

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕНЕТИКИ, БИОТЕХНОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРИИ
ИМЕНИ Н.И. ВАВИЛОВА»

На правах рукописи

Сафин Эмиль Эдикович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

4.1.5. - Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Абдразаков Фярид Кинжаевич

Саратов - 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
I СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ	
ИССЛЕДОВАНИЯ.....	10
1.1 Виды и объем работ при реконструкции, эксплуатации и ремонте облицовок оросительных каналов	10
1.2 Техническое состояние оросительных каналов Саратовской области и способы их восстановления	15
1.3 Применяемые в мелиоративном производстве технологии для ремонта облицованных каналов	20
1.4 Композитные облицовочные материалы, применяемые в мелиоративном производстве.....	23
1.4.1 Композиционный противофильтрационный материал на основе вторичного полиэтилена	23
1.4.2 Противофильтрационное геокомпозитное покрытие.....	25
1.4.3 Полимерный композитный материал на основе бентонита.....	27
1.5 Текущие проблемы и перспективы перевооружения мелиоративных систем	29
1.6 Техническое состояние и перспективы совершенствования и обновления облицованных оросительных каналов	32
1.7 Выводы.....	40
II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ	
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ	
ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ	42
2.1 Общее положение и постановка задач интенсификации противофильтрационных работ.....	42
2.2 Теоретические предпосылки повышения эффективности способов ремонта бетонных облицованных каналов.....	45
2.3 Улучшение эксплуатационных и технико-технологических показателей оросительной сети.....	50
2.4 Логическая схема определения состава композитных материалов для восстановления и обновления оросительных каналов.....	53
2.5 Варианты обновления облицовки оросительных каналов.....	69
2.6 Выводы.....	73

III. ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	75
3.1 Программа и методика лабораторных исследований	75
3.2 Методика лабораторных исследований.....	76
3.2.1 Результаты лабораторных исследований на растяжение композитного материала	76
3.2.2 Экспериментальные данные о сопротивлении композитных материалов статическому продавливанию	79
3.3 Выводы.....	82
IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	83
4.1 Результаты сравнительных характеристик облицовочных материалов и технологические особенности облицовки оросительного канала	83
4.2 Результаты по лабораторным испытаниям	84
4.3 Техничко-технологические показатели сравниваемых технологий	85
4.4 Рекомендации по монтажу и контролю качества.....	93
4.5 Выводы	94
V. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ КОМПОЗИТНЫХ ОБЛИЦОВОК	95
5.1 Техничко-экономическое обоснование применения геомембран и геотекстиля для облицовки каналов	95
5.2 Выводы.....	100
Заключение	101
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ	103
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	103
Список литературы	104
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	119

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Для получения стабильной урожайности сельскохозяйственных культур одной из актуальных задач становится их орошение, что в свою очередь вызывает необходимость обеспечения надежности функционирования водопроводящих сооружений, протяженность которых на сегодняшний день составляет более 23 тыс. км. В то же время, только 20 % из них облицованы, что является актуальной проблемой современного сельского хозяйства. В связи с этим особую важность приобретает вопрос поддержания и обеспечения транспортирующей и водопроводящей функции водопроводящих каналов.

Поскольку потери воды на фильтрацию при эксплуатации каналов варьируют от 20 до 30 % от всего водозабора, встает вопрос об их снижении. Длительный срок эксплуатации, а также нерегулярное техническое обслуживание и ремонт приводят к разрушению бетонных покрытий и, как следствие, обуславливают высокий показатель потери воды.

Данная проблема занимает многих ученых еще с середины XX века, когда в 1960-х гг. начался этап широкомасштабной мелиорации сельскохозяйственных земель, направленный на увеличение площадей мелиорируемых земель сельскохозяйственного назначения. Результатом проведенных мероприятий стало увеличение площади мелиорируемых земель к 90-м годам XX века до 35 млн га, что в свою очередь обусловило рост объема продукции растениеводства до 80%.

Однако после этого наметился определенный кризис, поскольку работы по ремонту и восстановлению оросительных каналов практически не проводились. В результате отсутствия проводимых необходимых мероприятий остро встала проблема надлежащего функционирования оросительных каналов вследствие их разрушения.

Анализ состояния оросительных каналов показывает, что дефекты покрытия наблюдаются на значительной их части, что приводит к существенным потерям воды, росту эксплуатационных затрат и ухудшению санитарно-экологических показателей прилегающих территорий. Традиционные способы ремонта и замены

(бетонные плиты, монолитные решения) часто отличаются высокой капиталоемкостью, длительными сроками работ и ограниченной адаптивностью к сложным геотехническим и коррозионным условиям.

Вместе с тем в литературе и на практике все больше отмечается растущий интерес к инновационным технологиям и материалам, которые потенциально позволяют снизить как потери воды, так и стоимость жизненного цикла сооружений.

Однако требуется ряд технологических решений совершенствования технологий укладки, подбора композитных материалов, разработка комплексной методологии сравнительной оценки надёжности и экономической эффективности альтернативных технологий в реальных эксплуатационных условиях. Это затрудняет обоснованный выбор решений при эксплуатации и ремонте оросительных каналов.

На решение проблемы недостаточной изученности и ограниченного применения инновационных композитных материалов при ремонте и эксплуатации противοфилтpационных облицовок оросительных каналов направлена настоящая диссертационная работа.

Степень разработанности темы. Развитием тематики повышения эффективности эксплуатации оросительных каналов и гидротехнических сооружений мелиоративных систем занимались такие учёные, как Ф.К. Абдразаков (1989–2026), В.А. Волосухин (1990–2025), М.А. Бандурин (2005–2026), О.А. Баев (2011–2026), Д.Г. Горюнов (2000–2025), Н.Н. Дубенок (2011–2024), Ю.М. Косиченко (1984–2024), А.Е. Новиков (2013–2025), А.С. Овчинников (2010–2021), В.И. Ольгаренко (2013–2020), Г.В. Ольгаренко (2013–2022), Д.А. Соловьёв (2010), В.А. Шевченко (2017–2025), В.Н. Щедрин (1990–2023).

Проблемам совершенствования конструкций противοфилтpационных покрытий, применения полимерных и геосинтетических материалов при ремонте и реконструкции оросительных каналов были посвящены работы таких учёных, как Ю.М. Косиченко (2011–2024), Ф.К. Абдразаков (2016–2026), М.А. Бандурин (2014–

2026), О.А. Баев (2011–2026), А.Ю. Гарбуз (2014-2025), А.А. Рукавишников (2019–2026).

Однако, несмотря на значительный объём накопленных знаний, тема применения инновационных композитных материалов при ремонте и реконструкции, эксплуатации противофильтрационных облицовок оросительных каналов остаётся раскрытой лишь частично.

В большинстве работ основное внимание уделяется традиционным бетонным облицовкам, тогда как систематизированные данные о долговременной эффективности и экономической целесообразности современных композитных материалов в России представлены фрагментарно.

В связи с этим возникает объективная необходимость в дальнейшей работе по данной тематике, направленной на обоснование и расширение практического внедрения инновационных композитных материалов в практику ремонта и реконструкции, эксплуатации оросительных каналов.

Цель исследования - исключение потерь воды на фильтрацию за счет обоснования и применения композитных материалов в качестве альтернативы традиционной бетонной облицовке на оросительных каналах.

Задачи исследования:

1. провести мониторинг состояния оросительных каналов и анализ исследований применения инновационных композитных материалов;
2. теоретически обосновать предпосылки усовершенствования технологии укладки инновационными композитными материалами оросительных каналов;
3. разработать математическую модель для выбора инновационных материалов в качестве облицовки оросительных каналов;
4. провести экспериментальные лабораторные исследования для определения физико-механических свойств (показателей) инновационных композитных материалов;
5. выполнить технико-экономическое обоснование применения композитных материалов для облицовки оросительных каналов.

Объектом исследования являются оросительные каналы.

Предмет исследования – влияние защитных покрытий оросительных каналов на фильтрацию и потери воды.

Научная новизна результатов исследования:

- усовершенствованная технология строительства защитных покрытий оросительных каналов за счет применения композитных материалов;
- впервые предложена математическая модель для выбора инновационных материалов в качестве облицовки оросительных каналов;
- результаты лабораторных исследований композитных материалов на растяжение, продавливание и водонепроницаемость;
- технико-экономическое обоснование применения инновационных композитных материалов для облицовки оросительных каналов.

Теоретическая и практическая значимость работы теоретическая значимость исследования заключается в разработке математической модели многокритериального выбора композитного облицовочного материала, обосновании теоретических положений совершенствования технологии укладки композитных облицовок и получении новых экспериментальных данных о прочностных характеристиках геокомпозитов «КАПЛАМ 500» и «КАПЛАМ 1000» при растяжении и статическом продавливании.

Практическая значимость работы заключается в разработке усовершенствованной технологии укладки инновационного композитного материала «КАПЛАМ 1000» и внедрении на Самарском филиале ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз», Куйбышевском обводнительно-оросительном канале. Результаты внедрения подтвердили экономическую эффективность. Из расчётов следует, что себестоимость облицовки 1 м² канала с использованием бетонной плиты составит 1 999 руб., а себестоимость с использованием композитного материала – 620 руб., то есть 1 м² облицовки канала из композитного материала в 3,2 раза дешевле, чем бетонная облицовка. Также при использовании композитного материала в 2,34 раза увеличивается скорость укладки по сравнению с бетонной плитой.

Методология и методы исследования. При выполнении настоящей работы использовались теоретические методы – математическое моделирование, системный анализ. Проводились экспериментальные испытания на растяжение, для чего был выбран ГОСТ Р 56785-2015 Композиты полимерные. Для определения сопротивления статическому продавливанию (испытание шариком) и водонепроницаемости был использован ГОСТ 2678-94.

Положения, выносимые на защиту:

- усовершенствованная технология строительства и реконструкции облицовки оросительных каналов инновационными композитными материалами, исключая фильтрацию воды и позволяющая снизить сроки строительства;
- математическая модель для выбора инновационных материалов в качестве облицовки оросительных каналов;
- лабораторные исследования инновационного композитного материала на растяжение, продавливание и водонепроницаемость;
- технология применения инновационных композитных материалов для защитных покрытий оросительных каналов;
- технико-экономические обоснование эффективности применения композитных материалов по сравнению с традиционной бетонной облицовкой.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается лабораторными исследованиями, применением современных государственных стандартов при организации и проведении испытаний. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на V Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием «АПК России: образование, наука, производство» (Саратов, 2022 г.); на ежегодных конференциях ППС и аспирантов кафедры «Гидромелиорация, природообустройство и строительство в АПК» ФГБОУ ВО Вавиловского университета (Саратов, 2023-2026 гг.); на Международных научно-практических конференциях «Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства: Материалы Международной научно-практической

конференции, посвящённой памяти члена-корреспондента РАСХН и НАН КР академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я.В. (Рязань, 2023 г.) и «Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков: сборник материалов XVI международной научно-практической конференции» (Москва, 2023г.), на Всероссийской научно - практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные научные исследования в области мелиорации» (Новочеркасск, 2024 г.).

Результаты исследований внедрены на Куйбышевском обводнительно-оросительном канале.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе 5 статей в российских рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 15 - в сборниках докладов по материалам всероссийских и международных конференций. Общий объём с учетом долевого участия в коллективных публикациях составляет 7.2 печ.л., из них 3,8 печ.л. принадлежат автору.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы. Текст изложен на 124 страницах и содержит 26 рисунков, 19 таблиц, 2 приложения, акт внедрения. Список литературы включает в себя 111 наименований, включая 8 публикаций на иностранном языке.

I СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Виды и объем работ при реконструкции, эксплуатации и ремонте облицовок оросительных каналов

Большой срок службы защитных и противofильтрационных покрытий, составляющих около 50-60 лет является одним из важнейших факторов успешной эксплуатации каналов гидромелиоративного назначения. Работы в направлении повышения эффективности эксплуатации оросительных каналов и гидротехнических сооружений мелиоративных систем представлены у таких известных ученых (Ф.К. Абдразаков, В.А. Волосухин, М.А. Бандурин, О.А. Баев, Д.Г. Горюнов, Н.Н. Дубенок, Ю.М. Косиченко, А.Е. Новиков, А.С. Овчинников, В.И. Ольгаренко, Г.В. Ольгаренко, Д.А. Соловьёв, В.А. Шевченко, В.Н. Щедрин) [5, 16, 27, 36, 40, 50, 63, 64, 66, 67, 79, 86, 98, 101].

Постоянный контакт с водным потоком запускает в бетонных и железобетонных облицовках каскад постепенных разрушений. В первую очередь, теряется герметичность деформационных швов и стыков. Затем вода проникает в подплитное пространство, вымывает грунт, что вызывает образование пустот и неравномерные осадки. В самом бетоне появляются трещины, оголение арматуры. На конечной стадии отдельные карты плит разрушаются полностью, и вся система перестаёт нормально функционировать [6].

Использование современных и эффективных строительных материалов (например, геокомпозитных) является одним из способов борьбы с фильтрацией воды и ремонта покрытий на оросительных каналах [11, 18, 85].

При использовании бетонной облицовки чаще всего сталкиваются с растрескиваниями, недолговечностью (срок службы составляет около 25 лет), а также высокой степенью трудоемкости [14].

Вследствие разрушения швов, старения бетона и образования трещин появляется потребность в проведении периодического ремонта бетонных облицовок.

Целью данного подраздела является классификация видов работ по обслуживанию оросительных каналов и определения критериев принятия решений о типе вмешательства (текущий, средний, капитальный ремонт). Обслуживание каналов направлено на поддержание проектных гидравлических характеристик и обеспечение долговечности облицовки.

Периодический ремонт противифльтрационных облицовок делится на:

- текущий, который проводят через 1-5 лет;
- капитальный, его проводят каждые 10 - 25 лет.

К текущему ремонту относятся мероприятия, направленные на исправление повреждений элементов, возникающих под воздействием внешних факторов. Основная цель данного вида ремонта - поддержание каналов в работоспособном состоянии и увеличение их срока службы. Такие работы включают в себя [9]:

- удаление из каналов растительности, наносов и посторонних предметов, затрудняющих проход воды;
- очистку дренажных устьев, водопропускных отверстий, дорожных переездов, шлюзов-регуляторов от мусора и посторонних включений;
- земляные операции, в том числе планировку берм и откосов канала.

Данные мероприятия необходимо проводить ежегодно, на регулярной основе в строгом соответствии с утверждёнными планами эксплуатации гидромелиоративных систем, что в свою очередь обеспечит эффективное функционирование оросительных каналов за счет стабильной пропускной и транспортирующей функции сети. В то же время несоблюдение утвержденных планов и их нарушение приводит к сбоям в работе оросительных систем, в частности к различному виду отказам (к конструкционным, технологическим и эксплуатационным). К сложным и затратным видам ремонта относятся капитальный и аварийный ремонт [6, 12].

Капитальный ремонт - вид планового ремонта, направленный на восстановление крупных элементов оросительных сетей и ликвидацию разрушений. Сроки его проведения составляют один раз в несколько лет или при необходимости, когда текущего ремонта недостаточно для обеспечения бесперебойного функционирования оросительной системы. Срок выполнения и объем проводимых работ обусловлены особенностями мелиорируемых земель, самой оросительной системы, а также материалов и техники, необходимой на выполнения данного вида ремонта [18].

Аварийный ремонт проводят в случае внезапного отказа оросительного канала или аварии. Причинами аварийного ремонта являются несоблюдение правил технической эксплуатации (внутренние), а также различные стихийные погодные явления (внешние причины).

При аварийном ремонте могут применяться геосинтетические материалы, в частности геомембраны и геокомпозиаты на основе бентонита или бетона, которые создают высокоэффективный противofильтрационный барьер.

Однако у этих материалов есть и недостатки. Некоторые геомембраны отличаются невысокой прочностью и склонностью к проколам - как при монтаже, так и в процессе эксплуатации (например, корнями растений или защитным пригрузочным слоем). Кроме того, укладка геомембран требует тщательной подготовки основания, что заметно удорожает проект. Основные минусы бентонитовых матов - потребность в устройстве достаточно массивных пригрузочных слоёв, обеспечивающих их гидратацию, и низкая устойчивость к циклическому замораживанию-оттаиванию [108, 109].

Классификация работ представлена в Таблице 1.1. В таблице приведены типичные дефекты, единицы измерения, соответствующие пороги перехода между уровнями ремонта и ориентировочные ресурсы.

По итогам выполненного анализа отечественных и зарубежных работ было установлено, используемые защитные покрытия на данный момент по сравнению с композитными материалами являются сложными, экономически затратными, а также требующее большое количество техники и специалистов.

Таблица 1.1 – Виды и объём работ по обслуживанию оросительных каналов

Вид ремонта	Примеры дефектов	Критерий перехода	Рекомендуемое действие	Частота / период
Текущий	Накопление наносов, поверхностные осадки, мелкие трещины	Высота наносов $< 0,25$ м; потеря пропускной способности $< 10\%$	Очистка, локальная зачистка, мелкие латки	ежегодно
Средний (локальный)	Локальные трещины, неглубокие вскрытия, швы	Накопления $0,25\text{--}0,5$ м; потеря пропускной способности $10\text{--}40\%$	Локальная замена сегмента, установка геомембраны/латок	по необходимости (1–5 лет)
Капитальный	Широкие разрушения, множественные дефекты, разрушение основания	Накопления $>0,5$ м; потеря пропускной способности $>40\%$;	Полная замена облицовки, выравнивание основания, реконструкция	раз в 10–25 лет

Также был нами проведен анализ научных работ некоторых ученых в том числе и зарубежных. Обследование трещин и отверстий в различных типах облицовочных покрытий, выполненное X. Han, X. Wang, Y. Zhu и J. Huang [107], позволило установить, что основными причинами роста фильтрационных потерь являются дефекты в стыках сборных бетонных плит и перфорация геомембраны. Применение комбинированной бетонно-геомембранной облицовки обеспечило сокращение фильтрации на 86 % по сравнению с необлицованным земляным руслом; однако к третьему году эксплуатации этот показатель снизился до 68 %, что свидетельствует о постепенной деградации защитного эффекта. На основе выявленной статистической зависимости между снижением фильтрации и сроком проведения ремонта авторы разработали методику оценки потерь воды из облицованных каналов. Расчёты показали, что игнорирование фактора старения облицовки приводит к систематической недооценке фильтрационных потерь (на 58

%) и, как следствие, к завышению показателей эффективности водопользования в канале.

На рисунке 1.1 изображена бетонопленочная облицовка с геомембраной. Приведённая конструкция включает защитное бетонное покрытие и геомембрану толщиной 1,5–2,0 мм, что обеспечивает снижение повреждаемости геомембраны за счет более высокой прочности и значительного относительного удлинения до 600–700 %.

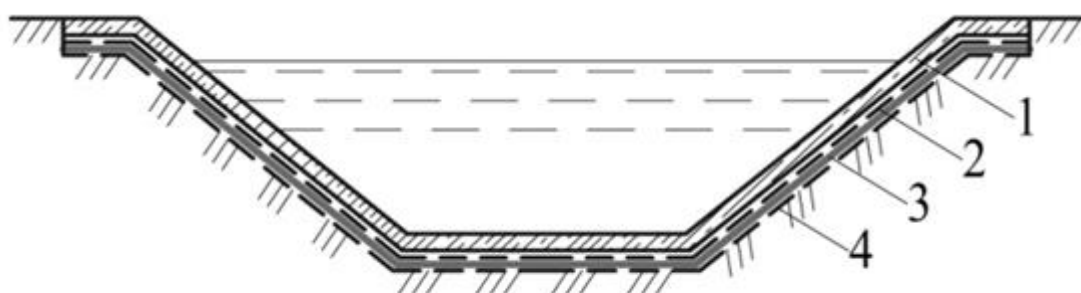


Рисунок 1.1 - Бетонопленочная облицовка с геомембраной

1 – бетонное покрытие; 2 – геотекстиль в один слой; 3 – геомембрана толщиной 1,5–2,0 мм; 4 – геотекстиль в два слоя

Кроме того, сверху геомембраны уложено защитное покрытие в виде геотекстиля с плотностью от 350 до 670 г/м², а также дополнительный слой геотекстиля такой же плотности 350–600 г/м², что увеличивает сопротивление образованию проколов в геомембране в 1,5–2,0 раза. В этом случае обеспечивается противопроточное действие всей конструкции облицовки [29].

В исследовании Г. В. Охупкина с соавторами [69] представлен анализ методов восстановления бетонных облицовок при локальных и площадных дефектах. Установлено, что при повреждениях площадью более 1 м² применяются укладка бетонных смесей либо механизированное нанесение композитных составов, тогда как локальные разрушения устраняют ручным способом. Выбор между ручным и механизированным нанесением определяется глубиной дефекта: до 0,1 м допустимы оба варианта; при глубине свыше 0,1 м требуется исключительно механизированное нанесение.

Технологическая схема ремонта бетонной смесью включает следующие операции: удаление ослабленного бетона из полости дефекта; очистку подготовленной поверхности; монтаж и демонтаж опалубки; укладку бетонной смеси. Данный регламент обеспечивает поэтапное восстановление конструкционной целостности облицовочного покрытия. Минимальная толщина укладки бетонной смесью составляет 0,1 м., следовательно, при глубине подготовленной полости менее 0,1 м укладка бетонной смеси невозможна. В связи с чем, далее рассмотрено техническое решение, включающее дополнительное удаление бетона, обеспечивающее глубину подготовленной полости 0,1 м и возможность укладки бетонных смесей при глубине разрушений менее 0,1 м [69].

1.2 Техническое состояние оросительных каналов Саратовской области и способы их восстановления

Программа широкомасштабной мелиорации, стартовавшая в 1966 году, дала мощный импульс развитию мелиоративных работ в стране, что позволило быстро наращивать площади орошаемых земель. К началу 1990-х годов мелиорируемый фонд России достиг 35 млн. га, а продукция растениеводства, полученная на этих землях, обеспечила прирост урожаев в пределах 80% [5, 53].

В последующий период, после 1990-х годов, на значительной части оросительных каналах практически полностью прекратилось выполнение ремонтно-восстановительных работ. Дефицит эксплуатационных мероприятий привёл к устойчивому снижению уровня и качества орошения, что негативно отразилось на состоянии мелиоративной инфраструктуры.

Как следствие, часть мелиорированных земель подверглась разрушению и выбыла из оборота. За 20–25-летний период пахотные угодья сократились на 22,7% и 32,6% по соответствующим категориям; одновременно снизилась и эффективность использования оставшихся площадей - зафиксировано падение урожайности, т.е. уменьшение выхода продукции с единицы площади.

Исторически сложилось, что Саратовская область относится к засушливой зоне, но несмотря на это имеет все необходимые для получения высокой урожайности ресурсы. Такие условия приводят к острой необходимости проведения таких агротехнологических мероприятий, как постоянное орошение и уход за оросительными каналами [15].

На 2025 г, посевные площади Саратовской области, занимают 3730,9 тыс. га, что составляет 4,7 % общей посевной площади в стране. В то же время площадь земель, отведенных под орошение, составляет всего 295 тыс. га., или 7,9%, хотя проектная мощность дает возможность орошать площади размером 500 тыс. га., что составляет уже 13,4% от размера всех посевных площадей Саратовского региона (таблица 1.3) [5, 13].

При анализе современного состояния оросительных каналов Саратовской области, отмечается значительный износ мелиоративных систем, который в свою очередь приводит к значительному снижению продуктивности сельскохозяйственных культур (таблица 1.2) [18].

Таблица 1.2 – Состояние мелиоративных систем и гидротехнических сооружений

Название	Назначение	Площадь орошения тыс.га.		Фактический физический износ, %
		Проектная	Фактическая	
Саратовский канал	Обводнение, орошение	10,7	0,343	47
Ровенская о.с.	Орошение	25,1	1,15	85
Энгельская о.с.	Орошение, обводнение	36,4	11,833	76
Приволжская о.с.	Орошение	58,2	29,341	82
Калининская о.с.	Орошение	14,5	1,299	82
Ершовская о.с.	Орошение, обводнение	67,3	26 029	73
Балаковская о.с.	Орошение	45,1	4,805	93

Несмотря на то, что проектная площадь орошения должна приблизительно равняться фактической, в реальности мелиоративные системы способны

обеспечивать орошение проектных посевных площадей, не соответствующих фактическим.

В 2022 году проведены полевые обследования магистральных каналов 1-2 очереди Энгельсской оросительной системы, в ходе которых собран пакет данных по основным повреждениям (отражающие распространённость основных видов повреждений, глубину наносов и текущую пропускную способность участков), рисунок 1.2.

Таблица 1.3 - Структура посевных площадей на орошаемых землях

Название	Структура посевных площадей на орошаемых землях			
	Зерновые культуры, тыс. га	Овощные культуры, тыс. га	Кормовые культуры, тыс. га	Прочие культуры, тыс. га
Саратовский канал	0	0	0	0,343
Ровенская о.с.	0,3	0,5	0	0,35
Энгельская о.с.	6,3	2,2	2,5	0,833
Приволжская о.с.	14,1	0,83	12,5	1,911
Калининская о.с.	1,2	0,099	0	0
Ершовская о.с.	4,441	0,347	21,241	0
Балаковская о.с.	2,3	0,1	1,105	1,3

Так, выявлено разрушение бетонного облицовочного материала оросительного канала. Глубина повреждения – 10 см, длина – 180 см, ширина – 85 см, что приводит к возникновению трещины, глубина которой – 12 см. Данный вид разрушения фиксируется по всей длине канала с небольшой периодичностью. Следствием этого повреждения является увеличение расхода воды в ходе ее подачи, а также размыв русла. Происходит заиливание дна оросительных каналов, что снижает их пропускной способности и повышает уровень воды [1].

Кроме того, по всей протяженности облицовочных каналов наблюдаются оползание, сдвиг и выпор бетонных плит, сколы и отшелушивание бетона.

Согласно таблице 1.4, фиксируем удовлетворительное состояние магистральных каналов 1-2 очереди Энгельсской оросительной системы. В частности, отмечается значительное снижение пропускной способности

оросительного канала за счет того, что вода уходит через разрушенные поры, что в свою очередь вызывает фильтрационные потери.



Рисунок 1.2 – Повреждения противофильтрационного покрытия МК 1
Энгельсской оросительной системы

Представим общие результаты обследования в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Состояние оросительных каналов Энгельсского филиала

Оросительный канал	Протяжённость, км	Процент износа, %	Протяжённость заиления, км	Высота наносов, м
МК 1	22	40*	3*	0,25
МК 2	20	20*	1,5*	0,15
Итого	42	30*	4,5*	0,2*

*Среднее значение

Проанализировав данные, мы пришли к выводу, что для повышения эффективности защитных покрытий оросительных каналов композитными материалами можно применить несколько способов. Наиболее перспективным направлением является использование композитных материалов, исследования в данном направлении проводят известные ученые (Ф.К. Абдразаков, М.А. Бандурин, Ю.М. Косиченко, О.А. Баев, А.Ю. Гарбуз, А.А. Рукавишников) [12, 13, 32, 40, 56].

