



005003586

На правах рукописи

ЧЕРНОВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ
КАНАЛОВ И ВОДОЕМОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОМЕМБРАН
ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО И НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Специальность 05.23.07 – Гидротехническое строительство

24 НОЯ 2011

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новочеркасск 2011

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РФ
Косиченко Юрий Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Анахаев Кошкинбай Назирович
(Высокогорный геофизический институт)

кандидат технических наук, доцент,
Атабиев Исахак Жафарович
ФГБОУ ВПО «МГУП» (Московский государственный университет природообустройства)

Ведущая организация: **ЗАО ПО «СОВИНТЕРВОД»**

Защита состоится 12 декабря 2011 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета. Д 220.045.02 в ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет природообустройства» по адресу: 127550, Москва, ул. Прянишникова 19, ауд. 201/1

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Московского государственного университета природообустройства.

Автореферат разослан

« 11 » 11. 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат техн. наук, доцент


Евдокимова И. М.

Общая характеристика работы

Актуальность работы. На Юге России в настоящее время действует более 60 крупных каналов, общая протяженность которых превышает 23 тыс. км. Около 70 % их протяженности не имеют противофильтрационные покрытия, что приводит к большим потерям на фильтрацию и снижению их коэффициента полезного действия (КПД) при эксплуатации. По данным ФГБНУ «РосНИИПМ» среднее значение КПД каналов оросительных систем в земляном русле составляет 0,821, а КПД ряда каналов в облицовке с пленочными экранами в Ростовской области, Ставропольском крае и других регионах не превышает 0,85-0,86. Эти данные свидетельствуют о низкой гидравлической эффективности и больших потерях не только на каналах в земляном русле, но и на каналах с противофильтрационными покрытиями, которые превышают требования СНиП 2.06.03-85 на 5-8 %.

В связи с этим актуальна разработка эффективных и надежных конструкций противофильтрационных облицовок каналов и водоемов. При этом значительно возросли требования к противофильтрационным конструкциям на каналах и водоемах, которые должны обеспечивать не только высокую противофильтрационную эффективность, но и обладать высокой эксплуатационной надежностью и долговечностью.

В настоящее время при проектировании возникает необходимость выбора конструкций и материалов, обеспечивающих высокую степень надежности и безаварийной работы гидротехнического сооружения в течение длительного срока эксплуатации. Одним из путей повышения противофильтрационной эффективности и срока службы конструкций облицовок каналов является применение геомембран. Противофильтрационные конструкции с использованием листовых полимерных материалов (прообраза геомембран) впервые стали применяться в США, а затем в других зарубежных странах (Италии, Франции, Германии, Японии и др.) в качестве наиболее эффективного и надежного средства борьбы с фильтрационными потерями. В нашей стране листовые полимерные противофильтрационные материалы не нашли широкого применения из-за недостаточной их изученности и относительно высокой стоимости.

Цель исследований заключается в разработке противофильтрационных конструкций облицовок каналов и водоемов с применением геомембран из полиэтилена высокого давления (ПВД) и низкого давления (ПНД).

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

- изучить и проанализировать опыт применения листовых полимерных материалов (геомембран) и геотекстилей в отечественной и зарубежной практике гидротехнического строительства;
- исследовать физико-механические свойства геомембран и геотекстилей, применительно к условиям строительства и эксплуатации противофильтрационных облицовок каналов и водоемов;
- в лабораторных условиях провести исследования повреждаемости геомембран при действии различных по величине нагрузок и эффективности применения защитных прокладок из геотекстиля;
- провести расчетно-теоретическую оценку эффективности и надежности противофильтрационных конструкций с использованием геомембран из ПВД и ПНД;
- получить зависимости для оценки водопроницаемости облицовок с геомембраной, основанные на приведении повреждений к условным отверстиям на единицу площади с учетом случайного характера их распределения;
- провести натурные обследования объектов с традиционными противофильтрационными конструкциями облицовок и с использованием геомембран.

Методы исследований. При проведении исследований использовались лабораторные, натурные и теоретические методы. Натурные и лабораторные исследования проводились согласно общепринятым методикам. Теоретические исследования выполнялись с использованием методов теории фильтрации и теории надежности.

Автор защищает:

- результаты экспериментальных и теоретических исследований по обоснованию применения геомембран из ПВД и ПНД в конструкциях противофильтрационных облицовок каналов и водоемов;

- усовершенствованные и новые конструкции противофильтрационных облицовок каналов и водоемов с использованием геомембран из ПВД и ПНД;
- результаты натурных обследований каналов и водоемов с противофильтрационными облицовками и экранами из полимерных материалов;
- расчетные формулы для определения осредненного коэффициента фильтрации противофильтрационных облицовок и экранов с использованием геомембран;
- расчетно-теоретическую оценку водопроницаемости ПФК, основанную на приведении к условному отверстию на единицу площади;
- рекомендации по строительству и эксплуатации водоемов и каналов с противофильтрационными облицовками с использованием геомембран.

Научная новизна работы заключается в том, что дано обоснование целесообразности применения геомембран и геотекстилей в конструкциях противофильтрационных облицовок каналов и водоемов; предложены усовершенствованные конструкции противофильтрационных облицовок каналов и водоемов с использованием геомембран; установлена повреждаемость противофильтрационного элемента – геомембраны из ПВД и ПНД при действии различных по величине нагрузок и эффективность защитных прокладок из геотекстиля; по данным теоретических исследований и натурных наблюдений получены расчетные зависимости для определения осредненного коэффициента фильтрации ПФК с использованием геомембран для условий случайного характера распределения повреждений по закону Пуассона и приведения их к условному отверстию на единицу площади.

Достоверность исследований подтверждается данными натурных лабораторных исследований, проведенных с применением современных приборов и оборудования, а также обработкой полученных данных с использованием ПЭВМ, сопоставлением результатов, определенных по полученным формулам с данными натурных исследований.

