

На правах рукописи

**Рукавишников Андрей Алексеевич**

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ОБЛИЦОВКИ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ  
ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ**

06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Саратов 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».

Научный руководитель – **Абдразаков Фярид Кинжаевич**, доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Ольгаренко Владимир Иванович**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», профессор кафедры «Мелиорации земель»

**Бандурин Михаил Александрович**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет», заведующий кафедрой «Сопrotивление материалов»

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»).

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.08 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по адресу: г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» и на сайте: <http://www.sgau.ru/>

Отзывы на автореферат просим высылать по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1, e-mail: [dissovet01@sgau.ru](mailto:dissovet01@sgau.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**Ученый секретарь  
диссертационного совета**

Панкова Татьяна Анатольевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** На территории Российской Федерации насчитывается около 4,3 млн га орошаемых земель. В Саратовской области в условиях засушливого Левобережья мелиоративный комплекс является важнейшим фактором гарантированного выращивания кормов для животноводства и получения высоких урожаев овощей.

Продолжительная эксплуатация элементов оросительных систем приводит к ежегодному увеличению строительно-эксплуатационных работ, финансовых и трудовых затрат. Использование более совершенных технико-технологических решений в вопросах проведения ремонта и реконструкции элементов оросительных систем, включая каналы, а также поддержание их в работоспособном состоянии являются актуальными задачами в настоящее время.

Степень износа противодиффузионной облицовки каналов составляет около 35 %. Кроме того, на повреждённых участках наблюдается зарастание каналов сорной растительностью. Это ведет к значительному уменьшению пропускной способности водотока, снижению КПД системы и, следовательно, объемов доставляемой воды от источника до орошаемых площадей. Таким образом, возникает необходимость восстановления каналов с целью уменьшения значительных диффузионных потерь воды.

На основании многолетних наблюдений учеными установлено, что значительные потери поливной воды в каналах приходится на фильтрацию, что в свою очередь оказывает отрицательное воздействие на гидрогеологическую обстановку из-за подъема грунтовых вод, подтопления и заболачивания близлежащих территорий. Для оперативного и качественного проведения работ по облицовке каналов в земляном русле и ремонта повреждённых участков облицованных каналов в работе предлагается использовать инновационное покрытие – в виде бетонного полотна.

Исследования по использованию противодиффузионного материала были проведены на орошаемых массивах Саратовского Заволжья, где накоплен немалый опыт строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений.

**Степень разработанности темы.** Существенный вклад в исследования по совершенствованию и реконструкции оросительных каналов, установлению причин потерь оросительной воды из них, а также в технические разработки по ремонту элементов систем и каналов внесли Ф.К. Абдразаков, М.А. Бандурин, С.М. Васильев, А.И. Есин, Б.М. Кизяев, Ю.М. Косиченко, В.И. Ольгаренко, Г.В. Ольгаренко, Е.А. Ходяков, В.Н. Щедрин и др.

**Цель исследования** – повышение эффективности облицовки оросительных каналов за счет применения противодиффузионной облицовки и современных технических решений, направленных на снижение потерь оросительной воды.

**Достижение этой цели обеспечивается решением следующих задач:**

1. Провести мониторинг технического состояния оросительных каналов Саратовского Заволжья. Сделать анализ применения существующих традиционных и инновационных облицовочных материалов, технологии их укладки, монтажа и трудоёмкости проведения работ.

2. Разработать комплексный алгоритм оптимизации выбора облицовки оросительного канала с учетом использования компьютерной программы.

3. Получить экспериментальные данные фильтрационных свойств бетонного полотна в сравнении с традиционными покрытиями.

4. На основе лабораторного эксперимента разработать усовершенствованный способ крепления стыковой части бетонного полотна в канале.

5. Дать экономическую оценку существующих видов облицовочных материалов для оросительных каналов в сравнении с предлагаемым технологическим решением в виде бетонного полотна.

**Научную новизну работы представляют:**

- использование менее трудоемкого и более эффективного облицовочного бетонного полотна для каналов оросительных систем;
- усовершенствованный технический способ крепления бетонного полотна;
- компьютерная программа технико-экономического расчета рациональных облицовочных решений.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Предложенные теоретические зависимости и результаты экспериментальных исследований могут быть использованы при разработке новых и усовершенствования существующих технологий облицовки оросительных каналов.

Практическая значимость исследования заключается в совершенствовании известной апробированной технологии укладки бетонного полотна, направленной на повышение надежности и исключаяющей возможность разрыва креплений и утечек воды через стыки материала в нахлесте полотен.

Предложена программа технико-экономического расчета рациональных облицовочных решений, позволяющая рассчитать стоимость укладки различных видов облицовок в зависимости от проектных и финансовых возможностей (свидетельство № 2021613879 Российская Федерация «Программа технико-экономического расчета рациональных облицовочных решений»).

**Методология и методы исследования.** При выполнении настоящей работы использовались общеизвестные методики теоретических и экспериментальных исследований. Для получения экспериментальных результатов влагопроводности и фильтрационного расхода использовался метод точечных фильтромеров, предназначенный для локального определения фактических потерь воды на фильтрацию в стыковых участках. При проведении лабораторных испытаний на растяжение за основу был выбран ГОСТ Р 56785-2015 Композиты полимерные.

