Грунтово-пленочные экраны, поверхностные экраны из полимерных пленок	0,00035....0,00025

Таблица 4

Величина фильтрационных потерь в каналах

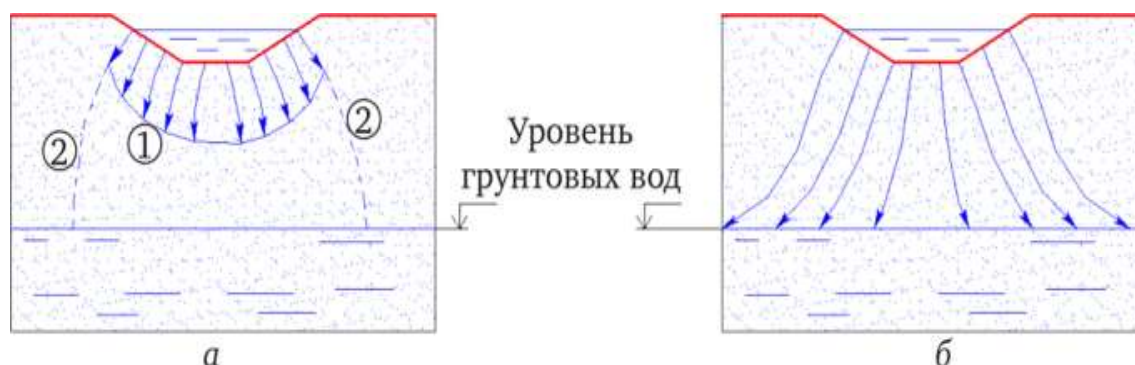
Расход воды в канале, м ³ /с	Фильтрационные потери расхода на 1 км канала, %	Расход воды в канале, м ³ /с	Фильтрационные потери расхода на 1 км канала, %
0,5–1,0	6,0–4,0	10...20	0,6–0,5
1,0–1,5	4,5–3,0	20...50	0,5–0,2
1,5–2,0	3,0–2,5	50...100	0,20–0,15
2,0–3,0	2,5...1,8	100...200	0,15–0,05
3,0–5,0	1,8–1,10	200...300	0,05–0,02

В открытых каналах происходят потери воды в результате испарения с поверхности воды и фильтрации через дно и боковые стенки канала. Величина испарительных потерь зависит от климатических условий и площади открытой поверхности воды, однако она обычно невысокая и составляет примерно от 0,3 до 0,8 м водного слоя в год. Фильтрационные потери могут достигать значительных значений и составлять до 50–60 % от общего расхода воды в канале. Это приводит к увеличению стоимости канала за счет необходимости увеличения его пропускной способности для компенсации потерь [7–12].

Фильтрация воды из необлицованных каналов имеет две стадии:

свободная (без подпора) фильтрация, при которой существующий естественный (подземный) поток не влияет на фильтрационный поток из канала (рис. 1, а);

несвободная (с подпором), при которой фильтрационный поток из канала сомкнулся и подпирается грунтовым потоком (рис. 1, б).



**Рис. 1. Фильтрация воды из необлицованного канала: а – первая стадия; б – вторая стадия;
1 – фронт движения зоны промачивания; 2 – граница растекания в конце первой стадии**

Термические колебания могут привести к появлению трещин в железобетонных облицовках. Для предотвращения этого, через каждые 10–12 м облицовки устанавливают температурно-осадочные швы. Однако такие швы являются главными местами потери воды из-за фильтрации. Рис. 2 демонстрирует пример конструкции температурно-осадочного шва и антифильтрационного элемента, применяемых в таких швах.