Практическую ценность работы составляют:

- уточненные значения критериев эффективности и надежности ПФК с использованием геомембран;

- предложенные конструкции различных типов ПФК с использованием геомембран для каналов и водоемов;

- рекомендации по строительству и эксплуатации ПФК из геомембран на каналах и водоемах.

Внедрение результатов исследований. На основании проведенных исследований подготовлены предложения по строительству опытного участка бетоноплочной облицовки с использованием геомембраны из ПВД и ПНД, которые включены в проект строительства IV очереди Большого Ставропольского канала. Результаты исследований использованы в проекте реконструкции распределительного канала Р-16 «Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы (2 очередь)» Ставропольского края и при реконструкции Донского МК. Для более широкого внедрения результатов исследований ФГБНУ «РосНИИПМ» с участием автора разработаны рекомендации «Выбор эффективной и надежной противофильтрационной защиты русел открытых каналов при реконструкции оросительных систем» и «Рекомендации по совершенствованию противофильтрационных конструкций облицовок каналов и водоемов с применением геомембран». Конструкция бетоноплочной облицовки с использованием геомембраны из ПВД включена в проект Свода правил «Противофильтрационные облицовки оросительных каналов. Правила проектирования», которые разработаны ФГБНУ «РосНИИПМ».

Апробация работы. Материалы по теме диссертации докладывались на научной конференции «Повышение эффективности эксплуатации оросительных систем в современных условиях» ФГБНУ «РосНИИПМ» (г. Новочеркасск 2007 г.), на заседании круглого стола «Гидромелиоративные системы нового поколения» «РосНИИПМ» (г. Новочеркасск 2008 г.), на научно-практической конференции «Повышение использования местного стока для орошения и сельхозводоснабжения» «РосНИИПМ» (г. Новочеркасск 2009 г.), на научно-практической конференции «Инновационные технологии повышения эффективности мелиоративных систем и безопасности гидротехнических сооружений» ПНИИЭМТ (г. Волгоград, 2010 г.) и «Гидравлическая эффективность каналов и сооружений», «РосНИИПМ» (г. Новочеркасск, 2011 г.).

Основные результаты исследований опубликованы автором в 11 работах, в том числе в трех изданиях, рекомендованных ВАК по специальности 05.23.07.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, библиографии из 197 источников и приложений. Содержание работы изложено на 183 страницах, иллюстрировано 47 рисунками, приведено 33 таблиц.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность работы, поставлена цель исследований и их основные задачи, сформулированы методы исследований, научная новизна и достоверность исследований, обоснована практическая ценность работы, приведены объекты апробации основных результатов диссертационной работы.

В первой главе рассмотрен отечественный и зарубежный опыт применения пленочных и листовых полимерных материалов в конструкциях противофильтрационных облицовок каналов и водоемов. Автором отмечено, что применение пленочных противофильтрационных материалов зачастую неэффективно, из-за их малой толщины и как следствие высокой повреждаемости во время выполнения строительно-монтажных работ и в период эксплуатации.

Также в данном разделе диссертации рассмотрены современные геосинтетические материалы применяемые в гидротехническом строительстве при устройстве противофильтрационных облицовок и берегозащитных сооружений. Приведена обобщенная классификация геосинтетических материалов, представлена общая информация о геомембранах и геотекстиле.

Разработкой конструкций, технологий и методов расчета различных противофильтрационных устройств гидротехнических сооружений, в том числе с использованием полимерных пленок в нашей стране, занимались: Н. Н. Павловский, В. П. Недрига, К. Н. Анахаев, Л. Н. Рассказов, Н. А. Анискин, В. Д. Глебов, И. М. Елшин, В. Н. Жиленков, С. В. Сольский, Ю. М. Косиченко, В. А. Белов, А. В. Ищенко, А. Г. Алимов, А. Г. Баламирзоев, И. Е. Кричевский, В. В. Сокольская, И. Ж. Атабиев, В. П. Лысенко, А. А. Миронов и др. Из зарубежных исследователей в

этом направлении известны работы: J. Giroud, R. Frobel, P. Sembenelli, A. Biche, J. Cuniberti, G. Zuccoli, C. Scalabrini, A. Scuero, R. Chuck и др.

Однако, ранее проведенные исследования были направлены на обоснование применения грунтовых и пленочных противофильтрационных устройств плотин, каналов, водоемов и накопителей. Вопросы разработки конструкций противофильтрационных облицовок с применением геомембран, обоснования их эффективности и надежности, технологии строительства и последующей эксплуатации недостаточно изучены и проработаны, особенно, для каналов оросительных систем.

Во второй главе представлены результаты проведенных автором натурных исследований эффективности и надежности противофильтрационных облицовок Нижне-Манычского канала, распределителя Бг-Р-7 Багаевско-Садковской ОС и водоемов-накопителей Пятигорского ипподрома с поверхностными противофильтрационными экранами из геомембраны, а также приведены обобщенные данные по эффективности облицованных каналов ЮФО.

При проведении натурных обследований каналов с бетонопленочной противофильтрационной облицовкой Бг-Р-7 и Нижне-Манычского канала фиксировались случаи оползания, сдвигов плит, определялась площадь повреждений противофильтрационного элемента.

По всей протяженности каналов наблюдались просадки, оползание и выпор плит, разрушение их поверхности и швов плит. На дне и откосах каналов через противофильтрационную облицовку происходит прорастание водной растительности. На плитах НПК, выполняющих роль защитного покрытия, выявлены трещины, сколы по контуру, оголение арматуры. Противофильтрационный экран из полиэтиленовой пленки во многих местах был поврежден оголенной арматурой и острыми гранями плит. На Нижне-Манычском канале защитная прокладка из рубероида полностью утратила свои свойства. В ходе проведения исследований также выявлено заиливание дна облицованных каналов с толщиной слоя ила от 0,2 до 0,5 м, что свидетельствует о малых скоростях течения и, как следствие, низкой пропускной способности каналов. На обследованных участках каналов Бг-Р-7 (ПК 132-133),

Нижне-Манычского (ПК 8-9), количество сползших плит на участках длиной 100м варьировалось от 22 до 45.