**Объектом исследования** являются оросительные каналы.

**Предмет исследования** – технология облицовки и фильтрационные потери воды при использовании бетонного полотна.

**Положения, выносимые на защиту:**

- обоснование мониторинга технического состояния оросительных каналов Саратовского Заволжья. Результаты анализа применения существующих традиционных и инновационных облицовочных материалов, технологии их укладки, монтажа и трудоёмкости проведения.

- комплексный алгоритм оптимизации выбора облицовки оросительного канала с учетом применения инновационных материалов.

- результаты лабораторных исследований, направленных на оценку фильтрационных свойств бетонного полотна на оросительных каналах.

- усовершенствованный способ крепления бетонного полотна.

- компьютерная программа технико-экономического расчета рациональных облицовочных решений.

**Реализация результатов исследований.** Научные исследования проводились в рамках реализации ведомственной программы «Развитие мелиоративного комплекса России» в рамках мероприятия – «Строительство, реконструкция и техническое перевооружение оросительных и осушительных систем общего и индивидуального пользования и отдельно расположенных гидротехнических сооружений».

**Степень достоверности и апробации работы.** Достоверность научных результатов подтверждается экспериментальными исследованиями, применением современных государственных стандартов при организации и проведении испытаний. Основные положения и результаты научно-исследовательской работы были доложены и обсуждены на ежегодных конференциях ППС и аспирантов кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение» Саратовского ГАУ имени Н.И. Вавилова (Саратов, 2018–2020 гг.); на международном симпозиуме «Инженерные и прикладные науки» (Грозный, 2019 г.); на научно-практическом форуме «Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий» (Волгоград, 2020 г.); на научно-практической конференции на базе ФГБОУ ВО РГАТУ «Комплексный подход к научно-техническому обеспечению» (Рязань, 2020 г.).

Результаты научно-исследовательской работы были внедрены компанией ООО «Конкрит Кэнвас Раша» г. Москва, а также на Приволжской и Энгельсской оросительных системах Саратовской области.

**Публикации.** Основные положения диссертации изложены в 18 научных работах, в том числе 3 в изданиях, включенных в международную базу Scopus, 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России. Общий объем с учетом долевого участия в коллективных публикациях составляет 4,9 печ. л., из них 3,0 печ. л. принадлежат лично автору.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и приложений. Работа изложена на 164 страницах машинописного текста, содержит 23 таблицы, 7 приложений и 65 рисунков. Список использованной литературы включает в себя 126 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** показана актуальность темы исследования, выбран объект и определен предмет исследования, сформулированы цель, задачи и научная новизна исследования, отражены основные положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, а также апробация результатов исследования и объем публикаций по теме диссертации.

**В первой главе** рассмотрены вопросы, связанные со строительством и эксплуатацией оросительных каналов в Саратовском Заволжье: описаны их виды и назначение, существующие технологии строительства, способы обслуживания, машины и вспомогательная техника, используемые при строительстве, реконструкции, ремонте и обслуживании оросительной сети. Представлены традиционные и инновационные облицовки оросительных каналов.

В результате литературного обзора выявлено, что оросительные каналы Саратовского Заволжья находятся в состоянии физического износа, что негативно влияет на транспортирующую и пропускную способность каналов и сети в целом (таблица 1).

Таблица 1 – Состояние постоянно действующей оросительной сети Заволжья

Оросительная сеть	Протяженность, км	Требуется восстановление, %
В целом	5887,3	81,5
В том числе каналы	1205,5	35*
в облицованном русле	821	30*
в земельном русле	384,5	40*

\*примерные значения

Наиболее полные данные о потерях оросительной воды приводят ученые Ю.М. Косиченко, О.А. Баев, А.В. Ищенко (рисунок 1).

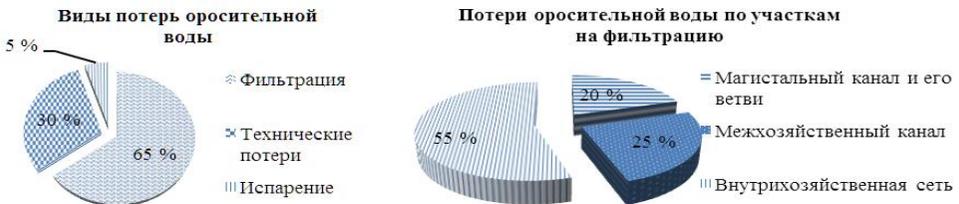


Рисунок 1 – Потери оросительной воды по элементам системы

По результатам обзора и анализа использования облицовочных материалов было выявлено, что помимо традиционной бетонной облицовки каналов возможно применение современных облицовочных материалов, в виде бетонного полотна (рисунок 2).

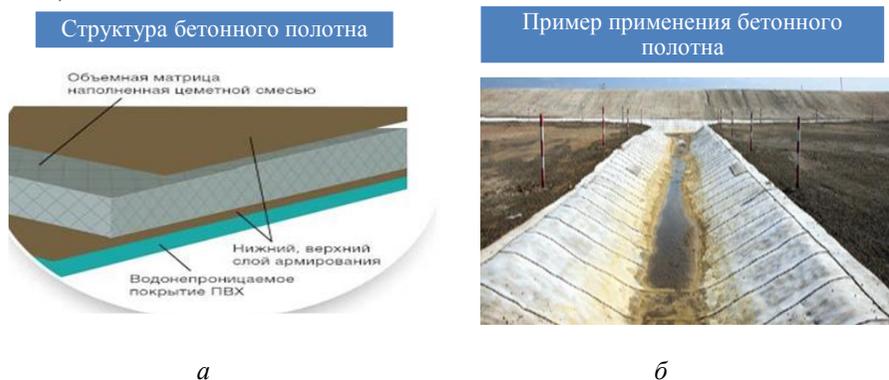


Рисунок 2 – Структура (а) и общий вид (б) бетонного полотна

Исследования проводили для определения наиболее экономичных и технически прогрессивных путей развития с применением математических методов и компьютерной программы.

