

На правах рукописи



Гарбуз Александр Юрьевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА
БЕТОННЫХ ОБЛИЦОВОК ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ
КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новочеркасск – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

Научный руководитель: **Баев Олег Андреевич**
кандидат технических наук, руководитель гидротехнического отдела, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Официальные оппоненты: **Ламердонов Замир Галимович**
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Природообустройство», ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова»

Абдразаков Фярид Кинжаевич
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Природообустройство, строительство и теплоэнергетика», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова», почетный работник ВПО РФ, эксперт РАН

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Защита состоится « 22 » декабря 2021 г. в 10 ч. 00 мин. на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.214.02 при ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» по адресу: 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская 111, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ <http://www.ngma.su>, на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ <http://vak.ed.gov.ru/>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д-р с.-х. наук, доцент



И. В. Воскобойникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В Российской Федерации сеть каналов межбассейнового и внутрибассейнового перераспределения стока (общей протяженностью более 3 тыс. км) осуществляют переброску стока в объеме до 17 км³/год, что гарантирует надежное обеспечение потребностей различных регионов страны в водных ресурсах. Мелиоративные каналы оросительных систем различного порядка имеют протяженность более 23 тыс. км, а использование воды при орошении составляет порядка 8,5 км³/год, при этом потери – 2,6 км³/год или более 30 % от объема воды, подаваемой на орошение.

В целях сокращения значительных потерь воды на фильтрацию при ее транспортировании от водоисточника до орошаемого поля необходимо обеспечить надежную работу бетонных облицовок каналов, общая протяженность которых достигает 20 %, при планах по реконструкции оросительных сетей (в том числе восстановлению и ремонту) до 45 % от всей протяженности каналов.

Согласно «Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации на 2022–2031 годы» планируется строительство, модернизация, реконструкция и техническое перевооружение мелиоративных систем, в том числе оросительных и магистральных каналов с применением современных материалов и усовершенствованных технологий, для предотвращения выбытия из оборота земель сельскохозяйственного назначения до 2956,3 тыс. га.

Для уменьшения потерь воды из каналов, увеличения срока службы бетонных облицовок мелиоративных систем, целесообразно применение современных защитных покрытий из полимерных композиционных материалов. Такие облицовки уже получили широкое распространение в США, Германии, Франции и ряде других стран в качестве эффективного средства, направленного на уменьшение фильтрационных потерь, при ремонте и реконструкции бетонных элементов, заделке деформационных швов облицовок и др.

Степень разработанности темы исследований. Изучением защитных покрытий из полимерных материалов на оросительных системах занимались многие ученые: А.Г. Алимов, О.А. Баев, М.А. Бандурин, В.А. Белов, Р.М. Горбачев, И.М. Елшин, А.В. Ищенко, Ю.М. Косиченко, А.А. Миронов, В.Б. Резник, В.М. Рубин, С.В. Сольский, Н.В. Ханов, В.Н. Щедрин и др.

Технологии, способы ремонта и восстановления оросительных систем изучены в работах: Ф.К. Абдразакова, В.М. Давиденко В.И. Ольгаренко, А.А. Созаева, Н.Ф. Чередниченко, И.А. Чуприна и др.

За рубежом в середине XX века стали проводиться натурные эксперименты по использованию покрытий из полимерных композиционных материалов различной толщины при строительстве и реконструкции оросительных каналов и плотин, такими учеными как: D. Cazzuffi, A. Matsuoka, T. Nishiba, T. Ono,

D. Papadopoulos, M. Rogers, J. Winfield и др. В России такие покрытия стали разрабатываться и применяться с середины 1990-х годов, однако исследования по применению жидких полимерных композиционных материалов для ремонта бетонных облицовок каналов практически не проводились.

Цель работы заключается в научном обосновании конструктивно-технических решений и технологий для ремонта бетонных облицовок оросительных каналов жидкими полимерными композиционными материалами, создании моделей водопроницаемости облицовок при наличии трещин.

Задачи исследований:

- изучить отечественный и зарубежный опыт применения полимерных композиционных материалов для ремонта облицовок мелиоративных каналов;
- разработать гидравлическую модель водопроницаемости бетонной облицовки при длительной эксплуатации оросительного канала;
- разработать теоретическую модель водопроницаемости бетонопленочной облицовки с закоматированными швами с учетом и без учета их проницаемости при длительной эксплуатации каналов мелиоративных систем;
- провести лабораторные исследования процесса водопроницаемости поврежденных участков бетонной облицовки канала в виде трещин различной ширины и длины;
- дать оценку водопроницаемости реконструируемого участка оросительного канала с облицовкой из композиционных материалов;
- разработать технологии ремонта повреждений бетонных облицовок каналов мелиоративных систем;
- выполнить оценку эффективности ремонта мелиоративных каналов с использованием новых способов и технологий.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработана гидравлическая модель и методика расчета водопроницаемости бетонной облицовки канала с различной шириной раскрытия трещин, а также полностью или частично разрушенными деформационными швами;
- получены новые зависимости для определения удельного расхода через трещины бетонной облицовки оросительного канала при истечении в атмосферу и грунт основания, а также расчетные формулы для определения удельного расхода через закоматированные швы;
- выполнены лабораторные исследования водопроницаемости трещин бетонных облицовок каналов, по результатам которых получены графические и эмпирические зависимости;
- представлены результаты натурных исследований ремонта облицовок мелиоративных каналов жидкими полимерными композициями (заделки швов и трещин) различных повреждений;
- разработан новый способ ремонта и герметизации повреждений бетонных облицовок каналов, на который получен патент на изобретение РФ;

– разработана технология ремонта бетонных облицовок каналов жидкой резиной, позволяющая осуществлять ремонт поверхностных повреждений бетона облицовки (большой и малой площади, а также разрушенных швов и трещин), на которую получен патент на изобретение РФ;

– разработана методика расчета водопроницаемости бетонной облицовки канала с закольматированными швами, которая зарегистрирована в качестве программы для ЭВМ;

– разработана методика и программа гидравлического расчета основных параметров водопроницаемости бетонной облицовки каналов.

Теоретическую и практическую значимость работы составляют:

– методики расчета и номограммы для определения основных параметров водопроницаемости трещин бетонных облицовок мелиоративных каналов;

– теоретические и эмпирические зависимости для определения водопроницаемости бетонных облицовок каналов;

– новые способы, технологии ремонта и герметизации повреждений бетонных облицовок мелиоративных каналов, защищенные патентами РФ;

– методика гидравлического расчета основных параметров каналов, зарегистрированная в качестве программы для ЭВМ.

Методология и методы диссертационного исследования. Методология исследований состоит в разработке методов расчета и конструктивно-технологических решений для ремонта бетонных облицовок каналов с целью снижения потерь воды на фильтрацию из мелиоративных систем при подаче воды на орошение, и продления срока службы. При проведении исследований использовались теоретические, лабораторные и натурные методы. Теоретические исследования проводились методами теории фильтрации (метод конформных отображений), уравнения Бернулли и надежности (метод Аррениуса). Лабораторные исследования осуществлялись на модели бетонной облицовки (фильтрационной колонке). Натурные наблюдения выполнялись на действующих каналах мелиоративных систем (Багаевских распределительных каналах: Бг-Р-7, Бг-Р-6, Бг-Р-5).

Объектом исследования являются оросительные каналы мелиоративных систем.

Предмет исследования – конструктивно-технические решения ремонта облицовок оросительных каналов полимерными композициями.

Положения, выносимые на защиту:

– гидравлическая модель водопроницаемости бетонной облицовки канала через трещины и швы (полностью или частично разрушенные);

– теоретические и эмпирические зависимости для расчета удельного расхода через трещины бетонных облицовок при истечении в атмосферу и грунт основания, а также расчетные формулы для определения водопроницаемости через закольматированные швы бетонных облицовок;

- результаты лабораторных исследований водопроницаемости трещин бетонных облицовок на фильтрационной колонке;
- данные оценки участков бетонных облицовок каналов до и после ремонта жидкими полимерными композитами;
- новый способ ремонта и герметизации повреждений бетонных облицовок мелиоративных каналов;
- новая технология и способ ремонта бетонных облицовок длительно-работающих каналов полимерным композиционным материалом жидкая резина.

Степень достоверности подтверждается значительным объемом проведенных исследований и обработкой полученных данных с применением ПЭВМ, сравнением результатов экспериментальных исследований на фильтрационной колонке, данными натурных наблюдений с расчетами по полученным теоретическим зависимостям и формулами других авторов.

