

Обзорная статья

УДК 626.823.914

К вопросу надежности и ремонта бетонных облицовок оросительных каналов

Александр Юрьевич Гарбуз

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация, a.y.garbuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1503-7300>

Аннотация. Цель: обобщение расчетных зависимостей для определения допустимого коэффициента фильтрации облицовки канала с заданной надежностью и вероятностью безотказной работы, а также обоснование конструктивно-технологического решения для ремонта трещин бетонных облицовок полимерными материалами. **Материалы и методы.** Материалами к исследованию послужили труды российских ученых в области теории надежности, ремонта и реконструкции сооружений мелиоративных систем. **Результаты.** Представлены расчетные зависимости для определения значения осредненного коэффициента фильтрации, а также отказа облицовки канала. Наряду с этим приведены зависимости, позволяющие определить характеристики надежности облицовки. Предложены зависимости для определения ширины и глубины разделки паза, используемые при восстановлении водонепроницаемости бетонных облицовок, а также их схемы для восстановления водонепроницаемости полимерными материалами. **Выводы.** Обобщены расчетные зависимости для определения осредненных значений коэффициента фильтрации бетонных, бетоноплочных и железобетонных противофильтрационных облицовок каналов с заданной надежностью и вероятностью безотказной работы при определенном сроке эксплуатации канала. Приведены зависимости для определения ширины и глубины разделки ремонтного паза для восстановления водонепроницаемости трещин в облицовках каналов, а также схемы профилей разделки паза по трещинам для восстановления их водонепроницаемости полимерными герметизирующими материалами.

Ключевые слова: надежность, коэффициент фильтрации, реконструкция, бетонная облицовка, деформационный шов, противофильтрационная защита, водонепроницаемость, канал

Апробация результатов исследования: основные положения статьи доложены на Всероссийской научно-практической конференции «Роль мелиорации и водного хозяйства в обеспечении устойчивого развития земледелия» (г. Новочеркасск, 28 февраля 2023 г.).

Для цитирования: Гарбуз А. Ю. К вопросу надежности и ремонта бетонных облицовок оросительных каналов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. № 1(89). С. 179–187.

Review article

On issue of reliability and repair of concrete lining of irrigation canals

Aleksandr Yu. Garbuz

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation, a.y.garbuz@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1503-7300>

Abstract. Purpose: to generalize the calculated dependencies for determining the allowable filtration coefficient of canal lining with a given reliability and probability of failure-

free operation, as well as to substantiate the design and technological solution for repairing cracks in concrete linings with polymeric materials. **Materials and methods.** The materials for the study were the works of Russian scientists in the field of theory of reliability, repair and reconstruction of reclamation systems structures. **Results.** Calculated dependencies to determine the value of the average filtration coefficient, as well as the failure of the canal lining are presented. Along with this, the dependencies allowing determining the characteristics of lining reliability are given. Dependences for determining the width and depth of the groove cutting used in restoring the water impermeability of concrete linings, as well as their schemes for restoring the impermeability of polymeric materials are proposed. **Conclusions.** The calculated dependences for determining the average values of the filtration coefficient of concrete, concrete-film and reinforced concrete impervious linings of canals with a given reliability and probability of failure-free operation for a certain period of canal operation are generalized. The dependences for determining the width and depth of the repair groove to restore the water impermeability of cracks in canal linings, as well as the schemes of groove cutting profiles along cracks to restore their water impermeability with polymeric sealing materials are given.

Keywords: reliability, filtration coefficient, reconstruction, concrete lining, expansion joint, impervious protection, water impermeability, canal

Evaluation of the research results: the main provisions of the article were reported at the All-Russian scientific and practical conference “The role of land reclamation and water management in ensuring the sustainable development of agriculture” (Novocherkassk, February 28, 2023).

For citation: Garbuz A. Yu. On issue of reliability and repair of concrete lining of irrigation canals. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture*. 2023;1(89): 179–187. (In Russ.).

Введение. В процессе длительной эксплуатации бетонные и железобетонные покрытия, и в частности облицовки каналов мелиоративных систем, подвержены влиянию многочисленных факторов, которые в значительной степени негативно сказываются на их противофильтрационных свойствах [1].

Тот факт, что эксплуатация оросительных каналов и гидротехнических сооружений на них осуществляется в достаточно агрессивной среде, сказывается на характеристиках водонепроницаемости, морозостойкости, химической стойкости их противофильтрационных элементов [2].