В таблице 2 представлен сравнительный анализ инновационного материала бетонного полотна и бетонной облицовки.

Таблица 2 – Сравнительный анализ характеристик облицовочных материалов

Показатель	Бетонное полотно СС8	Бетонная облицовка ПКН 60.20
Стоимость 1 м <sup>2</sup> , руб.	1424	939
Масса 1 м <sup>2</sup> , кг	9,2	150
Скорость укладки 1 м <sup>2</sup> , дни	800	80
Приобретение необходимой прочности 80 %, ч	24	72
Приобретение необходимой марочной прочности, ч	240	672
Морозостойкость, циклы	300	400
Прочность, МПа	31,4	44,95
Срок эксплуатации, лет	50	50

На основании выполненного анализа дается обоснование, что поднимаемые в работе вопросы могут быть решены с помощью использования инновационных облицовочных материалов в виде бетонного полотна, способных решить проблему потерь воды из каналов.

**Вторая глава** посвящена технологическим и теоретическим предпосылкам строительства, реконструкции и ремонта оросительных каналов, математическому описанию технологического процесса и технологий.

Разработанный алгоритм оптимизации выбора облицовки состоит из пяти блоков, первые четыре обеспечивают реализацию последнего пятого блока с наименьшими затратами. Каждый блок является предшествующим следующему.

На рисунке 3 в общем виде представлен комплексный алгоритм оптимизации выбора варианта облицовки оросительных каналов с учетом применения инновационных материалов.

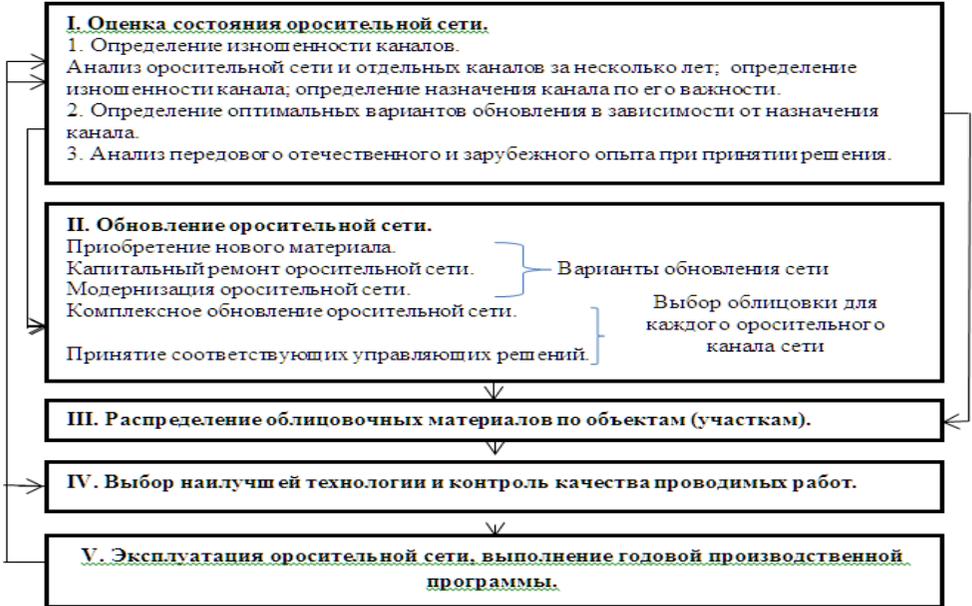


Рисунок 3 – Комплексный алгоритм оптимизации выбора варианта облицовки оросительного канала с учетом применения инновационных материалов

Нами была разработана компьютерная программа технико-экономического расчета рациональных облицовочных решений на оросительных каналах, принцип работы которой представлен на рисунках 4 и 5.

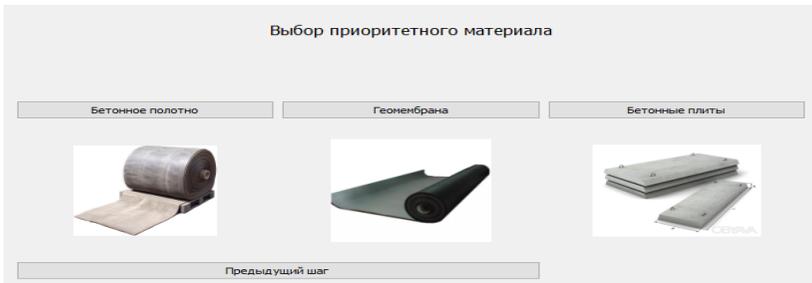


Рисунок 4 – Общий интерфейс программы

**Выбор алгоритма расчёта параметров канала**

\*используйте наиболее удобный вариант расчёта исходя из известных вам параметров

Расчёт по высоте склонов

Расчёт по глубине траншеи

<p>1.5</p> <p>Высота склона №1</p> <p>1.5</p> <p>Высота склона №2</p> <p>4</p> <p>Ширина основания</p> <p>1000</p> <p>Длина траншеи</p>	<p>Глубина</p> <p>Ширина верха</p> <p>Ширина основания</p> <p>Длина траншеи</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------

Предыдущий шаг

Следующий шаг

Рисунок 5 – Принцип работы программы технико-экономического расчета рациональных облицовочных решений на оросительных каналах

**Третья глава** включает в себя программу и методику экспериментальных исследований для определения фильтрационных свойств бетонного полотна.