При обобщении данных о техническом состоянии каналов Юга России (рис. 1) установлено, что только 12 % каналов имеют КПД 0,90-0,93, а остальные каналы (88 %) находятся в неудовлетворительном техническом состоянии и имеют КПД ниже требований норм по СНиП 2.06.03-85.

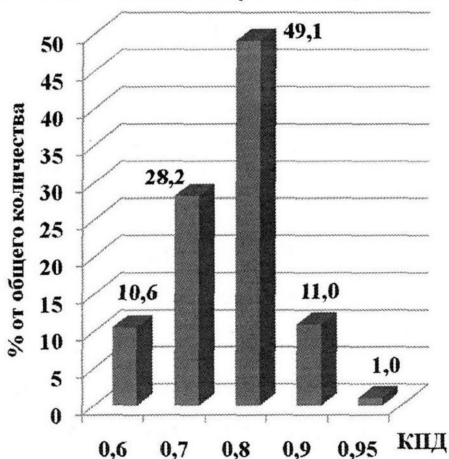


Рис. 1 Значения КПД оросительных каналов Юга России.

В задачи натурных исследований водоема с поверхностным экраном из геомембраны (HDPE) на Пятигорском ипподроме, площадью 14,83 тыс. м² входило: проведение визуального обследования качества поверхности экрана и определение потерь на фильтрацию и осредненного коэффициента фильтрации экрана из геомембраны.

При визуальном обследовании видимой поверхности противοfiltrационного экрана недоваров и пережогов пленки обнаружено не было. Все соединительные швы полотнищ полимерного экрана выполнены качественно.

Потери на фильтрацию из водоема вычислялись по объему потерь за исключением испарения, найденному методом водного баланса. В результате обработки полученных данных установлено значение осредненного коэффициента фильтрации экрана в пределах $k'_{\text{экр.}} = 1,24 \cdot 10^{-9} - 9,98 \cdot 10^{-10}$ см/с, что свидетельствует о высокой противοfiltrационной эффективности геомембраны.

В третьей главе приведены разработанные автором усовершенствованные и новые конструкции противοfiltrационных облицовок каналов и водоемов с применением геомембран из ПВД и ПНД и определена их область применения.

Современные геомембраны из ПВД и ПНД 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 что обеспечивает экономичность монтажа и повышает технологичность конструкций.

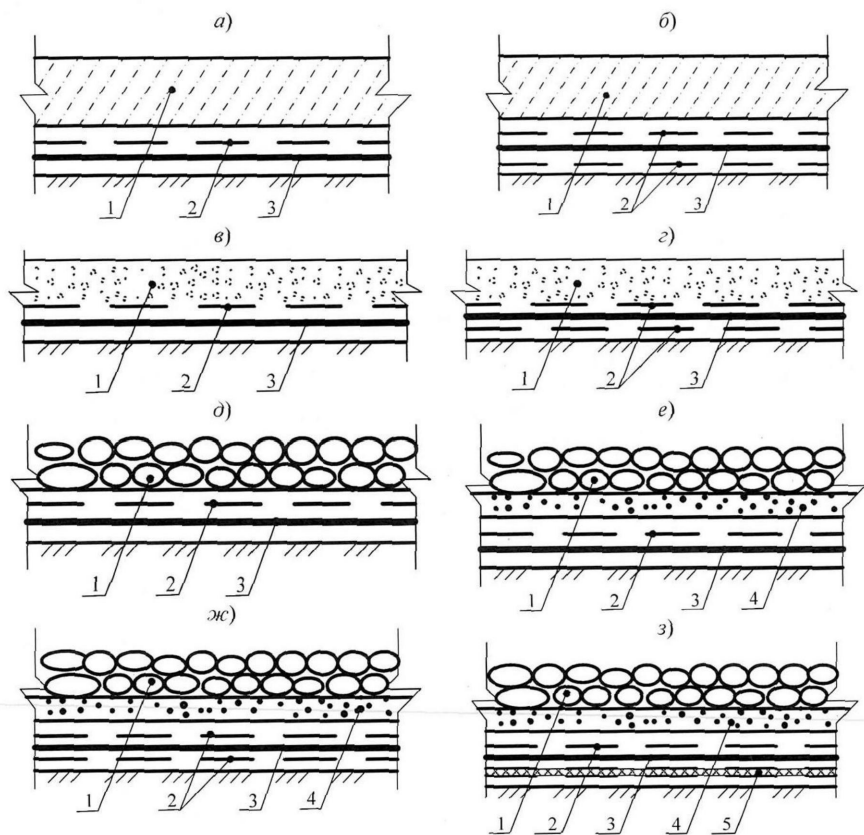
Использование геомембран толщиной 1-3 мм для противοfiltrационных устройств в гидротехническом строительстве свидетельствует о их высокой эффективности, превышающей традиционные конструкции из полиэтиленовой пленки (ПЭ) толщиной 0,2 мм на два порядка и более.

На основании отечественного и зарубежного опыта применения геомембран для противοfiltrационной защиты каналов и водоемов автором предложены усовершенствованные конструкции противοfiltrационных облицовок (рисунок 2).

Конструкции облицовок с геомембраной и защитным покрытием из бетона (рис. 2а, б) рекомендуются для создания противοfiltrационной защиты на каналах и водоемах на устойчивых непросадочных и непучинистых основаниях.