Исследованиями таких элементов мелиоративных сооружений занимался целый ряд отечественных ученых, а именно: А. Г. Алимов [3], А. В. Ищенко [1], Ю. М. Косиченко [4–6], С. В. Сольский [7], О. А. Баев [8] и др. [9].

Снижение потерь воды на каналах и водоемах подразумевает проведение модернизации систем водоподдачи, восстановление и устройство противофильтрационных облицовок, выполнение реконструкции оросительной сети и расположенных на ней сооружений с применением современных материалов и технологий [10].

В этой связи целью настоящих исследований являлось обобщение расчетных зависимостей для определения допускаемого коэффициента фильтрации облицовки канала с заданной надежностью и вероятностью безотказной работы, а также обоснование конструктивно-технологического решения для ремонта трещин бетонных облицовок полимерными материалами.

Материалы и методы. Материалами к исследованию послужили труды российских ученых в области теории надежности, ремонта и реконструкции сооружений мелиоративных систем.

Результаты и обсуждение. Основным и оптимальным критерием обеспечения противофильтрационной защиты русел открытых оросительных каналов является надежность, которая гарантирует полноценную функциональную работу сооружения при его постоянной эксплуатации [2]. При выборе противофильтрационной защиты на оросительных каналах имеет значение обоснование ее наиболее эффективной и экономичной конструкции применительно к конкретному участку с учетом гидрогеологических и климатических условий местности, что обуславливает безаварийное функционирование всей системы. Основным параметром, который обеспечивает максимальную надежность применяемой конструкции облицовки, является коэффициент фильтрации.

При определении значения коэффициента фильтрации облицовки $K'_{обл}$, м/сут, следует использовать следующую зависимость [11]:

$$K'_{обл} = \frac{q_{обл} \cdot \delta_o}{(h_0 + \delta_o) \cdot F_o},$$

где $q_{обл}$ – фильтрационный расход через облицовку, м³/сут, определяемый как:

$$q_{обл} = \sum_{i=1}^n q_{oi},$$

где n – количество повреждений и дефектов, шт.;

q_{oi} – единичный фильтрационный расход через отдельные повреждения и дефекты противофильтрационной облицовки, м³/сут;

δ_o – толщина облицовки, м;

h_0 – глубина воды в канале, м;

F_o – площадь облицовки канала, м².

Условие противофильтрационной надежности представим в следующем виде:

$$\varphi(K'_{обл}) = K'_{обл, доп} - K'_{обл} > 0,$$

где $K'_{обл, доп}$ – допускаемое значение коэффициента фильтрации для соответствующего типа облицовки, м/с.

Коэффициент фильтрации для монолитной бетоноплочной облицовки на пропущенном основании канала определяется из выражения [11]:

$$K'_{обл} = \pi K_o \frac{\delta_o}{F_o} \cdot \frac{n \cdot \bar{l}_{ш}}{\ln(16\delta_o/\pi m)} \cdot (K/K_o > 0);$$

- для сборной бетоноплочной облицовки [11]:

$$K'_{обл} = \frac{\pi \cdot K \cdot n \cdot (h_0 + \delta_o + H_k) \cdot \delta_o \cdot \bar{l}_{ш}}{(h_0 + \delta_o) \cdot F_o \cdot Arsh(1/\sqrt{\alpha - 1})};$$

- для бетонных и железобетонных облицовок (для трещин с шероховатыми стенками при ламинарном режиме движения воды) [11]:

$$K'_{обл} = \frac{\gamma}{12\mu F_o} \cdot \frac{\bar{\delta}_{тр}^3 \cdot l_{тр}}{1 + 6 \cdot \left(\frac{\bar{e}}{\bar{\delta}_{тр}} \right)^{1,5}},$$

где π – математическая постоянная;

K_o – коэффициент фильтрации защитного слоя, м/сут;

$\bar{l}_{\text{щ}}$, m – средняя длина и ширина повреждения (щели) в противофильтрационном пленочном экране, м;

K – коэффициент фильтрации подстилающего основания, м/сут;

H_k – капиллярный вакуум грунта, м;

α – параметр, определяемый из уравнения вида [12]:

$$F_1(\alpha) = \frac{m}{(h_0 + H_k)};$$

γ – удельный вес воды, кг/м³;

μ – коэффициент динамической вязкости воды, кг·с/м²;

$\bar{\delta}_{\text{тр}}$ – средняя ширина раскрытия повреждения (трещины), м;

$l_{\text{тр}}$ – длина трещины, м;

$\bar{e}$ – средняя высота выступа шероховатости, м;

$\delta_{\text{тр}}$ – ширина раскрытия повреждения (трещины), м.

