

А.В. ИЩЕНКО

О.А. БАЕВ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА НА ДОНСКОМ МАГИСТРАЛЬНОМ КАНАЛЕ

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF IMPERVIOUS SCREEN AT THE DON MAIN CHANNEL

В статье дана оценка эффективности устройства противofильтрационного экрана на Донском магистральном канале, проведены натурные исследования на участке канала до и после реконструкции. Для оценки эффективности проведенного противofильтрационного мероприятия были выполнены сравнительные расчеты для участка канала до реконструкции (в земляном русле) и после (с облицовкой из геокомпозитных бентонитовых матов). Сделаны выводы и даны рекомендации по эксплуатации канала.

The article gives an evaluation of the efficiency of the Don main canal impervious screen, field observation on the canal section before and after reconstruction are carried out. To estimate the effectiveness of the impervious measure, comparative calculations are carried out for the canal section before the reconstruction (in the earthen channel) and after it (with facing from geocomposite bentonite mats), conclusions are drawn and recommendations for channel operation are made.

Ключевые слова: *противofильтрационный экран, канал, облицовка, эффективность, геокомпозиты, бентонитовые маты*

Keywords: *impervious screen, channel, cladding, efficiency, geocomposites, bentonite mats*

В последние годы в России обостряется проблема потребления пресной воды. Одним из крупных водопотребителей является орошаемое земледелие, где до 80 % используют воды поверхностного стока с последующей доставкой воды от водоисточника до орошаемого поля посредством каналов. Согласно Водной стратегии Российской Федерации, одними из основных факторов нерационального использования водных ресурсов являются применение устаревших производственных технологий и высокий уровень потерь воды при транспортировке, составляющих до 8 км³ в год. При этом более 4 км³ воды в год теряется только в орошаемом земледелии из-за низкого технического уровня и значительной степени износа гидротехнических сооружений (в том числе каналов гидромелиоративных систем).

Необходимо отметить, что запасы пресной воды не бесконечны и не так уж велики. Как отмечает проф. В. И. Данилов-Данильян [1], к 2025 г. половина населения Земли будет страдать от нехватки пресной воды. Поэтому важными вопросами на сегодняшний день являются экономия водных ресурсов, разработка и применение ресурсосберегающих технологий и материалов, в том числе при реконструкции каналов, осуществляющих транспортировку воды для целей питьевого водоснабжения, орошения, обводнения и др.

В Ростовской области насчитывается более 7 крупных каналов (Донской магистральный, Азовский, Верхне-Сальский, Багаевский и др.) общей протяженностью межхозяйственных сетей около 8000 км; противofильтрационные покрытия выполнены лишь на 10–15 % от общей протяженности. Расходы воды на участках магистральных каналов составляют 20–50 м³/с, а на одном из самых крупных на юге России – Донском магистральном канале (ДМК) – 80 м³/с, с его общей протяженностью 195 км [2].

Донской магистральным каналом, построенным еще в 50-х гг. прошлого столетия, забирает воду из Цимлянского водохранилища (рассчитан на забор воды до 250 м³/с), которое, в частности, за 64 года эксплуатации до недавнего времени также испытывало проблемы с водой.

В связи с длительным сроком эксплуатации гидротехнических сооружений, составляющим от 40 до 65 лет, около 40 % каналов находятся в неудовлетворительном техническом состоянии и нуждаются в реконструкции, в то время как в удовлетворительном состоянии – только 5,8 % (рис. 1) [3]. Значительная фильтрация из каналов обуславливает, как правило, нежелательные последствия – подтопление, заболачивание и засоление прилегающих к каналам территорий, вплоть до вывода их из сельскохозяйственного использования, существует риск образования аварийных ситуаций [4, 5].

Выполненные в 2006 г. обследования показали, что за более чем 60-летний период эксплуатации сооружения участок русла ДМК значительно деформировался (рис. 2), что привело не только к интенсивной фильтрации, но и подтоплению прилегающих к каналу территорий.