Для варианта облицовки на рис. 2а противοfiltrационный элемент из геомембраны укладывается непосредственно на подготовленное основание с частицами не более 10 мм, а для варианта на рис. 2б, когда в основании залегают грунты с крупностью фракции более 10 мм (например гравелисто-галечниковые), геомембрана, во избежание проколов и вмятин, укладывается на предварительно уложенную защитную прокладку из геотекстиля. Для защиты геомембраны от повреждений при укладке бетонного покрытия сверху предусматривается защитная прокладка из геотекстиля плотностью от 400 до 1000 г/м². Указанные конструкции облицовок обеспечивают высокий противοfiltrационный эффект (осредненный коэффициент фильтрации облицовки составляет 10^{-8} - 10^{-9} см/с) и значительный срок службы до 75 лет. Кроме того они придают облицовке наименьшую шероховатость поверхности с коэффициентом шероховатости $n = 0,015$ - $0,018$, что обеспечивает высокую пропускную способность русел каналов.

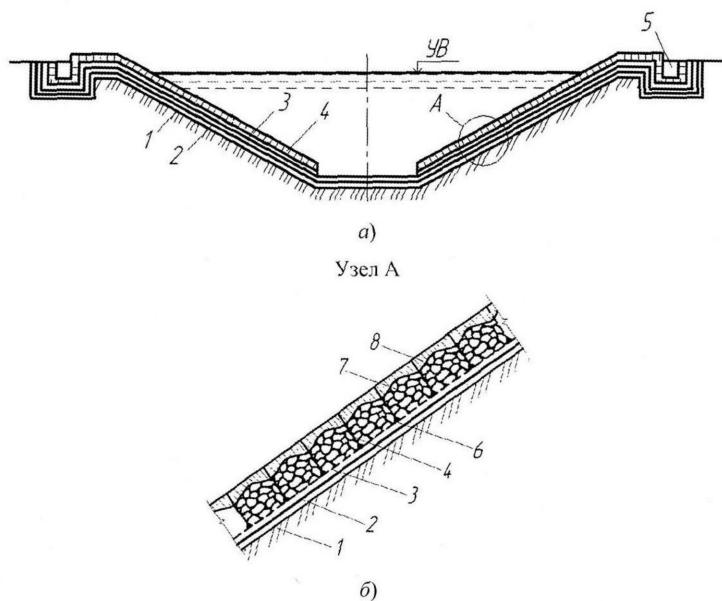
Конструкции облицовок с геомембраной и защитным покрытием из грунта (рис. 2в, з) целесообразно применять на водоемах и накопителях на слабопросадочных и слабопучинистых основаниях с максимальной величиной просадки до 0,4 м. Для варианта конструкции на рис. 2в основание не должно содержать частицы с крупностью фракции более 10 мм, а для варианта на рис. 2з основание может содержать фракции крупнее 10 мм (гравелисто-галичниковые). Данные конструкции отличаются большой деформационной способностью, а прогнозный срок службы грунтопленочной облицовки с применением геомембран составляет 50-75 лет.



а, б – с геомембраной и защитным покрытием из бетона; в, з – с геомембраной и защитным покрытием из грунта; д – з – с геомембраной и защитным покрытием из каменной наброски; 1 – защитное покрытие; 2 – защитная прокладка из геотекстиля; 3 – противofильтрационный элемент из геомембраны; 4 – защитный слой из песка; 5 – дренажный элемент из геокомпозита;
Рис 2. Усовершенствованные конструкции противofильтрационных облицовок каналов и водоемов с использованием геосинтетических материалов

Конструкции облицовок с геомембраной и защитным покрытием из каменной наброски (рис. 2, д-з) могут применяться на каналах, водоемах и накопителях как на среднеустойчивых, так и на неустойчивых основаниях с максимальной величиной просадки более 0,2-0,4 м. Поскольку в состав этих конструкций входит защитное покрытие из каменной наброски, которое само по себе является весьма гибким и будет следовать за деформациями основания без его нарушения, то они будут надежно работать при значительных деформациях до 0,5-0,7 м. Достаточно высокая шероховатость поверхности облицовки в первые годы эксплуатации ($n = 0,030-0,035$), будет снижаться вследствие кольматации и заиления каменной наброски и после 5-10 лет эксплуатации станет близкой к земляным руслам каналов.

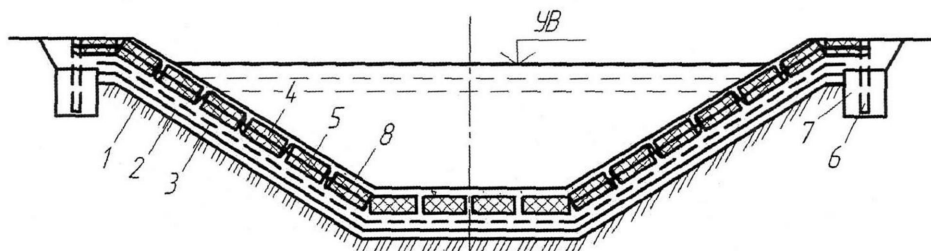
Кроме того, автором разработаны новые конструкции противофильтрационных облицовок с применением геомембран и защитным покрытием из георешетки и габионов (рисунки 3, 4).



1 – грунт подстилающего основания; 2 – геомембрана; 3 – геотекстиль; 4 – ячейки георешетки с перфорированными стенками; 5 – штраба; 6 – точечная сварка георешетки с геотекстилем экструдером; 7 – заполнитель (щебень, гравий); 8 – торкретцементное покрытие.

Рис. 3 Конструкция противофильтрационной облицовки с геомембраной и защитным покрытием из георешетки.