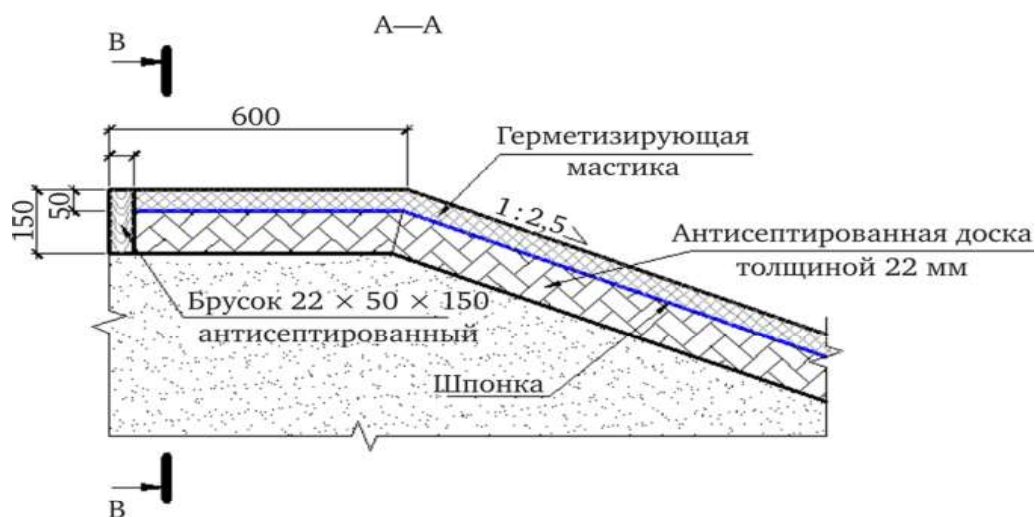


Рис. 2. Разрез по температурно-осадочному шву

Многие из имеющихся систем орошения обладают КПД, не превышающим 55 %. Фактически половина воды, предназначенной для орошения, теряется в результате фильтрации, испарения, утечек и аварийных ситуаций. Потери воды на испарение и утечки обычно не превышают 3 %, однако значительную часть общей суммы потерь составляют потери воды, используемой для орошения при транспортировании в каналах. Эти потери могут достигать 70 %. Потери второй категории связаны с техническими причинами и возникают из-за неорганизованного использования воды.

На примере канала в земляном русле рассчитано изменение кривой депрессии.

На рис. 3 представлен канал в земляном русле.



Рис. 3. Канал в земляном русле

Канал имеет заложение откосов равные 1,5, ширина по дну равно 1,5 м, глубина воды в канале составляет 2 м, расстояние от дна канала до верхней бровки канала составляет 3 м.

В основании ложи канала грунт легкий суглинок, коэффициент фильтрации составляет 0,5 м/сут.

Расчет проведем для экстремальных условий, при наличии водонепроницаемого основания и водопроницаемых откосов.

В табл. 5 приведены данные расчета кривой фильтрации из канала в земляном русле.

Таким образом подтопление территории при равнинном рельефе наблюдаться не будет. Падение кривой депрессии от дневной поверхности составит 2,05 метров на расстоянии 1 км от канала.

Результаты исследований. Проведенные исследования современного технического состояния оросительных каналов показали, что наблюдается высокий уровень физического износа оросительных каналов с облицовкой, он может достигать до 35 %. Обследование оросительных каналов показали, что одним из самых надежных и экономичных материалов в настоящее время является бетонная облицовка. Инновационным материалом, который может быть использован для крепления откосов каналов является бетонное полотно Данный материал широко используется за рубежом, но не нашел пока широкого применения в России, в частности в Саратовской области [13–16]. Таким образом, будем считать его перспективным инновационным облицовочным материалом.



Расчет фильтрации из канала в земляном русле

Расстояние от верхней бровки канала, м	Падение уровня кривой депрессии, м
10	0,01
50	0,04
100	0,08
200	0,16
300	0,25
500	0,44
1000	1,05

На основании проведенного лабораторного эксперимента была исследована водопроницаемость бетонного полотна (рис. 4, 5), рассчитан фильтрационный расход, получены показатели водонепроницаемости для бетонного полотна и бетонной плиты. По конечному замеру, который был проведен через 192 ч, фильтрационный расход для бетонного полотна составил $6,65 \cdot 10^{-7}$ л/с, для бетонной плиты соответственно $3,19 \cdot 10^{-6}$ л/с. Фильтрационные потери в канале при расходе воды 1,0–2,0 м³/с с облицовкой из бетонного полотна – 0,0022 м³/с, из сборных железобетонных плит – 0,0075 м³/с, из монолитного бетона – 0,0057 м³/с.