Для устранения дефектов бетонной облицовки предложен способ [27], заключающийся в замене повреждённого участка на противofильтрационный элемент, выполненный в виде профилированной геомембраны. Элемент укладывают жёсткими рёбрами вниз на свежесложенный бетонный слой. Данная технология обеспечивает оперативное и эффективное восстановление покрытий оросительных каналов, а применение полимерной геомембраны способствует заметному снижению шероховатости поверхности, в первую очередь на отремонтированных участках, и как следствие – увеличению пропускной способности канала.

Совместное использование профилированной геомембраны и геосетки при ремонте бетонных облицовок позволяет продлить срок службы гидротехнического сооружения на 30–40 лет, уменьшить фильтрационные потери и одновременно сократить объём выполняемых бетонных работ [27].

Известен также альтернативный метод восстановления противofильтрационного экрана, включающий укладку полимерного полотна, устройство защитной отсыпки и последующий дистанционный контроль сплошности покрытия с передачей результатов на персональный компьютер. Обнаруженные повреждения ликвидируются адресно: через инъекцию бентонитового раствора, подаваемого под давлением, либо, при значительных размерах дефекта, путём наложения заплат из полимерного материала. Ключевое преимущество метода состоит в автоматизации мониторинга и обеспечении оперативного поступления информации об утечках [73].

По предоставленной Федеральной службы государственной статистики можно сделать вывод о том, что одним из ведущих регионов по площади

орошаемых земель в Российской Федерации является Саратовская область, но с той же стороны нельзя и не заметить проблему физического износа оросительных систем, которая уже составляет 55 % и продолжает стремительно расти из чего можно сделать вывод, что при текущей динамике обновления облицовок на каналах объем работ по восстановлению будет расти соответственно [103].

1.3 Применяемые в мелиоративном производстве технологии для ремонта облицованных каналов

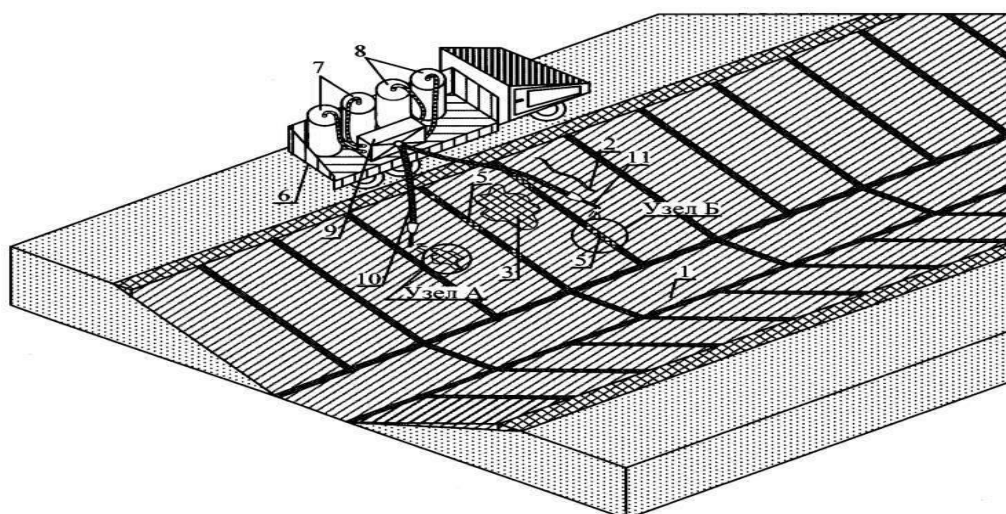
В наше время идет бурный рост уровня технологий, поэтому нужно следовать тенденциям, ведь каждая применяемая технология сулит улучшение показателей, уменьшение трудозатрат и расходов, а также уменьшение сроков и сложности работ на объектах. Поэтому мы должны изучить их для того, чтобы не прекращать развитие. В следствии этого был проведен анализ некоторых разработок.

Ремонт бетонных облицовок длительно работающих каналов состоит из следующих этапов:

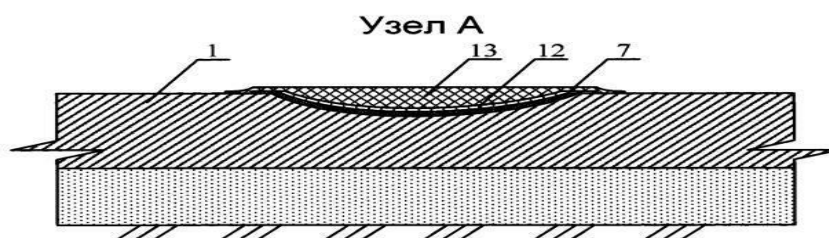
- 1) подготовка дефектного участка;
- 2) очистка поверхности облицовки;
- 3) праймирование с использованием механизированного оборудования;
- 4) напыление на поврежденную поверхность бетонной облицовки тонкого слоя компонента А;
- 5) укладку полотна тканого или нетканого геотекстиля;
- 6) устройство финишного покрытия с использованием компонента Б.

Компонент А представлен в виде полимерно-битумной эмульсии, а компонент Б - в виде закрепителя поверхности. Соотношение компонентов принимается 8:1. Преимуществом заявленного изобретения является возможность ремонта различных повреждений бетонных облицовок длительно работающих каналов гидромелиоративных систем вне зависимости от их размеров, повышение надежности, эффективности и продление срока службы бетонных облицовок,

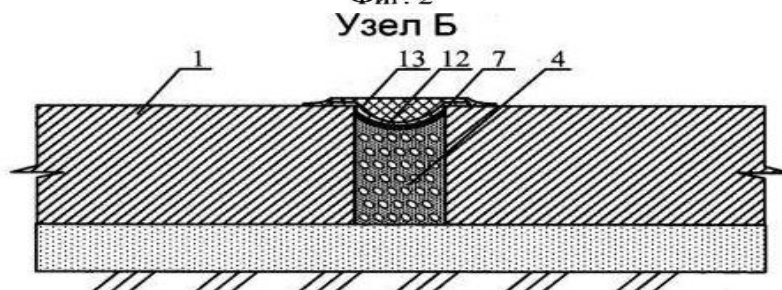
ликвидация зон фильтрации на противофильтрационных облицовках и снижение их шероховатости [77] (см. рисунок 1.3).



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

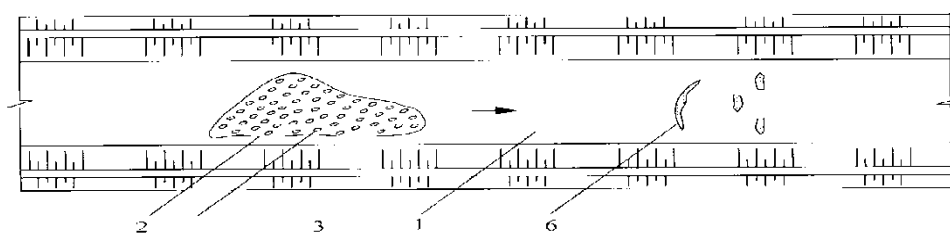
Рисунок 1.3 - Схема оросительного канала с расположенной техникой для проводимых ремонтно-восстановительных работ

1 - бетонная облицовка; 2 - повреждение в виде удлиненной (волосяной) трещины; 3 - локальное 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 покрытие.

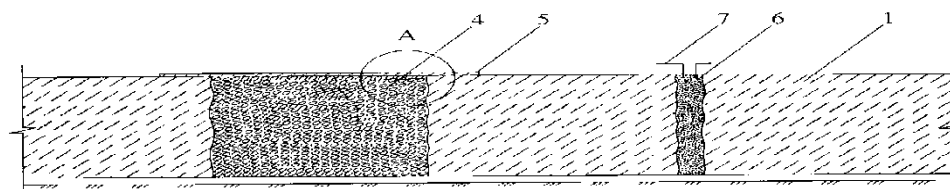
Ремонт облицовок оросительных каналов проходят только при полном их опорожнении.

Для данных работ применяется - компонент А и компонент Б (8 литров компонента А к 1 литру компонента Б).

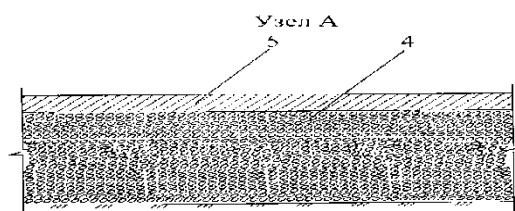
В соответствии с методом, разработанным О.А. Басовым и др. [76] ремонт и герметизация повреждений бетонных облицовок осуществляются дифференцированно в зависимости от размера дефекта. В случае дефекта при ширине $\geq 0,05$ м поврежденный участок покрывается гравийно-щебёночным составом, а поверхность облицовки оросительного канала фиксируется водонепроницаемой полибентонитовой композицией. При повреждениях шириной $\leq 0,05$ м происходит герметизация облицовок каналов вследствие повышения давления за счет воздействия жидкого полиэтилена и бентонита (рисунок 1.4) [70].



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Рисунок 1.4 - Схематическое изображение способов ремонта и герметизации повреждений бетонных облицовок каналов

1 - бетонная облицовка; 2 - крупные повреждения; 3 - дефектный участок; 4 - щебеночно-гравийный материал; 5 - жидкая композиция; 6 - малые повреждения; 7 - инъекторы.

Полибентонитовая композиция, предназначенная для герметизации незначительных по размеру дефектов, содержит (масс. %): жидкий полиэтилен - 60, бентонит - 30, антифрикционные добавки - 10. При введении в полость трещины или щели жидкая смесь инициирует регенерацию повреждённого участка: частицы бентонита, взаимодействуя с водой, набухают и заполняют микронеровности, после чего полиэтиленовая матрица отверждается, фиксируя разбухший слой и превращая его в сплошной водонепроницаемый барьер [76].

1.4 Композитные облицовочные материалы, применяемые в мелиоративном производстве

1.4.1 Композиционный противofильтрационный материал на основе вторичного полиэтилена

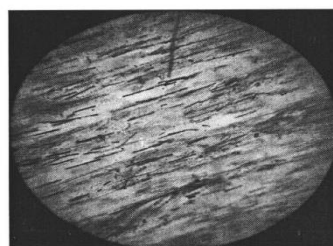
Разработан композиционный противofильтрационный материал, в котором в качестве матрицы используется вторичный полиэтилен, а армирующим компонентом служит углеграфитовое волокно. Композиция содержит (мас. %): вторичный полиэтилен – 93–96; дроблёное до размера 1 мм углеграфитовое волокно – 1–6; сажевый стабилизатор – 2,5–3; водный раствор малеиновой кислоты – 0,2–0,5. Для повышения адгезионного взаимодействия с полиэтиленом углеграфитовое волокно предварительно смачивают 30 %-ным водным раствором малеиновой кислоты, высушивают, после чего смешивают с полимерной матрицей и сажевым стабилизатором. Полученную смесь экструдируют с целью гомогенизации [74].

Технологический цикл изготовления материала начинается с пропитки углеграфитовых волокон (или обрезков соответствующих тканей) 30 %-ным водным раствором малеиновой кислоты с последующей сушкой при температуре 80–110 °С в воздушной атмосфере (см. рисунок 1.5). Высушенное волокно совмещают с предварительно измельчённым вторичным полиэтиленом и стабилизатором, после чего композиция подвергается экструзионной переработке до достижения равномерного распределения компонентов.

Сначала волокна обрабатывают малеиновой кислотой - она обволакивает поверхность и создаёт барьер от окисления, не давая волокнам терять прочность. Затем высушенное волокно или тканевую обрезь пропускают через ножевую дробилку, добиваясь размера частиц не крупнее 1-2 мм. Дальше подготовленный волокнистый наполнитель вводят во вторичный полиэтилен, который к этому моменту уже прошёл дробление, агломерацию, очистку и сушку.



Фиг. 1



Фиг. 2

Рисунок 1.5 - Композиционный противодиффузионный материал на основе вторичного полиэтилена

Перемешивают до тех пор, пока волокна не разойдутся в объёме равномерно. Полученную смесь загружают в бункер экструдера, где при 160–180 °С она превращается в однородный расплав. Через щелевую головку расплав выходит плоской лентой, и тут же, пока материал ещё горячий, его пропускают через зазор охлаждающих валков - они не только остужают полотно, но и фиксируют его толщину. Сформированное противодиффузионное покрытие сворачивают в рулон.

Согласно данным, заявленным в технической документации, заводом-изготовителем, прочность первичного полиэтилена высокого давления составляет 9,8-16,7 МПа. В то же время исследования показали, что облицовочный материал из вторичного полиэтилена обладает определенными преимуществами, которые

выражаются в повышении прочности до 19,34-22,17 Мпа, что приводит к повышению надежности функционирования оросительного канала.

Разработка отличается от аналогов двумя принципиальными моментами. Во-первых, матрицей служит вторичный полиэтилен, в том числе извлечённый из ТБО, – это решает и экономическую, и экологическую задачи. Во-вторых, углеграфитовые волокна перед введением в матрицу обрабатывают малеиновой кислотой. Кислота модифицирует поверхность, резко улучшая сцепление с полиэтиленом. В результате прочность композита растёт, а доля дорогого углеволокна остаётся минимальной. Переработку ведут экструзией с каландрированием: экструдер гомогенизирует смесь, а валки равномерно распределяют волокно и фиксируют толщину. На выходе вторичный материал показывает прочность, сопоставимую с первичными плёнками, и может напрямую применяться как противofильтрационное покрытие [74].

1.4.2 Противofильтрационное геокомпозитное покрытие

Противofильтрационные геокомпозитные покрытия с бентонитовым наполнителем позволяют выполнять гидроизоляцию оросительных каналов и водоёмов без их опорожнения, то есть в условиях постоянного присутствия воды. При этом критически важно исключить преждевременный контакт бентонита с влагой на этапах транспортировки и монтажа, поскольку его неконтролируемая гидратация способна полностью лишить материал работоспособности [72].

Для решения этой задачи предложено покрытие, состоящее из двух слоёв геотекстиля с прослойкой бентонитовой глины и балластовым слоем песка, предотвращающим всплытие. Полотнище скреплено иглопробивным способом и заключено между двумя плёночными полотнищами, которые по периметру запаяны или заклеены водонепроницаемым клеем. Благодаря такой герметизации вода не проникает внутрь в процессе монтажа.

Для запуска процесса гидратации после завершения монтажа на одном из плёночных полотнищ выполняются щелевые надрезы, которые временно

закрываются клеящимися лентами из водорастворимого полимера. После растворения лент вода через надрезы проникает внутрь, достигает бентонитового слоя и вызывает его набухание. В результате набухания формируется сплошной водонепроницаемый экран, ликвидирующий фильтрационные потери (см. рисунок 1.6).

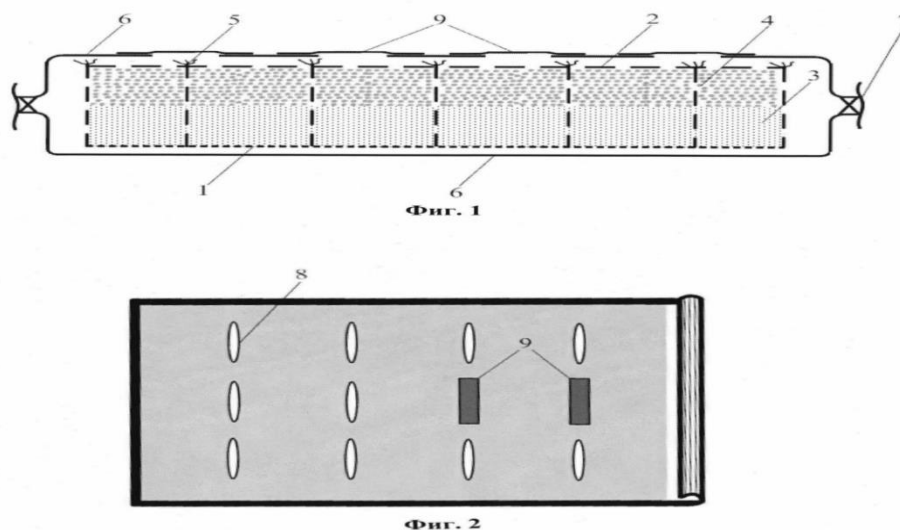


Рисунок 1.6 - Противофильтрационное геокомпозитное покрытие

Конструктивно покрытие (рисунок 1.6) состоит из двух защитных покрытий, плотность нижнего (1) – не менее 450 г/м^2 , верхнего (2) – не ниже 700 г/м^2 . На нижнее покрытие нанесены слой песка (3) и слой Са-бентонита (4), скреплённые между собой (5). Защитное покрытие находится между двумя плёночными полотнищами (6), зафиксированными по периметру водонепроницаемым клеем (7). Щелевые надрезы (8) обеспечивают исключение фильтрации, клеящиеся ленты – формирование водонепроницаемого экрана после укладки облицовки оросительного канала.

Такое покрытие допускает укладку в стоячую воду, в том числе в действующий оросительный канал, без его опорожнения. Наличие балластового песчаного слоя препятствует всплытию материала, а двусторонняя плёночная оболочка предохраняет бентонит от раннего контакта с водой. После растворения клеящихся лент вода просачивается через щелевые надрезы и запускает гидратацию, в результате чего вся конструкция превращается в сплошной водонепроницаемый барьер. Данное решение расширяет область применения

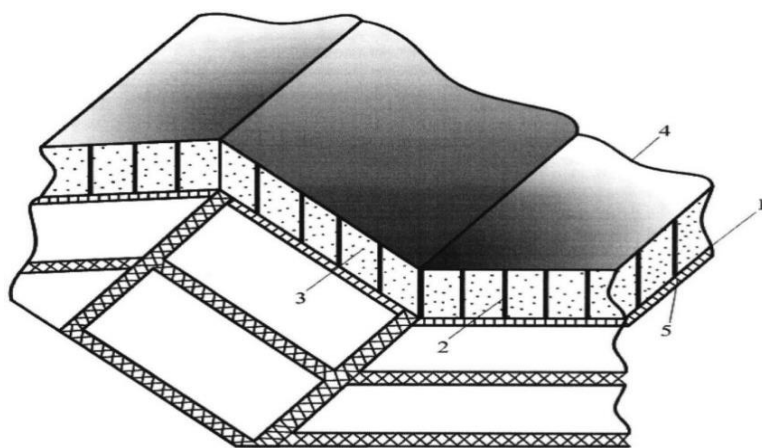
бентонита и бентонитовых матов, позволяя монтировать их не только по сухому основанию, но и непосредственно в воду [72].

1.4.3 Полимерный композитный материал на основе бентонита

Для облицовки оросительных каналов предложен полимерный композитный материал на основе бентонита с профилированным нижним полотнищем. По всей его площади через одинаковые расстояния сформированы полимерные каналы, заполненные бентонитом. Сверху уложено эластичное полимерное полотнище, соединённое с нижним экструзионной сваркой [71].

При возникновении локальных повреждений вода, проникающая через возможные отверстия, контактирует с бентонитом, который набухает и регенерирует (самозалечивает) дефектное место, восстанавливая герметичность. Для применения в сложных инженерных условиях в состав материала дополнительно введён слой полимерной плоской георешетки, прикреплённый к основанию нижнего полотнища методом экструзии.

Применение двух полимерных полотнищ уменьшает шероховатость поверхности, а при опорожнении канала или водоёма противofильтрационное покрытие сохраняет герметичность, не образуя трещин в гидратированном бентонитовом слое. Для ручной укладки материал изготавливается в виде рулонов или листов. Соединение отдельных полотнищ на объекте производится сваркой методом горячего клина (см. рисунок 1.7 и таблицу 1.5) [75].



- 1 - нижнее полимерное полотнище;
- 2 - профилированные каналы;
- 3 - бентонит;
- 4 - верхнее полимерное полотнище;
- 5 - полимерная плоская георешетка.

Рисунок 1.7 - Полимерный композитный материал на основе бентонита

Таблица 1.5 – Композитные облицовочные материалы: свойства и сравнительный анализ

Материал /тип	Прочность на растяжение, МПа	Удлинение при разрыве, %	Модуль Е, МПа	Толщина, мм
Бетонная плита	4 – 6	<1%	20 000 – 30 000	50 – 150 (плиты)
HDPE (рулоны)	15 – 30	300 – 700	700 – 1200	1.0 – 2.5
LLDPE	10 – 25	400 – 700	400 – 1000	1.0 – 2.0
EPDM (каучук)	6 – 15	200 – 600	5 – 30	1.2 – 2.5
Геокомпозит + бентонит	конструктивно не несущий	—	—	5 – 20
Комбинированный композит	10 – 40	50 – 400	500 – 5000	3 – 30

Продолжение таблицы 1.5

Материал /тип	Плотность, кг/м³	Водонепроницаемость / барьер	УФ-стойкость / замечание	Срок службы, лет
Бетонная плита	2300 – 2500	низкая	стойкая, коррозия арматуры - риск	30–50
HDPE (рулоны)	940 – 970	практически водонепроницаем	высокая, требует стабилизации (UV- стабилизаторы)	20–40
LLDPE	915 – 940	как HDPE, но гибче	УФ-стабильность зависит от добавок	15–30
EPDM (каучук)	900 – 1200	низкая	отличная УФ- стойкость	20–40
Геокомпозит + бентонит	зависит от основы	высокая (при набухании бентонита)	бентонит боится дл. высыхания	15–30
Комбинированный композит	800 – 2200	зависит от конструкции	зависит от полимерной матрицы	15–40

Под компонентами рассматриваемых композитных облицовок выступают полимерные плёнки, геосинтетические основы и бентонитовые наполнители. Для корректного сравнения материалов использован стандартный набор механических и эксплуатационных показателей: прочность на растяжение, удлинение при разрыве, модуль упругости E , плотность, толщина, водонепроницаемость, УФ-стойкость и предполагаемый срок службы. Под компонентами рассматриваемых композитных облицовок выступают полимерные плёнки, геосинтетические основы и бентонитовые наполнители. Для корректного сравнения материалов использован стандартный набор механических и эксплуатационных показателей: прочность на растяжение, Удлинение при разрыве, модуль упругости E , плотность, толщина, водонепроницаемость, УФ-стойкость и предполагаемый срок службы.

1.5 Текущие проблемы и перспективы перевооружения мелиоративных систем

Распад Советского Союза, сопровождавшие его кризисы и последующие реформы отрицательно сказались не только на сельском хозяйстве, но и на всей системе комплексной мелиорации земель. Переходный период 1991–2000 годов в разных регионах ознаменовался либо практически полным прекращением, либо резким свёртыванием объёмов мелиоративных работ; появились бесхозные объекты, которые подвергались разграблению, пришли в запустение. Одновременно произошёл почти полный отказ от химической и биологической рекультивации, причиной чему послужили высокая стоимость и дефицит необходимых препаратов. Очевидно, что подобная ситуация не могла способствовать развитию ни сельскохозяйственного производства, ни самого мелиоративного комплекса [53].

Например, в настоящее время в Российской Федерации эксплуатируется 31 тыс. гидротехнических сооружений различного уровня, общий износ которых составляет более 50%. Такие мелиоративные сооружения работают неэффективно и требуют реконструкции или капитального ремонта [35, 98].

Как показывают данные, неэффективное использование мелиоративных систем на различных уровнях негативно сказывается на рациональности землепользования. Таким образом, данные, полученные в ходе ряда экспериментов, свидетельствуют о том, что урожайность сельскохозяйственных культур на деградированных почвах на 40-70% ниже, что, безусловно, ставит под угрозу продовольственную безопасность страны [68].

Возобновление и широкомасштабное применение мелиорируемых земель, выступает решением проблем, взаимосвязанных с повышением качества почв и прекращением процессов деградации.

Возрождение для российской мелиорации наступило в момент острого осознания того, что альтернативы ей нет, и в очень скором времени плодородие почв само по себе не восстановится. Конечно, комплексная мелиорация земель является очень дорогостоящей и требует не только огромных финансовых вложений, но и ряда научно-технических исследований. Для противодействия наиболее острым вызовам в сфере продовольственной безопасности в Российской Федерации приняты федеральные целевые программы государственной поддержки отраслей экономики, призванные сохранить рентабельность и целостность агропромышленного комплекса. Без реализации указанных программ функционирование АПК как единой хозяйственной системы оказалось бы под вопросом [53].

Вместе с тем, несмотря на внешне позитивный эффект от предпринятых шагов, эксперты квалифицируют текущее состояние мелиоративного комплекса страны и её субъектов как систематически ухудшающееся. Согласно оценкам, приведённым в монографии «Развитие мелиорации сельскохозяйственных земель в России» под общей редакцией академика РАН, доктора технических наук, профессора В. Н. Щедрина, объём финансирования, выделяемый на содержание федеральной составляющей инженерной части комплекса, не превышает одной пятой от реальной потребности; ещё более низкий уровень характерен для мелиоративных систем и внутрихозяйственных мелиоративных сооружений [99].

Как следствие, в большинстве регионов сохраняется сложная, с тенденцией к дальнейшему обострению ситуация в области сохранения и восстановления плодородия почв, а также развития мелиорации сельскохозяйственных земель. Ограниченность финансовых ресурсов не позволяет реализовать весь спектр необходимых мероприятий, что в долгосрочной перспективе создаёт риск необратимой утраты продуктивного потенциала земель, передаваемых будущим поколениям. Таким образом, при производстве сельскохозяйственных культур потери гумуса, по оценкам ученых, составляют в среднем от одной до трех тонн с гектара в год. Наблюдается увеличение площадей кислых почв. Проблема известкования почв остается чрезвычайно актуальной. Неблагоприятная ситуация с повышением кислотности почвы усугубляется из-за применения физиологически кислых минеральных удобрений сельскохозяйственными производителями с целью получения максимальной пользы, часто без учета состояния почвы [52].

Износ мелиоративных систем и ГТС очень высокий, поэтому восстановление возможно только на основе разработки и принятия Программы развития мелиорации земель в России. Восстановление и продуктивное использование орошаемых и осушенных земель на площади 8833,6 тыс. га к 2030 г., согласно экспертной оценке [8], потребует капитальных вложений, оцениваемых в 2055,8 млрд руб.

Эффективное использование восстановленных мелиорированных земель позволит значительно увеличить урожайность сельскохозяйственных культур с ежегодным сбором до 49 млн. т. с орошаемых земель и 26 млн. т. с осушенных земель [29].