Для конструкции облицовки на рис. 3 в качестве противофильтрационного элемента используется геомембрана из полиэтилена высокой плотности низкого давления, георешетка с перфорированными стенками. Заполнение ячеек георешетки производится на 2/3 высоты гравием и на 1/3 торкрет бетоном, снижающим шероховатость покрытия и предотвращающем вымыв гравия. Конструкция применима на средне и сильно просадочных основаниях, с коэффициентом заложения откоса не менее 1:3. По сравнению с традиционной грунтопленочной облицовкой, данная конструкция позволяет уменьшить толщину защитного покрытия с 0,5-1,0м до 0,15-0,3м и как следствие, объемов земляных работ. Помимо этого облицовка характеризуется высокой гибкостью и деформативностью.



1 – грунт подстилающего основания; 2 – геомембрана; 3 – геотекстиль; 4 – габионы; 5 – канат; 6 – металлическая стойка; 7 – монолитный бетон; 8 – кольматирующий слой.

Рис. 4 Конструкция противофильтрационной облицовки с геомембраной и защитным покрытием из габионов.

Противофильтрационное покрытие на рис. 4 включает, защитное покрытие из габионов матрасного типа, которые укладываются на защитную прокладку из нетканого геотекстиля. Габионы соединяются между собой стальным канатом, который закрепляется на бровке канала или водоема к металлическим стойкам. Данная конструкция облицовки применима на средне и сильно просадочных грунтах основания.

В четвертой главе отражены результаты лабораторных и теоретических исследования эффективности применения геомембран в конструкциях противофильтрационных облицовок каналов и водоемов.

Задачей лабораторных исследований являлась оценка повреждаемости геомембран отечественного и зарубежного производства при действии различных по

величине нагрузок. Испытуемый образец помещался в прибор типа компрессионного и доводился до разрушения нормальной к поверхности образца нагрузкой, создаваемой штампом. Диапазон рабочих давлений на подошве штампа составил 0,2-2,5 МПа, что соответствует диапазону реальных нагрузок от строительных механизмов.

Результаты проведенных исследований приведены на рисунке 5.

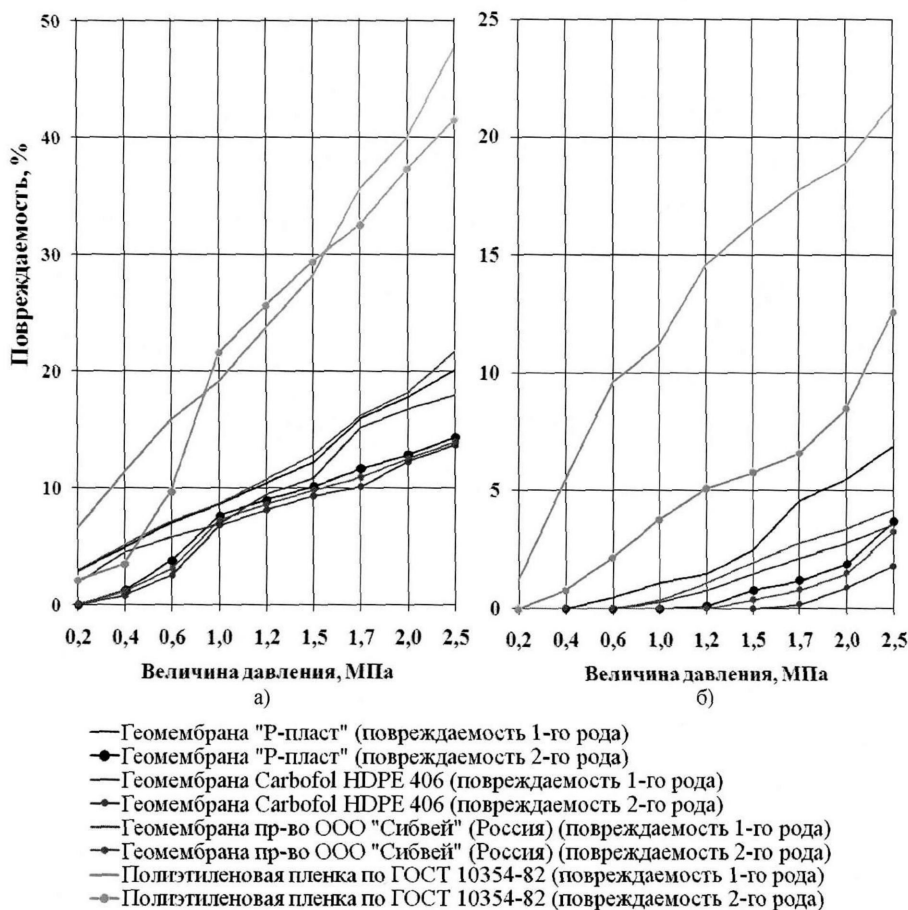


Рис. 5 Распределение повреждений первого и второго рода к общей площади образца при действии различных по величине нагрузок: а) – без защитных прокладок; б) – с защитными прокладками из геотекстиля ИП 200.

Для определения порога повреждаемости геомембран в контейнер перед испытаниями наливался слабощелочной раствор. При возникновении повреждений

геомембраны ток от гальванического элемента поступал из выше лежащего слоя в нижележащий, что фиксировалось по показаниям вольтметра.

При проведении лабораторных исследований фиксировались повреждения 1-го рода (несквозные повреждения в виде вмятин), повреждения 2-го рода (сквозные повреждения в виде проколов и порывов) и порог повреждаемости (минимальное давление при котором образуются сквозные повреждения).

Для выявления эффективности защитных прокладок из геотекстиля проводились сравнительные исследования без и с защитными прокладками.