Внедрение результатов. Способы ремонта и герметизации повреждений бетонных облицовок оросительных каналов по патентам на изобретения № 2669302 и № 2732588 внедрены в ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз» при проведении реконструкции Нижне-Маньчской оросительной системы с ожидаемым экономическим эффектом 1,7 и 2,12 млн руб. Методики гидравлических и оптимизационных расчетов магистрального и распределительного каналов различного порядка по программе для ЭВМ № 2014619417 «RasChet.canal» апробированы в Сальском филиале «Управление «Ростовмелиоводхоз» при проведении гидравлических расчетов основных параметров каналов оросительной системы и выполнении оптимизационных расчетов с ожидаемым экономическим эффектом 262,55 тыс. руб.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: IV Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации», г. Новочеркасск, 15 сентября 2017 г.; VII международной научной конференции «Технические науки в России и за рубежом», г. Москва, Ноябрь 2017; XII Международной научно-практической конференции «Техновод-2019» 22–23 октября 2019 г., г. Москва; Научно-практической конференции «Повышение надежности противofильтрационных облицовок каналов и безопасности низконапорных гидротехнических сооружений», г. Новочеркасск, 20 мая 2016 г.; Научно-практической конференции «Техническое состояние и безопасность мелиоративных систем» 25 апреля 2018 г.; Научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации» 28 августа 2020 г.; Научно-практической конференции «Современные проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса и пути их решения» 30 октября 2020 г.; Научно-практической конференции «Техническое состояние и безопасность мелиоративных систем» 19 февраля 2021 г. и других.

Публикации. Научные результаты изложены в 19 публикациях, из которых 5 статей опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, 1 статья в «Scopus», 3 патента на изобретения РФ и 2 программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и 2 приложений. Общий объем работы составляет 176 страниц машинописного текста, включая 62 рисунка, 32 таблицы, список литературы из 132 наименований, в том числе 14 иностранных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность темы диссертации, поставлена цель и основные задачи исследований, которые необходимо было решить для достижения поставленной цели, сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также методы исследований и достоверность, приведены результаты внедрения и апробации основных результатов диссертационной работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор зарубежного и отечественного опыта применения полимерных композиций для ремонта бетонных поверхностей мелиоративных каналов, который показал, что жидкие композиционные материалы на основе полимеров могут успешно применяться в мелиоративном строительстве при соответствующем научном обосновании.

Представлены некоторые существующие способы и технологии ремонта бетонных облицовок каналов мелиоративных систем жидкими полимерными композициями, в которых выявлены основные недостатки и преимущества.

Выполненный анализ известных работ в области водопроницаемости и долговечности защитных покрытий оросительных каналов свидетельствует о недостаточной изученности вопросов фильтрации в трещинах данных покрытий. В связи с этим необходима разработка и исследование защитных покрытий из полимерных жидких композиционных материалов для ремонта бетонных и железобетонных конструкций мелиоративных каналов.

Во второй главе приводятся результаты теоретических исследований водопроницаемости бетонных облицовок каналов при наличии в них трещин.

Целью данных исследований – решение ряда теоретических задач для получения расчетных формул и оценки водопроницаемости бетонных облицовок каналов в случае образования трещин с использованием гидравлических методов.

Рассмотрим задачу истечения в атмосферу через облицовку лоткового канала мелиоративной системы с использованием уравнения Бернулли (рисунок 1).

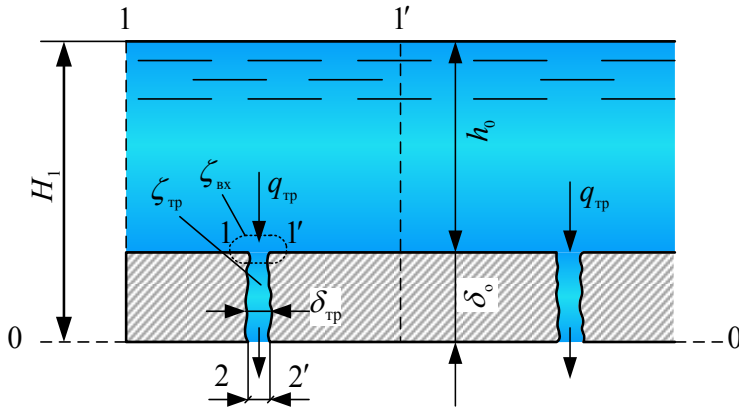


Рисунок 1 – Расчетная схема водопроницаемости трещин облицовки канала

При решении задачи приняты следующие допущения:

- поток воды в трещине считается установившимся и равномерным;
- стенки трещины приняты параллельными, а ее длина значительной;
- истечение потока из трещины принято свободным и происходит в атмосферу;
- режим движения в трещине принимается ламинарным при $Re < Re_{кр}$,

где Re – число Рейнольдса при движении потока в трещине; $Re_{кр}$ – критическое число Рейнольдса (при переходе из ламинарного в турбулентное движение).

Применяя уравнение Бернулли для предложенной расчетной схемы (см. рисунок 1) сечений 1–1' и 2–2' и плоскости 0–0, получим:

$$H_1 = h_0 + \delta_0 = \left(\zeta_{вх} + \lambda \cdot \frac{\delta_0}{0,5 \cdot \delta_{тр}} \right) \cdot \frac{v_{тр}^2}{2g}, \quad (1)$$

где H_1 – пьезометрический напор в трещине облицовки канала относительно плоскости 0–0; h_0 – глубина над облицовкой, м; δ_0 – толщина облицовки, м; $\zeta_{вх}$ – коэффициент сопротивления входа; λ – коэффициент Дарси (сопротивления); $\delta_{тр}$ – ширина раскрытия трещины, м; $v_{тр}$ – средняя скорость в трещине, м/с.

Из уравнения (1) находим формулу средней скорости в трещине:

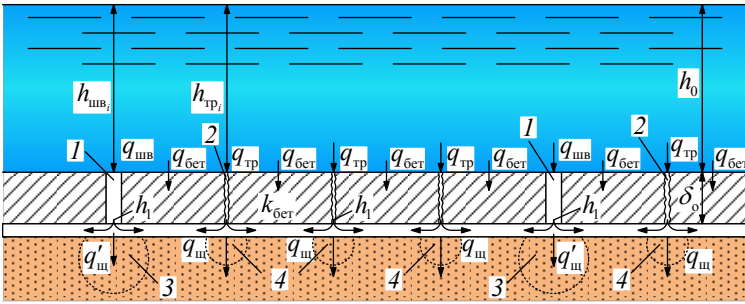
$$v_{ср,тр} = \sqrt{\frac{2g \cdot (h_0 + \delta_0)}{\zeta_{вх} + \lambda \cdot (\delta_0 / 0,5 \cdot \delta_{тр})}}; \quad (2)$$

– удельного расхода через трещину облицовки:

$$q_{тр} = \sqrt{\frac{2g \cdot (h_0 + \delta_0) \cdot \delta_{тр}^2}{\zeta_{вх} + \lambda \cdot (\delta_0 / 0,5 \cdot \delta_{тр})}}, \quad (3)$$

где $\lambda = 6/Re$ – коэффициент сопротивления для условий ламинарного режима с гладкими стенками (по Г. М. Ломизе).

Далее рассмотрим гидравлическую модель водопроницаемости бетонной облицовки при наличии трещин и негерметичных (разрушенных) швов на оросительном канале гидромелиоративной системы (рисунок 2).



- 1 – разрушенные швы; 2 – сквозные трещины;
 3 – контур промачивания грунта под швами;
 4 – контур промачивания грунта под трещинами
- Рисунок 2 – Схема для расчета водопроницаемости бетонной облицовки канала

Под действием напора на облицовку $H = h_0 + \delta_0$ через трещины и разрушенные швы происходит движение гидравлического потока с растеканием его в основании и формированием контура промачивания. Будем считать, что через трещины и разрушенные швы происходит ламинарное движение.

Общий расход через бетонную облицовку оросительного канала ($Q_{\text{общ}}$, м³/с) находим, как сумму локальных расходов через сквозные трещины по дну и на откосах канала, разрушенные швы и через бетон облицовки:

$$Q_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^{n_1} q_{\text{тр}_i} + \sum_{i=1}^{n'_1} q'_{\text{тр}_i} + \sum_{i=1}^{n_2} q_{\text{шв}_i} + \sum_{i=1}^{n'_2} q'_{\text{шв}_i} + \sum_{i=1}^{n_3} q_{\text{бет}_i} \cdot f_{\text{обл}_i} + \sum_{i=1}^{n'_3} q'_{\text{бет}_i} \cdot f'_{\text{обл}_i}, \quad (4)$$

где $q_{\text{тр}_i}$, $q_{\text{шв}_i}$, $q_{\text{бет}_i}$ – локальные расходы через трещины, разрушенные швы и бетон облицовки по дну оросительного канала, м³/с; $q'_{\text{тр}_i}$, $q'_{\text{шв}_i}$, $q'_{\text{бет}_i}$ – локальные расходы через трещины, швы и бетон облицовки на откосах м³/с; $f_{\text{обл}_i}$, $f'_{\text{обл}_i}$ – площади облицовки оросительного канала по дну и на откосах, м².