Принятая государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации до 2030 года, начала свою работу, среди целевых индикаторов стратегического плана обозначено [96]:

- обеспечение использования в сельхозпроизводстве не менее 90% имеющегося ирригационного фонда, с действующими мелиоративными системами;

- достижение прироста урожайности сельскохозяйственных культур и валового производства продукции на мелиорированных землях (к базовому показателю в зерновых единицах), в том числе: на орошаемых землях - 50-70%, на осушенных землях - 30-50%;

- определение собственника и постановка на учет бесхозяйных мелиоративных систем с площадью мелиорированных земель 2,24 млн га и другие показатели [80].

Снижение капитальных вложений и необходимость сокращения операционных расходов формируют требование к решениям с низкими расходами и возможностью точечного ремонта. Это определяет приоритет в пользу лёгких, быстро укладываемых композитных систем с простыми процедурами восстановления.

1.6 Техническое состояние и перспективы совершенствования и обновления облицованных оросительных каналов

Проблема долговечности бетонных и железобетонных элементов гидротехнических сооружений на ирригационных системах в настоящее время является наиболее актуальной и важной. Учитывая специфику условий эксплуатации гидротехнических сооружений, основными требованиями, которым должны соответствовать бетонные поверхности, являются: водонепроницаемость, устойчивость к механическим и химическим воздействиям, морозостойкость и т.д. [7, 82].

При длительной эксплуатации объектов водоснабжения многие конструктивные элементы полностью или частично выходят из строя из-за разрушения железобетонных конструкций, образования дефектов, нарушающих стабильную эксплуатацию (например, разрушение стыковых соединений или отдельных элементов конструкции, образование длинных продольных и поперечных трещин, выбоин, сколов, отслаивание (коррозия) и отслаивание бетона). Продольные трещины, возникающие на поверхностях облицовок,

появляются в нижней половине плиты на средней высоте $1/3$ уклона канала. В каналах с большой глубиной в зоне обводнения образуются продольные трещины. Необходимо своевременно проводить осмотры и ремонт эксплуатируемого объекта, чтобы предотвратить дальнейшее появление различных дефектов [40].

На рисунке 1.8 представлено повреждение облицовочного материала из бетона, глубина разрушения – 13 см, длина – 180 см, ширина – 85 см, переходящее в трещину по всей длине плиты, глубина которой – 3 см. Подмыв грунта в основании канала привело к деформированию и разрушению бетонной облицовки.



Рисунок 1.8 – Повреждения противофильтрационного покрытия МК 1
Энгельсской оросительной системы

В магистральном канале 1-й очереди Энгельсской оросительной системы зафиксировано повышение расхода воды при ее подаче для потребителей, а также размыв русла канала. Другими негативными последствиями, возникающими

вследствие циклов снижения и повышения внешних температур, являются оползание, сдвиг и выпор бетонных плит, сколы и отшелушивание бетона [1].

Чтобы выбрать защитное покрытие для оросительного канала, недостаточно руководствоваться общими соображениями - необходимо просчитывать решение под конкретные почвы, уровень грунтовых вод и климат участка [40].

Иначе велик риск ошибки. Согласно ряду проведенных и авторских исследований, при ремонте бетонных облицовочных материалов нежелательно использовать цементно-песчаные смеси по причине их низкой эффективности. Они характеризуются низкой водостойкостью, неустойчивостью к агрессивным внешним воздействиям (химическое и УФ-воздействие) и долгим сроком затвердевания [65, 89].

Для проведения реконструкционных и ремонтных работ оросительных систем, можно применять полимерные композиционные материалы для исключения и предотвращения фильтрационных потерь. Критериями выбора композитного материала облицовки оросительного канала будут являться:

Стоимость: при выборе композитного материала для облицовки оросительного канала первичная покупная цена - это лишь верхушка айсберга. Истинные затраты раскрываются в стоимости всей проведенной работы, начиная от момента покупки до конечной утилизации материала. Стоимость транспортировки и логистики, варьирующаяся в зависимости от расстояния и способа доставки, может существенно повлиять на окончательный расчет, так же, как и расходы на монтаж, которые включают аренду оборудования, рабочую силу и необходимые материалы [17].

Регулярные затраты на обслуживание и ремонт становятся важными позициями в общем бюджете, ведь именно они определяют долгосрочную эффективность инвестиций. Несмотря на высокую стоимость материалов с большим сроком службы, используемых в ремонтно-восстановительных работах, их применение в конечном итоге приводит к снижению общих затрат в процессе эксплуатации. Этим фактом стоит руководствоваться при выборе облицовочного материала оросительных каналов.

Срок укладки: при проведении ремонтно-восстановительных работ отдавать предпочтение материалам с коротким сроком укладки, на который оказывают влияние такие факторы, как внешняя температура, количество человек, занятых при ремонтных работах, форма оросительного канала, а также географическая зона, в которой он находится [17].

Время застывания – один из факторов, учитываемый при работе на оросительном канале.

В состав геосинтетических материалов, применяемых в ремонтно-строительных работах, могут входить смолы, фиберглас, полимербетоны и другие соединения, характеризующиеся высокой прочностью, водостойкостью и мало подвержены перепадам температуры окружающего воздуха [8], что определяет время застывания композита.

Кроме того, при облицовке оросительных каналов и ремонтно-восстановительных работах необходимо придерживаться установленных технических регламентов для полного застывания используемого облицовочного материала до наступления эксплуатационных нагрузок [88].

Трудозатратность проводимых работ: на общую стоимость и сроки реализации проводимых работ влияет такой показатель, как трудозатраты при облицовке оросительного канала. Трудозатраты учитывают количество рабочих часов и компетенций персонала в ходе всего процесса ремонтно-восстановительных работ на оросительной системе [29].

Трудозатраты рассчитывают на этапах очистки территорий и выравнивания и подготовки основания канала, транспортирования облицовочных материалов и на стадии финишных работ [28].

Финишные работы включают в себя несколько этапов, причем одним из наиболее трудоемких является укладка бетонного материала, в отличие от которого использование геокомпозита приводит к упрощению операции за счет его меньшей массы и меньшего количества применяемой тяжелой техники.

Герметизация соединений и стыков специальными герметиками и инструментами между композитными материалами обеспечивает повышение надежности и гидроизоляционных характеристик оросительного канала.

Следующий этап – контроль качества и тестирование, которое проводят путем заполнения оросительного канала водой для проверки на наличие утечек.

Заключительный этап строительства и ремонтно-восстановительных работ – рекультивация территории, прилегающей к оросительному каналу, ее восстановление и озеленение, что повышает трудозатраты и приводит к снижению экономического эффекта. Тем не менее, этот этап является необходимым для сохранения агроландшафтов [49].

В ходе строительства и ремонтно-восстановительных работ при выборе материала следует также учитывать их водонепроницаемость. С этой целью проводятся различные натурные испытания, имитирующие различные климатические и эксплуатационные условия. В ходе климатических испытаний анализируют способность материала выдерживать температурную нагрузку и повышать устойчивость к процессам деструкции и выветриванию полимерного связующего материала в поверхностном слое [28].

Эксплуатационные мероприятия включают в себя имитацию различных агрессивных химических, УФ-воздействий, а также внешних факторов (человек, техника и др.).

Долговечность: материал должен обладать достаточной прочностью и износостойкостью для выдерживания механического воздействия и износа, который может возникать при эксплуатации и обслуживании оросительных каналов.

Вопрос о долговечности полимерных композиционных материалов неизбежно возникает на этапе проектирования строительных конструкций, поскольку от этой характеристики напрямую зависят надежность и срок службы изделия.

Долговечность ПКМ определяется сложным взаимодействием нескольких факторов, важнейшими из которых являются механическая нагрузка,

температурный режим, процессы старения и воздействие ультрафиолета. В специальной литературе термин трактуется неоднозначно: им обозначают как интервал времени от начала нагружения до разрушения, так и свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, при котором дальнейшая эксплуатация становится невозможной [111].

Общим местом в публикациях является признание многофакторной природы долговечности и сложности её прогнозирования.

Среди факторов, влияющих на долговечность, особое место принадлежит эксплуатационным нагрузкам. Длительное силовое воздействие провоцирует образование в материале усталостных микротрещин, развитие которых завершается разрушением. Непосредственной причиной появления трещин служит разрыв связей, обусловленный одновременным действием деформаций сжатия и растяжения в структуре композита. Если локальные напряжения в зонах скопления дислокаций превышают предел текучести, в материале возникают микроскопические разрывы сплошности. Параллельно на долговечность влияет старение - это совокупность физико-химических процессов, изменяющих со временем исходные физико-механические свойства композита под действием факторов внешней среды [33].

Для корректного определения срока службы необходимо знать показатели долговечности каждого компонента ПКМ. Наиболее достоверные данные даёт непосредственное наблюдение за материалом на протяжении всего периода его работы. Однако такая возможность предоставляется редко, поэтому исследователи обращаются к прогнозным методам, позволяющим по результатам ускоренных испытаний или по отдельным влияющим факторам рассчитать ожидаемую долговечность композитного материала [33].

Устойчивость к ультрафиолетовому излучению: учитывая, что оросительные каналы могут быть подвержены воздействию солнечного света, материал должен быть устойчив к ультрафиолетовому излучению для предотвращения деградации из-за длительной экспозиции солнечным лучам.

Полимерные композиты, применяемые в конструкциях оросительных каналов, контактируют с ультрафиолетовым излучением задолго до начала эксплуатации – в процессе транспортировки и складирования на открытых площадках. Указанное обстоятельство исключает возможность их открытого хранения без применения светозащитных укрытий.

Способность композитного материала противостоять УФ-воздействию определяется прежде всего строением макромолекулы, а именно величиной энергии, необходимой для разрыва внутримолекулярных связей. Высокая стойкость к ультрафиолету характерна для систем, содержащих ароматические ядра, которые за счёт демпфирования и перераспределения поглощённой энергии между соседними звеньями цепи препятствуют локальной деструкции полимера.

Для снижения негативного влияния ультрафиолета на композитные составы практикуются два основных направления стабилизации. Первое предусматривает введение органических стабилизаторов, которые функционируют по сложному механизму, включающему нейтрализацию свободных радикалов и перераспределение энергии с молекул матрицы на стабилизатор, что позволяет сохранить заявленные свойства материала, однако сопряжено с существенными затратами. Второе направление связано с применением высокодисперсных наполнителей, которые создают физический барьер, препятствующий проникновению ультрафиолетовых лучей в глубину изделия. Этот способ отличается технологической простотой и экономичностью, хотя и может несколько уступать в эффективности в долгосрочной перспективе [92].

Соответствие стандартам безопасности и экологичности: важно удостовериться, что выбранный материал соответствует стандартам безопасности и не представляет угрозы для окружающей среды.

Легкий вес и простота монтажа: желательно выбирать материал, который легок и прост в установке, чтобы упростить процесс облицовки оросительных каналов (см. рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Проводимые работы по обновлению облицовки оросительных каналов

Существующий способ ремонта бетонных облицовок каналов гидромелиоративных систем является применение наплавляемых мембран, одной из которых является «Теганар». Данный материал представляется собой однослойную систему подобранных материалов для гидроизоляции подземных и наземных инженерных сооружений, находящихся под постоянным воздействием воды [38].

Также могут использоваться современные геомембраны из ПВД и ПНД, которые обладают необходимой прочностью, морозоустойчивостью, высокой сопротивляемостью прокалыванию, химической стойкостью, гибкостью и долговечностью. Ширина рулона стандартизированной геомембраны составляет 6-7 м, что сводит к минимуму количество сварных швов; процесс сварки практически полностью автоматизирован и обеспечивает экономичность монтажа и повышает технологичность конструкций. Использование геомембран толщиной 1-3 мм для противофильтрационных устройств в гидротехническом строительстве свидетельствует о их высокой эффективности, превышающей традиционные конструкции из полиэтиленовой пленки (ПЭ) толщиной 0,2 мм на два порядка и более [48, 97].

В качестве полимерного подслоя целесообразно использовать трехслойную геомембранную пленку HDPE (High Density Polyethylene – на основе полиэтилена высокой плотности) или ей подобную. Геомембранная пленка характеризуется

высокими антикоррозионными и гидроизоляционными свойствами, устойчивостью к растрескиванию, имеет высокие механические характеристики в сочетании с инертностью к кислотам и щелочам, устойчива к воздействию температурных колебаний [48].

1.7 Выводы

1. Проведенный обзор отечественного и зарубежного опыта применения композитных материалов для проведения реконструкции и ремонта защитных облицовок мелиоративных сооружений, в том числе и оросительных каналов, доказывает, что применение инновационных композитных материалов ключ к дальнейшему развитию отрасли.

2. При обследовании технического состояния оросительных каналов Саратовской области было выявлено, что, имеются следующие дефекты: сколы в бетоне, оползание, сдвиг и выпор бетонных плит, а также разрушение деформационных швов.

3. В дальнейшем для ремонта, эксплуатации и реконструкции оросительных каналов для экономии средств и сокращения сроков проводимых работ, нужно внедрять композитные материалы ввиду их несомненных преимуществ перед традиционными материалами.

4. Представлен обзор существующих композитных облицовочных материалов, применяемых в мелиоративном производстве. Выявлены основные проблемы, заключающиеся в применении устаревших материалов и технологий для ремонтных работ на оросительных каналах.

5. Выполнен анализ известных работ и исследований в области применения новейших композитных материалов в области их применения для ремонтных работ, который выявил недостаточную проработку при создании конструктивно-технологических решений из композитных материалов. В связи с этим необходимо провести исследования для выяснения различных материалов, для того чтобы в дальнейшем выбрать среди них лучший материал по таким параметрам как:

водонепроницаемость, прочность при растяжении, стойкость к механическим повреждениям, устойчивость к УФ-излучению, химическая стойкость, экономическая эффективность.

II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

2.1 Общее положение и постановка задач интенсификации противофильтрационных работ

Противофильтрационные облицовки оросительных каналов в процессе долгой эксплуатации получают множество дефектов (трещины, сколы, отшелушивание бетона). При этом облицовки проходят через повторяющиеся циклы замораживания-размораживания, а также страдают от подмыва грунта в основании. Все эти факторы приводят к дальнейшему распространению трещин, сколов и других повреждений [32, 39].

Поэтому нами в таблице 2.1 была рассмотрена причина их появления.

Таблица 2.1 - Причины появления дефектов на бетонных и железобетонных конструктивных элементах гидротехнических сооружений во время эксплуатации



Повреждения, которые при этом образуются, приводят к фильтрации, наблюдается снижение пропускной способности, а также при фильтрации воды в период максимального водопотребления происходит потери воды на фильтрацию через противофильтрационные покрытия, изображены на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Техническое состояние облицовки оросительных каналов при длительной эксплуатации

Для борьбы с повреждениями, появляющимися на оросительных каналах существует множество способов. От полной замены бетонной облицовки до заделывания мелких повреждений жидкой резиной, мастикой. Но у каждого этого способа есть свои минусы, полная замена трудоемкий и дорогой процесс, при использовании для ремонта мастики не разработаны способы полной механизации процесса для уменьшения количества времени, затрачиваемого для проводимых работ [37, 75].

Целью исследований является теоретически обосновать, разработать и внедрить комплексную технологию ремонта и реконструкции оросительных каналов за счет применения композитных материалов на оросительных каналах, для чего нужно разработать программу по выбору оптимальных показателей применяемых материалов для проводимых работ.

Проведенные исследования показывают, что использование геомембран позволяет сократить затраты на облицовку канала в 3,22 раза (с 1999 руб./м² для бетонных плит до 620 руб./м²) и ускорить монтаж в 2,05 раза (с 35 до 17 дней для канала площадью 8500 м²) [17].

Общее положение и постановка задач интенсификации противофильтрационных работ зависят от конкретной ситуации или контекста, но в целом основной целью является теоретически обосновать и разработать комплексный алгоритм ремонта и реконструкции оросительных сетей за счет применения композитных материалов на оросительных каналах.

Ниже представлены общие задачи, которые могут быть поставлены для интенсификации противофильтрационных работ:

1. Идентификация и оценка проблемных участков: Первоначально требуется идентифицировать и оценить участки, где происходит фильтрация воды. Это может быть связано с разрушением облицовки канала грунтовыми водами или другими факторами.

2. Применение композитных материалов: Применение эффективных композитных материалов, которые могут быть использованы для ремонта или модернизации проблемных участков. Это может включать применение специальных гидроизоляционных покрытий, геосинтетических материалов или других технологий.

Улучшение и интенсификация противофильтрационных работ требуют тщательного планирования, анализа и принятия соответствующих мер для решения конкретных проблем.

Для того чтобы комплексная технология ремонта и реконструкции оросительных каналов за счет применения защитных композитных материалов была применена, важно понимать из-за каких факторов появились дефекты или разрушения. Ведь первоначальной задачей при составлении программы является понимание из-за чего возникло разрушение, что в свою очередь будет уменьшать время, затраченное на подготовку, а также не допущение таких ситуаций если есть возможность их избежать.

Исследователи, работающие над данной проблемой, достигли заметных успехов. Один из предлагаемых способов ремонта бетонных облицовок каналов предполагает подготовку дефектного участка, включающую:

- удаление продуктов разрушения бетонного покрытия;
- очистку ремонтируемой поверхности бетонной или железобетонной облицовки;
- обеспыливание поверхности;
- удаление отслаивающихся фрагментов бетонного покрытия с последующим увлажнением разрушенных зон.

Сам дефектный участок, на котором предстоят работы, заполняется строительным материалом - щебёночным, песчано-гравийным или местным грунтовым (при должном обосновании), который затем разравнивают и уплотняют. Поверх заполнения накладывают быстровозводимое бетононаполняемое покрытие в виде заплаты, закрепляемой на бетонной или железобетонной облицовке. Это покрытие представляет собой композит из двух геотекстильных полотнищ с прослойкой твердеющего материала на цементной основе; полотнища скреплены между собой термоскреплением. Для плотного прилегания заплаты к бетонной облицовке по контуру наносят адгезионный слой из полимерного герметика. Крепление покрытия к бетонной или железобетонной поверхности выполняют анкерами. Такой вариант рекомендуется для откосов каналов; при этом заплаты устраивают с запасом по 0,30–0,5 м с каждой стороны. Если ремонт ведётся по дну и на откосах одновременно, бетононаполняемое покрытие заводят в траншею и дополнительно фиксируют анкерами к грунтовому основанию. Все работы следует проводить при температуре воздуха не ниже +5 °С [78].

2.2 Теоретические предпосылки повышения эффективности способов ремонта бетонных облицованных каналов

Бетонные облицовки подвержены разрушению из-за трещинообразования, коррозии арматуры, биокоррозии (воздействие водорослей и корней растений) и

температурных напряжений. Коэффициент температурного расширения бетона составляет около $10 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$, что при перепадах температуры 10–20 $^{\circ}\text{C}$ создает внутренние напряжения, приводящие к образованию швов и потере герметичности. Бетонное полотно, сочетает свойства бетона. Основные физико-механические параметры бетонного полотна [39, 54, 104, 110]:

- прочность на сжатие: 25,6–30,4 МПа (261,04–309,99 кг/см²);
- прочность на изгиб: 3,4–4,5 МПа (34,7–45,8 кг/см²);
- плотность: 1500–2025 кг/м³ [96].

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.1)$$

где σ – напряжение (Па), E – модуль упругости бетона (Па), ε – деформация (безразмерная).

$$n = R_{\text{б.}} / \sigma \quad (2.2)$$

где $R_{\text{б.}}$ – расчётная прочность бетона (Па), σ – напряжение (Па).

В отличие от композитных материалов, бетонное полотно допускает использование малой техники для очистки, при условии применения прорезиненного защитного слоя на оборудовании для предотвращения механических повреждений [10, 105].

Повышение эффективности способов ремонта бетонных облицованных каналов может быть достигнуто с учетом нескольких теоретических предпосылок. Вот некоторые из них:

- **диагностика повреждений:** с началом эксплуатации все конструктивные элементы и узлы сооружения начинают постепенно утрачивать первоначальные свойства. Этот процесс обусловлен совместным действием целого ряда физико-механических и химических факторов. Интенсивность деструктивных процессов напрямую определяет надёжность и долговечность элементов конструкции.

Многофакторное обследование водопроводящих сооружений направлено на установление фактического технического состояния основного оборудования, оценку остаточного ресурса его элементов, а также поиск нарушений в работе, что в совокупности даёт основание для заключения о допустимости продолжения

эксплуатации сооружения за пределами назначенного срока, включая период после 25 лет работы.

В современной эксплуатационной практике для оценки технического состояния водопроводящих сооружений применяются методы диагностики, включающие визуальные осмотры и разрушающие испытания, использование которых допустимо далеко не во всех случаях. Традиционно практикуемые визуальные подходы к определению надёжности мелиоративных объектов позволяют получить лишь качественную картину их работоспособности. Инструментальный контроль надёжности выполняется эпизодически и опирается, как правило, на разрушающие способы ударного типа, не способные обеспечить высокую точность измерений [30].

Следует отметить, что в практике эксплуатации оросительных каналов до сих пор не применяются расчётные аналитические методы, позволяющие оценивать надёжность водопроводящих сооружений по критерию остаточного ресурса работоспособности. В то же время в автодорожном и железнодорожном строительстве подобные подходы получили широкое распространение, доказав свою эффективность благодаря повышенной достоверности оценки и сравнительно низким затратам на диагностическое оборудование.

Оценка остаточного ресурса водопроводящих сооружений позволяет установить безопасный период их дальнейшей эксплуатации - без ограничений либо с ограничениями - или принять решение о ремонте сооружения. Для обеспечения безопасности эксплуатации остаточный ресурс работоспособности должен определяться на основе системного анализа. Ключевым параметром, задающим ресурс системы, является надёжность её элементов, т.е. их способность безотказно работать в течение заданного срока. Надёжность системы в целом рассчитывается из предположения, что каждый элемент может находиться только в одном из двух состояний: работоспособном или отказа [30].

-определение причины повреждений: Данные, полученные в ходе комплексного обследования оросительных каналов, должны быть достаточно полными, чтобы служить обоснованием для назначения ремонтных мероприятий.

Конкретный перечень и объёмы ремонтных работ определяются именно по итогам такого обследования и фиксируются в акте осмотра технического состояния объектов [87].

-выбор метода ремонта: Выбор метода ремонта осуществляется на основе заключения технического состояния оросительного канала, которое даётся по результатам комплексного обследования и анализа его итогов. Все объекты при этом классифицируют:

- нормативное техническое состояние;
- работоспособное состояние;
- ограниченно работоспособное состояние;
- в аварийном состоянии.

По итогу обследования и анализа, когда становится понятно истинное состояние мелиоративного объекта, происходит выбор нужных ремонтных работ.

Сами эксплуатационно-ремонтные работы подразделяются на:

- техническое обслуживание (уход) элементов оросительных каналов;
- текущий ремонт указанных объектов;
- сезонные ремонтные мероприятия;
- капитальный ремонт оросительных каналов [47, 91].

-качество применяемых материалов и методов: На наш взгляд дешевым и эффективным материалом для устранения дефектов облицовки оросительных каналов является композитные материалы [2].

Один из самых распространенных геосинтетиков - геотекстиль Дорнит. Это нетканый материал, изготовленный из полимерных или полиэфирных волокон иглопробивным методом. Дорнит - незаменимый материал в различных отраслях народного хозяйства. Материал обладает такими ценными качествами, как механическая прочность, устойчивость к любым деформациям, отличные фильтрующие свойства, химическая стойкость. Может эффективно использоваться в любой климатической зоне. Он не гниет, не подвержен воздействию плесени, насекомых и грызунов, к прорастанию корней растений. Немаловажно и то, что геотекстиль устойчив к повреждениям во время укладки. Это экологически

безопасный материал, поэтому его без опаски можно применять на различных участках [24, 43].

Тканый геотекстиль Геоспан ТН производится на ткацком оборудовании из прочных полипропиленовых нитей, основой для которых является первичное высококачественное сырье. Благодаря отработанной технологии производства, сырьевой составляющей, материалы обладают высокой прочностью, низким удлинением, отличные фильтрующие свойства что позволяет применять материалы во многих сферах [44, 45].

Перспективность использования этих материалов обуславливается лучшими показателями по сравнению с традиционными материалами как в технико-технологическом, так и в экономическом.

Положительными сторонами композитных материалов является их: высокий противofiltrационный показатель, низкая масса, высокая прочность, возможность механизации производимых работ, экономическая выгода.

Но также существуют отрицательные стороны: дефицит композитных материалов, трудоемкость получения композитов, проблемы с утилизацией

-учет долговечности: Современные научно-технические и технологические разработки для ремонта оросительных облицованных каналов при помощи композитных материалов, которые применяются на практике, могут быть отнесены к инновационным. Устранение повреждений в виде трещин и разрушений облицовок оросительных каналов, а также их деформационных швов может проводиться ручным или механизированным способами в зависимости от величины разрушений. Конкретное применение тех или иных композитных материалов на практике будет зависеть от многих факторов, например:

- от объема выполняемых работ;
- от стоимости композитных материалов и выполняемых работ;
- от способов и сроков выполнения работ и др;
- от возможности механизации работ [51, 87].

2.3 Улучшение эксплуатационных и технико-технологических показателей оросительной сети

Оросительный канал представляет собой ключевой компонент искусственного орошения, обеспечивающий доставку планового объёма воды на орошаемые участки. Повышение эксплуатационных и технико-технологических показателей канала нацелена на рост эффективности и надёжности орошения при одновременном сокращении непроизводительных потерь воды [62].

Для улучшения рабочих характеристик оросительной канала можно предусмотреть следующие мероприятия.

Нужно проводить оценку и обновление инфраструктуры. Начать работы по проверке состояния существующих оросительных каналов и предпринимать необходимые действия по ремонту, замене или модернизации облицовки.

Реконструкция оросительных систем - это комплекс мероприятий по коренному переустройству, направленных на повышение технического уровня действующих систем и их водообеспеченности путем изменения конструкций и основных параметров сети, замены устаревших сооружений новыми, внедрения автоматизации управления водным режимом, сохранение окружающей природной среды и создание комфортных условий для жизни и производственной деятельности человека [26, 67].

Проводимые мероприятия призваны обеспечить рост продуктивности мелиорированных земель, расширение орошаемого фонда, увеличение объёмов сельскохозяйственной продукции, снижение её себестоимости, улучшение условий труда и рост его производительности, опираясь на ресурсосберегающие технологии и современные формы организации труда [64].

Комплексная реконструкция оросительных каналов охватывает весь набор мероприятий на конкретном объекте: обновление оросительных каналов и повышение водообеспеченности, освоение новой техники и способов орошения сельскохозяйственных культур.