Анализ результатов этих исследований показывает следующее:

- наибольшей сопротивляемостью к повреждениям 1-го и 2-го рода для серии опытов без защитных прокладок имеют геомембраны Carbofol (Германия) из ПНД и «Сибвей» (Россия) из ПВД;

- по порогу повреждаемости наиболее высокие результаты получены для геомембраны Carbofol (Германия), составляющие 0,27 МПа без защитных прокладок и 1,7 МПа с защитными прокладками;

- повреждаемость 1-го и 2-го рода для полиэтиленовой пленки из ПВД по ГОСТ 10354-82 толщиной 0,2 мм по сравнению с образцами испытуемых геомембран при приложении идентичных нагрузок в среднем в 3-4 раза больше;

- степень эффективности защитных прокладок из геотекстиля «Дорнит» (Россия) плотностью 200 г/м² по снижению повреждаемости геомембраны составляет более 4 раз, которая может быть повышена за счет применения геотекстиля более высокой плотности (600 г/м² и более) до значений не менее 8-10 раз, что практически полностью исключает повреждаемость геомембран в процессе их укладки и при устройстве защитных покрытий из бетона или грунта.

На основании и анализа и обобщения исследований в области противодиффузионных конструкций облицовок каналов и водоемов могут быть представлены следующие общие критерии их технической эффективности и эксплуатационной надежности:

по водонепроницаемости облицовки

$$k_{обл}^I \leq k_{обл.нор}; \quad (1)$$

по повреждаемости противofильтрационного элемента

$$П_{нфэ} \leq П_{нфэ.доп}; \quad (2)$$

по трещиноватости и разрушению защитного бетонного покрытия, стыков и деформационных швов

$$П_{защ} \leq П_{защ.доп}; \quad (3)$$

по вероятности безотказной работы конструкции облицовки в целом

$$P_{обл} \geq P_{нор}; \quad (4)$$

по сроку службы облицовки

$$\tau_{обл} \geq \tau_{нор}, \quad (5)$$

где $k'_{обл}, k_{обл.нор}$ - соответственно осредненный коэффициент фильтрации по данным натурных исследований или расчетов и нормативный; $П_{нфэ}, П_{нфэ.доп}$ - фактическая и допустимая повреждаемость противofильтрационного элемента; $П_{защ}, П_{защ.доп}$ - фактическая и допустимая степень трещиноватости и нарушения защитного покрытия; $P_{обл}, P_{нор}$ - вероятность безотказной работы облицовки, фактическая и нормативная в соответствии с классом сооружения; $\tau_{обл}, \tau_{нор}$ - срок службы облицовки, фактический или расчетный и нормативный в соответствии с классом сооружения (по СНиП 33-01-2003).

Для определения осредненного коэффициента фильтрации облицовок с полимерными экранами из пленки и геомембран использованы натурные и лабораторные данные повреждаемости противofильтрационных элементов.

С целью обоснования распределения повреждений по площади противofильтрационного элемента учитываем обобщенные натурные данные, полученные ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, Укргипроводхоз, Союзгипроводхоз, ВНИИГиМ, СевНИИГиМ, ЮжНИИГиМ и дополненные автором по результатам обследований ряда каналов Ростовской области.

Так как в натурных данных отсутствуют сведения о видах и размерах повреждений пленочного элемента наиболее приемлемой расчетной схемой является приведение имеющихся данных по общей повреждаемости к условному отверстию с радиусом $r_{усл}$ на единицу площади в 1 м^2 .

По результатам статистической обработки полученных данных $r_{\text{усл}}$ более чем для 20 объектов построены гистограммы распределения частот радиусов условных отверстий ПФЭ бетонопленочных облицовок и грунтопленочных экранов, а также гистограммы распределения возможных повреждений геомембраны по результатам лабораторных испытаний.

Анализ гистограмм позволяет судить о законе распределения частот условных отверстий в ПФЭ. Так, для традиционных бетонопленочных облицовок и грунтопленочных экранов наблюдается логарифмически нормальный закон, а для бетонопленочных облицовок с применением геомембран – нормальный закон распределения.

Кроме того проведен статистический анализ распределения количества повреждений по площади, который позволяет принять гипотезу о распределении повреждений по закону редких явлений (закону Пуассона). Критерий Пирсона составил $\chi^2 = 2,5$, а критическое табличное значение при уровне значимости

$$\alpha = 0,05 - \chi_{кр.}^2 = 6,0.$$

Согласно проведенной обработке экспериментальных данных для облицовок с пленочными экранами вероятность распределения поврежденности ПФЭ из формулы Пуассона будет определяться выражением:

$$P_m = \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!} = \frac{(1,0)^m e^{-1}}{m!} = \frac{0,368}{m!}, \quad (6)$$

где λ – интенсивность распределения повреждений, равная по результатам обработки $\lambda = 1,0$; m – число интервалов распределения $(0, 1, 2, \dots, n)$

Соответственно формула вероятности распределения возможных повреждений для облицовки с геомембраной по результатам лабораторных испытаний при $\lambda = 3,302$ имеет вид:

$$P_m = \frac{(3,302)^m}{m!} e^{-3,302}. \quad (7)$$

Так как общая формула распределения повреждений по площади F_0 записывается в виде:

$$P_m = \frac{(\lambda F_0)^m}{m!} e^{-\lambda F_0}, \quad (8)$$

то полученную зависимость (7) перепишем следующим образом:

$$P_m = \frac{(3,302 \cdot F_0)^m}{m!} e^{-3,302 F_0}. \quad (9)$$

На основании использования полученных результатов о распределении повреждений по закону Пуассона и известных приближенных зависимостей Ю. М. Косиченко для традиционных облицовок с пленочными экранами нами получены наиболее общие формулы для определения осредненного коэффициента фильтрации противофильтрационных облицовок с геомембраной:

а) при $k_{zp} / k_{защ} > 10$

$$k'_{обл} = \frac{3,302 \cdot \pi^2 k_{защ} \cdot \delta_0 \cdot r_{ysl} \cdot n}{F_0 \cdot \ln \frac{(3,302 \cdot F_0)^m}{Pm!} \cdot \ln \left(\frac{8\delta_0}{\pi r_{ysl}} \right)}; \quad (10)$$