Для расчета используем формулы, полученные Г. М. Ломизе:

– при ламинарном режиме в трещинах с гладкими стенками ($Re < 600$):

$$q_{\text{тр}} = \frac{\rho}{12 \cdot \mu} \cdot \delta_{\text{тр}}^3 \cdot I_0 \cdot l_{\text{тр}}; \quad (5)$$

– при ламинарном режиме в трещинах с шероховатыми стенками ($Re < 600$):

$$q_{\text{тр}} = \frac{\rho}{12 \cdot \mu} \cdot \delta_{\text{тр}}^3 \cdot I \cdot \frac{l_{\text{тр}}}{1 + 6 \cdot \left(\frac{e}{\delta_{\text{тр}}} \right)^{1,5}}, \quad (6)$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; $\delta_{\text{тр}}$, $l_{\text{тр}}$ – ширина и длина раскрытия трещины, м; I – градиент напора в трещинах с учетом параметра h_1 по подошве; μ – динамическая вязкость воды, кг/(м·с); e – высота шероховатости стенок трещины, м.

Неизвестный параметр по подошве облицовки (h_1) вычисляется по расчетным формулам, полученным автором из уравнения неразрывности:

– для трещины:

$$h_1 = \frac{(\rho/12 \cdot \mu) \cdot H_1 \cdot \delta_{\text{тр}}^3 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \text{Arch}(2l_p/\pi \cdot \delta_{\text{тр}})}{(\rho/12 \cdot \mu) \cdot \delta_{\text{тр}}^3 \cdot l_{\text{тр}} \cdot \text{Arch}(2l_p/\pi \cdot \delta_{\text{тр}}) + \pi \cdot k_{\text{тр}} \cdot \delta_0}; \quad (7)$$

– для полностью разрушенного шва:

$$h_1 = \frac{(\rho/12 \cdot \mu) \cdot H_1 \cdot \delta_{шв}^3 \cdot l_{шв} \cdot Arch(2l'_p / \pi \cdot \delta_{шв})}{(\rho/12 \cdot \mu) \cdot \delta_{шв}^3 \cdot l_{шв} \cdot Arch(2l'_p / \pi \cdot \delta_{шв}) + \pi \cdot k_{тр} \cdot \delta_o}; \quad (8)$$

– для частично разрушенного шва:

$$h_1 = \frac{(\rho/12 \cdot \mu) \cdot H_1 \cdot \delta_{шв_н}^3 \cdot l_{шв} \cdot Arch(2l_p / \pi \cdot \delta_{шв_н})}{(\rho/12 \cdot \mu) \cdot \delta_{шв_н}^3 \cdot l_{шв} \cdot Arch(2l'_p / \pi \cdot \delta_{шв_н}) + \pi \cdot k_{тр} \cdot \delta_o}, \quad (9)$$

где l_p – ширина растекания потока в основании под трещиной (швом), м, которая определяется по зависимостям:

$$l_p = \delta_{тр} + 2(h_o + \delta_o); \quad (10)$$

$$l'_p = \delta_{шв} + 2(h_o + \delta_o), \quad (11)$$

где $\delta_{шв_н}$ – ширина шва при частичном его разрушении ($\delta_{шв_н} = \lambda_1 \cdot \delta_{шв}$), м; λ_1 – степень разрушенности шва ($\lambda_1=1,0-0,1$); H_1 – напор по подошве облицовки, м.

На основании проведенных расчетов в программном комплексе «Mathcad» для практического использования были построены графики для определения удельного гидравлического расхода трещин бетонных облицовок оросительных каналов с гладкими и шероховатыми стенками (рисунок 3).

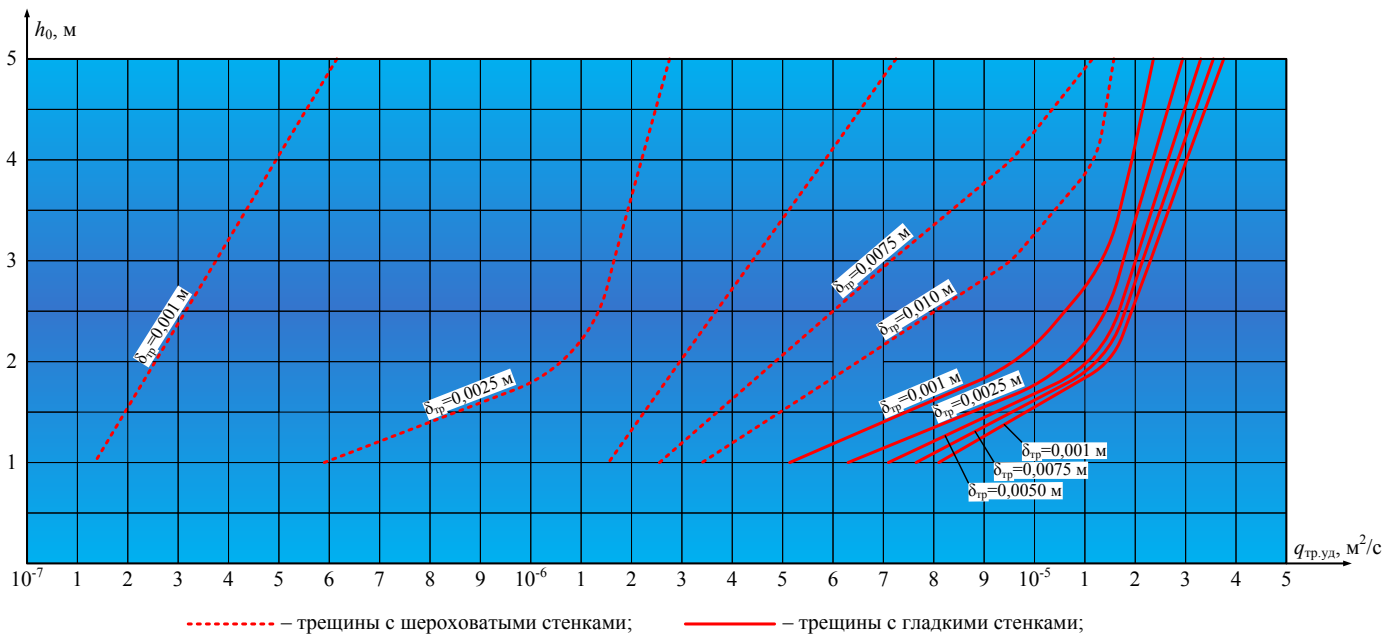


Рисунок 3 – График $q_{тр,уд} = f(\delta_{тр}, h_0)$ для определения удельного гидравлического расхода на 1 п. м длины трещин с гладкими и шероховатыми стенками

Кроме того, получено решение общей задачи водопроницаемости через облицовку оросительного канала с полимерной мембраной и защитным покрытием из бетона с кольматацией разрушенных швов.

При решении данной задачи использован один из методов теории фильтрации – метод конформных отображений. Действительная область представляет собой четырехугольник, который отображается на область комплексного потен-

циала. В результате была получена точная формула для определения удельного фильтрационного расхода через закольматированный шов в виде:

$$q_{\phi} = \frac{2k_{\text{кол}} \cdot H}{K'(k_2)} \cdot K(k_2), \quad (12)$$

где $k_2 = k_1 \cdot \operatorname{sn}\left(\frac{m \cdot K(k_1)}{\delta_{\text{шв}}}, k_1\right)$; $\frac{K(k_1)}{K'(k_1)} = \frac{\delta_{\text{шв}}}{2\delta_0} \rightarrow k_1$; $k_{\text{кол}}$ – коэффициент фильтрации закольматированного слоя в шве, м/сут.; $K(k_2)$ и $K'(k_2)$ – полные эллиптические интегралы при модулях k_2 и k_2' .

После упрощения зависимости (12) находим приближенную формулу:

$$q_{\phi} = \frac{\pi k_{\text{кол}} \cdot (h_0 + \delta_0)}{\ln(16\delta_0/\pi m)}, \quad (13)$$

где m – ширина дефекта в облицовке из геомембраны, м.

Также были получены формулы для коэффициента фильтрации облицовки вертикальной скорости фильтрации и градиента напора в закольматированном шве.

В случае при отношении $k_{\text{гр}}/k_{\text{кол}} < 10$ (где $k_{\text{гр}}$ – коэффициент грунта основания) необходимо учитывать водопроницаемость грунта основания, вводя неизвестный параметр h_1 .