Частичная реконструкция предполагает выполнение лишь отдельных видов работ по обновлению оросительных каналов [100].

Принципы реконструкции:

- разработка качественно новых проектных решений, проведение комплексной реконструкции с учётом не только полного перечня запланированных мероприятий, но и территориальной привязки;
- применение динамических методов оценки эффективности реконструкции, охватывающих как технические, так и экономические аспекты [95].

Планирование и проектирование реконструкции оросительных каналов опирается на генеральную схему перспективного развития объектов водного хозяйства и мелиорации, данные государственной статистической отчётности сельскохозяйственных и водохозяйственных органов, а также на общие принципы реконструкции.

Выбор и обоснование технико-экономических показателей исходных вариантов приводят с учетом фактора времени, позволяющего более обоснованно выбрать исходный вариант - уровень сельскохозяйственного производства и состояние мелиоративной системы, который имело бы место в случае отказа от реконструкции.

Для определения показателей исходного варианта используют методы статистического анализа тенденции динамики их развития во времени с длиной ряда выборки не менее 20-25 лет [62].

Обоснование эффективности реконструкции опирается на две группы критериев: экономическую, в рамках которой эффективность определяется как стоимостное отношение результата к затратам, и техническую, связанную с оценкой результативности инженерных мероприятий - ростом КПД и снижением уровня грунтовых вод [83].

Экономический эффект выражается в приросте объёмов производства и потребления, повышении производительности труда, а также в сокращении как первоначальных, так и текущих издержек.

Установить систему мониторинга и регулярно проверять работоспособность сети, эффективность оросительной системы. Раннее обнаружение проблем (поломок, отказов, ошибок) позволит предпринять быстрые действия для их устранения.

Применение систем автоматического управления технологическими процессами водопользования предъявляет ряд дополнительных требований к средствам информационного обеспечения. В частности, приобретает особое значение оперативный контроль уровней воды для оценки динамики переходных процессов в водопроводящих сетях ОС [58, 108].

Процедура получения оперативной и достоверной информации о состоянии объектов ОС имеет два аспекта - технологический и технический. Это связано с тем, что первичная информация о величинах тех или иных технологических параметров не всегда может быть получена методами прямого инструментального измерения. Так, при измерении (контроле) линейно-угловых (скорость и уровень воды) и энергетических параметров (как прямо измеряемых) преобладает технический аспект. Он сводится, в основном, к выбору средств измерения и контроля, которые широко используются в промышленном производстве, вследствие чего обладают высокой степенью унификации и стандартизации. Определенные сложности их применения на ОС связаны с некоторыми техническими характеристиками, например, электропитанием приборов и некоторыми другими.

В проблеме получения информации о величинах гидравлических параметров преобладающим становится технологический аспект. Измерение (контроль, определение) гидравлических параметров является многофакторным и сложным процессом, реализуемым с помощью комплекса средств измерений [19, 98].

Основными характеристиками качества измерения является точность и достоверность. Технологии и методы повышения точности сложны, дорогостоящи, трудоемки и требуют длительного времени на реализацию. Поэтому уровень точности, к которому следует стремиться, должен определяться показателями

технологической целесообразности, зависящими от конкретных условий и цели измерения.

Улучшение рабочих показателей оросительного канала требует систематического подхода и постоянного внимания к ее состоянию. Регулярное обслуживание и обновление канала помогут улучшить его производительность и сэкономить ресурсы.

Улучшение технико-технологических показателей оросительного канала также требует изучения и применения новых методов, материалов и технологий, которые могут повысить эффективность эксплуатации и снизить затраты в целом на орошение. Это может включать в себя исследования по оптимальному подбору систем орошения и разработке инновационных решений для повышения пропускной способности и экологической устойчивости орошения [10, 102].

Модернизация оросительных каналов направлена на снижение фильтрационных потерь и повышение экологической устойчивости.

Применение новых материалов позволяет минимизировать воздействие на окружающую среду и обеспечить надежность в условиях нестабильных грунтов. Геомембраны практически исключают фильтрацию воды (потери близки к нулю), что критично для регионов с дефицитом водных ресурсов. Их производство сопровождается снижением объемов строительного мусора по сравнению с бетонными плитами. Эластичность геомембран (удлинение 300–500% перед разрывом) компенсирует подвижки грунта, обеспечивая надежность в сложных геологических условиях [81].

2.4 Логическая схема определения состава композитных материалов для восстановления и обновления оросительных каналов

Подбор композитных материалов, технических средств и технологий для обслуживания оросительных каналов относится к числу значимых задач мелиоративного производства. Современные достижения в области материалов для защитных покрытий открывают реальные возможности для замены бетонных плит

композитными аналогами. Именно на этом этапе во многом определяется дальнейшее направление развития мелиоративной отрасли в сфере защитных покрытий каналов.

Ключевое различие в подходах к обслуживанию оросительных каналов состоит в том, что отдельные геосинтетические материалы, в частности геомембраны, бетонное полотно и бентонитовые маты, не допускают очистки с применением тяжёлой техники [12, 20, 109].

При нормальной эксплуатации толщина наносов, откладывающихся в течение года, может достигать 0,1–0,5 м, что ведёт к ежегодному уменьшению живого сечения на 5–20 %. Следовательно, вне зависимости от типа облицовочного материала необходимо проводить ежегодные эксплуатационные мероприятия [12].

Следует, однако, подчеркнуть, что на каналах с бетонными плитами эту проблему можно решать с применением тяжёлой техники.

Капитальный ремонт оросительных каналов осуществляется с периодичностью 10–25 лет, которая зависит от географического расположения объекта и конкретных условий его работы. Серьёзным вызовом в перспективе станет отсутствие комплексных технологий обслуживания, которое сделает невозможной нормальную эксплуатацию каналов с современными покрытиями. Вариант с полной заменой облицовки на традиционную представляется экономически неоправданным, поскольку сопряжён со значительными затратами [10].

Рассматривая строительные материалы, нельзя обойти вниманием бетонные плиты. Их изготавливают из бетона с гравийным или щебёночным заполнителем и стальной арматурой, что придаёт конструкции высокую прочность. Плиты выдерживают изгибающие усилия в диапазоне 4,0–6,0 МПа (40,8–61,2 кгс/см²), благодаря чему способны нести значительные статические нагрузки. В зависимости от марки плотность бетона составляет от 2300 до 2500 кг/м³ [88].

Эти характеристики допускают применение техники для очистки покрытия, однако в них же заключается и определённый минус: на бетонных плитах наносы задерживаются сильнее, чем на бетонном полотне, и тем более на гладкой

геомембране. Так же не маловажным фактором является вес представленных материалов и способы монтажа и количество привлекаемой техники, а также количество рабочих [57].

Композитные облицовки, напротив, не требуют сопоставимых расходов на очистку. Выполнение производственной программы с минимальными затратами ресурсов и высоким качеством работ выступает в качестве главного приоритета. Следовательно, оросительные каналы необходимо облицовывать материалами, обладающими повышенной эффективностью [17].

Одним из ключевых факторов, определяющих необходимость применения противofiltrационных (защитных) облицовок, являются значительные потери воды на фильтрацию из оросительных каналов. Для количественной оценки этих потерь и обоснования экономической целесообразности внедрения композитных материалов в работе использованы методы гидравлического расчёта фильтрации [19].

Для обеспечения корректности сравнения расчёт выполнен для канала длиной 1000 м с одинаковыми геометрическими параметрами, исходные данные представлены в таблице 2.2, а итоговые данные в таблице 2.3.

Таблица 2.2 – Исходные данные для расчёта

Параметр	Обозначение	Значение
Ширина канала по дну	b	5 м
Глубина наполнения водой	h_{cp}	1,5 м
Заложение откосов	m	1
Толщина бетонной облицовки	t	0,12 м
Длина участка	L	1000 м
Коэффициент фильтрации бетона	$k_{обл}$	0,0005 м/сут

Расчёт фильтрации был произведен формулой для определения фильтрационных потерь из облицованных каналов (Приложение У, СП 100.13330.2016) [87]:

$$Q_{\phi} = k_{обл} \frac{h_{cp}}{t} \cdot \chi L, \quad (2.3)$$

где Q_f – фильтрационный расход, м³/сут.; $k_{обл}$ – коэффициент фильтрации материала облицовки, м/сут.; $h_{ср}$ – средняя глубина воды в канале, м; t – толщина облицовки, м; χ – смоченный периметр канала, м; L – длина участка, м.

Расчёт смоченного периметра:

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}, \quad (2.4)$$

тогда
$$\chi = 5 + 2 \cdot 1,5 \sqrt{(1 + 1^2)} = 5 + 4,24 = 9,24 \text{ м},$$

где b – ширина канала по дну, м; h – глубина воды в канале, м; m – коэффициент заложения откосов.

Расчёт фильтрационных потерь (Q_f):

$$Q_f = 0,0005 \cdot 1,5/0,12 \cdot 9,24 \cdot 1000 = 57,75 \text{ м}^3/\text{сут.}; \quad (2.5)$$

$$Q_f = 57,75 \text{ м}^3/\text{сут.} = 2,41 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (2.6)$$

Сезонный объём потерь:

$$W_{\text{год}} = Q_f \cdot 122 = 57,75 \cdot 122 = 7\,045,5 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (2.7)$$

Таблица 2.3 - Результаты расчёта фильтрации через облицовку

Показатель	Бетонная облицовка	Композитная облицовка «КАПЛАМ»
Коэффициент фильтрации k , м/сут.	0,0005	0 (водонепроницаема по ГОСТ 2678-94)
Потери на 1 км, м ³ /сут.	57,75	
Потери на 1 км, м ³ /год (поливной сезон)	7 045,5	

Полученные данные убедительно доказывают, что даже технически исправная бетонная облицовка не является абсолютным барьером для фильтрации воды.

Полученные значения подтверждают, что в условиях Саратовского Заволжья фильтрационные потери из облицованных оросительных каналов могут достигать 20–30 % от подаваемого расхода. Это обосновывает необходимость эффективных противofiltrационных облицовок, в том числе инновационных композитных

материалов, обеспечивающих снижение водонепроницаемости до значений, близких к нулю.

Выявить наиболее оптимальный вариант облицовки (материала) для конкретного вида оросительного канала - весьма важная задача в рамках нашего исследования и мелиоративного производства в целом. Данную задачу необходимо решать для каждого оросительного канала с учетом всех условий производства. При выборе оптимального варианта композитного материала необходимо получить минимум приведённых затрат и удовлетворяющие физические характеристики облицовочного материала [17].

Выбор облицовочного материала должен опираться на всестороннее изучение отечественного и зарубежного опыта, а также на анализ состояния мелиоративного комплекса [8, 28].

Для определения рациональных параметров и характеристик материалов мы предлагаем использовать технико-экономические расчёты, позволяющие корректно сформировать наборы облицовочных решений применительно к каждому типу канала. Основные свойства материалов, их достоинства и ограничения систематизированы в таблице 2.4.

Исходными данными являются: облицовочные материалы, виды оросительных каналов, планируемый объем работ на каждом объекте, планируемая часовая эксплуатационная производительность рабочих и машин, стоимость облицовочного материала, рабочего часа рабочих и машино-часа на каждом объекте.

В случае появления необходимости в выборе материала, наиболее полно отвечающего условию снижения затрат на его использования, сохраняя при этом все заявленные физические и химические свойства, появляется задача выбора оптимального решения на основе эмпирически полученных данных или на базе заявленных производителем характеристик.

При получении решения задачи на оптимизацию, сводящуюся к принятию оптимального решения, удобно использовать математическое моделирование с применением методов алгебры, математического анализа и аналитической

геометрии. В данном случае, задача выбора материала сведена к задаче выбора оптимального решения, методика которого основывалась на сравнении суммарных значений и получением коэффициента с дальнейшим выводом и построением соответствующей функции отклика.

Таблица 2.4 - Таблица основных свойств композиционных материалов

Свойство	Описание	Преимущества	Недостатки
Прочность	Способность материала выдерживать нагрузки без разрушения	Высокая прочность при небольшом весе	Высокая стоимость производства
Жесткость	Способность материала сохранять форму под воздействием нагрузки	Отличная жесткость и устойчивость к деформациям	Хрупкость при сильных ударах
Устойчивость к коррозии	Способность материала сохранять свои свойства при воздействии окружающей среды	Долговечность и низкая подверженность ржавлению	Ограниченная устойчивость к высоким температурам
Теплопроводность	Способность материала передавать тепло	Низкая теплопроводность, что позволяет использовать в изоляционных материалах	Ограниченная применимость в высокотемпературных условиях

Для получения ответа рассматривалась матрица принятия решений $M_{пр}$, элементами которой являются числовые значения параметров исследуемых материалов. Подобные матрицы являются таблицами с заносимыми в соответствующие ячейки, полученные практическим путем, характеристиками или числовыми данными, заявленными производителем. Оценка соответствия материала выполнялась на основании результатов, полученных при применении инструментов алгебры к элементам матрицы $M_{пр}$. Так как выводы по соответствию или выбору материала основывались, в частности, на содержимом таблицы $M_{пр}$, то в дальнейшем она называется матрицей принятия решений.

Матрица принятия решений $M_{пр}$ в общем случае имеет размерность $m \times n$ содержит m строк и n столбцов. Её конкретная размерность определяется количеством рассматриваемых материалов и числом учитываемых оценочных

критериев. В таблице 2.5 исследуемые материалы размещены по строкам, а критерии - по столбцам.

Вывод об оптимальном выборе материала был сделан при обработке методами алгебры элементов матрицы $M_{пр}$.

При этом различные материалы обозначаются M_i , где $i = \overline{1; m}$ и критерии по которым эти материалы оцениваются P_j и Q_j , причем $j = \overline{1; n}$. Для выбора правильного или оптимального решения, надо провести сравнительную оценку на основании характеристик P_j , которые в матрице $M_{пр}$ обозначаются, как p_{ij} и q_{ij}

Смысловое различие между группами критериев P_j и Q_j заключается в следующем: критерии P_j тем лучше, чем они меньше, тогда как критерии Q_j улучшаются с ростом их численного значения. Таким образом, критерий

$$q_{ij} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (2.8)$$

при том, что a_{ij} – исходная характеристика материала, выраженная в числовом виде.

Таблица 2.5. Оценочные критерий материалов

Материалы, M_i	Оценочные критерии, P_j				Оценочные критерии, Q_j				Сумма критериев P_j, Q_j	
	P_j, Q_j M_i	P_1	P_2	$\dots$	P_n	Q_1	Q_2	$\dots$	Q_n	R_i
	M_1	p_{11}	p_{12}	$\dots$	p_{1n}	q_{11}	q_{12}	$\dots$	q_{1n}	R_1
	M_2	p_{21}	p_{22}	$\dots$	p_{2n}	q_{21}	q_{22}	$\dots$	q_{2n}	R_2
	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
	M_{i-1}	$\dots$	$\dots$	p_{i-1j}	$\dots$	$\dots$	$\dots$	q_{i-1j}	$\dots$	R_{i-1}
	M_i	$\dots$	$\dots$	p_{ij}	$\dots$	$\dots$	$\dots$	q_{ij}	$\dots$	R_i
	M_{i+1}	$\dots$	$\dots$	p_{i+1j}	$\dots$	$\dots$	$\dots$	q_{i+1j}	$\dots$	R_{i+1}
	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
	M_m	p_{m1}	p_{m2}	$\dots$	p_{mn}	p_{m1}	p_{m2}	$\dots$	q_{mn}	R_m
	OM_i									$R_{min} = \min R$

Для получения сравнительной оценки характеристик был введен коэффициент K_{ii+1} . В таблице 2.5 так же присутствует сумма R_i , которая находится по формуле [21]:

$$R_i = \sum_{j=1}^n (p_{ij} + q_{ij}) \quad (2.9)$$

Формула (2.9) позволяет вычислить сумму характеристик, соответствующих материалу M_i . То есть, на основании формулы (2.9) могут быть получены следующие значения, отраженные в системе формул (2.10):

$$\begin{aligned} \text{для материала } M_1 \text{ сумма характеристик } R_1 &= \sum_{j=1}^n (p_{1j} + q_{1j}), \\ \text{для материала } M_2 \text{ сумма характеристик } R_2 &= \sum_{j=1}^n (p_{2j} + q_{2j}), \\ \text{для материала } M_m \text{ сумма характеристик } R_m &= \sum_{j=1}^n (p_{mj} + q_{mj}) \end{aligned} \quad (2.11)$$

В таблице 2.5 результирующей константой будет являться минимум, то есть:

$$\min R_i = \sum_{i=1}^n (p_{ij} + q_{ij}) \quad (2.11)$$

В дальнейших исследованиях для принятия управляющих решений относительно выбора материала M_i . Был применен коэффициент сравнения, определенный формулой (2.11):

$$K_{ii+1} = \frac{R_i}{R_{i+1}} \quad (2.12)$$

На основании проведенных исследований будет выбран материал OM_i , соответствующий формуле (2.13).

Методика получения управляющего решения по выбору оптимального материала основан на обработке данных таблицы 2.5. Обработка осуществлялась при помощи математического моделирования. Математическая модель

представляет собой совокупность элементов линейной алгебры, математического анализа, теории множеств, системного анализа.

Резльтирующая R_i соответствует материалу M_i и равна сумме числовых значений его характеристик:

$$R_i = \sum_{j=1}^{m,n} (p_{ij} + q_{ij}) \quad (2.13)$$

В случае $i > 1$, имеем систему (2.14), соответствующую наполняемости таблицы 2.5:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = \sum_{j=1}^n (p_{1j} + q_{1j}), \\ R_2 = \sum_{j=1}^n (p_{2j} + q_{2j}), \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ R_m = \sum_{j=1}^n (p_{mj} + q_{mj}) \end{array} \right. \quad (2.14)$$

Каждая строка системы (2.14) соответствует i – ой строке таблицы 2.5.

Вычислив R_i , получим числовое множество R (2.15):

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_m\}, \quad R_i = \text{const} \quad (2.15)$$

Выбрав:

$$\min R = \min\{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_m\} \quad (2.16)$$

и установив взаимно однозначное соответствие между величинами $M_{\text{опт}}$ и $\min R$

$$M_{\text{опт}} \Leftrightarrow \min R \quad (2.17)$$

получили управляющее решение в пользу выбора материала

$$M_i = M_{\text{опт}} \quad (2.18)$$

Также, опираясь на полученную модель, была построена функция отклика (Рисунок 2.2). Для этого была использована система координат, в которой расположены графики функций, один из которых и является соответствующим оптимальному решению. Каждый график соответствует материалу M_i , каждая

опорная точка графика имеет координаты $M_{ij}(P_i; p_{ij})$. При оценке оптимальности материала, учитывались расстояния $\mathcal{P}_i(P_i; M_{ij})$, при этом выбор оптимального решения, соответствующего рекомендуемому материалу зависит от суммы указанных расстояний, указанных в формуле (2.18):

$$\mathcal{P}_i(P_i; M_i) = \sum_{i=1}^m \mathcal{P}_i(P_i; M_{ij}) \quad (2.19)$$

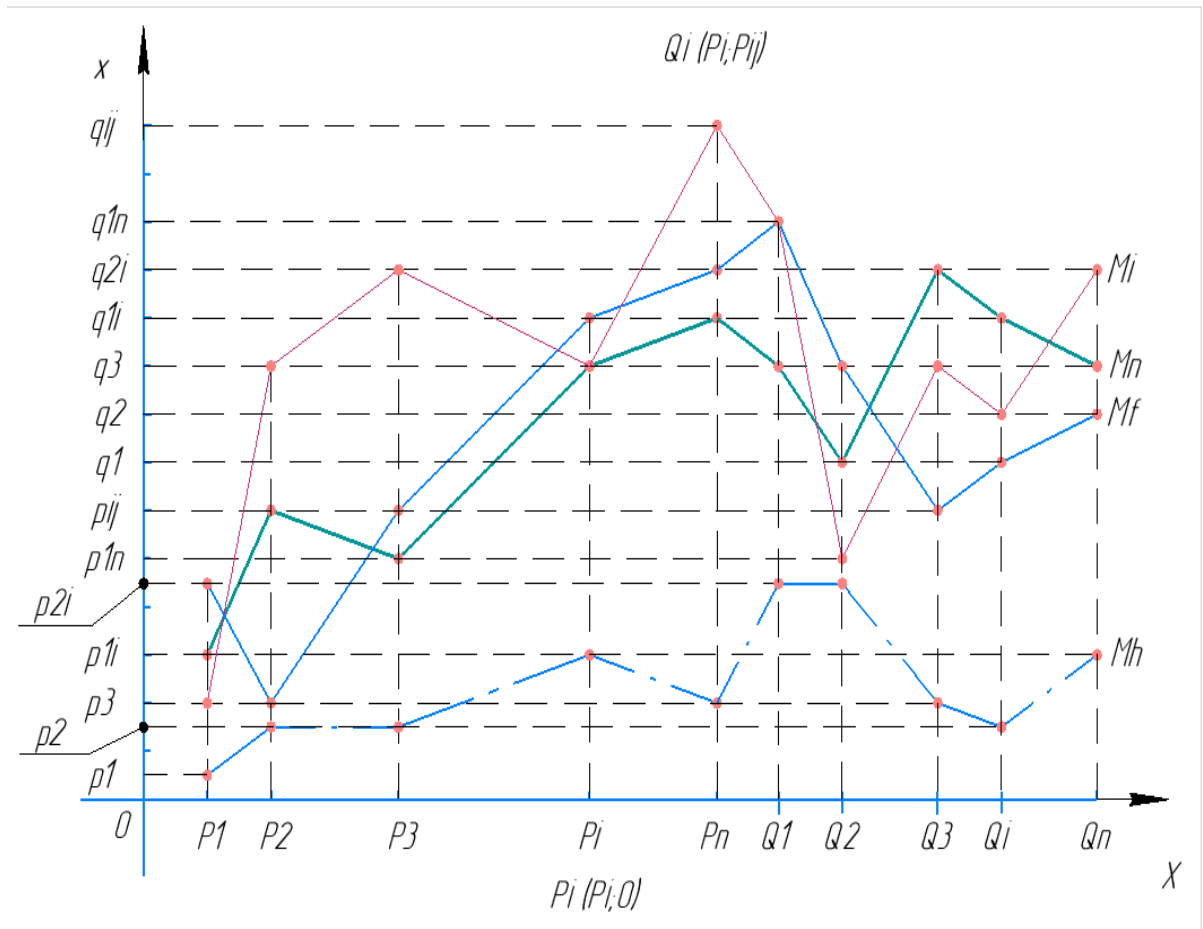


Рисунок 2.2. - Графики соответствующие материалу M_i , отражающие зависимость оптимальности материала от значений его характеристик P_{ij} и Q_{ij} .

При этом, согласно методике, выбирается тот материал M_i для которого величина $\mathcal{P}_i(P_i; M_{ij})$ является минимальной. В этом случае также рассматривалось множество, описываемое формулой (2.18)

$$\mathcal{P} = \{\mathcal{P}_i\}_{i=1}^m \quad (2.20)$$

В данном случае установлено взаимно однозначное соответствие между величинами

$$M_{\text{опт}} \Leftrightarrow \min \mathcal{P} \quad (2.21)$$

Таким образом, оптимальный вариант для выбора материала выбран, управляющее решение найдено.

Применение теоретических выкладок по математической модели на практике.

Постановка задачи: принять оптимальное решение при выборе строительного материала, основываясь на исходных характеристиках и условиях.

Перечень материалов:

Сборные железобетонные плиты.

2. Бетонное полотно

3. Геокомпозит гидроизоляционный «Каплам»

4. Геокомпозитные бентонитовые маты

Исходные данные:

Критерии "по минимуму":

1. Стоимость материала;

2. Стоимость работ за 1 кв/м²;

3. Срок укладки;

4. Трудоёмкость;

5. Количество привлекаемой спецтехники;

6. Требования к подготовке основания;

7. Масса материала;

8. Водонепроницаемость;

Критерии "по максимуму":

1. Плановый срок эксплуатации

2. Морозостойкость: кол-во циклов;

3. Химическая стойкость;

4. Устойчивость к УФ-излучению;

5. Ремонтопригодность;

6. Прочность при растяжении;

7. Сопротивление биологическому обрастанию (прорастание древесно-кустарниковой растительности);
8. Температурная стойкость;
9. Стойкость к механическим повреждениям;
10. Сопротивление статическому продавливанию.

В анализ включены четыре группы материалов:

– сборные железобетонные плиты традиционно доминируют в отечественной практике облицовки оросительных каналов, однако всё явственнее проступает тенденция перехода к инновационным композитным материалам. Связано это с тем, что бетонные плиты обнаруживают серьёзные ограничения: высокую трудоёмкость монтажа, растянутые сроки работ, необходимость усиленной подготовки основания из-за большого веса, потребность в спецтехнике и сложной логистике; кроме того, плиточные стыки без дополнительной гидроизоляции превращаются в каналы фильтрации [28];

– бетонное полотно, представляющее собой рулонный композитный материал с цементной пропиткой, позиционируется как одно из перспективных решений для облицовки оросительных каналов. Эксплуатационная результативность такого покрытия в значительной степени определяется технологией укладки, в частности точностью поддержания влажностного режима и временем схватывания. В долгосрочной перспективе надёжность гидроизоляции рулонного цементного слоя зависит не только от начальной прочности, но и от устойчивости вяжущего к циклическому замораживанию-оттаиванию [34];

– бентонитовые маты выделяются среди геомембран тем, что способны выполнять функцию самозалечивающегося гидроизоляционного барьера: контактируя с водой, бентонит увеличивается в объёме и образует гидроизоляционный экран с очень низкой водопроницаемостью. В то же время нельзя не отметить их слабые стороны: необходимость устройства пригрузочного слоя, уязвимость к преждевременному увлажнению, проблематичность надёжной стыковки и невысокую самозалечивающую способность [75, 108, 109];

— геокомпозит «Kaplam» отличается экономичностью и компактностью при перевозке благодаря этому он востребован там, где требуется быстрый ввод в строй и сокращение расходов на доставку. А также достоинствами материала являются стойкость к химическому и ультрафиолетовому воздействию, высокая прочность на растяжение [20].

Включение перечисленных материалов в анализ продиктовано их практической востребованностью и распространённостью в облицовке оросительных каналов. Для каждого из них разработана система критериев, обеспечивающая возможность объективного сравнения.

Критерии, составившие оценочную матрицу, ориентированы на конечную задачу - исключение фильтрационных потерь при оптимальном уровне общих затрат и гарантированной надёжности покрытия в реальных условиях эксплуатации. Каждый критерий описан через измеримый показатель, указание на источник данных и метод верификации, что позволяет избежать субъективных трактовок.