б) при $k_{zp} / k_{защ} \leq 10$

$$k'_{обл} = \frac{3,302 \cdot \pi^2 k_{защ} \cdot \delta_0 (h_0 + \delta_0 - h_1) \cdot r_{ysl} \cdot n}{F_0 \cdot (h_0 + \delta_0) \ln \frac{(3,302 \cdot F_0)^m}{Pm!} \cdot \ln \left(\frac{8\delta_0}{\pi r_{ysl}} \right)}; \quad (11)$$

$$h_1 = \frac{\pi^2 \sigma (h_0 + \delta_0) - 4H_\kappa \ln \left(\frac{8\delta_0}{\pi r_{ysl}} \right)}{\pi^2 \sigma + 4 \ln \left(\frac{8\delta_0}{\pi r_{ysl}} \right)}; \quad \sigma = \frac{k_{защ}}{k_{zp}}; \quad H_\kappa = (0,5 \div 0,7) h_\kappa, \quad (12)$$

где $k_{защ}$ – коэффициент фильтрации защитного покрытия (бетона или грунта);

δ_0 – толщина облицовки; h_0 – глубина в канале; h_1 – пьезометрический напор в месте повреждений; r_{ysl} – радиус условного отверстия, приведенного к 1 м²; n – количество повреждений; F_0 – площадь облицовки; k_{zp} – коэффициент фильт-

рации грунта основания; H_k – капиллярный вакуум грунта основания; h_k – высота капиллярного поднятия воды в грунте основания.

Найденные расчетные формулы (10-12) в отличие от известных учитывают случайный характер распределения повреждений ПФЭ, размеры условного отверстия, приведенного к единице площади, характеристики грунтового основания и защитного покрытия и могут применяться как для облицовок с геомембраной и защитным покрытием из бетона или грунта, так и облицовок с защитным покрытием из габрионов и георешеток.

Учитывая распределение повреждаемости ПФЭ облицовки с геомембраной, соответствующей нормальному закону Гаусса, и используя уравнение Райса для описания отказов получены расчетные зависимости:

- для определения допускаемой повреждаемости ПФЭ с заданной надежностью P

$$P_{дон}\{P\} = \bar{P} + \sqrt{2\sigma_{\bar{P}}^2 \ln \frac{\tau \bar{P}}{(-\ln P)}}; \quad (13)$$

- для прогнозной оценки срока службы облицовки

$$\tau_{obl}\{P\} = \frac{-\ln P}{v_{\bar{P}}} \exp \left[\frac{(P_{дон} - \bar{P})}{2\sigma_{\bar{P}}^2} \right], \quad (14)$$

где $\bar{P}$ – среднестатистическая поврежденность ПФЭ по результатам выборочных обследований отдельных участков; $\sigma_{\bar{P}}$ – среднеквадратическое отклонение параметра $\bar{P}$; $v_{\bar{P}}$ – частота повреждений ПФЭ; τ – срок службы объекта.

Так как соединение основных конструктивных элементов с точки зрения обеспечения противофильтрационных свойств облицовки может быть представлено как последовательное, то для расчета вероятности безотказной работы облицовки могут быть использованы известные формулы теории надежности:

а) при условии независимости отказов каждого элемента облицовки

$$P_{obl} = P_{защ.лк} \cdot P_{защ.гр} \cdot P_{ПФЭ} = \prod_{i=1}^3 (P_i); \quad (15)$$

б) при условии зависимости отказов элементов облицовки

$$P_{обл} = \prod_{i=1}^3 (P_i) + [P_{\min} - (P_{защ.пк} \cdot P_{ПФЭ})] K_N, \quad (16)$$

где $P_{защ.пк}$, $P_{защ.пр}$, $P_{ПФЭ}$ – вероятность безотказной работы соответственно защитного покрытия, защитной прокладки и противофильтрационного элемента в виде геомембраны; $P_{\min}$ – минимальная вероятность безотказности одного из элементов; K_N – коэффициент, учитывающий статистическую взаимосвязь между элементами.

В пятой главе приведены рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации предложенных автором усовершенствованных конструкций противофильтрационных облицовок каналов и водоемов. Представлен технико-экономический расчет эффективности применения усовершенствованных конструкций.

Для апробации разработанных конструкций противофильтрационных облицовок автором подготовлено обоснование для устройства опытных участков на строящейся IV очереди Большого Ставропольского канала (БСК-4) и при реконструкции Донского Магистрального канала (ДМК).

Опытный участок на БСК-4 общей длиной 225м предназначен для проведения сравнительных испытаний различных типов зарубежных геомембран, толщиной 1,0 мм и полиэтиленовой пленки Российского производства по ГОСТ 10352-82, марки В, толщиной 0,2 мм. На одном из участков длиной 75 м применяется геомембрана из бутилкаучука фирмы Firestone (США), на втором - геомембрана из полиэтилена высокой плотности низкого давления (HDPE) компании Carbofol (Германия), на третьем полиэтиленовая пленка (Россия). Защитное покрытие выполняется из монолитного бетона толщиной 0,1 м, в качестве защитной прокладки используется геотекстиль «Дорнит» (Россия). Для возможности отбора образцов с целью определения изменения физико-механических характеристик в течение длительного времени (более 30 лет) в защитном покрытии предусмотрены съемные люки.