Тогда расчетные формулы (10) и (11) получают вид:

– точная:

$$q_{\phi} = \frac{2k_{\text{кол}} \cdot (h_0 + \delta_0 - h_1)}{K(k_2')} \cdot K(k_2); \quad (14)$$

– приближенная:

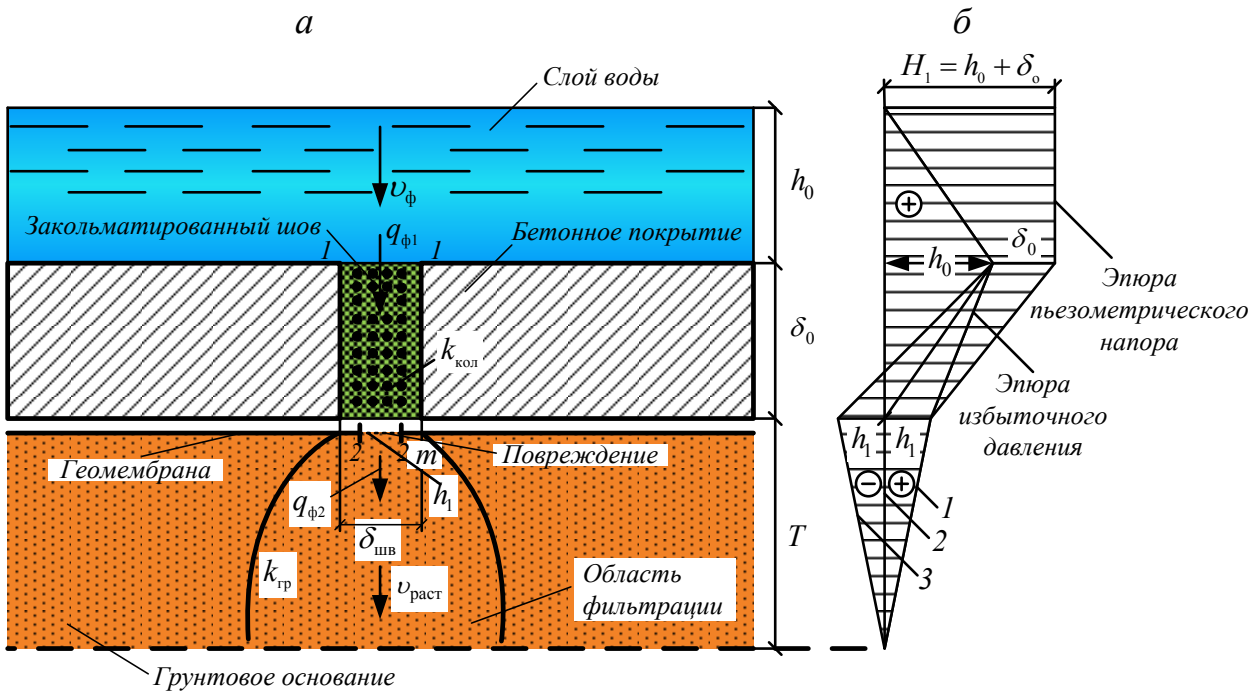
$$q_{\phi} = \frac{\pi k_{\text{кол}} \cdot (h_0 + \delta_0 - h_1)}{\ln(16\delta_0/\pi m)}, \quad (15)$$

где h_1 определяем из выражения:

$$h_1 = \frac{(h_0 + \delta_0) \cdot \operatorname{Arsh}(1/\sqrt{\alpha-1}) - \sigma \cdot H_{\text{к}} \cdot \ln(16\delta_0/\pi m)}{\operatorname{Arsh}(1/\sqrt{\alpha-1}) + \sigma \cdot \ln(16\delta_0/\pi m)}, \quad (16)$$

где α – параметр, вычисляемый по уравнению $m/(h_1 + H_{\text{к}}) = F(\alpha)$; $H_{\text{к}}$ – капиллярный вакуум грунта основания, м.

Особенностью расчета водопроницаемости бетонопленочной облицовки оросительного канала с геомембраной и закольматированными швами является изучение фильтрации через шов облицовки в двухслойной среде. Верхний слой включает грунтовый закольматированный экран, а нижний слой состоит из грунтового основания, в котором будут формироваться различные эпюры избыточного давления. Расчетная модель водопроницаемости закольматированного шва облицовки мелиоративного канала приведена на рисунке 4.



a – схема облицовки; *б* – эпюры пьезометрического и избыточного давления;
 1 – эпюра избыточного давления с положительным знаком и полным насыщением пор водой при $\sigma < \sigma_{гр}$; 2 – эпюра избыточного давления переходная при $\sigma = \sigma_{гр}$; 3 – эпюра избыточного давления с отрицательным знаком и неполным насыщением пор при $\sigma > \sigma_{гр}$

Рисунок 4 – Фильтрационная модель водопроницаемости заклепываемого шва облицовки канала

Анализ исследований двухслойной толщи показал, что когда верхний слой малопроницаемый, а нижний более проницаемый с $k_{кол} < k_{гр}$ устанавливаются три типа эпюр избыточного давления (см. рисунок 4): при $\sigma < \sigma_{гр}$ (где $\sigma = k_{гр}/k_{кол}$, $\sigma_{гр}$ – граничное значение отношений коэффициентов фильтрации при переходе от полного насыщения пор грунта водой к неполному) – избыточное давление положительно, а в основании будет наблюдаться полное насыщение пор водой (эпюра 1); при $\sigma = \sigma_{гр}$ – эпюра избыточного давления в основании падает до нуля (эпюра 2); при $\sigma > \sigma_{гр}$ – эпюра с отрицательным давлением (вакуумом) (эпюра 3), где движение фильтрационного потока будет с неполным заполнением пор. В соответствии с этим пьезометрический напор по границе заклепываемого слоя и грунта основания будет: для 1-го случая – $h_1 > 0$; для 2-го случая – $h_1 = 0$; для 3-го случая – $h_1 < 0$.

Результаты вычислений характеристик водопроницаемости заклепываемых швов при заданных параметрах бетонопленочной облицовки, где $\sigma = k_{гр}/k_{кол}$ принято равным 1,0; 2,5; 10,0 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты вычислений водопроницаемости закольматированных швов бетоноплочной облицовки канала

Расчетный случай, σ	Исходные данные			Расчетные данные				Сравнение характеристик		Характер фильтрации в грунте
	$k_{\text{кол}}$, м/сут.	$k_{\text{гр}}$, м/сут.	$k_{\text{гр}}/k_{\text{кол}}$	h_1 , м	$q_{\text{ф}}$, м/сут.	$v_{\text{шв}}$, м/сут.	$v_{\text{раст}}$, м/сут.	$h_1 \geq 0$	$k_{\text{гр}} \geq v_{\text{раст}}$	
$\sigma < 2,5$	1,0	1,0	1,0	0,584	0,985	19,7	0,274	$h_1 > 0$	$k_{\text{гр}} > v_{\text{раст}}$	С полным насыщением пор
$\sigma = 2,5$	0,4		2,5	0	0,478	9,57	1,02	$h_1 = 0$	$k_{\text{гр}} = v_{\text{раст}}$	Граница перехода к неполному насыщению
$\sigma > 2,5$	0,1		10,0	-0,358	0,134	2,67	2,48	$h_1 < 0$	$k_{\text{гр}} < v_{\text{раст}}$	С неполным насыщением пор

На основании проведенных расчетов было установлено, что граничное значение отношений коэффициентов фильтрации закольматированного слоя к коэффициенту фильтрации грунта основания составляет $\sigma_{\text{кр}} = 2,5$.

В третьей главе приводится описание экспериментальной установки и результаты проведенных лабораторных исследований, а также натурные обследования состояния бетонных облицовок каналов мелиоративных систем.

Экспериментальные исследования проводились на фильтрационной колонке (рисунок 5), состоящей из металлического цилиндра, включающего три секции: для заполнения водой, установки испытываемого образца модели бетонной облицовки канала и грунтового основания.



Рисунок 5 – Общий вид фильтрационной колонки

Модель облицовки мелиоративного канала выполнена из бетона с повреждением в виде продольной шероховатой трещины при условии подобия физической модели природы в масштабе 1:1. Для изготовления данной модели использовалась круглая металлическая форма диаметром 60 см и высотой 10 см, которая заполнялась раствором из цемента и заполнителя из среднезернистого песка в соотношении 1:3. Для имитации повреждения в виде трещины определенной ширины раскрытия применялась шероховатая жесткая пластина. При моделировании водопроницаемости трещины в облицовке рассматривалось установившееся напорное движение жидкости, где напор создавался насосом, который во время опыта поддерживался постоянным.

Замеры расхода через трещину в образце бетонной облицовки проводились мерным сосудом объемным методом при различных значениях напора

$h_0 = 1-10$ м, ширины раскрытия трещины $\delta_{тр} = 1-10$ мм. По результатам опытов определялся удельный расход в трещине $q_{тр}$, м³/сут. На рисунке 6 представлены графики изменения удельного расхода от напора на облицовку канала при различных значениях ширины раскрытия трещины.