При проведении эксперимента использован метод точечных фильтромеров (рисунок 6), предназначенный для локального определения фактических потерь воды на фильтрацию. Данный метод хорошо известен по работам таких ученых, как П.Д. Глебов, В.А. Казаков, В.И. Ольгаренко и др.

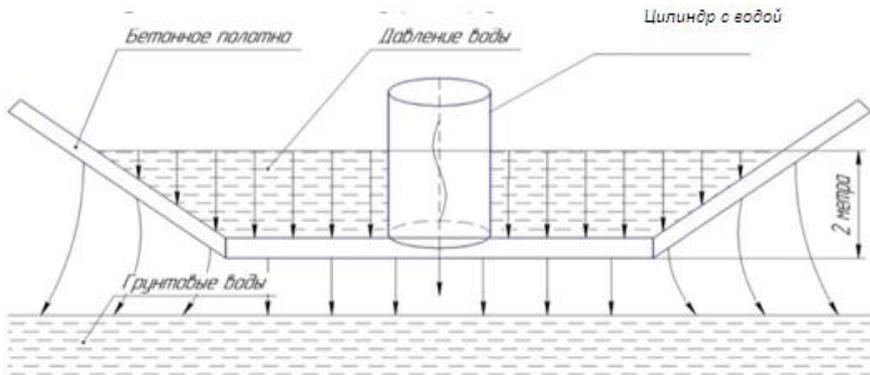


Рисунок 6 – Модель проводимого эксперимента

Эксперимент проводили в несколько этапов: подготовка материалов; сбор установки; наблюдение и регистрация данных; анализ зарегистрированных данных.

Структура установки представлена на рисунке 7.

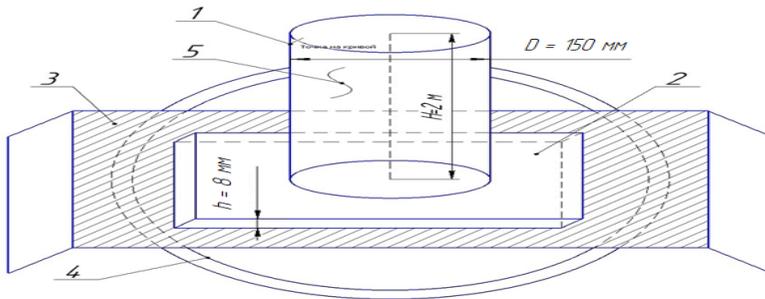


Рисунок 7 – Установка для проведения эксперимента в рабочем состоянии: 1 – цилиндр; 2 – образец бетонного полотна или бетонной плиты; 3 – основание для укладки материала; 4 – ёмкость для замера фильтрационных потерь; 5 – вода

На основании многочисленных исследований состояния бетонной облицовки установлено, что наибольшие фильтрационные потери в каналах происходят в связи с возможными просадками грунта и температурными перепадами, особенно в стыковых соединениях за счет сдвига и деформационной нагрузки. Для предотвращения таких последствий разрушения облицовки нами был проведен эксперимент по установлению надёжности стыковой части полотна.

При проведении лабораторных испытаний на растяжение за основу был выбран действующий ГОСТ Р 56785-2015 «Композиты полимерные». Сущность метода заключается в растяжении образца в виде бетонного полотна до момента его деформации или разрыва.

Варианты крепления представлены на следующем рисунке 8.

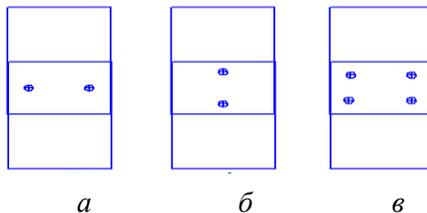


Рисунок 8 – Варианты крепления бетонного полотна саморезами:

а, б – заявленные производителем; в – предлагаемый

**Четвертая глава** содержит результаты экспериментальных исследований бетонного полотна. Рассчитан фильтрационный расход для бетонного полотна в соответствии с контрольным материалом – бетонной облицовкой. Итоговые расчеты фильтрационного расхода для бетонного полотна были сопоставлены с реальными потерями в каналах. Представлены результаты эксперимента на растяжение. На основе проведенных экспериментов был предложен более надежный способ крепления отрезков бетонного полотна.

Результаты эксперимента представлены в таблице 3 и на рисунке 9.