1. Гидравлическая эффективность (водонепроницаемость). Под гидравлической эффективностью понимают способность покрытия сводить к минимуму фильтрационные потери воды из канала и поддерживать необходимую пропускную способность. В качестве единиц измерения используют коэффициент фильтрации (м/с), удельный объём потерь ($\text{л/м}^2 \times \text{сут}$) либо показатель водонепроницаемости при нормированном давлении (мПа). Данный критерий включен в оценку, поскольку предотвращение потерь воды непосредственно определяет экономическую рентабельность эксплуатации оросительных каналов и гарантирует доступ сельхозпроизводителей к плановым объёмам водных ресурсов.

2. Экономика жизненного цикла. Данный критерий охватывает полную совокупность затрат: от первоначальных вложений (стоимость материала и монтажа) и эксплуатационных расходов (ремонт, техническое обслуживание) до потерь, вызванных фильтрацией воды, и расходов на утилизацию покрытия по окончании срока службы.

3. Масса, логистика и требования к технике. Данные критерии учитывают массу единицы покрытия ($\text{кг}/\text{м}^2$), размеры рулонов или элементов, потребности в транспортных средствах и подъёмно-сортировочном оборудовании, а также возможность их размещения и маневрирования на строительной площадке. Необходимость их включения обусловлена тем, что тяжёлые сборные элементы (бетонные плиты) приводят к удорожанию доставки, вынуждают привлекать специальную технику и предъявляют повышенные требования к подготовке основания, что в итоге сказывается на фактической стоимости и продолжительности работ.

4. Время и трудоёмкость монтажа. Данные критерии измеряются в человеко-днях на квадратный метр, а также через календарную продолжительность укладки (в днях на объект). Они введёны в матрицу потому, что от скорости монтажных работ зависят общая смета, длительность периода, в течение которого вода теряется до момента ввода канала в эксплуатацию, и степень логистических рисков.

5. Механическая стойкость и устойчивость к повреждениям. В данный критерий входят прочность на растяжение и разрыв, а также сопротивление продавливанию (последнее актуально прежде всего для гибких мембран и геокомпозитов). Его включение обусловлено тем, что покрытие должно выдерживать механические воздействия от работающей техники, противостоять прорастанию корней древесно-кустарниковой растительности и воспринимать силовые нагрузки, связанные с движением воды.

6. Устойчивость к окружающей среде. Этот критерий охватывает морозостойкость, стойкость к ультрафиолетовому излучению, химическую стойкость (в том числе к удобрениям и агрессивным ионам), а также биостойкость. Измеряется он в циклах морозостойкости (количество циклов до начала деградации свойств) и через температуру хрупкости ($^{\circ}\text{C}$). Включение критерия продиктовано тем, что климатические и химические факторы эксплуатации оказывают определяющее влияние на фактический срок службы покрытия и периодичность ремонтных вмешательств.

7. Ремонтопригодность и скорость локальных работ. Данные критерии характеризуются трудоёмкостью и стоимостью локального ремонта (в человеко-днях на квадратный метр и рублях на один ремонт), а также принципиальной возможностью выполнить восстановительные работы без полного демонтажа покрытия. Их введение в матрицу обосновано тем, что материалы, допускающие простой и быстрый локальный ремонт, позволяют существенно снизить совокупные эксплуатационные расходы.

8. Требования к подготовке основания и подстилающего слоя. Данные критерии охватывают допустимые отклонения поверхности основания, необходимость её выравнивания и уплотнения. Они введёны в оценочную матрицу потому, что отдельные материалы (жёсткие плиты, рулонные мембраны) весьма чувствительны к неровностям и могут потребовать значительных затрат на подготовительные работы.

В процессе заполнения матрицы $M_{пр}$ по выбору оптимального решения в таблице 2.6 были введены следующие обозначения:

- M_1 - сборные железобетонные плиты;
- M_2 - бетонное полотно;
- M_3 - геокомпозит гидроизоляционный «Каплам»;
- M_4 - геокомпозитные бентонитовые маты.

Обозначения критериев в соответствии с матрицей $M_{пр}$ и таблицей 2.5:

- P_1 – стоимость материала за 1 кв/м² (руб.);
- P_2 – стоимость работ за 1 кв/м² (руб.);
- P_3 – срок укладки, кол-во дней (шт.);
- P_4 – трудоёмкость (чел./день);
- P_5 – количество привлекаемой спецтехники (шт.);
- P_6 – количество привлекаемых работников;
- P_7 – требования к подготовке основания;
- P_8 – масса материала, (кг);

P_9 – водопроницаемость (потери воды), (л/кв.м/сут.);

Q_1 – плановый срок эксплуатации, кол-во лет, (шт.);

Q_2 – морозостойкость, кол-во циклов (шт.);

Q_3 – химическая стойкость;

Q_4 – устойчивость к УФ-излучению, кол-во лет до деградации, (шт.);

Q_5 – ремонтпригодность;

Q_6 – прочность при растяжении;

Q_7 – сопротивление биологическому обрастанию (прорастание древесно-кустарниковой растительностью);

Q_8 – температурная стойкость (диапазон), ($^{\circ}\text{C}$);

Q_9 – стойкость к механическим повреждениям;

Q_{10} – сопротивление статическому продавливанию.

Решение поставленной задачи было основано на использовании методики выбора оптимального решения, описанного в теоретической части работы и обработки данных, занесенных в матрицу $M_{\text{пр}}$.

Таблица 2.6 - Оценочные критерии P и Q для материалов, M_i

Материалы, M_i	Оценочные критерии, P_j									Оценочные критерии, Q_j										Сумма критериев P_j, Q_j	
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	Q ₇	Q ₈	Q ₉	Q ₁₀	R_i
	M_1	3	4	3	4	4	4	3	4	4	3	2	4	1	2	2	3	4	1	1	2,94
	M_2	4	3	4	3	2	2	1	3	3	1	3	3	1	1	3	1	2	2	2	2,31
	M_3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	2	3	4	1,57
	M_4	1	1	2	1	3	3	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	3	1,84
OM_i																					R_{min}

В рамках построения многокритериальной модели выбора материала для облицовки оросительного канала использовались экспертные оценки, представленные в таблице 2.6. По каждому из 19 критериев (9 минимизируемых $P_1 \dots P_9$) и 10 максимизируемых ($Q_1 \dots Q_{10}$) материалам ($M_1 \dots M_4$) присвоены баллы от 1 до 4, где 1 соответствует наилучшему значению среди всех рассматриваемых

материалов, а 4 – худшему. Для наглядности также был построен график (рисунок 2.3).

Разработана математическая модель многокритериального выбора оптимального материала для облицовки оросительных каналов, включающая 19 технико-эксплуатационных показателей. Выполнены расчёты фильтрационных потерь для типовых каналов Саратовского Заволжья, подтвердившие необходимость применения противофильтрационных облицовок. Модель позволяет ранжировать альтернативы по интегральному рейтингу R_i и обосновывать выбор материала с наилучшим сочетанием прочностных, гидравлических и технологических характеристик.

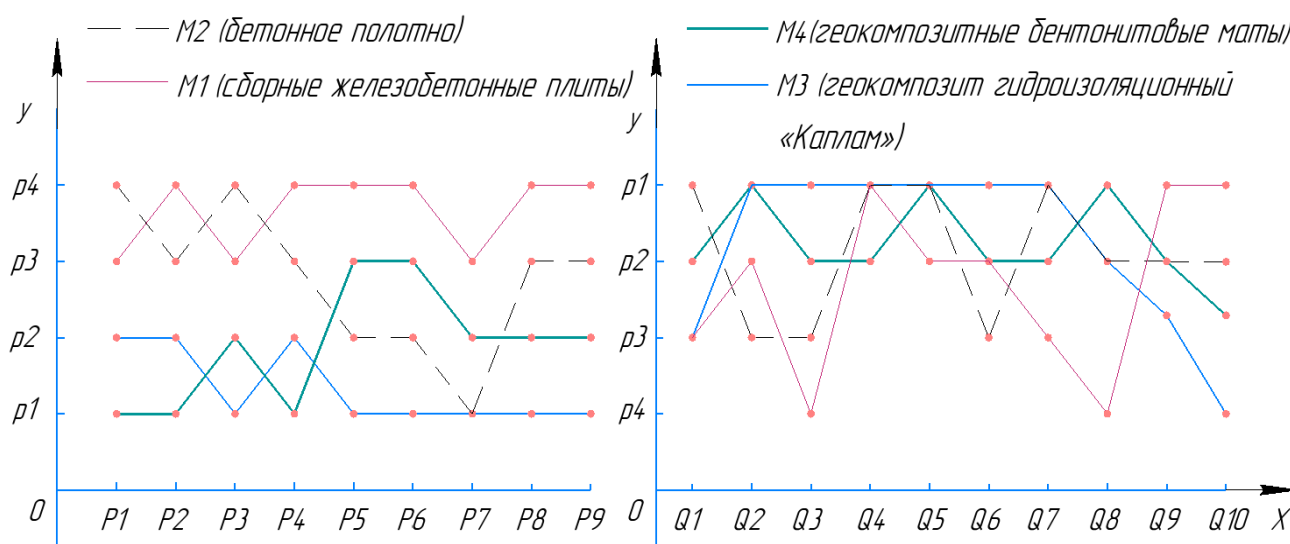


Рисунок 2.3 - Зависимость оптимальности материалов M от характеристик P и Q , матрица $M_{пр}$.

2.5 Варианты обновления облицовки оросительных каналов

Обновление материалов, используемых для облицовки оросительных каналов, играет ключевую роль в процессе технического обновления и совершенствования мелиоративного производства [25, 31].

По мере эксплуатационного износа поверхностей каналов снижаются ключевые функциональные показатели, в первую очередь транспортирующая

способность и противofiltrационные характеристики, что ведёт к ощутимому падению КПД оросительного канала.

В настоящее время фактическое состояние поверхностного слоя оросительных каналов вызывает серьезные опасения, делая задачу обновления их покрытия особенно актуальной для достижения оптимальной производительности.

Обновление защитных облицовок оросительных каналов делятся: полное и частичное.

Полное обновление подразумевает демонтаж изношенных бетонных конструкций, выравнивание основания и устройство нового покрытия, тогда как частичное же обновление сводится к локальной замене повреждённых сегментов на идентичный либо на более технологичный современный аналог.

Рисунок 2.4 содержит классификацию вариантов обновления облицовки оросительных каналов.

Основным критерием при этом выступает достигнутый уровень конструктивно-технической надёжности облицовки, позволяющий реализовать качественное обновление.

Вместе с тем на практике распространена ситуация, при которой разрушенный канал не подвергается ни ремонту, ни переоснащению с применением новых материалов. Следствием этого становится уменьшение площади поперечного сечения и снижение объёма подаваемой воды в оросительной сети. Подобное сокращение является недопустимым, поскольку возрастающая нагрузка на сеть в совокупности с недополивом и недопоставкой плановых объёмов воды орошаемым культурам приводит к дальнейшему уменьшению орошаемых площадей.

Критерием, определяющим своевременность замены бетонной облицовки, является продолжительность службы поверхностного слоя канала до появления первых признаков разрушения [55, 57].

К числу факторов, влияющих на периодичность замены материалов, относят четыре группы эксплуатационных факторов [3,4, 60, 61]:

- текущее состояние производства;

- финансовое обеспечение, наличие ремонтных фондов и лимитов;
- уровень механовооруженности;
- техническая готовность ремонтно-эксплуатационной базы.

Специфика развития производства, изменение направленности деятельности организации и предрасположенность к определённым критериям влияют на выбор момента для обновления. Финансовые аспекты, такие как прибыльность производства, доступность капитальных вложений для покупки новых материалов, а также наличие определённых фондов и лимитов на капитальный ремонт, играют важную роль в планировании обновления. Кроме того, механическое оснащение и техническое состояние оборудования для технического обслуживания и ремонта оказывают влияние на выбор стратегии обновления.

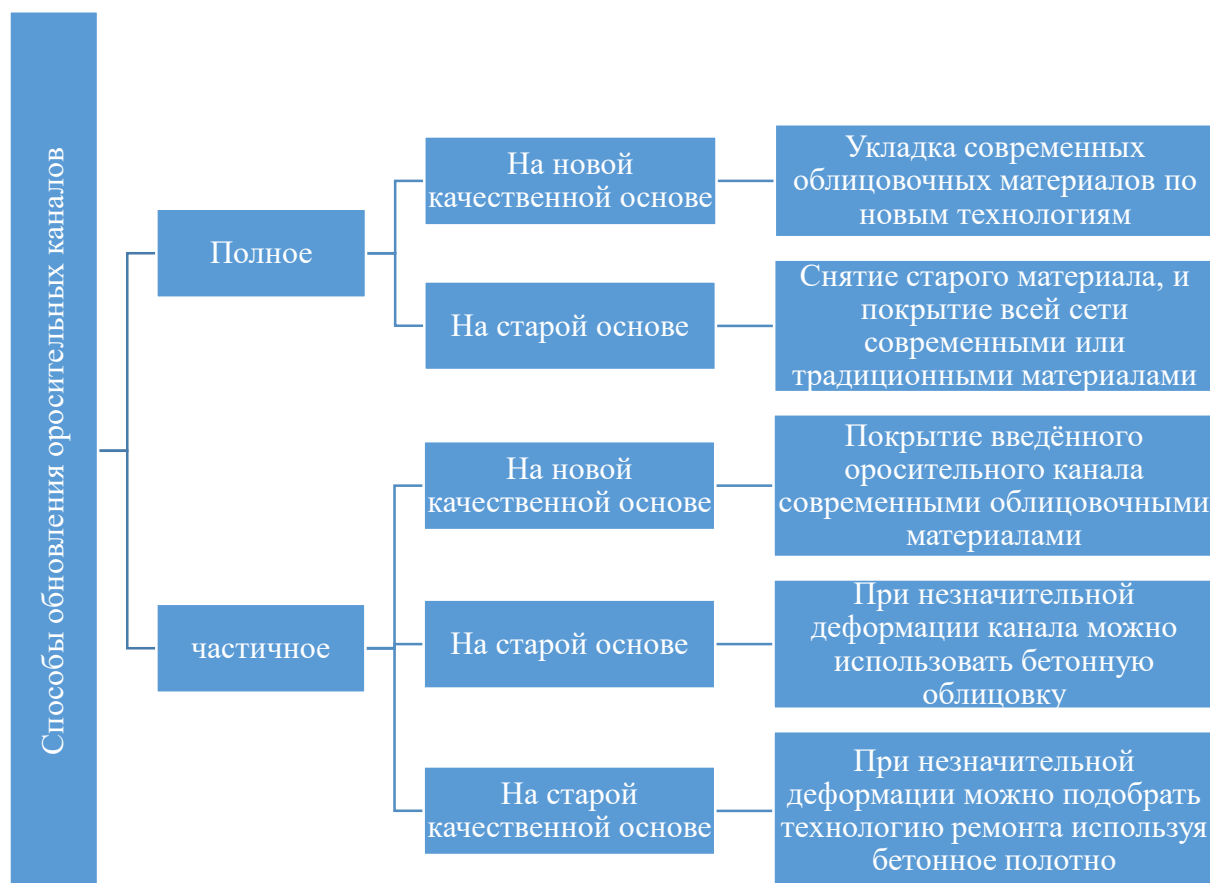


Рисунок 2.4. – Способы обслуживания оросительных каналов

Для анализа процесса обновления каналов целесообразно использовать систему индикаторов, включающую коэффициенты поступления, списания, расширения и сокращения облицовочных материалов, а также частичного

обновления, осуществляемого за счёт проведения капитального ремонта. Это позволит более точно планировать и эффективно подходить к ремонтным работам.

В настоящее время происходит частое использование таких традиционных методов, как укладка армированных бетонных плит. Эти методы используются достаточно долгое время и по сравнению с современными материалами имеют явные недостатки, такие как большую стоимость, срок укладки, трудозатратность проводимых работ. Армирование позволяет эффективно распределять возникающие в процессе эксплуатации нагрузки, тем самым минимизируя риск возникновения трещин и уменьшая потребность в ремонтных работах [20].

Литой на месте бетон представляет собой еще одну проверенную технологию, позволяющую достичь высокой точности соответствия облицовки форме и размерам канала. Это обеспечивает создание монолитной структуры устойчивой к агрессивным внешним воздействиям.

В контексте обновления облицовки оросительных каналов, важное место занимает разработка и реализация инновационных решений, направленных на усовершенствование существующих систем с целью повышения их эффективности и продления срока эксплуатации. В этой связи, существует несколько методических подходов, применяемых к обновлению облицовок, каждый из которых обладает своими уникальными преимуществами и особенностями.

Применение композитных материалов становится все более распространенным благодаря их превосходным эксплуатационным характеристикам, такие как химическая стойкость, устойчивость к ультрафиолетовому излучению и эластичность, благодаря которым достигается значительное продление срока службы облицовок каналов при относительно низких затратах на обслуживание.

В тоже время укрепление облицовки с помощью геосинтетических материалов (геотекстиля и георешеток) эффективно защищают почву от эрозии, тем самым повышая стабильность и структурную целостность основания канала, что является залогом его надежности и долговечности [20].

Внедряя вышеперечисленные инновации, можно не просто увеличить срок службы оросительных систем, но и сделать их более управляемыми, экономически эффективными и экологически безопасными. Это открывает путь к более совершенным методам орошения, которые могут обеспечить устойчивое сельское хозяйство с минимальным негативным воздействием на природу. Но выбор конкретного метода модернизации должен опираться на комплексный анализ, включающий экономическую обоснованность вложений в долгосрочной перспективе, оценку потенциального воздействия на окружающую среду, а также анализ возможностей улучшения качества поставляемой оросительными каналами воды.

2.6 Выводы

1. Были проанализированы основные причины повреждений облицовок оросительных каналов, выявлены циклы замораживания-размораживания, подмыв грунта и ошибки при ремонте. Подчёркнута необходимость комплексного подхода к диагностике и обоснования применения композитных материалов для сокращения затрат и времени монтажа.

2. Рассмотрены физико-механические параметры бетонных покрытий, методы диагностики, понятие остаточного ресурса и виды ремонтных работ. Определена роль неразрушающего контроля и экономическая целесообразность применения композитных материалов.

3. Описаны меры по оценке и модернизации инфраструктуры, применение мониторинга и новых материалов для повышения КПД и снижения потерь воды. Акцент на интеграции статистического анализа и систем управления.

4. Сравнены традиционные бетонные плиты и композитные системы, показаны преимущества геомембран по скорости укладки, стоимости и экологичности.

5. Предложен многофакторный алгоритм выбора материалов на основе технико-экономических коэффициентов, учёта объёмов работ и свойств композитов. Обоснована важность анализа отечественного и зарубежного опыта.

6. Описаны подходы к полному и частичному обновлению, инновационные материалы и методы (BIM, дроны, геосинтетики). Подчёркнута необходимость комплексного анализа экономической, экологической и технической эффективности каждого варианта.

III. ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа и методика лабораторных исследований

Цели и задачи, представленные в работе, предполагают проведение лабораторных исследований для подтверждения теоретических предпосылок. Намеченные нами исследования предполагают объективную оценку с помощью проведения лабораторных и полевых экспериментов.

Объектом нашего исследования являются оросительные каналы. Воссоздание точной копии оросительного канала в лабораторных экспериментах невозможно, но этого и не требуется. Это обосновывается тем, что наша работа базируется на облицовочном материале для оросительных каналов – бетонной облицовки, композитном материале. Отсюда следует, что экспериментальная база исследования опирается на облицовочный материал, соответственно нам необходимо создать условия для получения количественных данных об исследуемом материале - композитном материале.

Программа экспериментальных исследований включала в себя следующие задачи:

1. Провести оценку перспективы использования композитного материала в качестве облицовочного материала на оросительных каналах:

- 1.1. исследовать свойства (показатели) композитного материала на растяжение;

- 1.2. исследовать свойства композитного материала на продавливание;

- 1.3. исследовать свойства фильтрации композитного материала в соответствии с контрольным материалом - бетонной облицовкой;

2. Исследовать качественные свойства композитного материала в соответствии с контрольным материалом – бетонной облицовкой;

3. Сопоставить полученные результаты лабораторных экспериментов между собой и определить конкурентные преимущества композитного материала, при их наличии;

4. Сделать соответствующие выводы по выполненному исследованию.

3.2 Методика лабораторных исследований

3.2.1 Результаты лабораторных исследований на растяжение композитного материала

Нами были подготовлены экспериментальные образцы композитного материала «Каплам 500» (композитный материал толщиной 0,5 мм) проведены лабораторные исследования.

По итогу пяти повторений данного эксперимента, удалось получить следующие результаты в таблице 3.1 и рисунках 3.1, 3.2, 3.3.



Рисунок 3.1 - Установка образца
«Каплам 500» в тиски



Рисунок 3. 2 - Результат эксперимента
«Каплам 500» на растяжение

Таблица 3.1 - Свойства испытаний на прочность при растяжении материала
«КАПЛАМ 500»

Материал	Метод	№ опыта	Показатель предела прочности (Кн/м)	Визуальный результат
КАПЛАМ 500	ГОСТ Р 56785–2015	1	36	Отрыв
		2	38	Отрыв
		3	38	Отрыв
		4	37	Отрыв
		5	36	Отрыв

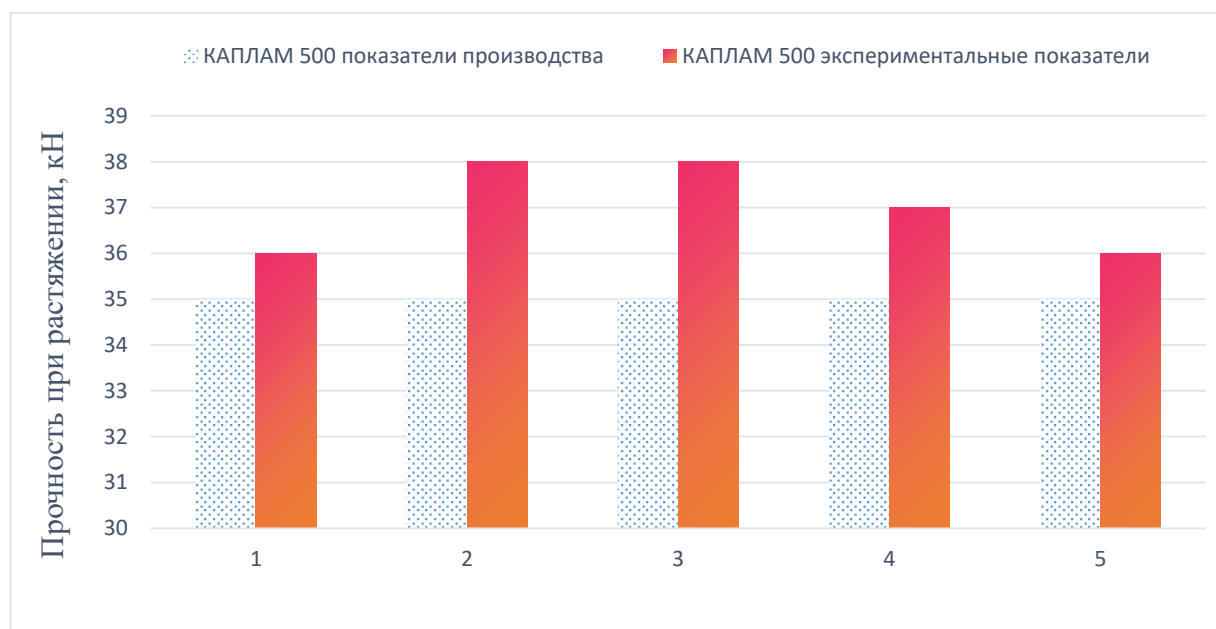


Рисунок 3.3 - Свойства прочности при растяжении на лабораторных исследованиях материалов «КАПЛАМ 500»

Далее был испытан композитный материал «КАПЛАМ 1000», результаты исследования в таблице 3.2 и на рисунках 3.4, 3.5, 3.6.

Данный образец, как и предполагалось выдержал более высокую нагрузку. Предел прочности выше из-за его толщины. Результаты испытаний представлены в таблице 3.2.



Рисунок 3.4 - Установка образца
«Каплам 1000» в тиски



Рисунок 3.5 - Результат
эксперимента «Каплам 1000» на
растяжение

Таблица 3. 2 - Испытания на прочность при растяжении «Каплам 1000»

Материал	Метод	№ опыта	Показатель предела прочности (Кн/м)	Визуальный результат
КАПЛАМ 1000	ГОСТ Р 56785-2015	1	70	Отрыв
		2	69	Отрыв
		3	71	Отрыв
		4	70	Отрыв
		5	68	Отрыв

По результатам испытаний, мы получили данные доказывающие, что композитные материалы «Каплам 500 и 1000» обладает прочностью при растяжении, заявленным производителем.

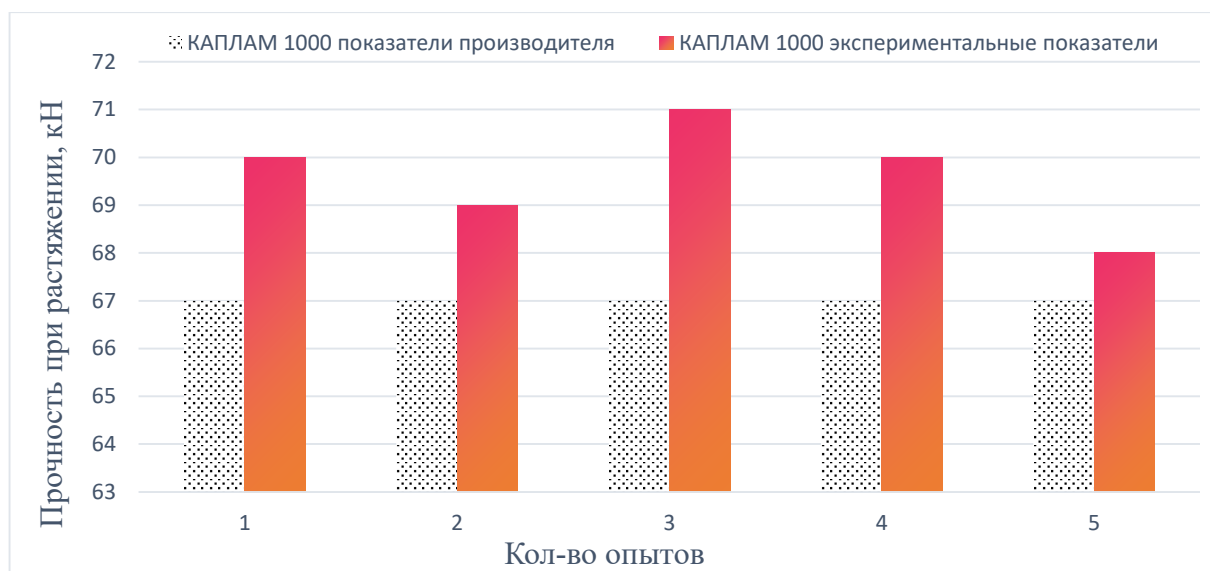


Рисунок 3.6 - Свойства прочности при растяжении на лабораторных исследованиях материала «КАПЛАМ 1000»

Таким образом, экспериментально подтверждено, что прочность при растяжении композитных материалов «Каплам 500» и «Каплам 1000» соответствует паспортным значениям, заявленным производителем. Полученные результаты подкрепляют наше предположение о том, что в сложившихся условиях применение перспективных композитных материалов становится объективной необходимостью, поскольку в сравнении с традиционными покрытиями композиты демонстрируют целый ряд существенных преимуществ.