Учитывая, что изменение осредненного коэффициента фильтрации облицовки ($K'_{\text{обл}}$) подчиняется нормальному закону Гаусса, для определения его значения найдем средний уровень допускаемой величины ν по зависимости [11]:

$$\nu = \frac{\nu_{K'_{\text{обл}}} \cdot \sigma_{K'_{\text{обл}}}}{\sqrt{\sigma_{K'_{\text{обл}}}^2 + \sigma_{K'_{\text{обл.доп}}}^2}} \cdot \exp \left[\frac{-(K'_{\text{обл.доп}} - \bar{K}'_{\text{обл}})^2}{2 \cdot (\sigma_{K'_{\text{обл}}}^2 + \sigma_{K'_{\text{обл.доп}}}^2)} \right], \quad (1)$$

где $\nu_{K'_{\text{обл}}}$ – частота выброса коэффициента фильтрации облицовки, определяемая по выражению вида [11]:

$$\nu_{K'_{\text{обл}}} = \frac{N_0}{\tau},$$

где N_0 – среднее число нулей случайного процесса $\varphi(K'_{\text{обл}})$ за время τ , определяется путем подсчета числа пересечений кривой среднего уровня коэффициента фильтрации облицовки $K'_{\text{обл}}$;

$\sigma_{K'_{\text{обл}}}$ – среднеквадратическое отклонение коэффициента фильтрации облицовки, %;

$\sigma_{K'_{\text{обл.доп}}}$ – среднеквадратическое отклонение допускаемого значения коэффициента фильтрации для соответствующего типа облицовки, м/с;

$\bar{K}'_{\text{обл}}$ – среднее значение коэффициента фильтрации облицовки, м/сут.

Считается, что выброс коэффициента фильтрации облицовки за средний уровень – случайное и достаточно редкое событие, примем его распределение по закону Пуассона. Отсюда следует, что вероятность P появления n' превышений уровня $K'_{\text{обл.доп}}$ за время τ можно представить в виде зависимости:

$$P = \frac{(\nu\tau)^{n'} e^{-\nu\tau}}{n'!}. \quad (2)$$

Отказ облицовки канала (превышение осредненного коэффициента фильтрации допускаемого значения) будет исключен при $n' = 0$, следовательно, из выражения (2) получаем:

$$P = e^{-\nu\tau}. \quad (3)$$

Решая уравнения (1) и (3) совместно, получим:

$$K'_{\text{обл}} = \frac{K'_{\text{обл.доп}}}{1 + \frac{\sqrt{\sigma_{K'_{\text{обл}}}^2 + \sigma_{K'_{\text{обл.доп}}}^2}}{\bar{K}'_{\text{обл}}}} \cdot \sqrt{-2 \ln \left(\frac{-\ln P}{\gamma_o \cdot \tau \cdot \bar{v}_{K'_{\text{обл}}}} \right)},$$

где γ_o – плотность воды, кг/см³;

$\bar{v}_{K'_{\text{обл}}}$ – средняя частота выброса коэффициента фильтрации облицовки.

С учетом преобразований для характеристики надежности облицовки получаем выражение:

$$\eta_n = 1 + \frac{\sqrt{\sigma_{K'_{\text{обл}}}^2 + \sigma_{K'_{\text{обл.доп}}}^2}}{\bar{K}'_{\text{обл}}} \cdot \sqrt{-2 \ln \left(\frac{-\ln P}{\gamma_o \cdot \tau \cdot \bar{v}_{K'_{\text{обл}}}} \right)},$$

$$\gamma_o = \frac{\sigma_{K'_{\text{обл}}}}{\sqrt{\sigma_{K'_{\text{обл}}}^2 + \sigma_{K'_{\text{обл.доп}}}^2}}.$$

Из вышеизложенного следует, что зависимость для определения расчетного допускаемого коэффициента фильтрации облицовки с заданной вероятностью P будет иметь следующий вид:

$$K'_{\text{обл}}(P) = \frac{K'_{\text{обл.доп}}}{\eta_n}.$$

Представленные формулы дают возможность определить допускаемый коэффициент фильтрации облицовки канала с заданной надежностью и вероятностью безотказной работы P при сроке эксплуатации канала τ и числе выбросов $\bar{v}_{K'_{\text{обл}}}$. Принимая достаточно высокое значение вероятности безотказной работы облицовки $P = 0,99$, можно определить допускаемый коэффициент фильтрации, при котором фильтрационные потери (вследствие водопроницаемости) сократятся до минимальных значений. С учетом этого обеспечивается сохранение высоких противифльтрационных свойств защитного покрытия на весь период эксплуатации канала.