Таблица 3 – Результаты эксперимента водопроницаемости

Время замера	Снижение уровня воды, см	
	бетонная облицовка	бетонное полотно
Через 12 ч	0,3	–
Через 24 ч	2	0,4
Через 48 ч	4,1	1,2
Через 96 ч	6,5	2
Через 192 ч	12,5	2,6

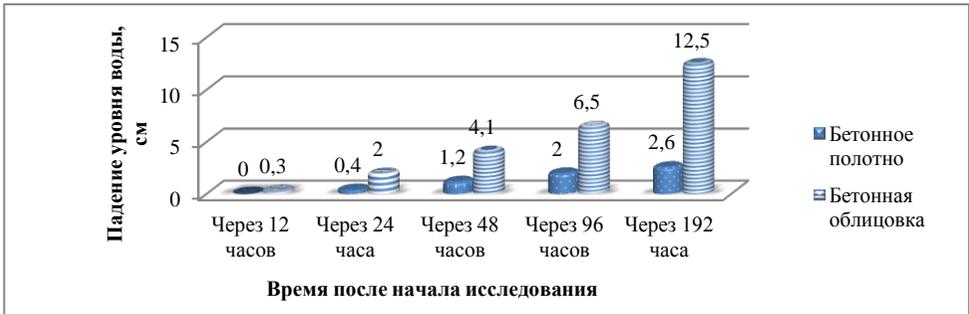


Рисунок 9 – Оценка водопроницаемости облицовочных материалов

После того, как были получены данные о водопроницаемости, был определен фильтрационный расход. Его рассчитали для каждого облицовочного материала как отношение объема воды ко времени изучаемого процесса (таблица 4).

Таблица 4 – Фильтрационный расход

Экспериментальный образец	Время, с	Объём, л	Фильтрационный расход, л/с
Бетонное полотно	172800	0,21	$1,21 \cdot 10^{-6}$
	345600	0,35	$1,01 \cdot 10^{-6}$
	691200	0,46	$6,65 \cdot 10^{-7}$
Бетонная плита	172800	0,72	$4,16 \cdot 10^{-6}$
	345600	1,15	$3,32 \cdot 10^{-6}$
	691200	2,21	$3,19 \cdot 10^{-6}$

На основании формул Г.К. Ризенкампа и А.Н. Костякова, а также общеизвестных исследований ученых в области фильтрационных потерь воды из канала использовали усреднённые коэффициенты фильтрации противofильтрационных покрытий (ТКП 45-3.04-8-2005):

$$Q_f = 0,0116 \frac{k_f}{t} \left[ b(d_c + t) + 2d_c \left( \frac{d_c}{2} + \frac{mt}{\sqrt{1+m^2}} \right) \right] \sqrt{1+m^2},$$

где  $k_f$  – коэффициент фильтрации экрана, м/сут.;  $t$  – толщина облицовки, м;  $b$  – ширина канала по дну, м;  $d_c$  – глубина наполнения канала при расчетном расходе, м;  $m$  – коэффициент заложения откосов.

Коэффициент фильтрации позволяет определять фильтрационные потери на основании фактических их замеров в характерных точках смоченного периметра канала с достаточной степенью точности с последующим пересчетом и получением потерь воды на фильтрацию для всей фильтрующей площади канала (таблица 5, рисунок 10).

Таблица 5 – Сравнительный анализ фильтрационных показателей различных типов противофильтрационных облицовок

Вид облицовки	Козф. фильтрации на 1 м <sup>2</sup> , м/сут.	Показатели канала	
		расход воды, м <sup>3</sup> /с	потери на 1 км, м <sup>3</sup> /с
Бетонное полотно СС8	0,00038	0,201...0,500	0,0012
		0,501...1,000	0,0016
		1,001...2,000	0,0022
Железобетонные облицовки ПКН 60.20	0,0007	0,201...0,500	0,0036
		0,501...1,000	0,0054
		1,001...2,000	0,0075
Монолитные облицовки	0,0005	0,201...0,500	0,0031
		0,501...1,000	0,0042
		1,001...2,000	0,0057

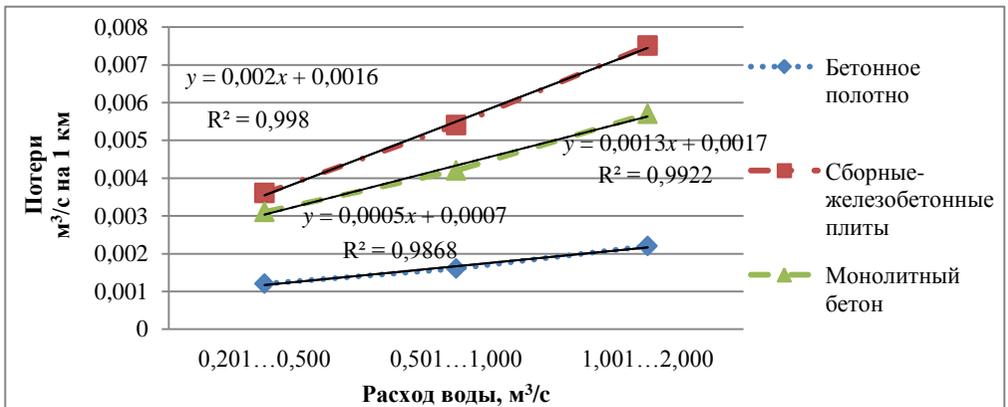


Рисунок 10 – Фильтрационные потери от вида облицовки и расхода воды в канале

Для исследования места стыковки бетонного полотна проводился эксперимент на разрыв. Метод испытания заключается в растяжении образца ПКМ с постоянной скоростью нагружения или деформирования до момента разрыва. На рисунке 11 представлены установка и испытуемые образцы, зажатые в тисках с обеих сторон.