3.2.2 Экспериментальные данные о сопротивлении композитных материалов статическому продавливанию

В этом разделе приведено детальное описание процедуры определения сопротивления статическому продавливанию образцов геокомпозитов «Каплам 500» и «Каплам 1000». Для выполнения исследований были изготовлены экспериментальные образцы композитного материала «Каплам 500» толщиной 0,5 мм и «Каплам 1000» толщиной 1 мм. Результаты исследования представлены в таблице 3.3 и рисунках 3.7 и 3.8.

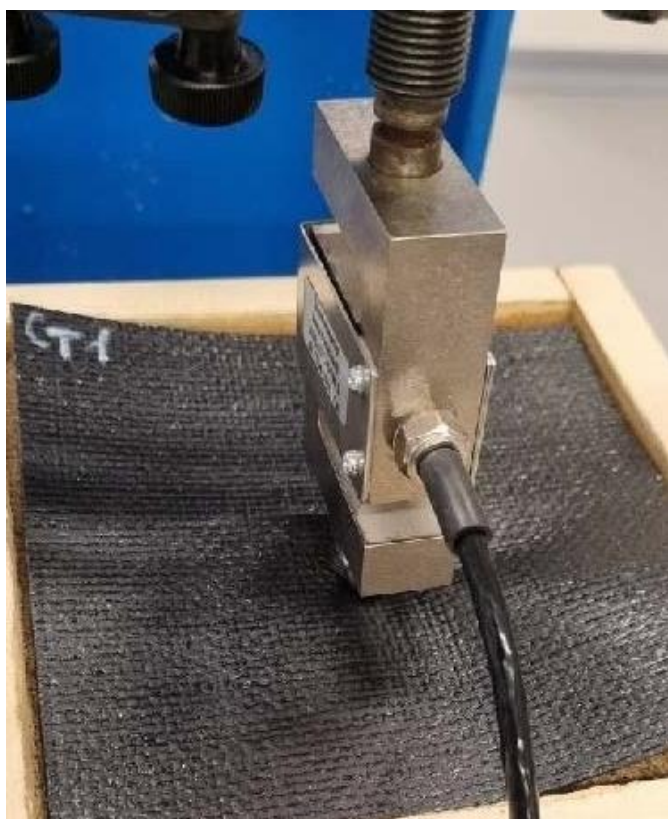


Рисунок 3.7 - Испытание на
продавливание
материала «Каплам»



Рисунок 3.8 - Общий вид зоны
продавливания
материала «Каплам»

На прикреплённых фотографиях зафиксирован общий вид испытательной установки и зоны контакта в момент продавливания образца Каплам 1000. На снимках видна рамка с песчаной подсыпкой, в которой размещён образец геокompозита, сверху располагается шток/шарик нагружающего устройства и измерительная линейка, служащая визуальным калибровочным ориентиром.

Эксперимент поставлен согласно методическим указаниям ГОСТ 2678–94 [46], регламентирующим определение сопротивления статическому продавливанию (испытание шариком). В ходе опыта образец укладывают на уплотнённую песчаную подсыпку внутри ограничительной рамки и нагружают шариком либо штоком испытательной установки. Показатели фиксируют вплоть до достижения критерия разрушения либо заданной величины смещения [46].

Снимки показывают, что песчаная подсыпка уложена в рамке равномерно, без заметных пустот, а рельеф песка вокруг контактной зоны остаётся сравнительно однородным. На одном из фото размещена миллиметровая шкала, дающая

возможность визуально оценить глубину вдавливания. Продавленный участок находится примерно по центру образца; отчётливо видна локальная вмятина и радиальное вытеснение песка от точки контакта, что типично для статического продавливания.

Ниже приведена оценочная таблица со значениями. Все приведённые числовые получены из исследований, проведённых по (ГОСТ 2678-94 и аналогичных индексных испытаний).

Таблица 3.3 - Испытания для определения сопротивления статическому продавливанию композитных материалов

Материал	Метод	Параметры испытания	Смещение (мм)	Комментарий (поведение)
Каплам 500	ГОСТ 2678-94	скорость ~10 мм/мин, песчаная подсыпка, рамка	3,8 мм	Локальная вдавленность, возможно частичное расслоение, без крупного разрыва
Каплам 1000		скорость ~10 мм/мин, та же конфигурация	5,9 мм	Значительно большая стойкость

При испытании на водонепроницаемость в течении установленного времени (72 часа) при заданном давлении (0,3 МПа) образцы материалов «Гидроизоляционный геокомпозит КАПЛАМ 500 и 1000» показали свою водонепроницаемость.

Проведённые испытания показали, что композитные материалы «Каплам 500» и «Каплам 1000» обладают прочностью при статическом продавливании, соответствующей паспортным значениям изготовителя. Эти результаты подкрепляют наше утверждение о том, что применение перспективных композитных материалов сегодня является объективной необходимостью, поскольку по сравнению с традиционными покрытиями композиты демонстрируют целый ряд существенных преимуществ.

По итогам исследований можно сделать вывод, о том, что при использовании композитного материала «КАПЛАМ» фильтрация и утечки воды сводятся

практически к нулю, что в свою очередь приводит к повышению подачи воды и увеличению срока службы оросительного канала.

3.3 Выводы

1. Данные, полученные в результате исследований, дают основание подтвердить обоснованность характеристик материалов «КАПЛАМ 500» и «КАПЛАМ 1000» (37 и 69 кН/м), заявленных производителем в технической документации

2. Согласно полученным экспериментальным данным, смещение при продавливании для материала «КАПЛАМ 500» составило 3,8 мм., а для «КАПЛАМ 1000» 5,9 мм., что также соответствует информации, заявленной заводом-изготовителем. Характер разрушения образцов (локальная вдавленность без образования крупных разрывов у «КАПЛАМ 500» и существенно более высокая стойкость у «КАПЛАМ 1000») служит дополнительным свидетельством их соответствия заводским характеристикам.

3. В ходе испытаний на водонепроницаемость было установлено, что в течении установленного времени (72 часа) при заданном давлении (0,3 МПа) образцы материалов «Гидроизоляционный геокомпозит КАПЛАМ 500 и 1000» доказали свою водонепроницаемость.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

4.1 Результаты сравнительных характеристик облицовочных материалов и технологические особенности облицовки оросительного канала

Инновационный гидроизоляционный геокомпозит марки «КАПЛАМ» (производитель - TERATEX) выполнен в виде многослойного полотна, сочетающего полиэтиленовую плёнку с армирующей основой, и спроектирован для гидроизоляции различных сооружений, включая оросительные каналы. По сравнению с традиционными геомембранами этот материал отличается меньшей массой и более высокой прочностью, сохраняет гибкость при отрицательных температурах, может выпускаться в рулонах шириной до 40 м, что заметно ускоряет сварочные работы и упрощает транспортировку благодаря незначительному весу [42].

Нами ранее было отмечено, что бетонная облицовка каналов, традиционно используемая уже длительное время, требуют значительных трудозатрат и техники для укладки, имеют много швов и склонны к образованию трещин, что приводит к утечкам и необходимости ремонтов. По итогу сравнения этих факторов геосинтетические облицовки имеют более высокую эксплуатационную эффективность и экономичность в долгосрочной перспективе [84].

Для объективного заключения о пригодности материала в качестве облицовки необходим комплексный анализ, включающий для выполнения облицовочных работ данные лабораторных опытов, такие как водонепроницаемость, которая должна быть близка к 100%. Основным критерий гидроизоляции - испытание на водонепроницаемость под статическим давлением, при котором не должно быть сквозных протечек. Механическая прочность (предел прочности при разрыве и сопротивление проколу) должна соответствовать ожидаемым нагрузкам. Устойчивость к проколу и разрыву особенно важна при возможных нагрузках

острыми обломками грунта или гравия. Качество сварных швов не менее важно - швы должны быть сплошными и иметь прочность, сопоставимую с полотном геомембраны. Кроме того, геокомпозит демонстрирует устойчивость к климатическим воздействиям: потери прочности при длительном старении и под воздействием УФ-излучения должны находиться в допустимых пределах. Гибкость при низких температурах также является обязательным требованием и технико-экономическое обоснование, предполагающее анализ затрат по жизненному циклу. В современных публикациях по проектированию и эксплуатации каналов акцентируется необходимость проработки монтажных решений и организации последующего мониторинга, а также выполнения сценарной оценки затрат с учётом периодичности ремонтов и вероятности механических повреждений; последнее приобретает особую значимость при сопоставлении гибких композитных и бетонных облицовок [38,97].

В ходе исследования анализировались два типа облицовки типового оросительного канала: традиционная бетонная (сборные железобетонные плиты) и инновационная - армированный гидроизоляционный геокомпозит «КАПЛАМ». Характеристики геокомпозита принимались по технической документации производителя (полиэтиленовая плёнка с тканым армирующим слоем, 100 % водонепроницаемость, стойкость к ультрафиолету и агрессивным средам не ниже 85–90 %). Монтаж геокомпозитного покрытия предусматривал отсыпку подготовительной песчаной или гравийной подушки толщиной порядка 0,2–0,3 м (фракция до 30 мм) с последующей раскаткой материала и герметизацией швов сваркой согласно СТО 24834307.011-2021 [90].

4.2 Результаты по лабораторным испытаниям

В таблице 4.1 приводятся со сводными средними значениями по сериям испытаний.

Таблица 4.1. – Результаты лабораторных испытаний

Показатель	КАПЛАМ-500	КАПЛАМ-1000	Ед. изм.
Прочность при растяжении	(36-38)	(68-71)	кН/м
Относительное удлинение	3,8	5,9	%
Проницаемость	Водонепроницаем	Водонепроницаем	-

4.3 Техничко-технологические показатели сравниваемых технологий

При эксплуатации оросительных систем (в частности бетонных конструкций) особое внимание уделяется снижению потерь воды на фильтрацию. Это связано с тем, что данные конструкции плохо выдерживают растягивание, несмотря на то, что обладаю высокой прочностью на сжатие. Этот негативный фактор может приводить к таким повреждениям, как трещинообразование, коррозия арматуры и др. [38].

Проблему усугубляют низкий технический уровень производственных технологий, деформация облицовки оросительного канала, возникающая вследствие длительной эксплуатации и другие негативные факторы.

Это в свою очередь со временем приводит к зарастанию древесно-кустарниковой растительностью, камышом, рогозом и другой растительностью, а также подтоплением приканальных угодий, вторичным засолением и заболачиванием земель [98, 102].

Геомембранные материалы, в отличие от бетонных, обладают такими свойствами, как высокая эластичность и способность к перераспределению нагрузок без разрушения. Композитный материал может удлиняться на 300-500% перед разрывом, что обеспечивает ее устойчивость к движению грунта [59, 108].

Геомембранные материалы характеризуются более высоким коэффициентом температурного расширения, в то же время они не накапливают разрушающие напряжения вследствие такого свойства, как гибкость. Это делает их особенно устойчивыми в эксплуатации в зоне рискованного земледелия [59] (см. рисунок 4.1).

Другим, не менее важным преимуществом композитных материалов является их меньший углеродный след и возможность их частичной переработки, что особенно актуально в ходе мелиоративной эксплуатации конструкций. Применение геомембран и геотекстиля обеспечивает практически полную фильтрацию воды при ее подаче для потребителей [94].



Рисунок 4.1 - Композитный материал «Каплам», уложенный как облицовка оросительного канала

Эксплуатация в водной среде создает уникальные условия для биологического воздействия.

В отличие от бетона, композитный материал не подвержен биокоррозии и разрушению корневыми системами растений. В то же время присутствие в составе геомембран современных полимеров обеспечивает устойчивость к ультрафиолетовому излучению, а также химическую стойкость к агрессивным средам.

Согласно исследованиям, Косиченко Ю.М, Баева О.А. следует, что геомембранные материалы, по сравнению с бетонными, обеспечивают повышение долговечности и межремонтного периода [56].

На сегодняшний день проведено недостаточно исследований, касающихся разработки и доработки конструктивно-технических решений, направленных на минимизацию фильтрационных потерь воды (которые занимают 70-75 % от всего объема потерь) в результате использования композитных материалов, поскольку их применение повышает КПД до 0,93–0,95 [22, 23, 41].

Рассмотрим технологию строительства канала композитными материалами взамен бетонной облицовки канала длиной 1 км, глубиной 3м, а шириной по дну

2,5 м, с общей площадью - 8 500 м² (см. рисунки 4.2 - 4.3, а также таблицы 4.2 – 4.3)

Процесс и схема укладки бетонными плитами оросительного канала с параметрами (1,5×6 м и 3×6 м, 2,5×3 м) и композитными материалами.

Проанализируем работы по строительству оросительного канала

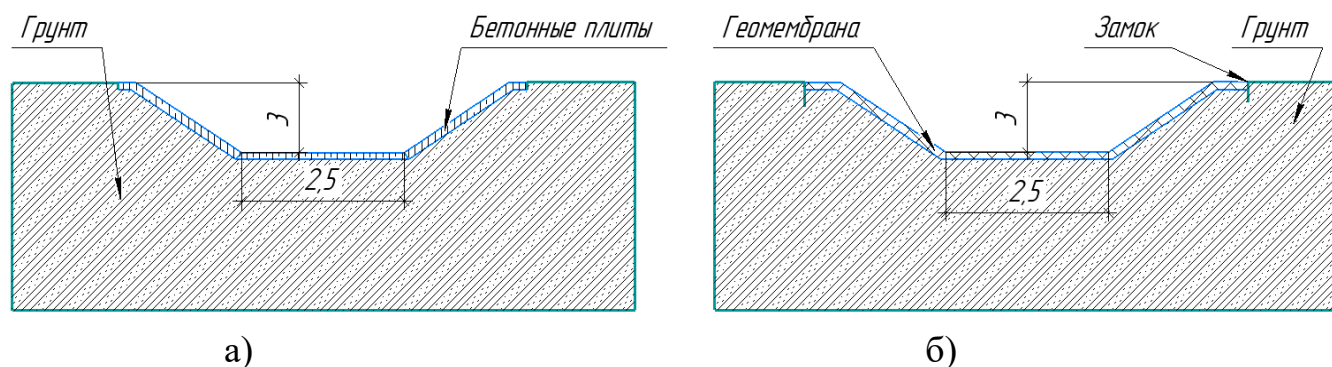


Рисунок 4.2 - Схемы укладки а) - бетонных плит, б) – композитного материала

График работы техники (для бетонных плит) будет представлен в таблице 4.2.

- Дни 1-10: Доставка материалов: 20 грузовиков/день (всего 194 рейса) с бетонными плитами и сопутствующими материалами.
- Дни 11-15: 2× Кранэкс ЕК-400 (экскаваторы) выполняют выемку грунта на глубину 3,5 м (8 часов/день). ДЗ-42 (бульдозер) и УДС-4321-5 (экскаватор планировщик) выравнивают дно и откосы канала (6 часов/день).
- Дни 16-17: КС-65713-1 (автокран) разгружает и складировует 806 бетонных плит (10 часов/день).
- Дни 18-32: 2 × КС-65713-1 (автокран) укладывают 58 плит/день (8 часов/день).
- Дни 33-34: Рабочие герметизируют швы с помощью компрессора ПКСД-5,25 Д и экструдера/пистолета для герметика.
- День 35: Инженеры проводят проверку уровня и герметичности.

Привлекаемые кадры:

- монтажники: 8 чел. (укладка плит, контроль уровня);
- операторы техники: 6 чел. (2 экскаватора, 1 бульдозер, 1 экскаватор планировщик, 2 крана, 2 водителя грузовиков);
- вспомогательный персонал: 5 чел. (подноска материалов, очистка);
- итого: 21 человек.

Материалы:

- Бетонные плиты:

- 3×6 м (для дна): $2\,500\text{ м}^2 / 18\text{ м}^2 = 139$ плит (вес 9 т/шт.);

- 1,5×6 м (для стенок): $6\,000\text{ м}^2 / 9\text{ м}^2 = 667$ плит (вес 4,5 т/шт.);

- Всего: 806 плит (общая масса: 4 846,5 т).

- Песчано-гравийная подушка: толщиной 15 см в объеме 1 275 м³.

- Цементный раствор для швов: 425 м³.

Логистика:

- грузовики (25 т): 194 рейса;

- график доставки: 20 грузовиков/день → 10 дней.

Таблица 4.2 График работ с бетонными плитами

Этап	Дни	Техника/Персонал	Детали
Доставка плит	10	20 грузовиков/день	194 рейса
Выгрузка	2	Автокран КС-65713-1	806 плит
Складирование	1	Автокран КС-65713-1	806 плит
Подготовка канала	5	2× Кранэкс ЕК-400, ДЗ-42 (бульдозер) и УДС-4321-5 (экскаватор планировщик)	Выемка 3 000 м ³ грунта
Укладка плит	14	2× Автокран КС-65713-1	58 плит/день
Герметизация швов	2	Вспомогательный персонал	425 м ³ раствора
Контроль качества	1	Инженеры	Проверка уровня и герметичности
Итого	35 дня		

Трудоемкость для облицовки бетонными плитами:

$$T_{\text{бетон}} = T_{\text{д.}} + T_{\text{в.}} + T_{\text{скл.}} + T_{\text{п.}} + T_{\text{у.}} + T_{\text{г.}} + T_{\text{к. к.}} \quad (4.1)$$

где:

- $T_{\text{д.}}$ — время доставки бетонных плит на участок, дней.
- $T_{\text{в.}}$ — время выгрузки плит, дней.
- $T_{\text{скл.}}$ — время на складирование бетонных плит недалеко от места проводимых работ, дней.

- Т п. — время подготовки участка канала (очистка, выравнивание, укладка геотекстиля, подготовка песчано-гравийной подушки), дней.
- Т у. — время укладки бетонных плит, дней.
- Т г. — время герметизации швов между плитами, дней.
- Т к. к. — время контроля качества облицовки, дней.

Расчет трудоемкости для бетонной облицовки:

- Т д.=10 дня (доставка плит).
- Т в.=2 дня.
- Т скл.=1 день
- Т п.=5 дней.
- Т у. =14 дней.
- Т г.=2 дня.
- Т к. к.= 1 день.

$$Т_{\text{бетон}}=10+2+1+5+14+2+1=35 \text{ дня.}$$

График работы техники (композитная облицовка) будет представлен в таблице 4.3.

- Дни 1-5: 2× Кранэкс ЕК-400 (экскаваторы) выполняют выемку грунта на глубину 3,5 м (8 часов/день). ДЗ-42 (бульдозер) и УДС-4321-5 (экскаватор планировщик) выравнивают дно и откосы канала (6 часов/день);
- День 6: КамАЗ-65201 доставляет все материалы;
- День 7: Кран-манипулятор КМА-10К выгружает все материалы;
- Дни 8-14: Кран-манипулятор КМА-10К монтирует геомембрану (3 рулона/день);
- Дни 15-16: Монтажники сваривают полотнища с помощью MELTPLAST 900 и Теплоконт РЭС-1 и создают анкерный замок с TSS-RP160D;
- Дни 17: Инженеры проводят контроль качества сварки полотнищ и создания анкерного замка.

Привлекаемые кадры:

- монтажники: 6 чел. (раскатка, крепление, сварка);
- операторы техники: 5 чел. (2 экскаватора, бульдозер, экскаватор планировщик,

кран, водитель грузовика);

- вспомогательный персонал: 4 чел;

- итого: 15 человек.

Таблица 4.3 График работ с композитными материалами

Этап	Дни	Техника/Персонал	Детали
Подготовка канала	5	2× Кранэкс ЕК-400, ДЗ-42 (бульдозер) и УДС-4321-5 (экскаватор планировщик)	Выемка 3 000 м³ грунта
Доставка материалов	1	КамАЗ-6520	17,85 т
Выгрузка	1	Кран-манипулятор КМА-10К	17,85 т
Укладка геотекстиля	7	Вспомогательный персонал, Кран-манипулятор КМА-10К	8 500 м², 3 рулона/день
Сварка полотнищ и создание анкерного замка	2	Вспомогательный персонал MELTPLAST 900, Теплоконт РЭС-1, TSS-RP160D	-
Контроль качества	1	Инженеры	Проверка герметичности
Итого	17		

Материалы:

- геомембрана (HDPE, 2 мм): 15 рулонов (600 м² каждый) → 10,2 т;

- геотекстиль (500 г/м²): 8 500 м² → 4,25 т;

Логистика:

1 рейс КамАЗ-6520 (все материалы: 14,45 т).

Трудоемкость для облицовки композитным материалом:

$T'_{\text{компол.}} = T'_{\text{п.}} + T'_{\text{д.}} + T'_{\text{в.}} + T'_{\text{скл.}} + T'_{\text{у.}} + T'_{\text{г.}} + T'_{\text{к. анк.}} + T'_{\text{к. к.}}$

(4.2)

где:

- $T'_{\text{п.}}$ — время подготовки участка канала (очистка, выравнивание), дней.
- $T'_{\text{д.}}$ — время доставки материалов на участок, дней.
- $T'_{\text{в.}}$ — время выгрузки материалов, дней.

- $T'_{с.}$ — время на складирование композитных материалов недалеко от места проводимых работ, дней.
- $T'_{у.}$ — время на укладку материала, дней.
- $T'_{г.}$ — время требуемое для сварки материал, дней.
- $T'_{к.анк.}$ — время нужное на создание анкерного замка, дней.
- $T'_{к.к.}$ — время контроля качества облицовки, дней.

Расчет трудоемкости для композитной облицовки:

- $T'_{п.}=5$ дня.
- $T'_{д.}=1$ день (доставка материалов).
- $T'_{в.}=T'_{с.}=1$ день.
- $T'_{у.}=7$ дней.
- $T'_{к.анк.}+T'_{г.}=2$ дня.
- $T'_{к.к.}=1$ день.

$T'_{композит}=5+1+1+7+2+1=17$ дней.

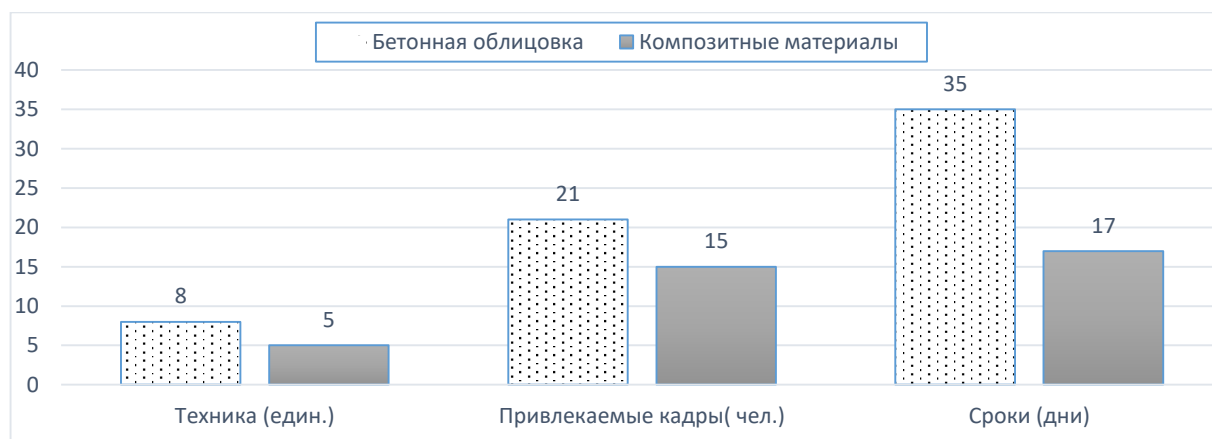


Рисунок 4.3 Техничко-технологические свойства сравниваемых технологий

Вывод:

- Укладка композитной облицовки в 2,05 раза быстрее и требует на 193 рейса меньше автомобиля «Камаз» для доставки материалов.

Также можно привести примеры работ на участках канала длиной 1 км с бетонной облицовкой и композитным материалом.

Ниже приведены виды работ и применяемой техники при устройстве бетонной и композитной облицовок оросительного канала (таблица 4.4).

Таблица 4.4 Техничко-технологические свойства сравниваемых технологий

Вид работ	Техника	Назначение
Геодезическая разбивка	Геодезическое оборудование	Вынос осей, отметок
Очистка полосы отвода	Кусторезы на базе МТЗ-82.1, бульдозер ДЗ-42, погрузчик ПК-12-02, КамАЗ-6520	Удаление растительности
Разработка грунта	Экскаватор Кранэкс ЕК-400, КамАЗ-6520	Снятие растительного слоя, выемка грунта
Планировка основания	ДЗ-42, УДС-4321-5	Выравнивание дна и откосов
Подготовка и уплотнение основания	Виброплита ТSS-RP160D и вибрационный каток DM-614	Уплотнение основания для облицовки канала
Работы по укладке бетонных плит		
Устройство печано-гравийной смеси	КАМАЗ-6520, ДЗ-42, ТSS-RP160D	Подготовка основания для последующей укладки бетонных плит
Доставка плит	КамАЗ-54901	Подвоз плит к объект
Разгрузка плит	Автокран КС-65713-1	Разгрузка и подача плит
Монтаж плит		Укладка плит
Герметизация швов	Компрессор ПКСД-5,25 Д, Экструдер/пистолет для герметика	Заполнение швов герметиком
Работы по укладке композитного материала		
Доставка рулонов «КАПЛАМ»	КамАЗ-6520	Подвоз материалов
Разгрузка рулонов	Кран-манипулятор КМА-10К	Подача к месту разгрузки
Укладка композита		Раскатка и монтаж полотен
Сварка полотнищ	MELTPLAST 900, Теплоконт РЭС-1	Герметичное соединение
Создание анкерного замка	TSS-RP160D	Закрепление кромки геокомпозита и предотвращения его сдвига

4.4 Рекомендации по монтажу и контролю качества

Подготовка основания: во время подготовки основания удаляем все острые включения (камни, корни, строительный мусор). Максимальная размерность включений в подушке - ≤ 30 мм; но на контактной поверхности с мембраной допускаются только мелкие округлые зерна.