Определение расчетных допускаемых значений осредненных коэффициентов фильтрации бетонных, железобетонных, бетоноплочных облицовок способствует обеспечению контроля их противифльтрационной эффективности [13]. Для безаварийного функционирования оросительных каналов мелиоративных систем в течение продолжительного периода эксплуатации следует своевременно проводить текущие или капитальные ремонты противифльтрационных облицовок, так как они со временем разрушаются, на их поверхности образуются различные дефекты в виде трещин, сколов, выбоин, коррозии и шелушения бетона, что значительно снижает эффективность их работы [14].

Ширина ремонтного паза B_p , м, в облицовке определяется по следующей зависимости:

$$B_p = \frac{\Delta b \cdot 100}{K \cdot \varepsilon},$$

где Δb – ширина раскрытия трещины, м;

K – коэффициент, учитывающий уменьшение показателей физико-механических характеристик герметиков в период их работы, $K = 0,1$;

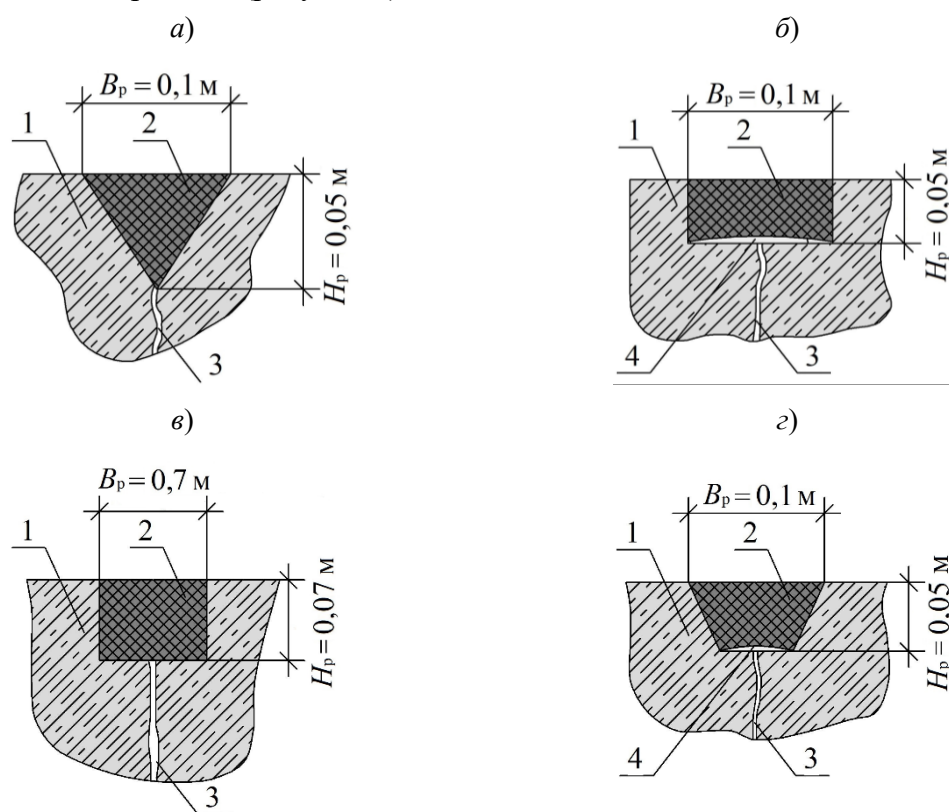
ε – величина деформирования герметиков, %.

Глубина ремонтного паза H_p , м, принимается с учетом сохранности полимерных материалов от внешних воздействий и условий их укладки в паз по выражению:

$$H_p \approx 0,7B_p.$$

На основании анализа работоспособности полимерных ремонтных композиций (ПРК) устанавливается возможность их применения для условий эксплуатации каналов и гидромелиоративных объектов. При этом выполнен анализ следующих характеристик: цикличность изменения ширины трещин и швов, максимальная величина ε при низких температурах, постоянное воздействие воды и уменьшение относительных деформаций (на 50–100 %) в зоне образования трещин и повреждений.