Для снижения образования негативных явлений, повышения пропускной способности (до проектных 110 м³/с), обеспечения фильтрационной безопасности с 2006 г. в Ростовской области осуществлялась реконструкция участков ДМК, которая проводилась в рамках реализации Федеральной целевой программы «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006–2010 годы и на период до 2013 года». На участке ДМК (от ПК 3 + 00 до ПК 9 + 00, вторая

очередь) в 2013 г. в условиях пониженных температур и повышенной влажности (при инфильтрации воды в канал) [6] была проведена реконструкция канала с применением современных строительных материалов на основе минерального бентонита [7].

Конструкция применяемого покрытия [7] (рис. 3) содержит противофильтрационный элемент из водонепроницаемых геокомпозитных бентонитовых матов «Bentofix» (коэффициент фильтрации, по данным компаний-производителей, составляет 10⁻¹² м/с) и защитное покрытие из каменной наброски.

Проведенная реконструкция участка ДМК позволит увеличить пропускную способность до 110 м³/с, что в свою очередь приведет не только к увеличению орошаемых площадей, стабильному водоснабжению Орловского, Ремонтненского, Дубовского, Заветинского и Зимовнековского районов

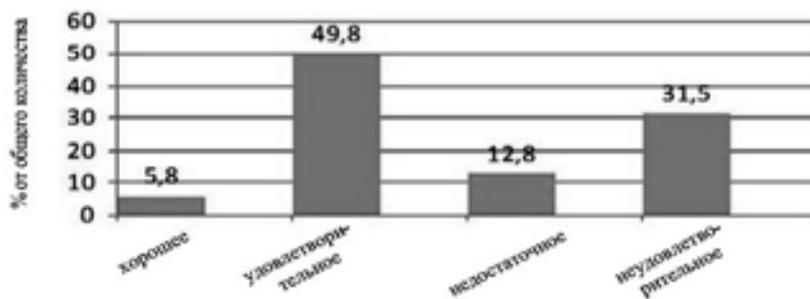


Рис. 1. Техническое состояние оросительных систем юга России



Рис. 2. Участок Донского магистрального канала до проведения реконструкции (дата проведения обследований – 08.12.2006 г.)

Ростовской области, но и позволит частично снизить минерализацию Маньчских водохранилищ.

Участок ДМК после проведения реконструкции в 2013 г. с применением противофильтрационных геокomпозитных бентонитовых матов представлен на рис. 4.

Необходимо отметить, что благодаря принятию Федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы» в последующем работы по реконструкции ДМК продолжаются, и в 2015–2017 гг. на участках, характеризующихся повышенной фильтрацией, также применялись геокomпозитные бентонитовые маты с защитным покрытием из каменной наброски. Всего, согласно ФЦП [8], только

в Южном федеральном округе планируется проведение комплекса мероприятий по реконструкции 10 магистральных и распределительных каналов, что в целом позволит предотвратить выбытие из оборота по Южному федеральному округу (согласно ФЦП [8]) около 220170 га сельскохозяйственных угодий.

Целью настоящих исследований являлась оценка эффективности выполненной конструкции противофильтрационного экрана на участке ДМК по следующим показателям: потери воды на фильтрацию, срок службы, сохранение (повышение) пропускной способности участка канала.

Для достижения поставленной цели было проведено предварительное технико-экономическое сравнение для трех вариантов устройства противофильтра-

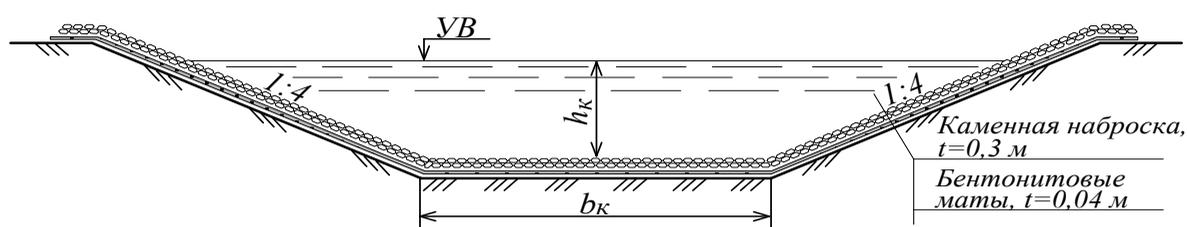


Рис. 3. Конструкция противофильтрационного экрана на участке реконструкции Донского магистрального канала:
 h_k – глубина воды в канале, м; b_k – ширина канала по дну, м



Рис. 4. Участок Донского магистрального канала после проведения реконструкции
 (дата проведения обследований – 08.04.2014 г.)