Толщина песчано-гравийной подушки: 0,20–0,30 м, равномерная, с уплотнением до проектной плотности. Контроль: проверка толщины рулеткой через 100 м и плотности точечными испытаниями.

На чувствительных участках - предусмотреть прокладочный слой геотекстиля между грунтом и мембраной; это уменьшит вероятность локального повреждения.

Укладка полотен и сварка швов - технологические требования: укладку проводим при условии сухого основания и отсутствии сильного ветра/пылеобразования. Рулоны разматываем аккуратно, избегая скручивания и складок.

Перекрытие полотен и технологии сварки: применяем сварку горячей клиновой насадкой или экструзионную сварку в соответствии со СТО 24834307.011-2021 и рекомендациями производителя. Практическая рекомендация: используем минимальный рабочий нахлест 50–100 мм и «двойную» сварку по периметру (основной шов + контрольный шов), либо один основной шов с обязательной проверкой [90, 106].

Анкерование и закрепление кромок: на крутых откосах применяли этапное анкерование и временную фиксацию рулона до сварки.

Перед укладкой предусмотрели анкерную траншею на верху откоса. Заполнили траншеи - песчано-гравийной смесью с уплотнением.

Меры по защите от УФ и механических повреждений: минимизируем длительное пребывание мембраны на открытом солнце: по возможности укрываем её геотекстилем (500 г/м^2) или засыпаем песком/рыхлой засыпкой в течение 1-3 недель после установки.

В местах прохода техники предусмотрели защитные плиты/настилы или усиленные вставки из КАПЛАМ-1000.

На эксплуатируемых откосах - использовали георешётки/покрытия для распределения нагрузок [93].

4.5 Выводы

1. При проведении экспериментальных исследований геокомпозит «КАПЛАМ» показал заявленную водонепроницаемость и хорошие базовые механические характеристики, пригодные для облицовки оросительных каналов: КАПЛАМ-500 и КАПЛАМ-1000 признаны водонепроницаемыми в лабораторных и заводских испытаниях.

2. По показателям прочности на растяжение и продавливание КАПЛАМ-1000 существенно превосходит КАПЛАМ-500 (лабораторные значения: ~69 кН/м против ~37 кН/м по растяжению; продавливание ~945 Н против ~550 Н). Это означает, что КАПЛАМ-1000 лучше подходит для участков с высоким риском точечных и транспортных нагрузок при укладке и эксплуатации.

3. Технологическая эффективность: композитная облицовка существенно сокращает сроки строительства (15 дней против 35 дней) и логистику (1 рейс против 194) по сравнению с бетонными плитами для типового участка 1 км × 3 м глубины, что дает большие преимущества по стоимости и срокам.

4. На участках с высокими механическими рисками (проход техники, камни, местные концентрации нагрузок) однозначно нужно выбирать КАПЛАМ-1000, так как запас по растяжению более высокий. На спокойных участках (легкий доступ, защищённые откосы) КАПЛАМ-500 может быть экономически обоснован при условии повышенного контроля основания и быстрой защиты от УФ.

V. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ КОМПОЗИТНЫХ ОБЛИЦОВОК

Сравнение вариантов по затратам жизненного цикла требует учёта как первоначальных капиталовложений, так и расходов на последующую эксплуатацию и ремонт. Для бетонных облицовок традиционно характерны значительная стоимость материалов, необходимость тщательной подготовки основания и высокая трудоёмкость работ. Геокомпозит «КАПЛАМ», напротив, обладает малой массой и поставляется в крупноформатных рулонах, что уменьшает транспортные издержки и трудозатраты на укладку. Лёгкость материала и возможность сваривать полотна шириной до 40 м способны заметно сократить суммарные монтажные расходы.

Кроме того, бетонные покрытия предполагают обязательное устройство деформационных (усадочных) швов и регулярное выполнение ремонтных операций: заполнение трещин, герметизацию стыков полимерными составами и т.п., что увеличивает эксплуатационные затраты [40].

При использовании же цельного сварного геокомпозита необходимость в подобных мероприятиях полностью отпадает. Как следствие, совокупные расходы на поддержание герметичности канала при применении «КАПЛАМ» оказываются заметно ниже, чем в бетонном варианте.

5.1 Техничко-экономическое обоснование применения геомембран и геотекстиля для облицовки каналов

В данном разделе приводится технико-экономическое сопоставление двух технологий облицовки оросительного канала применительно к участку протяжённостью 1 км и площадью покрытия 8 500 м²: геокомпозита «КАПЛАМ» (марок 500 и 1000) и традиционной бетонной облицовки (см. таблицу 5.1 и рисунки 5.1 и 5.2).

Полная стоимость облицовки канала определяется

1. Бетонные плиты

$$C_{ц(бетон)} = C_M + C_c + C_L + C_e + C_T + C_K, \quad (5.1)$$

где:

- C_M - стоимость бетонных плит, руб;
- C_s - стоимость строительно-монтажных работ, руб;
- C_L - затраты на логистику (транспортировка), руб;
- C_e - эксплуатационные затраты на 30 лет, руб;
- C_t - затраты на герметизацию, швы и финишную обработку, руб;
- C_K - контроль качества, лабораторные испытания и приёмка, руб.

2. Композитный материал (геомембрана)

$$C_{ц(композит)} = C_M' + C_s' + C_L' + C_e' + C_K' \quad (5.2)$$

где:

- C_M' - стоимость композитной мембраны и анкеров, руб;
- C_s' - стоимость монтажных и крепёжных работ, руб;
- C_L' - логистика (обычно 1 рейс), руб;
- C_e' - эксплуатационные затраты на 30 лет, руб;
- C_K' - контроль качества + герметизация швов, руб.

Технико - экономическое сравнение облицовки канала (1 км).

Типы плит и объёмы:

- плиты 3×6 м для дна: $2\,500\text{ м}^2 / 18\text{ м}^2 = 139$ плит (вес 9 т/шт.);
- плиты 1,5×6 м для стенок: $6\,000\text{ м}^2 / 9\text{ м}^2 = 667$ плит (вес 4,5 т/шт.);
- всего: 806 плит, общий вес: 4 846,5 т;
- песчано-гравийная подушка: $1\,275\text{ м}^3$;
- цементный раствор для швов: 425 м^3 .

Логистика:

- фуры (25 т): $4\,846,5 / 25 = 194$ рейса;
- график доставки: 20 фур/день $\rightarrow$ 10 дней;
- стоимость доставки: $50 \text{ км} \times 40 \text{ руб/км} \times 194 \text{ фур} = 388\,000 \text{ руб.}$

Композитный материал:

Состав комплекта:

- геомембрана: 15 рулонов по $600 \text{ м}^2 \rightarrow 10,2 \text{ т}$;
- геотекстиль (500 г/м^2): $8\,500 \text{ м}^2 \rightarrow 4,25 \text{ т}$;
- общая масса: $14,45 \text{ т} \rightarrow 1$ рейс КамАЗ-6520;
- доставка: $50 \text{ км} \times 40 \text{ руб/км} \times 1 \text{ рейс} = 2\,000 \text{ руб.}$

Подводя итог расчетов, мы можем утверждать, что при использовании геосинтетического материала укладка будет проходить в 2,05 раза быстрее и потребует на 193 единиц техники меньше.

Стоимость материалов и монтажа:

- материал: $1317 \text{ руб/м}^2 \times 8\,500 \text{ м}^2 = 10\,200\,000 \text{ руб.}$;
- монтаж: $635 \text{ руб/м}^2 \times 8\,500 \text{ м}^2 = 3\,400\,000 \text{ руб.}$;
- эксплуатационные затраты за 30 лет: $3\,760\,000 \text{ руб.}$;
- итого (полная стоимость жизненного цикла): $16\,988\,000 \text{ руб.}$

«Каплам 500»

Стоимость мембраны:

$200 \text{ р/м}^2 \times 8500 \text{ м}^2 = 1\,700\,000 \text{ руб.}$

Геотекстиль: $510\,000 \text{ руб.}$

Материалы (сумма): $1\,700\,000 + 510\,000 = 2\,210\,000 \text{ руб.}$

Монтаж: $110 \text{ р/м} \times 8500 = 935\,000 \text{ руб.}$

Эксплуатационные затраты за 30 лет: $714\,000 \text{ руб.}$

Итого (полная стоимость жизненного

цикла): $2\,210\,000 + 935\,000 + 2\,000 + 714\,000 = 3\,147\,000 \text{ руб.}$

«Каплам 1000»

Стоимость мембраны:

$450 \text{ р/м}^2 \times 8\,500 \text{ м}^2 = 3\,825\,000 \text{ руб.}$

Геотекстиль: 510 000 руб;

Материалы (сумма): $3\,825\,000 + 510\,000 = 4\,335\,000 \text{ руб.}$

Монтаж: $110 \text{ р/м} \times 8\,500 = 935\,000 \text{ руб.}$

Эксплуатационные затраты за 30 лет: 714 000 руб;

Итого (полная стоимость жизненного цикла): $4\,335\,000 + 935\,000 + 2\,000 + 714\,000 = 5\,272\,000 \text{ руб.}$

А также с экономической точки зрения применение композитного материала выгоднее.

Формула определение себестоимости укладки материала:

$$C(\text{с. б.}) = \frac{C_{\text{ц}}}{S} \quad (5.3)$$

где $C_{\text{ц}}$ – полная стоимость (руб.), S – площадь канала, м^2 .

$$C_{\text{бет.плит}} = \frac{16,988 \text{ млн.руб}}{8500 \text{ м}^2} = 1999 \text{ руб/м}^2$$

$$C_{\text{«Каплам 500»}} = \frac{3,147 \text{ млн.руб}}{8500 \text{ м}^2} = 370 \text{ руб/м}^2$$

$$C_{\text{«Каплам 1000»}} = \frac{5,272 \text{ млн.руб}}{8500 \text{ м}^2} = 620 \text{ руб/м}^2$$

Срок окупаемости:

$$H = \frac{C_{\text{ц}}}{\text{Э}} \quad (5.4)$$

где $C_{\text{ц}}$ – полная стоимость, руб., Э – ежегодная экономия, руб./год.

$H = 3.5 \text{ года.}$

Таблица 5.1 - Экономические показатели сравниваемых вариантов облицовки

Вариант облицовки	Капитальные затраты $C_{\text{кап.}}$, руб.	Эксплуатационные расходы, р/год
КАПЛАМ-500	3 147 000	17 435
КАПЛАМ-1000	5 272 000	23 810
ПВХ-мембрана	9 785 000	97 850
Бетонные плиты	16 600 000	192 000

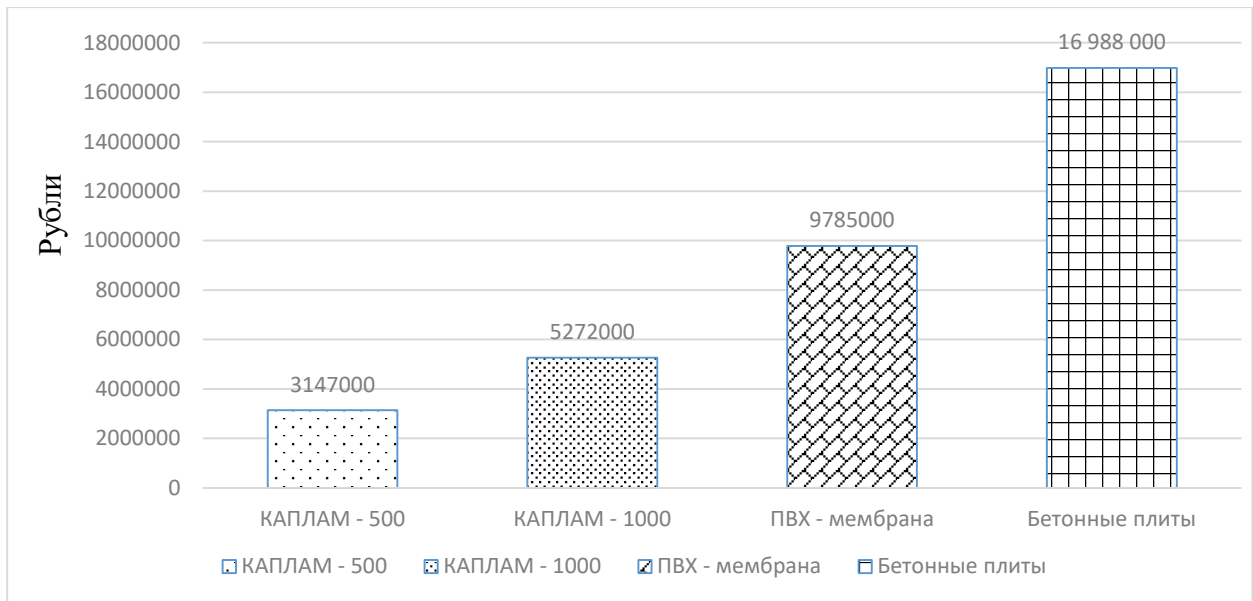


Рисунок 5.1- Капитальные затраты на строительство облицованных оросительных каналов, рубли

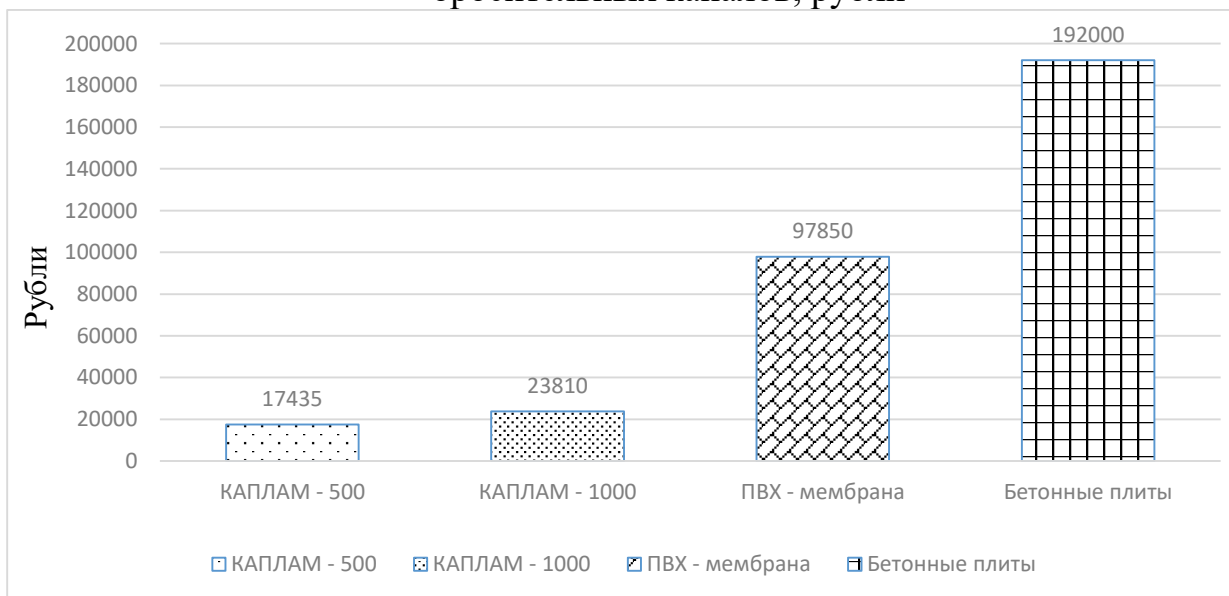


Рисунок 5.2 – Эксплуатационные расходы для облицовки оросительных каналов, руб/год

При сравнении материалов экономическая выгода является одним из ключевых факторов при выборе облицовочного материала. Расходы на бетонный материал могут показаться необходимыми, но при более детальном анализе и долгосрочном прогнозе такой материал менее эффективен с экономической точки зрения. В сравнении с бетонным облицовочным материалом, геокомпозиты при строительстве и эксплуатации требуют меньшего количества затрат, а также являются более эффективными по сравнению с традиционной облицовкой [26].

Расчёты показывают, что полная стоимость жизненного цикла геокомпозита «КАПЛАМ» (марок 500 и 1000) на километровом участке значительно ниже, чем у традиционной бетонной облицовки: для «КАПЛАМ-500» она составляет 3,147 млн руб., для «КАПЛАМ-1000» - 5,272 млн руб., тогда как для бетона - 16,988 млн руб. [20].

Экономия достигается за счёт более низкой удельной стоимости материала, сокращения затрат на логистику и упрощённой технологии укладки. Из этого можно сделать вывод, что 1 м² облицовки оросительного канала, покрытого бетонной облицовкой, будет равен 1999 руб., а для «Каплам 500» – 370 руб., для «Каплам 1000» – 620 руб. Таким образом, использование геокомпозита для облицовки оросительного канала обеспечивает повышение скорости укладки в 2,34 раза.

Завершая экономическую часть, можно констатировать: даже при относительно высокой стоимости самого геосинтетического материала итоговая цена системы «КАПЛАМ» + монтаж, оказывается ниже, чем у бетонной облицовки. Такой результат достигается благодаря сокращению трудозатрат, быстрой укладке, не требующей сложной подготовки основания, и продолжительному сроку службы без необходимости капитального ремонта.

5.2 Выводы

Сравнительный анализ убедительно продемонстрировал, что канал, облицованный инновационным геокомпозитом «КАПЛАМ», по своим эксплуатационным характеристикам значительно превосходит традиционное бетонное покрытие. «КАПЛАМ» обеспечивает абсолютную водонепроницаемость (100 %) и обладает высокой прочностью, благодаря чему фильтрация и потери воды практически исключаются. Как следствие, коэффициент полезного действия оросительной системы удаётся поднять до уровня 0,97-0,98, тогда как бетонная облицовка со временем теряет герметичность из-за образования трещин в плитах и швах.

Кроме того, применение «КАПЛАМ» связано с меньшими расходами на монтаж и техническое обслуживание. Лёгкий рулонный материал удобен в транспортировке и отличается высокой скоростью укладки. Данные исследований подтверждают, что использование современных геосинтетических материалов позволяет сократить как материальные, так и трудовые издержки в сравнении с традиционной бетонной облицовкой.

В ходе исследований установлено, что испытываемый геосинтетический материал «КАПЛАМ» демонстрирует свои преимущества перед бетонным облицовочным материалом в плане инженерно-экономических решений. Использование геосинтетика в качестве облицовочного материала оросительных каналов длиной 1000 м обеспечивает экономию средств в размере 80 % относительно других широко применяемых видов материалов облицовки. Другим, не менее важным преимуществом применения материала «КАПЛАМ» является ресурсосбережение и достижение высоких эксплуатационных показателей.

Заключение

1. Согласно мониторингу, проведенному в ходе исследований, установлен высокий физический износ (более 50 %), который сопровождается динамикой увеличения, что в свою очередь вызывает необходимость увеличения объема проводимых ремонтно-восстановительных работ. Полевые исследования подтвердили, что традиционные облицовочные покрытия уступают инновационным композитным материалам по ряду характеристик, поэтому внедрение последних обеспечит как технико-технологический, так и экономический эффект.

2. Теоретически обоснованы и подтверждены организационно-технологические решения по укладке композитных облицовок, оптимизирующие регламент монтажа и состав бригад. Расчёт трудоёмкости показал сокращение продолжительности работ на 18 дней по сравнению с бетонной облицовкой.

3. Разработана математическая модель выбора геосинтетических материалов, используемых при облицовке каналов, учитывающих такие показатели, как стоимость, водонепроницаемость, прочность к растяжению, стойкость к продавливанию, стойкость к химическому и ультрафиолетовому воздействию и другие показатели. Модель позволяет получить сортировку альтернатив и обосновать оптимальный выбор материала.

4. Проведенные лабораторные испытания выявили, что средний предел прочности при растяжении составляет 37 кН/м для «КАПЛАМ-500» и 69 кН/м для «КАПЛАМ-1000»; при проведении испытаний статическому продавливанию – смещение образцов на 3,8 и 5,9 мм. соответственно. При испытании на водонепроницаемость (72 ч, 0,3 МПа) «КАПЛАМ-500 и 1000» показал полную герметичность. Полученные данные подтверждают высокие прочностные и гидроизоляционные результаты, заявленные производителем характеристикам и обосновывают целесообразность применения усиленных вариантов («КАПЛАМ-1000») на участках с повышенными механическими нагрузками.

5. Сравнительные расчеты для участка протяженностью 1 км (8500 м²) показали, что геокомпозит «КАПЛАМ-500» обеспечивает минимальные приведённые затраты, демонстрируя лучшее соотношение «стоимость – срок службы – эксплуатационные расходы». «КАПЛАМ – 1000» при более высокой прочности и долговечности сохраняет экономическую привлекательность для зон с повышенными механическими рисками. Экономические сценарии подтвердили устойчивое снижение суммарных затрат без ухудшения эксплуатационных показателей. Экономическая эффективность по сравнению с бетонной облицовкой составляет 13,851 млн руб. для «КАПЛАМ-500» и 11,716 млн руб. для «КАПЛАМ-1000».

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для строительства защитных покрытий оросительных каналов необходимо применять инновационные композитные материалы, характеризующиеся водонепроницаемостью, более высокой прочностью к растяжению, стойкостью к продавливанию, обеспечивающие надежность при эксплуатации, низкую трудоемкость и высокий экономический эффект. Предлагаемые к использованию материалы снижают затраты труда при обеспечении ускорения процесса облицовки оросительных каналов.

2. При выборе вида облицовочного материала использовать многокритериальную математическую модель, учитывающей стоимость, водонепроницаемость, прочность к растяжению, стойкость к продавливанию, стойкость к химическому и ультрафиолетовому воздействию.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

1. Проведение длительного мониторинга эксплуатационных характеристик. Для окончательного подтверждения заявленных сроков службы необходима организация опытно-производственных участков с систематическим контролем водонепроницаемости, механической целостности и стойкости к биологическому обрастанию композитных облицовок в реальных климатических условиях Саратовского Заволжья в течение не менее 5–10 лет.

2. Актуальной задачей остаётся разработка и апробация средств малой механизации для укладки геомембран в труднодоступных местах (участки со сложным рельефом, стеснённые условия при ремонте локальных повреждений), что позволит дополнительно снизить трудоемкость и стоимость монтажных работ.

Список литературы

1. Абдразаков, Ф. К. Дефекты, возникающие при эксплуатации облицованных оросительных каналов, и пути их устранения / Ф. К. Абдразаков, Э. Э. Сафин // Проблемы и перспективы развития АПК: технические и сельскохозяйственные науки: материалы Региональной научно-технической конференции, посвященной 110-летию Вавиловского университета, Саратов, 13–17 февраля 2023 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2023. – С. 165–171.
2. Абдразаков, Ф. К. Инновационные методы устранения дефектов облицованных оросительных каналов и повышение эффективности их ремонта с использованием композитных материалов / Ф. К. Абдразаков, Э. Э. Сафин // Проблемы и перспективы развития АПК: технические и сельскохозяйственные науки: материалы II Региональной научно-технической конференции, Саратов, 04–18 марта 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, 2024. – С. 235–241.
3. 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.
4. 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.
5. Абдразаков, Ф. К. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств в мелиоративном производстве: монография / Ф. К. Абдразаков. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, 2002. – 352 с.
6. Абдразаков, Ф. К. Исключение непроизводительных потерь водных ресурсов из оросительной сети за счет использования инновационных

облицовочных материалов / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 10. – С. 91–94.

7. Абдразаков, Ф. К. Перспективные подходы к ремонту и усовершенствованию облицовки оросительных каналов с применением композитов / Ф. К. Абдразаков, Э. Э. Сафин // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы XIV Национальной конференции с международным участием, Саратов, 25–26 апреля 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2024. – С. 271–275.

8. Абдразаков, Ф. К. Перспективные способы устранения дефектов облицовки оросительных каналов композитными материалами / Ф. К. Абдразаков, Э. Э. Сафин // Основы рационального природопользования: материалы IX Национальной конференции с международным участием, Саратов, 12–13 октября 2023 года. – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2023. – С. 15–19.

9. Абдразаков, Ф. К. Повышение эффективности облицовочных покрытий оросительных каналов на основе бетонного полотна / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти члена-корреспондента РАСХН и НАН КР, акад. МАЭП и РАВН Я. В. Бочкарева. Ч. II. – Рязань: РГАТУ, 2020. – С. 16–20.

10. Абдразаков, Ф. К. Покрытие оросительных каналов инновационным бетонным полотном и адаптивные способы их эксплуатации / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников, Э. Э. Сафин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2023. – № 2. – С. 32–36.

11. Абдразаков, Ф. К. Применение средств механизации при очистке оросительных каналов, покрытых бетонным полотном / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Основы рационального природопользования: материалы XIII Национальной конференции с международным участием / под ред. С. М. Бакирова. – Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2022. С.7.

12. Абдразаков, Ф. К. Разработка адаптивных технологий эксплуатации оросительных каналов, покрытых бетонным полотном / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников, Э. Э. Сафин // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 11. – С. 4–8.
13. Абдразаков, Ф. К. Ресурсосберегающие технологии и машины для интенсификации мелиоративного производства: монография / Ф. К. Абдразаков. – Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, 2019. – 164 с.
14. Абдразаков, Ф. К. Современные облицовочные материалы для оросительных каналов и требования к ним / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Основы рационального природопользования: материалы VI Национальной конференции с международным участием, Саратов, 22–23 октября 2020 г. – Саратов, 2020. – С. 11–14.
15. Абдразаков, Ф. К. Состояние оросительных каналов Саратовского Заволжья и пути повышения их эффективности / Ф. К. Абдразаков, К. И. Чуркина // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 4. – С. 68–70.
16. Абдразаков, Ф. К. Теоретическое обоснование повышения эксплуатационной надёжности облицованных оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Основы рационального природопользования: Материалы XI Национальной конференции с международным участием, Саратов, 16 октября 2025 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2025. – С. 3-10.
17. Абдразаков, Ф. К. Техничко-экономическое обоснование применения геомембран и геотекстиля для облицовки каналов / Ф. К. Абдразаков, Э. Э. Сафин, А. А. Рукавишников // Природообустройство. – 2025. – № 4. – С. 51–59.
18. Абдразаков, Ф. К. Технологии и технические средства для проведения эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных каналах: монография / Ф. К. Абдразаков, В. С. Егоров, Р. Н. Бахтиев. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. – 151 с.