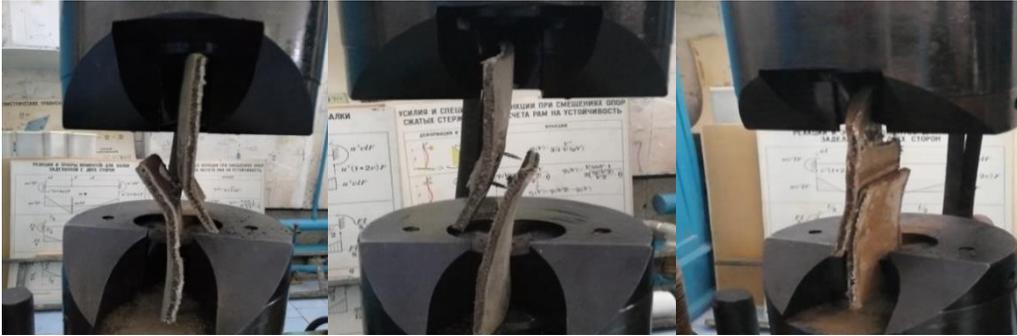
*a**б**в*

Рисунок 11 – Процесс растяжения скреплённых отрезков бетонного полотна:  
*a, б* – варианты крепления, заявленные производителем; *в* – предлагаемый

В результате проведённых испытаний доказана неэффективность способов закрепления бетонного полотна, заявленных производителем (способы *a* и *б* на рисунке 9). При этом предложенный нами вариант крепления *в* выдержал все испытания (рисунок 12, таблица 6).



Рисунок 12 – Визуальные результаты испытаний

Таблица 6 – Технические результаты испытаний на растяжение

Испытание	Вариант крепления		
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
Первое	93,7 кг	117,5 кг	164,2 кг
Второе	90,5 кг	119,3 кг	162,5 кг
Третье	91,2 кг	116,6 кг	162,8 кг

Предлагаемый нами вариант крепления *в* имеет максимальный предел прочности – 164,2 кг (2,05 МПа), вариант *а* – 93,7 кг (1,17 МПа), *б* – 119,3 кг (1,49 МПа). Таким образом, вариант крепления *в* на 75,21 % превосходит по прочности вариант *а* и на 37,58 % вариант *б*. Следовательно, для создания герметичного соединения он будет подходить наилучшим образом.

Для повышения эффективности бетонной облицовки был разработан новый способ крепления отрезков бетонного полотна. Технической задачей данного способа является повышение его надежности, исключая возможность разрыва крепления и утечек воды через стыки материала в нахлесте полотен. При применении данного способа крепления реализуется весь потенциал предела прочности бетонного полотна (рисунок 13).

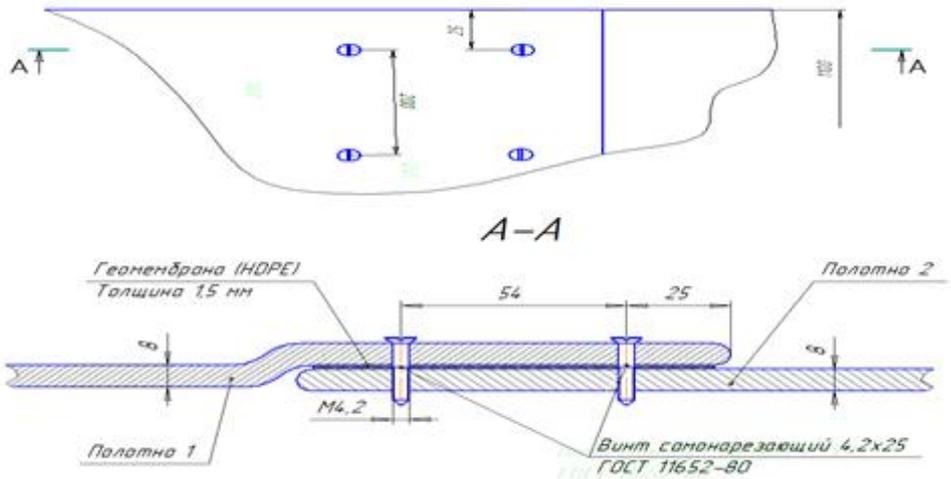


Рисунок 13 – Предлагаемый способ крепления бетонного полотна

**Пятая глава** содержит расчеты экономической эффективности применения бетонного полотна, сравнительный анализ затрат при облицовке канала бетонным полотном и бетонной облицовкой.

На основе оптимизации выбора варианта реконструкции оросительных каналов, представленной во второй главе, приведено технико-экономическое сравнение различных видов облицовки. Для расчетов был выбран оросительный канал Приволжской оросительной системы «Р-1 оросительный» с заложением откосов 1:1 и протя-

жённостью обновляемого участка 500 м (общая площадь укладки 5450 м<sup>2</sup>). Результаты расчетов сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Оптимизация выбора варианта реконструкции оросительного канала

<b>I. Оценка оросительного канала Приволжский Р-1</b>			
Параметры	Протяжённость, км	Степень износа, %	КПД, %
$m = 1:1$ ; поперечное сечение – 10,5 м	3,6	30	68
<i>Примечание.</i> Оросительный канал имеет трапециевидальное сечение и находится в земляном русле.			
<b>II. Обновление оросительного канала</b>			
Вариант обновления			
бетонное полотно	железобетонные облицовки	монолитный бетон	комбинированный вариант
+	+	+	–
<i>Примечание.</i> Вариант модернизации отсутствует, так как канал не облицован.			
<b>III. Расчетная стоимость вариантов обновления</b>			
Материал	Текущие затраты, руб.	Приведённые затраты, руб.	Экономический результат, руб.
Бетонные плиты НПК 60.20	6539500	5209100	11748600
Бетонное полотно СС8 + обычная технология укладки	11065450	174277	<b>11239727</b>
Бетонное полотно СС8 + усовершенствованная технология укладки	10562475	167720	<b><u>10730195</u></b>
<i>Примечание.</i> Возможность проведения работ без использования тяжелой техники и простота монтажа бетонного полотна, вариант обновления с помощью данного материала является актуальным.			
<b>IV. Выбор наилучшей технологии монтажа и контроль качества проводимых работ</b>			
Использование технологии укладки, рекомендованной производителем. Однако при совершенствовании операции по креплению материала рекомендуется предлагаемый нами способ.			
<b>V. Эксплуатация оросительного канала</b>			