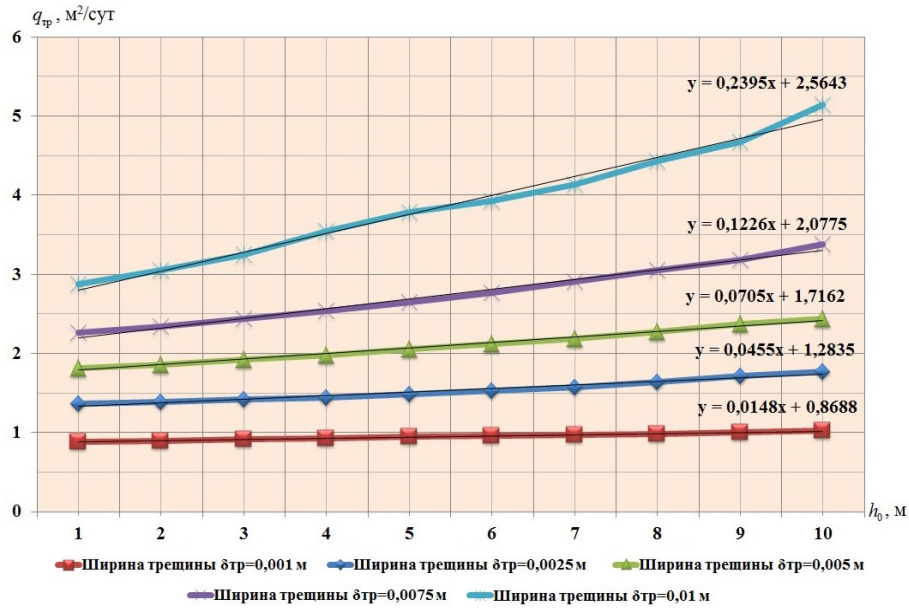


Рисунок 6 – Графики зависимости удельного расхода от напора при различных значениях ширины раскрытия трещины

Кроме того, на фильтрационной колонке проводились экспериментальные исследования кольматирования трещины. Эффект кольматирования достигался добавлением в воду глинистых частиц в течение семи дней, после чего проводились замеры удельного расхода через закольматированные трещины, по результатам был построен график (рисунок 7).

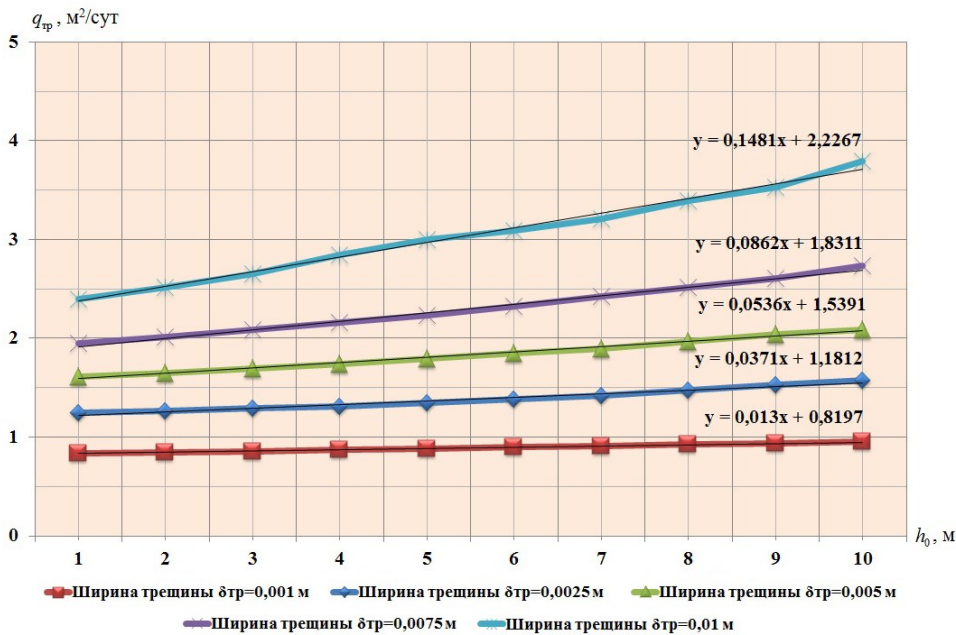


Рисунок 7 – Графики зависимости удельного расхода от напора при различных значениях ширины раскрытия закольматированной трещины

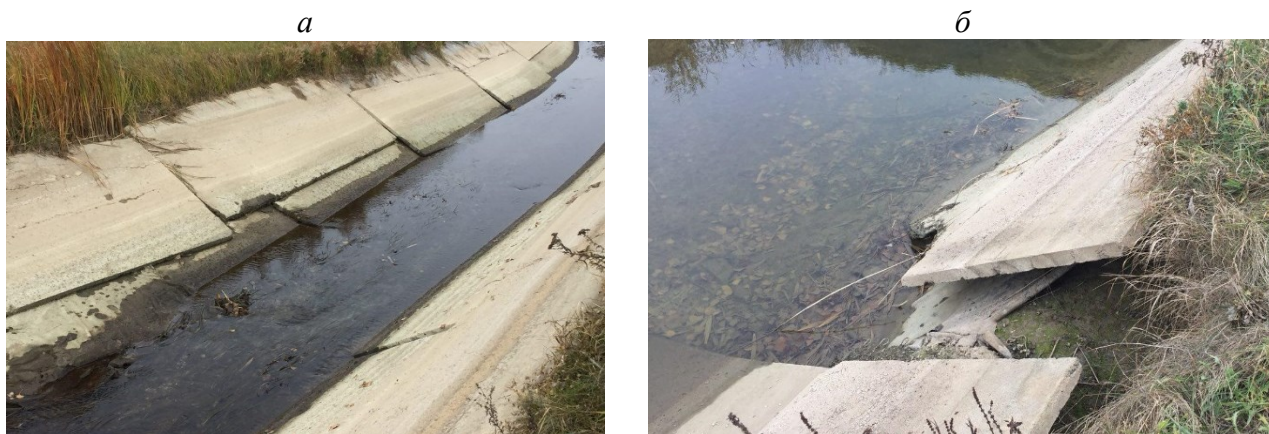
Сравнение значений удельных расходов через трещины облицовки оросительного канала (без и с учетом ее кольматации) показывают, что в случае кольматирования расходы снижаются в зависимости от ширины раскрытия трещины в 1,4–1,5 раз. В натуральных условиях при длительном периоде кольматации в течение 3–5 месяцев противодиффузионный эффект может достигнуть до 2–8 раз, что сопоставляется с исследованиями М. Г. Калтаговой.

В данной главе также рассматривались результаты натурных обследований магистральных каналов Азовской, Багаевской и Нижне-Донской оросительных систем, которые выполнялись в течение 2018–2020 гг.

Задачами обследований являлось определение технического состояния мелиоративных каналов и их эксплуатационных характеристик, которые проводились инструментально и визуально.

Магистральные каналы Азовской и Нижне-Донской оросительных систем устроены в земляном русле трапецеидального сечения и, в основном, в полувыемке-полунасыпи, а Багаевские распределительные каналы Бг-Р-5, Бг-Р-6 и Бг-Р-7 выполнены в бетонной и бетонопленочной облицовках.

Анализ результатов обследования Азовского магистрального канала показывает, что техническое состояние канала оценивается как неудовлетворительное, наблюдается существенное снижение пропускной способности, а КПД оросительного канала составляет 0,75. Нижне-Донской магистральный канал имеет длину 73,9 км и выполнен полностью в земляном русле, а его Семикаракорский распределитель в бетонной облицовке. На данном канале наблюдаются значительные деформации и смещение бетонных плит, разрушение бетонного покрытия и деформационных швов (рисунок 8).



а – текущее состояние распределителя; б – повреждения облицовки оросительного канала

Рисунок 8 – Семикаракорский распределитель Нижне-Донского МК

По результатам обследований распределителей Багаевского магистрального канала (Бг-Р-5, Бг-Р-6, Бг-Р-7), которые выполнены в бетонопленочной облицовке, выявлено частичное или полное разрушение деформационных швов, раскрытие трещин различной ширины и длины, сколы и выбоины, ше-

лушение поверхности бетона, оголение арматуры и другие повреждения, негативно сказывающиеся на работе всей мелиоративной системы (рисунок 9).