19. Абдразаков, Ф. К. Фильтрация в каналах с земляным руслом и новые методы крепления откосов / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников, О. В. Михеева, Е. Н. Миркина // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 6. – С. 107–114.
20. Абдразаков, Ф. К. Эффективность инновационного геокомпозита КАПЛАМ для бетонной облицовки оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, Э. Э. Сафин, А. А. Рукавишников // Мелиорация и водное хозяйство. – 2025. – № 6. – С. 3–7.
21. Абдразаков, Ф.К. Математическая модель выбора эффективного материала для облицовки оросительного канала / Ф.К. Абдразаков, Э.Э. Сафин, С.В. Чумакова // Актуальные вопросы науки и практики: сборник научных статей по материалам XIX Междунар. науч.-практ. конф. (6 марта 2026 г., г. Уфа). – Уфа: Изд. Научно–издательский центр Вестник науки, 2026. – С. 53–60.
22. Алимов, А. Г. Методика обоснования и выбора конструкций противofильтрационных облицовок каналов / А. Г. Алимов // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – № 3. – С. 42–44.
23. Алимов, А. Г. Противofильтрационная защита каналов и водоемов / А. Г. Алимов // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 4. – С. 36–41.
24. АО «Втор-Ком». Геотекстиль ДОРНИТ. – URL: <https://vtor-kom.ru/productions/catalog/geotekstil-br-dornit/detail> (дата обращения: 04.03.2024).
25. Апальков, С. А. Технология подготовки русла каналов под бетонопленочную облицовку / С. А. Апальков, А. Ф. Апальков, С. Г. Курень, Н. П. Погорелов // ИВД. – 2019. – № 2 (53). – С. 61–69.
26. Баев, О. А. Вопросы реконструкции крупных каналов и оценка их эффективности / О. А. Баев, М. Ю. Косиченко // Мелиорация и гидротехника. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 287–301.
27. Баев, О. А. Инновационные способы ремонта бетонных водопроводящих сооружений композиционными материалами / О. А. Баев, Ю. М. Косиченко // Экология и водное хозяйство. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 55-65.

28. Баев, О. А. Конструктивно-технические решения для создания и восстановления покрытий оросительных каналов / О. А. Баев, В. Ф. Талалаева // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 177–191.

29. Балакай, Г. Т. Техническое состояние мелиоративных систем России и предложения по их восстановлению / Г. Т. Балакай, С. В. Куприянова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2020. – № 1 (77). – С. 5–9.

30. Бандурин, М. А. Диагностика технического состояния и оценка остаточного ресурса работоспособности водопроводящих сооружений оросительных систем: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: специальность 06.01.02 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель» / М. А. Бандурин. – Новочеркасск, 2014.

31. Бандурин, М. А. Необходимость системы постоянного мониторинга водопроводящих сооружений для рационального водопользования на юге России / М. А. Бандурин // ИВД. – 2016. – № 2 (41). – С. 82–99.

32. Бандурин, М. А. Эксплуатационный мониторинг и остаточный ресурс водопроводящих сооружений мелиоративных систем / М. А. Бандурин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новочеркасск: Лик, 2021. – 233 с.

33. Берлин, А. А. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учебное пособие / А. А. Берлин, В. Г. Ошмян, Л. М. Трофимов. – Санкт-Петербург: Профессия, 2008. – 560 с.

34. Бетонное полотно: технические характеристики. – URL: <https://www.texpolimer.ru/products/betonnnoe-polotno/> (дата обращения: 04.03.2026).

35. Волосухин, В. А. Теоретическое обоснование снижения рисков эксплуатации гидротехнических сооружений и использование гибких дамб для инженерной защиты территории от подтопления / В. А. Волосухин, М. А. Бандурин, И. А. Приходько // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2022. – № 4 (68). – С. 407–418.

36. Волосухин, Я. В. Проведение эксплуатационного мониторинга с применением неразрушающих методов контроля и автоматизация моделирования

технического состояния гидротехнических сооружений / Я. В. Волосухин, М. А. Бандурин // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2011. – № 3. – С. 88–93.

37. Гарбуз, А. Ю. Обеспечение водонепроницаемости облицовок оросительных каналов за счет применения жидких полимеров / А. Ю. Гарбуз // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сборник научных трудов. – Вып. 56, ч. 1. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – С. 21–29.

38. Гарбуз, А. Ю. Повышение эффективности ремонта бетонных облицовок оросительных каналов композитными материалами: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: специальность 4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса» / А. Ю. Гарбуз. – Новочеркасск, 2022. – 180 с.

39. Гарбуз, А. Ю. Приближенная оценка фильтрационного расхода через трещины бетонных облицовок оросительных каналов / А. Ю. Гарбуз // Мелиорация и гидротехника. – 2017. – № 4 (28). – С. 204–222.

40. Гарбуз, А. Ю. Технология ремонта бетонных облицовок каналов битумно-полимерной мастикой / А. Ю. Гарбуз, В. Ф. Талалаева // Мелиорация и гидротехника. – 2021. – Т. 11, № 3. – С. 299–313.

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

42. Геокомпозит гидроизоляционный «КАПЛАМ». Техническое описание продукции / TERATEX. – Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://teratexgeo.ru/produkcziya/geo-kompozit-gidroizolyaczionnyj-kaplam/> (дата обращения: 02.02.2025).

43. ГеоСинт. Дорнит. – URL: <https://geosynt.ru/dornit/> (дата обращения: 04.03.2024).

44. Геоспан. Геотекстиль тканый Геоспан ТН. – URL: <https://geospan.ru/products/geotekstil/geospan-tn/> (дата обращения: 04.03.2024).

45. Геоспан. Каталог геосинтетических материалов. – URL: <https://geospan.ru/upload/catalog.pdf> (дата обращения: 04.03.2024).

46. ГОСТ 2678–94. Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний. – Москва: Стандартинформ, 1996.
47. ГОСТ 31937–2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Москва: Стандартинформ, 2024.
48. ГОСТ Р 56586–2015. Геомембраны гидроизоляционные полиэтиленовые рулонные. Технические условия: национальный стандарт Российской Федерации. – Введ. 2016-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 16 с.
49. ГОСТ Р 57446–2017. Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия.
50. Дубенок, Н. Н. Перспективы восстановления мелиоративного комплекса Российской Федерации / Н. Н. Дубенок, Г. В. Ольгаренко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 2. – С. 56–59.
51. Каблов, Е. Н. Климатическое старение полимерных композиционных материалов авиационного назначения. I. Оценка влияния значимых факторов воздействия / Е. Н. Каблов, В. О. Старцев // Деформация и разрушение материалов. – 2019. – № 12. – С. 7–16. – DOI 10.31044/1814-4632-2019-12-7-16.
52. Калиничева, Е. Ю. Мелиорация сельскохозяйственных земель в России: состояние и перспективы развития / Е. Ю. Калиничева, Н. В. Польшакова, А. С. Коломейченко // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3(66). – С. 121-128.
53. Кизяев, Б. М. Отдел механизации мелиоративных работ, этапы большого пути / Б. М. Кизяев, Г. Х. Бедретдинов // Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий: Материалы международной юбилейной научно-практической конференции, Москва, 23–24 октября 2019 года. Том II. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, 2019. – С. 261-269.

54. Колосова, Г. С. Влияние строительных швов и трещин на напряженно-деформированное состояние аранчно-гравитационной плотины / Г. С. Колосова, В. В. Лалин, А. В. Колосова // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 5. – С. 76–85.
55. Косиченко, М. Ю. Гидравлическая эффективность и надежность функционирования каналов оросительных систем / М. Ю. Косиченко, Ю. И. Иовчу // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2008. – № 1. – С. 75–79.
56. Косиченко, Ю. М. Efficiency and durability of the linings channels of geosynthetics / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев // Magazine of Civil Engineering. – 2020. – Vol. 96, № 4. – P. 156–171.
57. Косиченко, Ю. М. Вероятностная модель эксплуатационной надежности крупных каналов / Ю. М. Косиченко, Ю. И. Иовчу, М. Ю. Косиченко // Гидротехническое строительство. – 2007. – № 12. – С. 39–45.
58. Косиченко, Ю. М. Гидротехническое строительство / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев. – Новочеркасск: Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, 2022. – 313 с.
59. Косиченко, Ю. М. Противофильтрационные геосинтетические материалы в гидротехническом строительстве / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. – 315 с.
60. Косиченко, Ю. М. Современное состояние водопропускных гидротехнических сооружений Донского магистрального канала / Ю. М. Косиченко, Г. Л. Лобанов, О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз. – Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2014. – 49 с.
61. Косиченко, Ю. М. Современные методы борьбы с фильтрацией на оросительных системах / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, А. В. Ищенко // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 3(30). – С. 87.
62. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / Министерство экономики Российской Федерации,

Министерство финансов Российской Федерации, Госстрой Российской Федерации. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Экономика, 2000. – 421 с.

63. Новиков А.Е. Современная биотехнология мелиорации оросительной воды для прецизионного земледелия, способствующая повышению продуктивности сельскохозяйственных культур / А. Е. Новиков, К. А. Родин, М. В. Московец, А. Ю. Торопов // Орошаемое земледелие. – 2021. – № 1. – С. 11–14.

64. Овчинников, А. С. Автоматические регуляторы для оснащения гидротехнических сооружений при орошении риса / А. С. Овчинников, Р. З. Киселева, К. М. Мелихов, А. А. Киселев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 1(65). – С. 342-351.

65. ОДМ 218.2.023–2012. Рекомендации по применению быстротвердеющих материалов для ремонта цементобетонных покрытий. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2012. – 64 с.

66. Ольгаренко, В. И. Программный комплекс планирования водопользования для оросительных систем на основе информационных технологий / В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, И. В. Ольгаренко [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2017. – № 5. – С. 39-43.

67. Ольгаренко, Г. В. Эксплуатация гидромелиоративных систем: по специальности "Гидромелиорация" / Г.В. Ольгаренко, В. И. Ольгаренко, П. А. Волковский, В. С. Станкевич, Б. М. Пакшин. – Москва: Издательство "Колос", 1980. – 352 с. – (Учебники и учебные пособия для сельскохозяйственных техникумов).

68. Ольгаренко, Д. Г. Технический уровень и эффективность эксплуатации мелиоративных систем / Д. Г. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 4 (20). – С. 287–295.

69. Охапкин, Г. В. Проектное обоснование рациональных технических решений по ремонту локальных и площадных разрушений бетона гидротехнических сооружений / Г. В. Охапкин, В. М. Давиденко // Известия

Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2019. – Т. 294. – С. 111-136.

70. Пат. 2612419 Российская федерация, МПК E02B 13/00, E02B 3/16. Способ ремонта бетонных облицовок оросительных каналов / О. А. Баев; заявитель и патентообладатель Баев О. А. – № 2016105674; заявл. 18.02.2016; опубл. 09.03.2017

71. Пат. 2634549C1 Российская федерация, [E02B3/16](#). Polymeric composite material based on bentonite / О. А. Баев; заявитель и патентообладатель Баев О. А. – № 22634549C1; заявл. 08.02.2017; опубл. 31.10. 2017

72. Пат. № 2595174 C2 Российская Федерация, МПК E02B 3/16. Противофильтрационное геокомпозитное покрытие / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, О. А. Баев; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации". – № 2015100420/13; заявл. 12.01.2015; опубл. 20.08.2016

73. Пат. № 2612431. Способ заделки повреждений противофильтрационного экрана / О. А. Баев.; заявитель и патентообладатель Баев О. А; № 2612431; заявл. и опубл. 25.08.2017; охран. док. от 09.03.2017.

74. Пат. № 2625448 Российская Федерация, МПК E02B 3/16, C08J 11/06, C08J 5/06, C08L 23/06. Композиционный противофильтрационный материал на основе вторичного полиэтилена / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. С. Кобзарев, Н. М. Мамаев, О. А. Баев; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации». – № 2016117455; заявл. 04.05.2016; опубл. 14.07.2017.

75. Пат. № 2634549 C1 Российская Федерация, МПК E02B 3/16. Полимерный композитный материал на основе бентонита / О. А. Баев; заявитель и патентообладатель Баев О. А. – № 2017104195; заявл. 08.02.2017; опубл. 31.10.2017.

76. Пат. № 2669302 C1 Российская Федерация, МПК E02B 13/00, E02B 3/16. Способ ремонта и герметизации повреждений бетонных облицовок каналов / А. В. Ищенко, О. А. Баев, Е. О. Складенко [и др.]; заявитель ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ" (ФГБОУ ВО ДГАУ). № 2017120124: заявл. 07.06.2017: опубл. 09.10.2018

77. Пат. № 2732588 Российская Федерация, МПК E02B 3/16. Способ ремонта бетонных облицовок длительно работающих каналов / С. М. Васильев, Ю. М. Косиченко, О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации». — № 2020103096; заявл. 23.01.2020; опубл. 18.09.2020.

78. Пат. № 2779173 C1 Российская Федерация, МПК E02B 3/16, E02B 5/02. Способ ремонта бетонных облицовок каналов / О. А. Баев, В. Ф. Талалаева; заявитель и патентообладатель Баев О. А., В.Ф. Талалаева – № 2021114403; заявл. 20.05.2021; опубл. 05.09.2022.

79. Пат. RU 2833619 C1. Автоматический регулятор уровня воды на открытых оросительных системах / А. С. Овчинников, А. Г. Иванов, Р. З. Киселева, О. В. Козинская, А. П. Киселев, К. М. Мелихов, А. А. Киселев / заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волгоградский государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ); № 2024122885; заявл. 07.08.2024; опубл. 27.01.2025.

80. Постановление Правительства Российской Федерации от 14 мая 2021 г. № 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации». — URL: <https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202105180018>.

81. Просвиряков А.С. Прочность и деформируемость геомембран разных видов / А. С. Просвиряков, М. П. Саинов, А. О. Зверев, Р. В. Лукичев // Строительство: наука и образование. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 4.

82. Пряничникова, В. В. Рекультивация нефтешламовых амбаров с использованием геомембранной пленки и нефтезагрязненных почв / В. В.

Пряничникова, И. Х. Бикбулатов, Е. И. Бахонина // Башкирский химический журнал. – 2013. – Т. 20, № 1. – С. 125–128.

83. Рекомендации по реконструкции и модернизации мелиоративных систем (на примере Ростовской области) / А. А. Чураев, Ю. Ф. Снопич, Т. А. Погоров [и др.]; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Департамент мелиорации, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации». – Новочеркасск: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2015. – 39 с.

84. Руководство по ремонту и защите гидротехнических сооружений (материалы и технологии: торкретирование, наливные составы) // Mapei Russia. Ремонт и защита конструкций: практическое руководство. – URL: <https://aomapei.ru/upload/iblock/d7d/ha175ve6wzgual0g4uz2e52gfav9xwi8.pdf> (дата обращения: 23.11.2025).

85. Сафин, Э. Э. Инновации в технологии ремонта облицованных оросительных каналов для повышения их долговечности / Э. Э. Сафин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2024. – № 2(93). – С. 69-78.

86. Соловьев, Д. А. Состояние оросительных каналов и пути повышения качества их содержания на примере Саратовской области / Д. А. Соловьев, Д. Г. Горюнов, С. А. Анисимов // Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: материалы Международной научно-практической конференции, Саратов, 17–18 ноября 2016 года / под ред. Ф. К. Абдразакова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова, 2016. – С. 265–272.

87. СП 100.13330.2016. Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85. – Москва: Минстрой России, 2016. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> (дата обращения: 10.04.2024).

88. СП 349.1325800.2017. Конструкции бетонные и железобетонные. Правила ремонта и усиления: свод правил: утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 12

дек. 2017 г. № 1647/пр: введ. 13.06.2018. – Москва: Минстрой России, 2017. – 100 с.

89. Старцев, О. В. Старение полимерных композиционных материалов в условиях экстремально холодного климата / О. В. Старцев, М. П. Лебедев, А. К. Кычкин // Известия Алтайского государственного университета. – 2020. – № 1(111). – С. 41-51.

90. СТО 24834307.011–2021. Геокомпозит гидроизоляционный «КАПЛАМ». — Благовещенск: TERATEX, 2021. — 15 с.

91. СТО 33-3.2-3.03-2013. Эксплуатация мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. Основные положения. – Москва, 2013.

92. Тагер, А. А. Физико-химия полимеров: учебное пособие. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Научный мир, 2007. – 576 с.

93. Технический регламент по монтажу геокомпозитного гидроизоляционного материала «КАПЛАМ» / TERATEX. – URL: <https://teratexgeo.ru/> (дата обращения: 06.03.2025).

94. ТЕХПОЛИМЕР. Геомембраны для гидротехнического строительства. – URL: <https://tp-geo.ru> (дата обращения: 20.01.2025).

95. Ткачев, А. А. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем / А. А. Ткачев, И. В. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 1–23.

96. Федеральная целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах»: утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 19.04.2012 № 350. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_128911/ (дата обращения: 06.10.2023).

97. Чернов, М. А. Конструкции защитных облицовок каналов и водоемов с применением геосинтетических материалов / М. А. Чернов // Мелиорация и гидротехника. – 2011. – № 3. – С. 62–69.

98. Шевченко, В. А. Варианты реконструкции гидромелиоративных систем на бывших мелиорированных длительно не используемых сельскохозяйственных землях / В. А. Шевченко, В. В. Бородычев, М. Н. Лытов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 4 (60). – С. 313–327.

99. Щедрин В.Н. Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения в России / А. В. Колганов, Н. В. Сухой, В. Н. Шкура, В. Н. Щедрин. – Новочеркасск: Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, 2016. – 222 с.

100. Щедрин, В. Н. Моделирование динамического управления водораспределением на каналах открытой оросительной сети / В. Н. Щедрин, А. А. Чураев, В. М. Школьная, Л. В. Юченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 4 (20). – С. 1–20.

101. Щедрин, В. Н. Оросительные системы России: от поколения к поколению: Монография. В двух частях / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. Том Часть 1. – Новочеркасск: Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, 2013. – 283 с.

102. Щедрин, В. Н. Эксплуатация и реконструкция гидромелиоративных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – 412 с.

103. Экспертно-Аналитический Центр Агробизнеса: официальный сайт. – Россия, 2019. – URL: <http://ab-centre.ru> (дата обращения: 25.12.2023).

104. Benin, A. V. Fracture analysis of reinforced concrete bridge structures with account of concrete cracking under steel corrosion / A. V. Benin, A. S. Semenov, S. G. Semenov // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 831. – P. 364–369.

105. Concrete Canvas Ltd. Concrete Canvas® for Hydraulic Engineering. – URL: <https://www.concretcanvas.com/en/products/cc-hydraulic-engineering> (дата обращения: 02.02.2024).

106. Geomembrane Installation Guidelines // Geosynthetics Magazine. – URL: <https://www.geosyntheticsmagazine.com/wp-content/uploads/2018/04/Geomembrane-Installation-Guidelines.pdf> (дата обращения: 09.04.2025).
107. Han, X. An Experimental Study on Concrete and Geomembrane Lining Effects on Canal Seepage in Arid Agricultural Areas / X. Han, X. Wang, Y. Zhu, J. Huang, L. Yang, Z. Chang, F. Fu // *Water*. – 2020. – Vol. 12, No. 9. – Article 2343. – P. 1–21.
108. Koerner, R. M. Lifetime prediction of exposed geotextiles and geomembranes / R. M. Koerner, Y. G. Hsuan, G. R. Koerner // *Geosynthetics International Journal*, 2017 – 24(2) – P. 198–212.
109. Kosichenko, Yu. M. Efficiency and durability of the linings channels of geosynthetics / Yu. M. Kosichenko, O. A. Baev // *Magazine of Civil Engineering*. – 2020. – No. 4(96). – P. 42-59.
110. Kuriakose, B. Early-age Temperature Distribution in a Massive Concrete Foundation / B. Kuriakose, B. Nageswara Rao, G. R. Dodagoudar // *Procedia Technology*. – 2015. – Vol. 25. – P. 107–114.
111. Zhurkov S. N. Kinetic Concept of the Strength of Solids // *International journal of fracture mechanics*. 1965. T. 1. № 4. С. 311-323.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Результаты испытаний «гидроизоляционного геокомпозита Karlam
(Каплам) на водонепроницаемость**

 ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева	АО "Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева"																																																									
Отдел «Основания, грунтовые и подземные сооружения»	Лаборатория «Фильтрационные исследования» им. акад. Н.Н. Павловского																																																									
Объект:	-																																																									
Номер договора:	7-ВН-1764																																																									
Заказчик:	ООО «ТЕРАТЕКС»																																																									
Место отбора:	склад компании ООО «ТЕРАТЕКС»																																																									
НД на испытание:	ГОСТ 2678-94, п. 3.5, п. 3.11																																																									
Сроки проведения испытания:	06.03.23 - 15.03.23																																																									
Протокол Ст-П-ВН-2 от 16.03.23 Определение сопротивления статическому продавливанию. Определение водонепроницаемости.																																																										
Наименование материала «Гидроизоляционный геокомпозит Karlam (Каплам) 1000», производитель ООО «ТЕРАТЕКС», партия № 11.01.002. Результат испытания Образцы (3 шт.) выдержали испытание на водонепроницаемость после воздействия статического продавливания плавным приложением нагрузки (100±10) Н стальным шариком диаметром (10,0 ± 0,1) мм с использованием песчаной* подложки размерами (150x150x20)±1 мм, время воздействия шариком - (24,0±0,2) ч. Средняя глубина продавливания составила 5,9 мм. При испытании на водонепроницаемость в течение установленного времени (72 часа) при заданном давлении (0,3 МПа) образцы материала «Гидроизоляционный геокомпозит Karlam (Каплам) 1000» являются водонепроницаемыми. *- песчаная подложка сложена материалом (крупнозернистый песок фр. < 10 мм, плотность укладки (1,70 – 1,72 г/см³). Гранулометрический состав крупнозернистого песка, использованного в качестве подложки, приведен в таблице 1 и на рисунке 1.																																																										
Таб. 1 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="8">Гранулометрический состав крупнозернистого песка</th> <th rowspan="3">Степень неоднородности, C_u, д.ед.</th> <th rowspan="3">Разновидность грунта по ГОСТ 25100-2020</th> </tr> <tr> <th colspan="8">Размер частиц, мм</th> </tr> <tr> <th colspan="5">Песок</th> <th colspan="3">Пыль</th> </tr> <tr> <th>10-5</th> <th>5-2</th> <th>2-1</th> <th>1-0,5</th> <th>0,5-0,25</th> <th>0,25-0,1</th> <th>0,1-0,05</th> <th>< 0,05</th> <th></th> <th></th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-</td> <td>7,95</td> <td>12,08</td> <td>30,16</td> <td>32,33</td> <td>15,74</td> <td>1,24</td> <td>0,50</td> <td>3,82</td> <td>Песок крупный неоднородный</td> </tr> </tbody> </table>			Гранулометрический состав крупнозернистого песка								Степень неоднородности, C_u , д.ед.	Разновидность грунта по ГОСТ 25100-2020	Размер частиц, мм								Песок					Пыль			10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	< 0,05			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	-	7,95	12,08	30,16	32,33	15,74	1,24	0,50	3,82	Песок крупный неоднородный
Гранулометрический состав крупнозернистого песка								Степень неоднородности, C_u , д.ед.	Разновидность грунта по ГОСТ 25100-2020																																																	
Размер частиц, мм																																																										
Песок					Пыль																																																					
10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	< 0,05																																																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																	
-	7,95	12,08	30,16	32,33	15,74	1,24	0,50	3,82	Песок крупный неоднородный																																																	
Страница 1 из 2-х																																																										

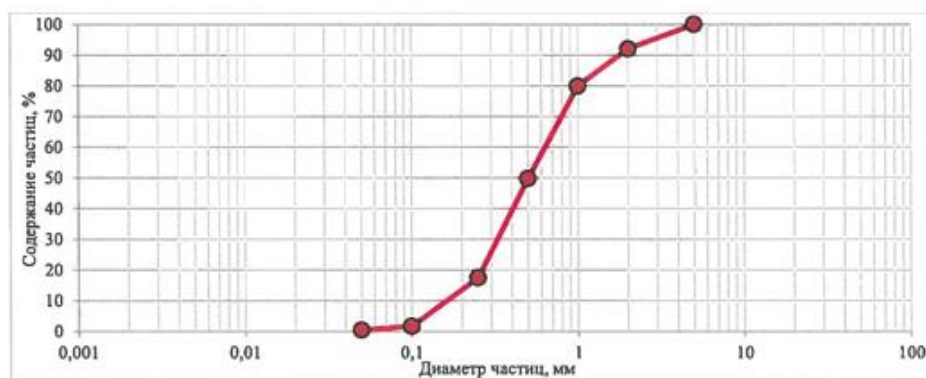


Рис.1 – Кривая гранулометрического состава грунта

Исполнители:

Ведущий инженер

Научный сотрудник

Инженер

Зав. Лабораторией «Фильтрационные исследования»
им. акад. Н.Н. Павловского

Д. А. Широков

В. А. Клушенцев

Н. В. Кузьмин

М. Г. Лопатина

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акт внедрения

Акт внедрения НИР



УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО Вавиловский
университетД.А. Соловьев
2025 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Самарского филиала
ФГБУ «Управление«Саратовмелиоводхоз»
В.В. Кашенков

«06» 10 2025 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

- 1. Наименование организации и объекта, где внедрена разработка:** Самарский филиал ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз», Куйбышевский обводнительно-оросительный канал.
- 2. Срок внедрения** 2025 г.
- 3. Наименование научной организации, проводившей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия:** ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова.
- 4. Краткая характеристика и новизна внедряемой разработки:** Внедрение усовершенствованной технологии и инновационного композитного материала «Каплам 1000» для облицовки оросительных каналов.
- 5. Основные показатели внедряемой разработки:** Проведённые исследования и экономические расчёты показывают, что для облицовки 1000 м канала площадью 8500 м² с использованием бетонных плит потребуются общие затраты в 16,988 млн руб., а с применением композитного материала «Каплам» – 5,272 млн руб. Из расчётов следует, что себестоимость облицовки 1 м² канала с использованием бетонной плиты составит 1 999 руб., а себестоимость с использованием композитного материала – 620 руб., то есть 1 м² облицовки канала из композитного материала в 3,2 раза дешевле, чем бетонная облицовка. Также при использовании композитного материала в 2,34 раза увеличивается скорость укладки по сравнению с бетонной плитой.

Разработчики: от Вавиловского университета руководитель НИР: д-р техн. наук., проф. Ф.К. Абдразаков, исполнители: аспирант Э.Э. Сафин, канд. техн. наук, доцент А.А. Рукавишников.

Руководитель НИР

Ф.К. Абдразаков

Ответственные исполнители:

Э.Э. Сафин

А.А. Рукавишников

Директор Самарского филиала
ФГБУ «Управление

Саратовмелиоводхоз»

В.В. Кашенков