Общий экономический эффект при выборе бетонного полотна с использованием нашей технологии укладки бетонного полотна

$$Э_{\text{общ}} = З_{\text{бп}} - З_{\text{бпу}} = 11239727 - 10730195 = \mathbf{509532 \text{ руб.}}$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Мониторинг современного технического состояния оросительных каналов Саратовского Заволжья позволил установить высокий (35 %) уровень физического износа оросительных каналов. Лабораторные и натурные исследования облицовочных материалов оросительных каналов показали, что надежным и экономичным материалом является бетонная облицовка. При этом отмечается, что бетонное полотно, рассматриваемое в работе, отвечает высоким требованиям и может считаться инновационным облицовочным материалом, так как обладает достойными характеристиками по массе и прочности, имеет невысокую трудоемкость укладки, а главное – исключает использование специализированной техники.

2. На основе разработанного нами комплексного алгоритма оптимизации выбора варианта облицовки оросительного канала, были получены технико-экономические показатели оросительного канала Приволжской оросительной системы «Р-1 оросительный». Данный алгоритм позволяет оценить каждый оросительный канал оросительной сети и выбрать наиболее приемлемый вариант облицовки в зависимости от текущего состояния с помощью компьютерной программы. Техническая новизна предложенной программы для расчета подтверждена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

3. Получены экспериментальные данные влагопроводности и фильтрационных потерь оросительной воды из каналов, облицованных бетонным полотном, по сравнению с традиционными покрытиями. На основании проведенного лабораторного эксперимента водопроницаемости был рассчитан фильтрационный расход для бетонного полотна и бетонной плиты относительно нашего эксперимента. По итоговому замеру (через 192 ч) фильтрационный расход для бетонного полотна составил  $6,65 \cdot 10^{-7}$  л/с, для бетонной плиты –  $3,19 \cdot 10^{-6}$  л/с. Фильтрационные потери в канале (расход воды 1,0–2,0 м<sup>3</sup>/с) с облицовкой из бетонного полотна – 0,0022 м<sup>3</sup>/с, из сборных железобетонных плит – 0,0075 м<sup>3</sup>/с, из монолитного бетона – 0,0057 м<sup>3</sup>/с. Таким образом, эффективность бетонного полотна выше за счет снижения фильтрационных потерь и, соответственно, повышения КПД.

4. Разработан более надежный способ крепления бетонного полотна в канале на основе лабораторного эксперимента. Он имеет сравнительно высокие показатели предела прочности, среднее значение которого 164,2 кг (2,05 МПа). Пределы прочности известных креплений составляют 93,7 кг (1,17 МПа) и 119,3 кг (1,49 МПа).

5. Экономический эффект от использования предложенной технологии укладки бетонного полотна на каналах составляет 509532 руб. на 5450 м<sup>2</sup>.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. При строительстве новых оросительных каналов, а также при ремонте и реконструкции существующих необходимо использовать современные облицовочные материалы, сочетающие в себе надёжность, низкую трудоёмкость и

наименьшие совокупные расходы. Предлагаемый в работе материал позволяет на порядок ускорить процесс облицовки с наименьшими расходами материальных и трудовых ресурсов.

2. Выбор облицовочного материала рекомендуем проводить с помощью компьютерной программы, позволяющей рассчитать общую стоимость и обосновать выбор технологического решения наиболее рационального варианта облицовки.

3. При облицовке оросительных каналов бетонным полотном необходимо использовать более плотное и надёжное крепление нахлеста отрезков. Фиксацию полотен бетонного полотна осуществляют саморезами по длине поперечного сечения с шагом 20 см и 2–3 см от края стыка. Для улучшения водонепроницаемости стыка до стяжки полотен саморезами между слоями бетонного полотна наносят первый слой строительного герметика, укладывают отрезок геомембраны толщиной не менее 1,5 мм и наносят второй слой герметика. После этого образуется плотный геокompозит, исключаяющий фильтрационные потери.

### ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Особый интерес для дальнейшего развития темы представляют исследования в области разработки технологий обслуживания и проведения ежегодного ремонта существующих каналов, покрытых бетонным полотном. Появление новых знаний о современных облицовочных материалах позволит на этапе проектирования технологических процессов определять оптимальные методы обслуживания оросительных каналов. Представляется перспективной разработка технологии применения бетонного полотна при строительстве, ремонте и реконструкции земляных плотин малых водохранилищ и других гидротехнических сооружений на мелиоративных объектах.

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

#### В рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. *Абдразаков, Ф. К.* Интенсификация мелиоративного производства путем совершенствования технологий реконструкции и строительства оросительных каналов Саратовской области / Ф. К. Абдразаков, **А. А. Рукавишников** // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 10. – С. 48–51 (0,20/0,10 печ. л.).

2. *Абдразаков, Ф. К.* Интенсификация мелиоративного производства путем совершенствования технологий реконструкции и строительства оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, **А. А. Рукавишников** // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 6–9 (0,20/0,10 печ. л.).