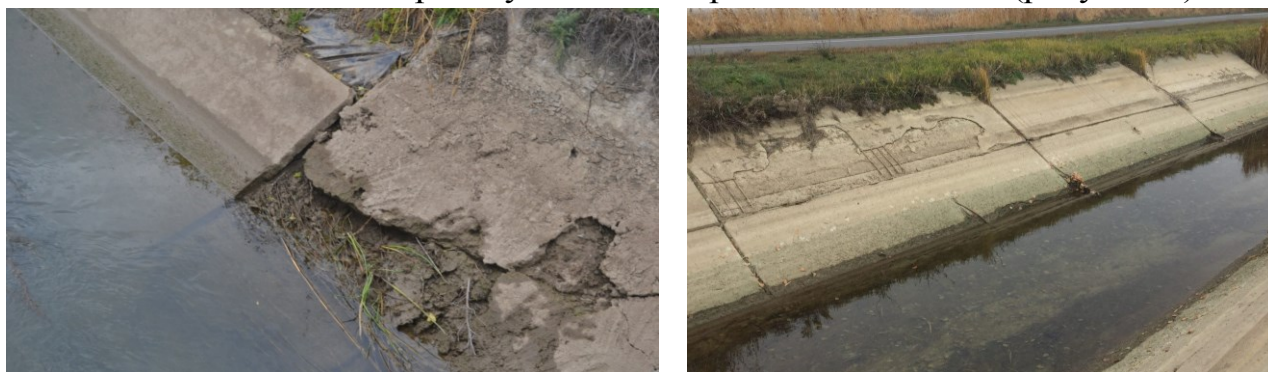


Рисунок 9 – Дефекты поверхности бетонной облицовки канала в виде оголения арматуры, шелушения бетона и сколов

Наряду с этим, также проведена оценка водопроницаемости повреждений бетонного покрытия на распределительном канале 10-Х-4 Багаевской оросительной системы и оценка эффективности заделки трещин и швов бетонной облицовки. По данным исследований, глубина в канале составляет $h_0 = 1,17$ м, ширина по дну $b = 2,0$ м, заложение откосов 1:1.

По результатам натурных обследований поверхности облицовки канала толщиной $\delta_0 = 0,10$ м выявлены дефекты и повреждения, трещины различной длины и ширины раскрытия, а также разрушения деформационных швов (таблица 2).

Таблица 2 – Дефекты и повреждения бетонной облицовки канала 10–Х–4 Багаевской оросительной системы Мартыновского района

Наименование дефекта или повреждения на участке канала	Глубина канала, h_0 , м	Параметр дефекта или повреждения	
		Ширина повреждения, $\delta_{повр}$, м	Длина повреждения, $l_{повр}$, м
Поперечный шов облицовки по дну канала	1,17	0,10	1,0
Продольный шов облицовки по дну	1,17	0,10	6,2
Поперечный шов на откосах	0,58	0,10	1,65
Большая трещина на откосе	0,99	0,01	5,7
Средняя трещина на откосе	0,80	0,06	2,7
Малая трещина на откосе	1,20	0,002	1,6
Волосная трещина на откосе	0,45	0,001	0,50

На основании проведенных расчетов водопроницаемости через трещины и швы облицовок каналов суммарные потери на участке длиной 6,2 м составили $3,48$ м³/сут., а удельные потери на 1 м² поверхности облицовки – $0,095$ м³/сут. на 1 м² или – 95 л/сут. на 1 м², что в 9,0 раз превышает допускаемые потери.

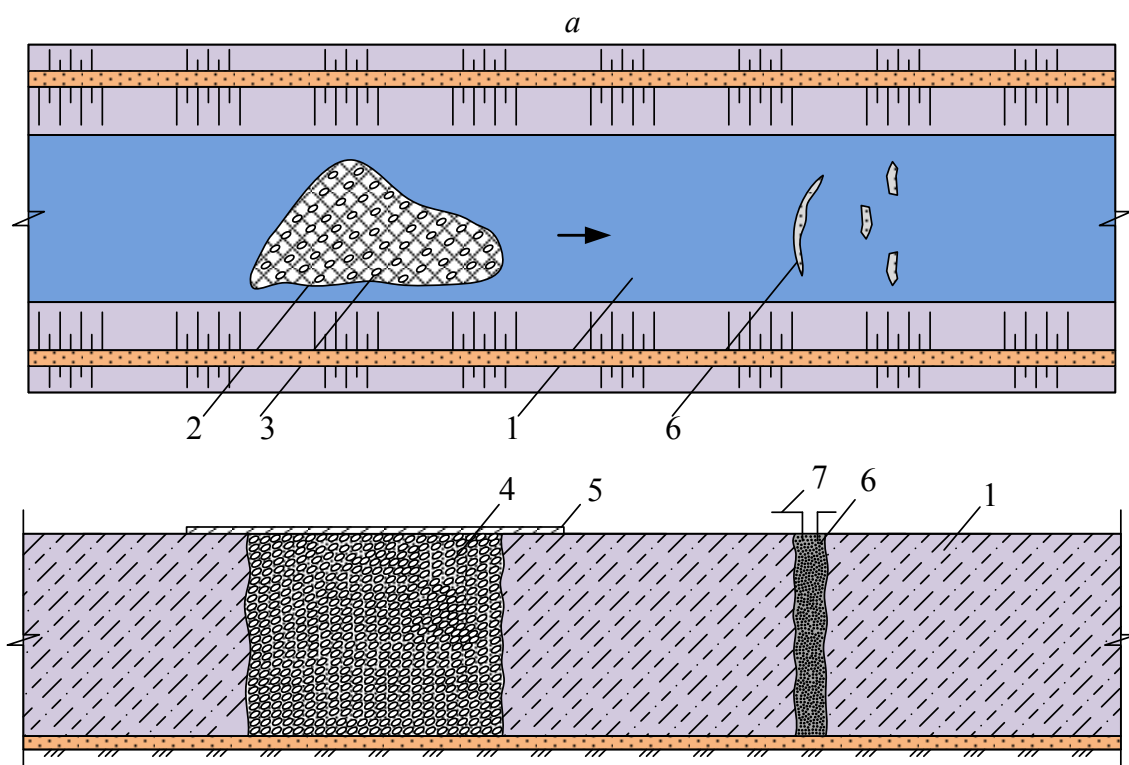
После проведения ремонта жидкой полимерной композицией типа «жидкая резина» были выполнены повторные обследования на данном участке оросительного канала, которые показали, что суммарные потери минимальны и составляют около 7 л/сут. на 1 м². Проведенные исследования свидетельствуют

о целесообразности применения жидких полимерных материалов для ремонта крупных и мелких повреждений бетонных облицовок мелиоративных каналов.

Результаты исследований показали, что полученные значения потерь воды на фильтрацию существенно сократились. Однако, в случае, когда заделка повреждений жидкой резиной проводится не по всей поверхности облицовки канала, возможны некоторые утечки, через волосяные трещины. Для их предотвращения рекомендуется механизированное напыление материала по всему сечению мелиоративных каналов с целью получения бесшовного покрытия, исключающего потери воды на фильтрацию и шелушение бетона.

В четвертой главе рассматривается разработка усовершенствованных конструктивно-технологических решений по ремонту бетонных облицовок каналов.

С участием автора разработан новый способ по ремонту и герметизации повреждений бетонных облицовок мелиоративных каналов (патент на изобретение РФ № 2669302), который применяется для ремонта крупных повреждений (деформированных швов и провалов плит) и герметизации малых (трещин, щелей, пустот) сооружений мелиоративного назначения (рисунок 10).

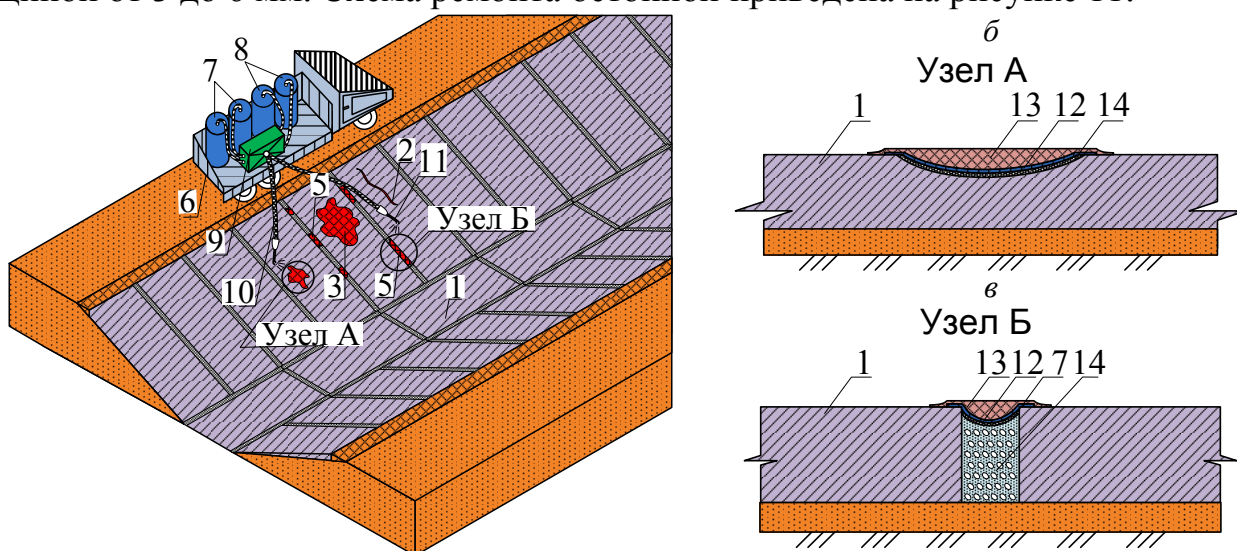


а – план канала; б – схема ремонта крупных и малых повреждений в бетонной облицовке;
1 – бетонная облицовка; 2 – крупные повреждения; 3 – дефектный участок; 4 – щебеночно-гравийный материал; 5 – жидкая композиция; 6 – малые повреждения; 7 – инъекторы
Рисунок 10 – Способ ремонта крупных и малых повреждений в бетонной облицовке канала