Технико-экономическое сравнение вариантов противофильтрационных покрытий

Технико-экономические показатели	Тип противофильтрационного экрана		
	из монолитного бетона (марки М-400)	из геокомпозита (геомембраны и двух слоев геотекстиля)	из геокомпозитных бентонитовых матов
Показатель долговечности (срок службы), лет	25	50	75
Показатель водонепроницаемости (коэффициент фильтрации), см/с	10^{-9}	10^{-8}	10^{-11}
Требования к толщине защитного покрытия, м	–	0,3	0,3
Средняя стоимость, руб./м ²	1670	310	295

Примечание. Средняя стоимость противофильтрационных покрытий дана по результатам обобщения цен на геосинтетические и геокомпозитные материалы различных (отечественных) компаний (на 3-й квартал 2017 г.), а также с учетом проведенных расчетов, включающих затраты на строительство 1 м² экрана.

ционного экрана (рассматриваемых до реконструкции участка канала) из следующих материалов: монолитного бетона, полимерной геомембраны (геокомпозита с двумя защитными прокладками из геотекстиля) и геокомпозитных бентонитовых матов (табл. 1).

При расчете стоимости 1 м² противофильтрационного экрана для геомембраны с защитными слоями из геотекстиля и для бентонитовых матов предусматривалось устройство защитного покрытия из габионов (толщиной 0,3 м). В расчете учитывались основные виды строительных работ, включающих планировку дна и откосов канала, устройство противофильтрационного экрана, устройство подстилающего слоя (для геомембраны и бентонитовых матов), а также работы по устройству защитного слоя.

Для теоретического обоснования противофильтрационной эффективности конструкции покрытия выполнялись исследования на основе метода электрогидродинамических аналогий (ЭГДА), с последующим сопоставлением фильтрационных потерь до и после реконструкции участка ДМК. Решение задачи производилось путем построения гидродинамической сетки движения фильтрационного потока. После того, как модель была изготовлена и соблюдены все необходимые граничные условия, приступили к решению фильтрационной задачи.

Для этого, задавая исходными данными, были произведены сравнительные расчеты для участка канала, выполненного до реконструкции в земляном русле и после – с облицовкой из геокомпозитных бентонитовых матов по нижеследующим формулам.

1. Определяем удельный фильтрационный расход (q_{Φ} , м²/с) по гидродинамической сетке, приняв для расчета пояс равного напора (в данном примере – шестой) [9]:

$$q_{\Phi} = k \cdot \Delta h \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta l_i}{\Delta S_i}, \quad (1)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/с; Δh – потери напора в пределах рассматриваемого пояса ($\Delta h =$

$(h_0 - \delta_0)/N$); N – количество поясов; Δl_i – высота криволинейного квадрата гидродинамической сетки; ΔS_i – средняя ширина криволинейного квадрата гидродинамической сетки; h_0 – действующий напор на облицовку, м [9].

2. Задавая исходными данными ($k = 1,5 \cdot 10^{-6}$ м/с, $\Delta h = 0,1 \times 10 = 1$ м), производим соответствующие расчеты:

$$q_{\Phi} = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,0 \cdot \left(\frac{3,6}{3,6} + \frac{4,0}{3,5} + \frac{3,5}{7,7} + \frac{3,9}{3,4} + \frac{3,0}{3,0} + \frac{3,0}{3,0} + \frac{3,0}{3,4} + \frac{3,5}{7,7} + \frac{4,0}{3,5} + \frac{3,6}{3,6} \right) = 1,48 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

3. Удельный фильтрационный расход (q , м²/с) на глубине (T , м) определяем по формуле

$$q = k(B + 2h_0), \quad (2)$$

где B – ширина канала по дну, м.