3. *Абдразаков, Ф. К.* Исключение непроизводительных потерь водных ресурсов из оросительной сети за счёт использования инновационных облицовочных матери-

алов / Ф. К. Абдразаков, **А. А. Рукавишников** // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 10. – С. 91–94 (0,20/0,10 печ. л.).

4. *Абдразаков, Ф. К.* Оценка перспективы использования бетонного полотна в качестве облицовочного материала оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, **А. А. Рукавишников** // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – №4 (60). – С. 327–339 (0,71/0,40 печ. л.)

### В научных изданиях, включенных в базу данных Scopus

5. *Abdrazakov, F. K.* Problems of Irrigation Canals and Modern Methods of Their Technical Improvement due to Innovative Concrete Materials and Technologies / F. K. Abdrazakov, **A. A. Rukavishnikov**, A. A. Khalmetov, A. V. Povarov // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov. – 2019. – DOI:10.2991/isees-19.2019.73 (0,50/0,20 печ. л.).

6. *Abdrazakov, F. K.* Intensification of Melioration through Decreasing Maintenance Load on Irrigation Canals / F. K. Abdrazakov, **A. A. Rukavishnikov**, A. V. Povarov, and Y. E. Trushin // E3S Web Conf. – 2019. – DOI:10.1051/e3sconf/201914009009 (0,51/0,20 печ. л.).

7. *Abdrazakov, F. K.* Construction and Repair of Irrigation Canals Based on Converged Technologies / F. K. Abdrazakov, **A. A. Rukavishnikov**, O. V. Miheeva, D. V. Logashov, C. I. Churkina, M. A. Yarmashevich // International Scientific Conference : "Constructions Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering". – 2020. – DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012209 (0,53/0,25 печ. л.).

### В журналах, сборниках научных трудов, материалах конференций и семинаров

8. *Рукавишников, А. А.* Динамика развития орошаемого земледелия Саратовской области / **А. А. Рукавишников** // Материалы 6-й Международной научно-практической конференции / под ред. Ф. К. Абдразакова. – Саратов: Амирит, 2017. – С. 244–247 (0,18 печ. л.).

9. *Рукавишников, А. А.* Анализ состояния мелиоративных систем Саратовской области / **А. А. Рукавишников** // Материалы 6-й Международной научно-практической конференции / под ред. Ф. К. Абдразакова. – Саратов: Амирит, 2017. – С. 247–249 (0,18 печ. л.).

10. *Abdrazakov, F. K.* The Optimal Method of Formation of Concrete Materials in the Coating of Irrigation Canals for Construction and Maintenance Work on the Reclamation Network / F. K. Abdrazakov, **A. A. Rukavishnikov** // International Conference "Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration" Part 2 : Participants' – reports in English. Minzu University of China. – 2018. – P. 216–223 (0,40/0,25 печ. л.).

11. *Рукавишников, А. А.* Анализ состояния оросительных каналов Саратовской области / **А. А. Рукавишников** // Материалы 7-й Международной научно-практической конференции / под ред. Ф. К. Абдразакова. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2018. – С. 242–244 (0,16 печ. л.).

12. *Рукавишников, А. А.* Технологические особенности покрытия оросительных каналов бетонным полотном / **А. А. Рукавишников** // Материалы VIII национальной конференции с международным участием. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2018. – С. 275–280 (0,25 печ. л.).

13. *Рукавишников, А. А.* Оптимальный метод формирования бетонных материалов для покрытия оросительных каналов при проведении строительных и эксплуатационных работ / **А. А. Рукавишников** // Материалы VIII национальной конференции с международным участием. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2019. – С. 233–235 (0,18 печ. л.).

14. *Абдразаков, Ф. К.* Ресурсосберегающий способ облицовки оросительных каналов за счет использования инновационных материалов / Ф. К. Абдразаков, **А. А. Рукавишников** // Материалы конкурса молодых ученых на лучшую научную работу. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2019. – С. 332–334 (0,18/0,09 печ. л.).

15. *Абдразаков, Ф. К.* Совершенствование технологии реконструкции оросительных каналов с применением инновационного материала / Ф. К. Абдразаков, **А. А. Рукавишников** // Материалы научно-практического форума «Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК на основе конвергентных технологий» / ВолГАУ. – Волгоград, 2020. – С. 183–185 (0,14/0,07 печ. л.).

16. *Абдразаков, Ф. К.* Современные облицовочные материалы для оросительных каналов и требования к ним / Ф. К. Абдразаков, **А. А. Рукавишников** // Материалы VIII национальной научно-практической конференции с международным участием / Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2020. – С. 11-14 (0,18/0,09 печ. л.).

17. *Абдразаков, Ф. К.* Повышение эффективности облицовочных покрытий оросительных каналов на основе бетонного полотна / Ф. К. Абдразаков, **А. А. Рукавишников** // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти члена-корреспондента РАСХН и НАН КР академика МАЭП и РАВН Я. В. Бочкарева. – Рязань: РГАТУ, 2020. – Ч. II. – С. 16-20 (0,20/0,10 печ. л.).

### Свидетельство

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021613879 Программа технико-экономического расчета рациональных облицовочных решений / Ф. К. Абдразаков, **А. А. Рукавишников** ; правообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова. – ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности», дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ 31.03.2021., г. Москва (заявка № 2021613879 от 22.03.2021 г.).