Данный способ рекомендуется для проведения ремонта различного рода повреждений на бетонных покрытиях мелиоративных систем. При ремонте крупных повреждений бетонных облицовок с шириной $b_{\text{повр}} \geq 0,05$ м производят заполнение разрушенного участка гравийно-щебеночным материалом с по-

следующим закреплением его поверхности водонепроницаемой полибентонитовой композицией, а герметизацию малых повреждений в бетонных облицовках с $b_{\text{повр}} \leq 0,05$ м осуществляют путем нагнетания под давлением полибентонитовой композиции через установленные в повреждении трубчатые инъекторы (см. рисунок 10). Используемая для герметизации малых повреждений жидкая полибентонитовая композиция изготавливается с соотношением компонентов, масс. %: жидкий битум – 60, бентонит – 30, антифрикционные добавки – 10. После нанесения на поврежденный участок облицовки жидкой полибентонитовой композиции происходит залечивание повреждений (трещин, щелей и др.) за счет набухания бентонита с последующим затвердеванием композиции, что обеспечивает водонепроницаемость бетонной облицовки.

Также автором (в составе творческого коллектива) разработан способ и технология ремонта повреждений бетонных облицовок каналов с использованием полимерного композиционного материала. Технология ремонта повреждений канала с помощью жидкой резины производится в четыре этапа и включает очистку поверхности бетонной поверхности, праймирование с использованием механизированного оборудования, в состав которого входят емкости с компонентом А и компонентом Б, компрессорная установка, гибкие шланги с двухканальными распылителями, напыление на поврежденную поверхность бетонной облицовки тонкого слоя компонента А, укладку полотна тканого и нетканого геотекстиля и устройство финишного покрытия с использованием компонента Б, наносимого поверх геотекстиля сплошным слоем толщиной от 3 до 6 мм. Схема ремонта бетонной приведена на рисунке 11.

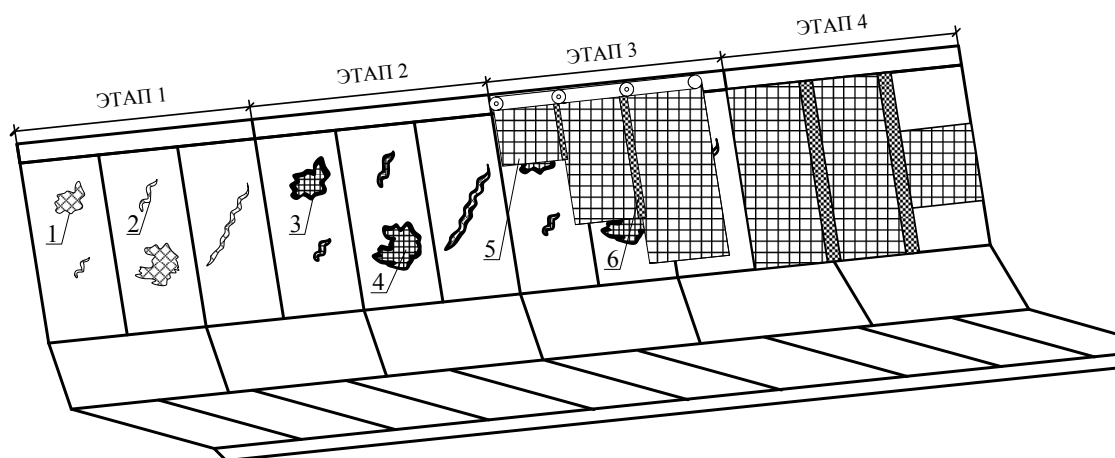


- а – план-схема канала с размещением оборудования для ремонта бетонной облицовки;
 б – схема ремонта поверхностных повреждений в бетонной облицовке канала; в – схема ремонта деформационных швов и трещин; 1 – бетонная облицовка; 2 – повреждение в виде удлиненной трещины; 3 – локальное (площадное) повреждение в бетонной облицовке; 4 – песчано-гравийный наполнитель; 5 – повреждение в деформационном шве; 6 – механизированное оборудование; 7 – емкость с компонентом А (реагентом); 8 – емкость с компонентом Б; 9 – компрессорная установка; 10 – гибкие шланги; 11 – распылитель двухканальный; 12 – геотекстиль; 13 – финишное ремонтное покрытие

Рисунок 11 – Схема ремонта бетонной облицовки канала

Преимуществом данного способа ремонта является продление срока службы бетонных облицовок оросительных каналов до 20–35 лет, а также ликвидация зоны протечек при фильтрации через трещины и швы.

Для ремонта бетонных облицовок мелиоративных каналов также предлагается использовать наплавляемые битумно-полимерные мембраны. Технология ремонта участков бетонных облицовок наплавляемыми битумно-полимерными мембранами включает (рисунок 12): подготовку бетонной поверхности облицовки канала, праймирование ремонтируемых повреждений при помощи битумно-полимерных материалов с последующим армированием геотекстилем, укладку рулонного материала путем его раскатки по всему сечению канала в местах с наибольшим количеством повреждений.



1 – локальное повреждение в виде выбоены на поверхности облицовки; 2 – повреждение в виде трещины; 3 – праймирующий слой битумно-полимерным материалом; 4 – армирующий слой геотекстиля; 5 – раскладываемый ремонтный наплавляемый материал; 6 – уплотнение деформационных швов после наплавления геомембраны

Рисунок 12 – Технология ремонта участков бетонных облицовок оросительных каналов наплавляемыми битумно-полимерными мембранами

В случае, если на поверхности облицовки незначительное количество разрушений, то материал применяется локально. На заключительном этапе производится оценка качества выполненного ремонтного покрытия на наличие дефектов, и в случае необходимости производится повторный ремонт.

В заключение приводится оценка продления срока службы бетонной облицовки мелиоративного канала путем нанесения жидкой резины.

Так как срок службы бетонных облицовок на оросительных каналах без проведения капитального ремонта составляет 25–30 лет, а для гидромелиоративных сооружений III–IV класса согласно (СП 58.13330.2012) он должен быть не менее 50 лет, то возникает необходимость продления их срока службы.

Для эффективности и определения срока службы бетонной облицовки мелиоративного канала используется обобщенное уравнение Аррениуса, исходя из которого получена формула для определения срока службы в виде:

$$t = \frac{\ln S_0 - \ln S}{K \cdot e^{-\frac{Q}{E}}}, \quad (17)$$

где S_0 , S – начальная и мгновенная прочность бетона облицовки канала; Q , E – энергия активации и реакции; K – константа, зависящая от материала.

Учитывая данные по прочности бетона (без ремонта и после ремонта облицовки) получены значения константы: $K = 0,0548$ – без ремонта и $K = 0,0128$ – с ремонтом, подставляя которые в формулу (17) определим следующие сроки службы облицовки оросительного канала:

– без ремонта – $t_{\text{без,рем}} = 28,0$ лет;

– с ремонтом – $t_{\text{рем}} = 64,7$ лет.

Прогнозируемое продление срока ($t_{\text{пр}}$) службы облицовки канала составляет:

$$t_{\text{пр}} = 64,7 - 28,0 = 36,7 \text{ лет.}$$

Таким образом, после ремонта облицовки канала жидкой резиной срок службы ее покрытия может быть продлен на 36,7 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ отечественного и зарубежного опыта применения полимерных композитов для ремонта бетонных облицовок оросительных каналов мелиоративных систем показал возможность продления срока их службы за счет использования жидкой резины и наплавливаемых геомембран. При этом вода, сэкономленная за счет уменьшения потерь на фильтрацию, может быть использована для орошения дополнительных площадей, повышения КПД каналов в бетонной облицовке до нормативных значений 0,93–0,95.

2. Получены расчетные зависимости для определения водопроницаемости трещин в бетонной облицовке мелиоративного канала при истечении в атмосферу. Разработана гидравлическая модель водопроницаемости бетонной облицовки при наличии трещин и негерметичных (разрушенных) швов, по результатам которых составлены номограммы, позволяющие выполнять расчеты по определению удельного расхода малых повреждений в виде трещин различной ширины раскрытия. Методами теории фильтрации решена задача водопроницаемости бетонопленочной облицовки с закоматированными швами при длительной эксплуатации.