Таким образом, удельный фильтрационный расход будет равен:

$$q = 1,5 \cdot 10^{-6} (67 + 2 \times 6,2) = 1,19 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Полученное значение удельного фильтрационного расхода на глубине T примерно совпадает с его значением по гидродинамической сетке для выделенного пояса равного давления в пределах точности ее построения ($q = 1,19 \cdot 10^{-5} \approx 1,48 \cdot 10^{-5}$ м²/с).

4. Вычисляем максимальные (V_{\max} , м/с) и минимальные (V_{\min} , м/с) скорости фильтрации [9]:

$$V_{\max} = kJ = -k \frac{\Delta h}{\Delta S_m}, \quad (3)$$

где Δh – расстояние между линиями равного напора, м; ΔS_m – расстояние между линиями тока, м.

Находим максимальные и минимальные скорости фильтрации в точках 2, 3 и 1, 4:

$$V_{\max} = V_{2,3} = -1,5 \cdot 10^{-5} \frac{10}{3,0} = -0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м/с},$$

$$V_{\min} = V_{1,4} = -1,5 \cdot 10^{-5} \frac{10}{3,5} = -0,4 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}.$$

5. Определяем потери воды при фильтрации (Q_{ϕ} , м²/с) из канала по формуле В.В. Ведерникова при условии $B/h_0 = 4,5/1,0 = 4,5 > 4,0$:

$$Q_{\phi} = 0,0116k(B+Ah_0) \quad (4)$$

Задаваясь исходными данными, получаем:

$$Q_{\phi} = 0,0116 \times 0,130(67+2,4 \times 6,2) = 0,123 \text{ м}^2/\text{с}.$$

6. Определяем удельный фильтрационный расход (q , м²/с):

$$q = Q_{\phi}/1000 = 0,123/1000 = 1,23 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}. \quad (5)$$

Полученное значение удельного фильтрационного расхода по расчетной формуле (5) совпадает со значением по гидродинамической сетке в пределах точности построения ($q = 1,23 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с} \approx 1,48 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$).

7. Для расчета фильтрации из канала с защитным противофильтрационным покрытием используем зависимость

$$\frac{k}{k_{\text{обл}}} > \frac{h_0 + \delta_0 + H_k}{\delta_0}, \quad (6)$$

где $k_{\text{обл}} = 1,1 \times 10^{-11}$ – коэффициент фильтрации противофильтрационного покрытия (облицовки), см/с; h_0 – глубина воды в канале, м; δ_0 – толщина защитного покрытия, м; $H_k = 1,0$ – величина капиллярного вакуума, м.

Подставляя исходные данные, получаем:

$$\frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 10^{-11}} > \frac{5,0 + 0,03 + 1,0}{0,03} = 1,5^7 > 14,3 \text{ м}^2/\text{с}.$$

8. Удельные потери воды на фильтрацию ($q_{\text{обл}}$, м²/с) из канала с противофильтрационным покрытием, для сравнения, определяем по формуле Н.Н. Веригина [10]:

$$q_{\text{обл}} = k_{\text{обл}} \left[\frac{b(h_0 + \delta)}{\delta_0} + 2m_0 \cdot h_0 + \frac{h_0^2}{\delta_0^2} \sqrt{1 + m_0^2} \right]. \quad (7)$$

В нашем случае получаем:

$$q_{\text{обл}} = 1,0 \cdot 10^{-11} \left[\frac{27(5,0 + 0,03)}{0,03} + 2 \cdot 0,25 \cdot 5,0 + \frac{5,0}{0,03} \sqrt{1 + 0,25^2} \right] = 9,0 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Сопоставляя удельные потери воды при фильтрации на участке ДМК до реконструкции из земляного русла с потерями из облицованного канала (после реконструкции), определяем эффективность устройства противофильтрационного экрана из геокомпозитных бентонитовых матов:

$$\mathcal{E} = \frac{q}{q_{\text{макс}}} = \frac{1,48 \cdot 10^{-5}}{9,0 \cdot 10^{-12}} = 1,64 \cdot 10^6.$$

Таким образом, применение противофильтрационного экрана из бентонитовых матов на участке ДМК обеспечивает повышенную эффективность и надежность, а также снижение потерь воды на фильтрацию в $1,64 \times 10^6$ раз по сравнению с вариантом до проведения реконструкции.