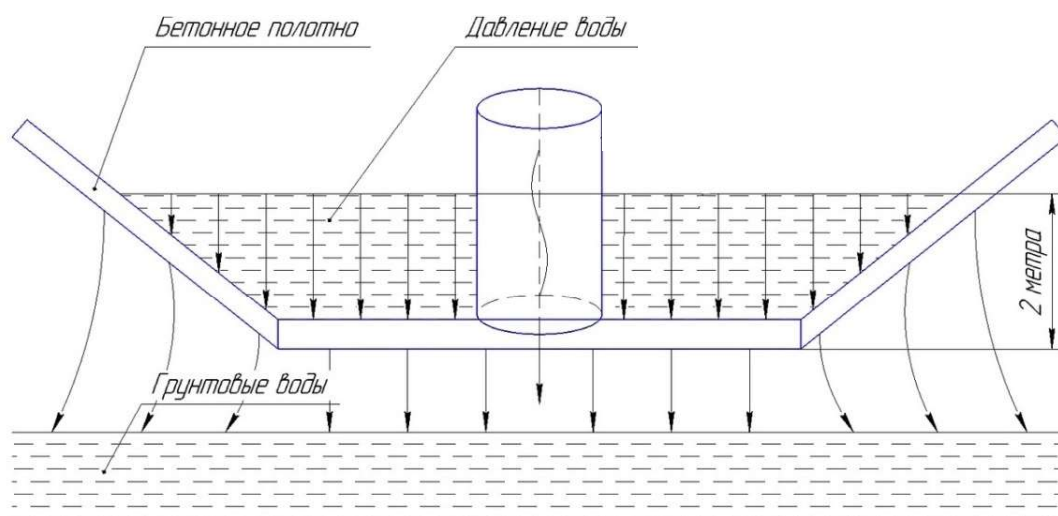


Рис. 4. Искусственно созданные условия эксперимента

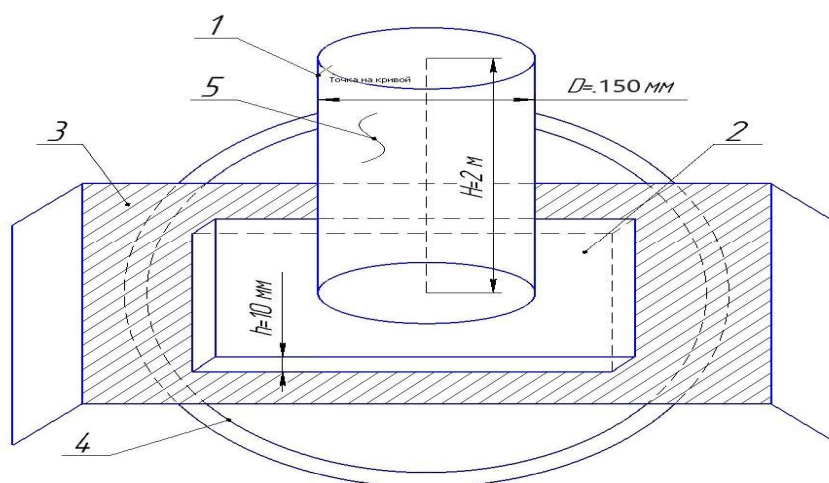


Рис. 5. Установка для проведения эксперимента в рабочем состоянии:

1 – цилиндр; 2 – образец бетонного полотна или бетонной плиты; 3 – основание для укладки бетонного полотна; 4 – ёмкость для замера фильтрационных потерь; 5 – вода

Таким образом, эффективность бетонного полотна выше за счет снижения фильтрационных потерь и, соответственно, повышения его КПД. Способ крепления бетонного полотна внахлест показывает высокие показатели предела прочности (рис. 6), среднее значение которого составляет 164,2 кг (2,05 МПа). Пределы прочности известных креплений составляют 93,7 кг (1,17 МПа) и 119,3 кг (1,49 МПа) [1–3].



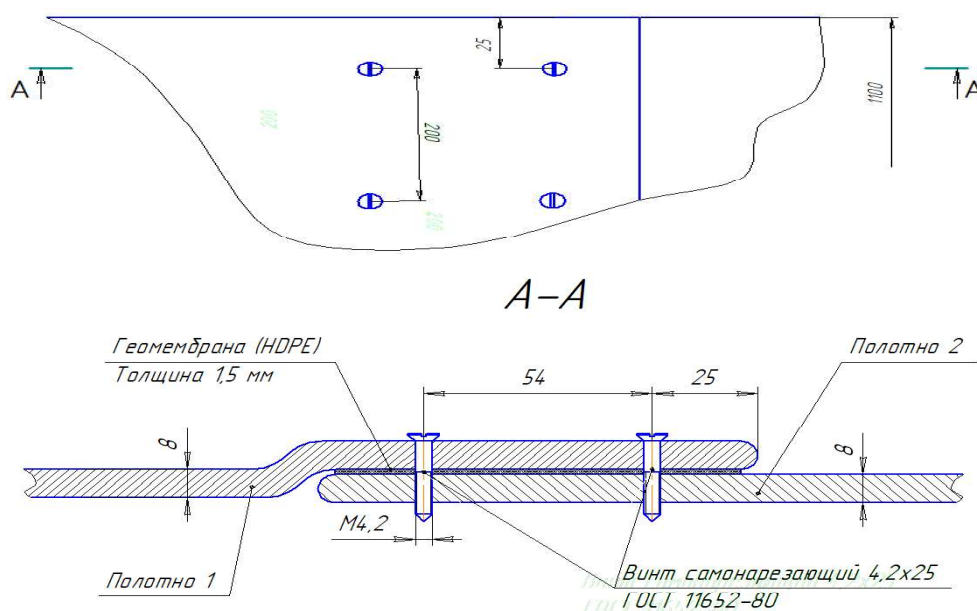


Рис. 6. Способ крепления отрезков бетонного полотна

Ежегодно увеличивается применение бетонного полотна в качестве облицовочного материала по всему миру, в особенности за рубежом, так как данный материал отвечает современным требованиям. Регионы России не могут перестроиться так быстро, так как в стране уже существовали сформировавшиеся технологии и традиционные материалы.