3. Изучены особенности расчета водопроницаемости бетонопленочной облицовки оросительного канала с закоматированными швами с учетом проницаемости основания, где характерны три случая формирования эпюры избыточного давления в условиях двухслойной среды: с полным и неполным насыщением грунта водой, а также при наличии вакуума. Установлено критическое значение

отношения коэффициентов фильтрации в закольцованном шве облицовки канала и в основании $\sigma_{гр} = k_{гр}/k_{кол} = 2,5$, при котором будет происходить переход от полного насыщения к неполному насыщению грунта основания.

4. В результате экспериментальных исследований водопроницаемости сквозных и закольцованных трещин бетонных облицовок оросительных каналов мелиоративных систем получены эмпирические зависимости для определения удельного расхода ($q_{уд}$) от напора $h_0=1,0-10,0$ м и ширины раскрытия трещин $\delta_{тр}=0,001-0,010$ м в облицовке.

5. Оценка технического состояния участков Азовского, Багаевского и Нижне-Донского каналов, позволили выявить деформации русел, разрушение противофильтрационных и берегоукрепительных покрытий, а также причины их образования. По результатам работ произведен ремонт бетонной облицовки оросительного канала полимерным композиционным материалом на участке распределительного канала 10-Х-4 Багаевской оросительной системы в Мартыновском районе Ростовской области, после которого потери воды через повреждения в бетонной облицовке снизились в 13,7 раз и составили 6,9 л/сут. на 1 м².

6. Разработан новый способ ремонта и герметизации повреждений бетонных облицовок каналов (патент № 2669302), использование которого позволяет обеспечить надежность и увеличить срок службы защитного покрытия на 30–35 лет, уменьшить шероховатость отремонтированного участка канала.

7. Предложено конструктивно-технологическое решение по ремонту бетонных облицовок каналов жидкой резиной (патент № 2732588), применение которого позволит производить текущий ремонт длительно эксплуатируемых участков оросительных каналов, выполненных в бетонной облицовке.

8. Проведена расчетная оценка эффективности и долговечности защитного покрытия бетонной облицовки канала с учетом ремонта бетонной поверхности жидкой резиной по зависимости Аррениуса, которая составила 64,7 лет, за счет чего может быть обеспечено продление срока службы облицовки на 36,7 лет.

9. Выполнена оценка экономической эффективности разработанных способов ремонта бетонных облицовок оросительных каналов в сравнении с традиционными методами. Экономический эффект от предлагаемых разработанных мероприятий составляет 1,7 млн руб. при выполнении ремонта без применения специального оборудования и 2,12 млн руб. при использовании механизированной установки для нанесения ремонтного состава.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в исследовании новых композиционных материалов, применяемых для сооружений мелиоративного назначения, отличающихся более высокой надежностью, технологичностью и относительно низкой стоимостью, и разработке на их основе технологий ремонта бетонных сооружений мелиоративных систем.

По теме диссертационного исследования опубликованы следующие работы:

Публикации Web of Science и Scopus

1. Baev, O. A. Composite Polymer Coatings for Repair of Concrete Linings of Channels / O. A. Baev, Yu. M. Kosichenko, **A. Yu. Garbuz** // Defect and Diffusion Forum, Vol. 410. – 2021. – Pp. 799–805. – doi.org/10.4028/www.scientific.net/ddf.410.799.

Статьи в научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки

2. Косиченко, Ю. М. Оценка водопроницаемости бетонопленочной облицовки с закольматированными швами при длительной эксплуатации каналов / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, **А. Ю. Гарбуз** // Вестник МГСУ. – 2016. – № 7. – С. 114–133.

3. **Гарбуз, А. Ю.** Приближенная оценка фильтрационного расхода через трещины бетонных облицовок оросительных каналов [Электронный ресурс] / А. Ю. Гарбуз // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. Изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – № 4 (28). – 19 с. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec522-field6.pdf.

4. Косиченко, Ю. М. Особенности расчета водопроницаемости бетонопленочной облицовки с закольматированными швами с учетом проницаемости основания / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, **А. Ю. Гарбуз** // Вестник МГСУ. – 2018. – Том 13. – № 5 (116). – С. 633–642.

5. Косиченко, Ю. М. Гидравлическая модель водопроницаемости бетонной облицовки при длительной эксплуатации канала / Ю. М. Косиченко, **А. Ю. Гарбуз** // Природообустройство. – 2018. – № 4. – С. 30–40.

6. Косиченко, Ю. М. Оценка комплексной реконструкции и модернизации оросительных систем / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, **А. Ю. Гарбуз** // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 6–11.

Патенты на изобретения РФ и программы для ЭВМ

1. Пат. 2598669 Российская Федерация, МПК E02B3/16 Способ создания противофильтрационного экрана / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, **А. Ю. Гарбуз** [и др.]; заявитель и патентообладатель Южный науч.-исслед. ин-т гидротехники и мелиорации. – № 2598669; заявл. 2014137906; опубл. 27.09.2016, Бюл. №27. – 7 с. ил.

2. Пат. 2669302 Российская Федерация, МПК E02B 13/00, E02B 3/16 Способ ремонта и герметизации повреждений бетонных облицовок каналов / А. В. Ищенко, О. А. Баев, **А. Ю. Гарбуз** [и др.]; заявитель и патентообладатель Донской гос. аграрн. университет – № 2017120124; заявл. 07.06.2017; опубл. 09.10.2018, Бюл. № 28. – 8 с. ил.

3. Пат. 2732588 Российская Федерация, МПК E02B 13/00, E02B 3/16 Способ ремонта бетонных облицовок длительно работающих каналов / С. М. Васильев, Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, **А. Ю. Гарбуз**; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-

исслед. ин-т проблем мелиорации – № 2019134272; заявл. 24.10.2019; опублик. 21.09.2020, Бюл. № 27. – 9 с. ил.

4. Расчет водопроницаемости бетонной облицовки с закольматированными швами: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ 2017617276 / **А. Ю. Гарбуз**, О. А. Баев; заявитель и патентообладатель **Гарбуз А. Ю.**, Баев О. А. – № 2017614101; заявл. 02.05.17; опублик. 04.07.2017.

5. Программа для гидравлического расчета основных параметров каналов: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ 2019614718 / Щедрин В. Н., Косиченко Ю. М., Колганов А. В., Баев О. А., **Гарбуз А. Ю.**, Сильченко В. Ф.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2019614718; заявл. 29.03.2019; опублик. 10.04.2019.

Научные работы, опубликованные в других изданиях

1. **Гарбуз, А. Ю.** К вопросу гидроизоляции трещин длительно работающих облицованных каналов / **А. Ю. Гарбуз** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. № 2(62). – Новочеркасск: «РосНИИПМ», 2016. – С. 119–124.

2. **Гарбуз, А. Ю.** Виды и свойства полимерных композиционных материалов, применяемых для ремонта бетонных покрытий / **А. Ю. Гарбуз** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. № 3(67). – Новочеркасск: «РосНИИПМ», 2017. – С. 83–91.

3. **Гарбуз, А. Ю.** Конструктивно-технические решения по ремонту бетонных облицовок длительно работающих каналов / **А. Ю. Гарбуз** // Технические науки в России и за рубежом: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2017 г.). – М.: Буки-Веди, 2017. – С. 179–182.

4. **Гарбуз, А. Ю.** Натурные обследования и анализ технического состояния каналов гидромелиоративных систем / **А. Ю. Гарбуз** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. № 2(70). – Новочеркасск: «РосНИИПМ», 2018. – С. 68–73.

5. **Гарбуз А. Ю.** Экспериментальные исследования водопроницаемости локальных повреждений бетонных облицовок каналов / **А. Ю. Гарбуз** // Экология и водное хозяйство, 2020. – № 1 (4). – С. 76–88.

6. Баев О. А. Натурные обследования и анализ технического состояния оросительных каналов республики Дагестан / О. А. Баев, **А. Ю. Гарбуз** // Экология и водное хозяйство, 2020. – № 3 (6). – С. 61–72.

7. **Гарбуз, А. Ю.** Натурные обследования технического состояния каналов Багаевской распределительной системы / **А. Ю. Гарбуз** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. № 3(79). – Новочеркасск: «РосНИИПМ», 2020. – С. 63–67.

8. **Гарбуз, А. Ю.** Выбор композиционных составов, применяемых для ремонта повреждений на каналах / **А. Ю. Гарбуз** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. № 1(81). – Новочеркасск: «РосНИИПМ», 2021. – С. 37–43.

Подписано в печать 19.10.2021 г. Формат 60×84 1/16
Объем уч. изд. 1,0 усл. п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 133.

Отдел оперативной полиграфии НИМИ Донской ГАУ,
346428, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111