На основе проведенной работы по оценке эффективности конструкции противофильтрационного экрана из геокомпозитных бентонитовых матов и защитного покрытия из каменной наброски на участке ДМК можно сделать следующие **выводы**:

1. Полученные результаты на основании моделирования с использованием метода электрогидродинамических аналогий и последующие расчеты подтвердили эффективность использования конструкции противофильтрационного экрана из геокомпозитных бентонитовых матов, что в дальнейшем позволит обеспечить высокий противофильтрационный эффект (с коэффициентом фильтрации 10^{-11} – 10^{-12} м/с) и значительный срок службы (прогнозный срок службы 70 лет и более).

2. Выполненные натурные обследования реконструируемого участка ДМК с противофильтрационным экраном из бентонитовых матов показали, что на облицовке канала отсутствуют какие-либо повреждения, деформации откосов или сползание защитного покрытия. Вблизи канала подтопление и заболачивание прилегающих территорий не наблюдается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды. Экологический, экономический, социальный и политический аспекты / Российская академия наук, Институт водных проблем. М., 2006. 221 с.
2. Косиченко Ю.М. Исследования фильтрационных потерь из каналов оросительных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2006. № 6. С. 24–25.
3. Косиченко Ю.М., Сенчуков Г.А., Капустян А.С. Состояние и пути повышения технического уровня оросительных систем на юге России [Электронный ресурс] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2011. № 4 (04). 11 с. Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=57&id=75> (дата обращения: 17.08.2017).
4. Бальзанников М.И., Родионов М.В., Селиверстов В.А. Повышение экологической безопасности эксплуатируемых грунтовых гидротехнических сооружений // Градостроительство и архитектура. 2011. № 1. С. 100–105. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.01.20.
5. Бальзанников М.И., Михасек А.А. Применение быстротвердеющих веществ для формирования противофильтрационных элементов в плотинах из каменных материалов // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 3. С. 48–53.

6. *Перельгин А.И., Белов А.В.* Об эксплуатации крупных каналов в условиях реконструкции // Гидротехника. 2014. № 2 (35). С. 50–51.

7. *Косиченко Ю.М., Баев О.А.* Противофильтрационные покрытия из геосинтетических материалов: монография. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. 239 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). Система ГАРАНТ: <http://base.garant.ru> (дата обращения: 20.08.2017).

9. *Ищенко А.В.* Повышение эффективности и надежности противофильтрационных облицовок оросительных каналов: монография // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2006. 211 с.

10. *Веригин Н.Н.* Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем / под ред. Н.Н. Веригина. М.: Колос, 1970. 439 с.

Об авторах:

ИЩЕНКО Александр Васильевич

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водоснабжения и использования водных ресурсов Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова
Филиал Донского государственного аграрного университета
346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск,
ул. Пушкинская, 111,
тел. 8 (8635) 22-26-96
Email: reknqma@mail.ru

ISHCHENKO Aleksandr V.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Utilization of Water Resources Chair
Novocherkassk engineering and land reclamation
Institute named after A. K. Kortunov, branch of the Don State Agrarian University
346428, Russia, Rostov Region, Novocherkassk,
Pushkinskaya str., 111,
tel. 8 (8635) 22-26-96
Email: reknqma@mail.ru

БАЕВ Олег Андреевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела гидротехнических сооружений и гидравлики Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации
346421, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск,
пр. Баклановский, 190,
тел. 8 (8635) 26-91-07
Email: Oleg-Baev1@yandex.ru

BAEV Oleg A.

PhD in Engineering Science, Senior Researcher of the Hydraulic Structures and Hydraulics Department
Russian Research Institute of Land Reclamation Problems
346421, Russia, Rostov region, Novocherkassk,
Baklanovsky Ave., 190,
tel. 8 (8635) 26-91-07
Email: Oleg-Baev1@yandex.ru

Для цитирования: *Ищенко А.В., Баев О.А.* Оценка эффективности противофильтрационного экрана на Донском магистральном канале // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №4. С. 67-72. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.11.
For citation: *Ishchenko A.V., Baev O.A.* Estimation of efficiency of impervious screen at the Don main channel // Urban Construction and architecture. 2017. V.7, 4. Pp. 67-72. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.11.