Заключение. Фильтрационные воды увеличивают водный баланс, как следствие может наблюдаться подтопление сельскохозяйственных территорий. При больших потерях на фильтрацию соответственно будет возрастать объем водозабора. Приведенный расчет в экстремальных условиях при наличии водонепроницаемого основания ложа канала и фильтрующих откосов показал снижение уровня воды от дневной поверхности на расстоянии 1 км от канала на 2 м, что значительно ниже корнеобитаемого слоя почвы для основных сельскохозяйственных культур.

При строительстве новых оросительных каналов, а также при ремонте и реконструкции существующих, необходимо использовать современные облицовочные материалы, сочетающие в себе надёжность, низкую трудоёмкость и наименьшие совокупные расходы. Предлагаемый материал позволяет на порядок ускорить процесс облицовки с наименьшими расходами материальных и трудовых ресурсов. Выбор облицовочного материала рекомендуем проводить с помощью компьютерной программы, позволяющей рассчитать общую стоимость и обосновать выбор технологического решения наиболее рационального варианта облицовки. При облицовке оросительных каналов бетонным полотном необходимо использовать более плотное и надёжное крепление нахлеста отрезков. Фиксацию полотен бетонного полотна осуществляют саморезами по длине поперечного сечения с шагом 20 см и 2–3 см от края стыка. Для улучшения водонепроницаемости стыка до стяжки полотен саморезами между слоями бетонного полотна наносят первый слой строительного герметика, укладывают отрезок геомембраны толщиной не менее 1,5 мм и наносят второй слой герметика. После этого образуется плотный геокомпозит, исключаяющий фильтрационные потери.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abdrazakov F. K., Rukavishnikov A. A., Khalmetov A. A., Povarov A. V. Problems of Irrigation Canals and Modern Methods of Their Technical Improvement due to Innovative Concrete Materials and Technologies // Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov. 2019.
2. Abdrazakov F. K., Rukavishnikov A. A., Povarov A. V., Trushin Y. E. Intensification of Melioration through Decreasing Maintenance Load on Irrigation Canals // E3S Web Conf. 2019.
3. Abdrazakov F. K., Rukavishnikov A. A., Miheeva O. V., Logashov D. V., Churkina C. I., Yarmashevich M. A. Construction and Repair of Irrigation Canals Based on Converged Technologies // International Scientific Conference Constructions Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering». 2020.
4. Михеева О.В. Основные научно-технические проблемы при эксплуатации каналов в земляном русле // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства: IV Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 2013. С. 268–269.
5. Панкова Т.А., Михеева О.В., Орлова С.С. Оценка надежности работы каналов // Научная жизнь. 2013. № 5. С. 29–32.





6. Орлова С.С., Колосова Н.М., Михеева О.В. Оценка эксплуатационной надежности канала в земляном русле // Инновации, наука и образование XXI века: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 2010. С. 151–155.
7. Косиченко Ю. М. Каналы переброски стока России. Новочеркасск: НГМА, 2004. 470 с.
8. Основные принципы и методы эксплуатации магистральных каналов и сооружений на них / В. Н. Щедрин [и др.]. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. 361 с.
9. Ищенко А. В. Повышение эффективности и надежности противофильтрационных облицовок оросительных каналов. Ростов н/Д., 2006. 211 с.
10. Ломизе, Г. М. Фильтрация в трещиноватых породах. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1951. 127 с.
11. Косиченко Ю. М., Баев О. А., Гарбуз А. Ю. Оценка водопроницаемости бетонопленочной облицовки с закольматированными швами при длительной эксплуатации каналов // Вестник МГСУ. 2016. № 7. С. 114–133.
12. Косиченко Ю. М., Угроватова Е. Г. Сравнительный анализ применения высоконадежных облицовок для снижения потерь на фильтрацию из каналов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2015. № 2(58). С. 16–21.
13. СТО 4.2-6-2015. Мелиоративные системы и сооружения. Магистральные каналы. Определение потерь на фильтрацию. Введ. 2015-06-29. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. – 47 с.
14. Пат. 2616801 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3/16. Способ определения фильтрационных потерь / Баев О. А.; заявитель и патентообладатель Баев О. А. – № 2016112250; заявл. 31.03.16; опубл. 18.04.17, Бюл. № 11. – 8 с.
15. Гарбуз А. Ю. Ремонт повреждений облицовок длительно работающих каналов с использованием полимерных композиций // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2015. № 2(58). С. 33–39.
16. Гарбуз А. Ю. Конструктивно-технические решения по ремонту бетонных облицовок длительно работающих каналов // Технические науки в России и за рубежом : материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2017 г.). М., 2017. С. 179–182.
17. Научно-популярная энциклопедия «Вода России» // Комплексный источник информации о водных ресурсах и водном хозяйстве Российской Федерации. М., 2012-2020. URL: https://water-rf.ru/Об_Энциклопедии/ (Дата обращения: 04.02.2023);