Для пассивной трещины ширину ремонтного паза B_p устанавливают по фактической ширине раскрытия и удобству проведения работ, а высота паза H_p должна приниматься по ширине паза. Для ремонта бетонной облицовки необходимо произвести заделку паза по трещине. Исходя из вышесказанного представлено четыре профиля разделки паза по трещине (рисунок 1).



a – треугольная; $б$ – прямоугольная (с противадгезионным слоем); $в$ – прямоугольная (без противадгезионного слоя); $г$ – трапециевидальная с противадгезионным слоем;

1 – железобетонная конструкция; 2 – герметизирующий материал;

3 – трещина в железобетонной конструкции; 4 – противадгезионный слой

Рисунок 1 – Схемы профилей разделки паза по трещинам

Figure 1 – Schemes of groove cutting profiles along cracks

Условия применения предлагаемых схем разделки повреждений в виде трещин варьируются в зависимости от условий эксплуатации канала и подразделяются по следующим показателям:

- разделка паза по схеме *а* выполняется на участках с наиболее высокими напряжениями конструкций;
- разделка паза по схеме *б* принимается за базовый профиль, как наиболее простой в исполнении;
- разделка паза по схеме *в* выполняется по требованиям касательных напряжений;
- разделка паза *г* характеризуется наиболее низкими напряжениями в сечении конструкций.

В качестве базового профиля разделки трещин возьмем схему *б* как наиболее простую в выполнении. При заполнении полимерным материалом (герметиком) разделки паза в условиях низких температур воздуха значение B_p будет максимальным, что скажется положительно на напряженном состоянии.

Выводы

1 Обобщены расчетные зависимости для определения значений коэффициента фильтрации бетонных, бетоноплочных и железобетонных противофильтрационных облицовок каналов с заданной надежностью и вероятностью безотказной работы при определенном сроке эксплуатации канала.

2 Приведены зависимости для определения ширины и глубины разделки ремонтного паза с целью восстановления водонепроницаемости трещин в облицовках каналов, а также схемы профилей разделки паза по трещинам для восстановления их водонепроницаемости полимерными герметизирующими материалами.

Список источников

1. Ищенко А. В. Повышение эффективности и надежности противофильтрационных облицовок оросительных каналов. Ростов н/Д.: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2006. 212 с.

2. Ольгаренко В. И., Ольгаренко Г. В., Рыбкин В. Н. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем. Коломна, 2006. 391 с.

3. Алимов А. Г. Противофильтрационная защита канала и водоемов // Гидротехническое строительство. 2008. № 4. С. 36–41.

4. Косиченко Ю. М., Бородин В. А., Ищенко А. В. Инструкция по расчету водопроницаемости и эффективности противофильтрационных облицовок каналов / Союзгипроводхоз, ЮжНИИГиМ. М., 1984. 72 с.

5. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Теоретическая оценка водопроницаемости противофильтрационной облицовки нарушенной сплошности // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2014. № 3(178). С. 68–74.

6. Основные принципы и методы эксплуатации магистральных каналов и сооружений на них: монография / под общ. ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2015. 361 с.

7. Сольский С. В., Быковская С. А. Анализ основных причин нарушений противофильтрационных элементов из геомембран на гидротехнических сооружениях // Гидротехническое строительство. 2021. № 2. С. 33–40.

8. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Рекомендации по применению геосинтетических материалов для противофильтрационных экранов каналов, водоемов и накопителей / ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск, 2015. 64 с. Деп. в ВИНТИ 12.01.15, № 1-В2015.

9. Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин [и др.]. М.: Агропромиздат, 1988. 160 с.

10. Гарбуз А. Ю. Ремонт повреждений облицовок длительно работающих каналов с использованием полимерных композиций // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2015. № 2(58). С. 33–39.

11. Мирцхулава Ц. Е. О надежности крупных каналов. М.: Колос, 1981. 318 с.

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

13. Косиченко Ю. М., Иовчу Ю. И. Критерии эксплуатационной надежности оросительных каналов // Природообустройство. 2008. № 1. С. 70–73.

14. Гарбуз А. Ю. К вопросу гидроизоляции трещин длительно работающих облицованных каналов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 2(62). С. 119–124.