REFERENCES

1. Abdrazakov F. K., Rukavishnikov A. A., Khalmetov A. A., Povarov A. V. Problems of Irrigation Canals and Modern Methods of Their Technical Improvement due to Innovative Concrete Materials and Technologies // Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov. 2019.
2. Abdrazakov F. K., Rukavishnikov A. A., Povarov A. V., Trushin Y. E. Intensification of Melioration through Decreasing Maintenance Load on Irrigation Canals. *E3S Web Conf.* 2019.
3. Abdrazakov F. K., Rukavishnikov A. A., Miheeva O. V., Logashov D. V., Churkina S. I., Yarmashevich M. A. Construction and Repair of Irrigation Canals Based on Converged Technologies. *Constructions Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering.* 2020.
4. Mikheeva O.V. Main scientific and technical problems in the operation of channels in the earth course. *Problems and prospects of innovative development of world agriculture.* Saratov, 2013: 268-269.
5. Pankova T.A., Mikheeva O.V., Orlova S.S. Reliability evaluation of channels. *Scientific life.* 2013; 5: 29–32.
6. Orlova S.S., Kolosova N.M., Mikheeva O.V. Evaluation of the operational reliability of a channel in an earthen channel. *Innovations, science and education of the XXI century.* Saratov, 2010: 151–155.
7. Kosichenko Yu. M. Channels for transferring runoff in Russia. Novocherkassk: NGMA, 2004. 470 p.
8. Basic principles and methods of operation of main canals and structures on them: monograph / V.N. Shchedrin et al. Novocherkassk, 2015. 361 p.
9. Ishchenko A. V. Improving the efficiency and reliability of impervious linings of irrigation canals. Rostov on Don, 2006. 211 p.
10. Lomize, G. M. Filtration in fractured rocks. Moscow; Leningrad, 1951. 127 p.
11. Kosichenko Yu. M., Baev O. A., Garbuz A. Yu. Estimation of water permeability of concrete-film cladding with clogged seams during long-term operation of canals. *Bulletin of MGSU.* 2016; 7: 114–133.
12. Kosichenko Yu. M., Ugrovatova E. G. Comparative analysis of the use of highly reliable liners to reduce filtration losses from canals. *Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture.* 2015; 2 (58): 16–21.
13. СТО 4.2-6-2015. Ameliorative systems and structures. Main canals. Determination of filtration losses. Input. 2015-06-29. Novocherkassk: RosNIIPM, 2015. 47 p.
14. Pat. 2616801 Russian Federation, IPC E 02 B 3/16. Method for determining filtration losses / Baev O. A.; applicant and patent holder Baev O. A. No. 2016112250; dec. 03/31/16; publ. 18.04.17, Bull. No. 11. 8 p.
15. Garbuz A. Yu. Repair of damage to the lining of long-term canals using polymer compositions. *Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture.* 2015; 2 (58): 33–39.
16. Garbuz A. Yu. Structural and technical solutions for the repair of concrete linings of long-term operating channels. *Technical sciences in Russia and abroad: materials of the VII Intern. scientific conf.* (Moscow, November 2017). Moscow, 2017: 179–182.
17. Popular Science Encyclopedia “Water of Russia” // Integrated source of information on water resources and water management of the Russian Federation. Moscow, 2012-2020. URL: https://water-rf.ru/Об_Энциклопедии/ (Date of reference: 04.02.2023).

Статья поступила в редакцию 14.01.2023; одобрена после рецензирования 20.02.2023; принята к публикации 2.03.2023.
The article was submitted 14.01.2023; approved after reviewing 20.02.2023; accepted for publication 2.03.2023.