References

1. Ishchenko A.V., 2006. *Povyshenie effektivnosti i nadezhnosti protivofil'tratsionnykh oblitsovok orositel'nykh kanalov* [Improving the Efficiency and Reliability of Impervious Linings of Irrigation Canals]. Rostov-on-Don, Universities Bulletin. North-Caucasian Region. Technical sciences Publ., 212 p. (In Russian).

2. Olgarenko V.I., Olgarenko G.V., Rybkin V.N., 2008. *Ekspluatatsiya i monitoring meliorativnykh system* [Operation and Monitoring of Reclamation Systems]. Kolomna, 236 p. (In Russian).

3. Alimov A.G., 2008. *Protivofil'tratsionnaya zashchita kanala i vodoemov* [Anti-filtration protection of canals and water bodies]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 4, pp. 36-41. (In Russian).

4. Kosichenko Yu.M., Borodin V.A., Ishchenko A.V., 1984. *Instruktsiya po raschetu vodopronitsaemosti i effektivnosti protivofil'tratsionnykh oblitsovok kanalov* [Instructions for Calculating the Water Permeability and Efficiency of Impervious Linings of Canals]. Soyuzgiprovdokhoz, YuzhNIIGiM, Moscow, 72 p. (In Russian).

5. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2014. *Teoreticheskaya otsenka vodopronitsaemosti protivofil'tratsionnoy oblitsovki narushennoy sploshnosti* [Theoretical assessment of water permeability of impervious lining of discontinuities]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences], no. 3(178), pp. 68-74. (In Russian).

6. Shchedrin V.N., 2015. *Osnovnye printsipy i metody ekspluatatsii magistral'nykh kanalov i sooruzheniy na nikh: monografiya* [Basic Principles and Methods of Operation of the Main Canals and Structures on Them: monograph]. Novocherkassk, RosNIIPM, 361 p. (In Russian).

7. Solsky S.V., Bykovskaya S.A., 2021. *Analiz osnovnykh prichin narusheniy anti-filtratsionnykh elementov iz geomembran na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh* [Analysis of main causes of structural failures in impermeable geomembrane liners of hydraulic structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 2, pp. 33-40. (In Russian).

8. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2015. *Rekomendatsii po primeneniyu geosinteticheskikh materialov dlya protivofil'tratsionnykh ekranov kanalov, vodoemov i nakopiteley* [Recommendations on the use of geosynthetics for geomembrane canals, ponds and reservoirs]. Novocherkassk, 64 p., deposited in VINITI on 12.01.2015, no. 1-B2015. (In Russian).

9. Altunin V.S. [et al.], 1988. *Zashchitnye pokrytiya orositel'nykh kanalov* [Protective Coatings for Irrigation Canals]. Moscow, Agropromizdat Publ., 160 p. (In Russian).

10. Garbuz A.Yu., 2015. *Remont povrezhdeniy oblitsovok dlitel'no rabotayushchikh kanalov s ispol'zovaniem polimernykh kompozitsiy* [Repair of damage to the lining of long-running canals using polymer compositions]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(58), pp. 33-39. (In Russian).

11. Mirtskhulava Ts.E., 1981. *O nadezhnosti krupnykh kanalov* [On Reliability of Large Canals]. Moscow, Kolos Publ., 318 p. (In Russian).

12. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2014. *Protivofil'tratsionnye pokrytiya iz geosinteticheskikh materialov* [Anti-filtration Coatings from Geosynthetic Materials]. Novocherkassk, RosNIIPM, 239 p. (In Russian).

13. Kosichenko Yu.M., Iovchu Yu.I., 2008. *Kriterii ekspluatatsionnoy nadezhnosti orositel'nykh kanalov* [Criteria for operational reliability of irrigation canals]. *Prirodobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 1, pp. 70-73. (In Russian).

14. Garbuz A.Yu., 2016. *K voprosu gidroizolyatsii treshchin dlitel'no rabotayushchikh oblitsovannykh kanalov* [On issue of waterproofing cracks in long-term lined canals]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture], no. 2(62), pp. 119-124. (In Russian).

Информация об авторе

А. Ю. Гарбуз – научный сотрудник, кандидат технических наук.

Information about the author

A. Yu. Garbuz – Researcher, Candidate of Technical Sciences.

Автор несет ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

The author is responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.02.2023; одобрена после рецензирования 31.03.2023; принята к публикации 03.04.2023.

The article was submitted 20.02.2023; approved after reviewing 31.03.2023; accepted for publication 03.04.2023.