Для канала ДМК автором разработаны предложения по созданию опытных участков противофильтрационной облицовки из геомембраны с защитным покрытием из каменной наброски на откосах и грунта по дну. Длина участков 1330 м, в ка-

честве ПФЭ используется геомембрана из полиэтилена низкой плотности высокого давления (LDPE) компании Rehau (Германия) толщиной 1,5 мм, а для защитных прокладок – нетканый иглопробивной геотекстиль Rehau плотностью 300 г/м². Целью создания данного опытного участка является изучение эффективности и надежности рекомендуемой конструкции облицовки и отработка в производственных условиях технологии строительства. После проведенных испытаний опытная конструкция облицовки может быть рекомендована для широкого внедрения на целом ряде участков при полной реконструкции ДМК общей протяженностью 112 км.

Экономическая эффективность от применения противofильтрационных облицовок с использованием геомембран из ПНД и ПВД по сравнению с традиционными облицовками с ПЭ пленкой обусловлена практически полной водонепроницаемостью этих конструкций, возможностью создания каналов, имеющих сверхвысокий КПД (до 0,97-0,98) и соответственно, за счет получения чистого дохода от орошения дополнительной площади сэкономленной водой вследствие исключения потерь воды на фильтрацию и повышения долговечности облицовок до 75 лет и более.

Заключение

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта применения традиционных конструкций противofильтрационных облицовок с применением пленочных материалов показывает их невысокую противofильтрационную эффективность и низкую эксплуатационную надежность, так как после трех-пяти лет эксплуатации водонепроницаемость облицовки повышается на 30-40 %, а срок службы не превышает 30-50 лет;

2. В результате натурного обследования каналов с традиционной бетонопленочной противofильтрационной облицовкой были выявлены многочисленные случаи оползания плит защитного покрытия и повреждения пленочного противofильтрационного экрана, что обуславливает низкую эффективность конструкции и высокий осредненный коэффициент фильтрации облицовки ($k_{обл}^I > (1,5 \div 3,0) \cdot 10^{-6} \text{ см/с}$), значительно превышающий требования норм. В то же время, конструкции противofильтрационных устройств с применением геомембран по данным зарубежных

фирм имеют очень низкую водопроницаемость, на два-три порядка ниже традиционных конструкций, не превышающую значение $k'_{обл} < 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ см/с}$. Аналогичные данные о высокой эффективности геомембран получены автором при натурном обследовании водоема с поверхностным противофильтрационным экраном из геомембраны методом водного баланса с учетом потерь на испарение, где характеристика водопроницаемости составила $k'_{обл} = 1,24 \cdot 10^{-9} - 9,98 \cdot 10^{-10} \text{ см/с}$.

3. На основании анализа использования геосинтетических материалов в гидротехническом строительстве автором разработан ряд усовершенствованных и новых конструкций противофильтрационных облицовок каналов и водоемов с применением геомембран из полиэтилена высокого и низкого давления с защитным покрытием из бетона и железобетонных плит, грунта, каменной наброски, габионов и георешетки;

4. Проведенные лабораторные исследования повреждаемости геомембран из различных материалов (полиэтилен высокой плотности, полиэтилен низкой плотности, битумно-полимерный материал) позволили установить, что более стойкими к механическим воздействиям являются геомембраны из полиэтилена высокой плотности низкого давления (HDPE), толщиной 1,0 мм. Кроме того установлено, что стабилизированная полиэтиленовая пленка по ГОСТ 10354-82, толщиной 0,2 мм по сравнению с испытываемыми геомембранами при приложении идентичных нагрузок повреждалась в среднем в 3-3,5 раза больше;

5. На основании обобщения ранее проведенных исследований в области противофильтрационных конструкций из полимерных материалов сформулированы общие критерии технической эффективности и эксплуатационной надежности облицовок с применением геомембран и получены расчетные зависимости для оценки водопроницаемости бетонопленочных облицовок и грунтопеночных экранов методом условных отверстий, приведенных к единице площади, с учетом случайного их распределения и соотношения водопроницаемости грунта основания и защитного покрытия. При этом установлено, что распределение частот размеров условных отверстий противофильтрационного элемента в виде пленки или геомембраны соот-

ветствует логарифмически нормальному и нормальному законам, а случайный характер их распределения по площади – закону редких явлений (Пуассона);

6. Путем расчетного обоснования по полученным формулам автором доказана высокая надежность и противofильтрационная эффективность конструкций облицовок с применением геомембран по сравнению с традиционными по их водопроницаемости – на 3 порядка, по сроку службы – в 2,4 раза. Проведенное сопоставление результатов расчета с натурными данными свидетельствует о достаточно близком их совпадении (до 37 %);

7. Для практического использования разработаны рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации противofильтрационных конструкций облицовок с применением геомембран на каналах и водоемах. Проведенными расчетами установлено, что внедрение предложенных конструкций облицовок на каналах позволит получить экономический эффект за счет увеличения срока службы облицовки и практически полного исключения потерь на фильтрацию и соответственно получения чистого дохода от орошения дополнительной площади сэкономленной водой в размере 1,5-3,0 млн. руб. на 1 км канала в зависимости от его расхода.

Результаты научных исследований опубликованы в следующих работах:

- 1 Чернов М. А. Оценка эксплуатационной надежности конструкций бетонопленочных облицовок каналов / М. А. Чернов // Известия вузов. Сев.-Кав. регион, Техн. науки. – 2011. – № 1. С. 136-139.
- 2 Чернов М. А. Обоснование противofильтрационной эффективности облицовок каналов с применением полимерных материалов / М. А. Чернов // Известия вузов. Сев.-Кав. регион, Техн. науки. – 2011. – № 2. С. 108-114.
- 3 Чернов М. А. Расчетное обоснование надежности облицовок каналов с применением геомембран / М. А. Чернов // Природообустройство. № 4. 2011.
- 4 Косиченко Ю. М. Выбор противofильтрационных облицовок при реконструкции каналов в земляном русле / Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов, М. А. Чернов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / Под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2007. Вып. 38. – С. 48-53.

- 5 Косиченко Ю. М. Критерии оценки эффективности и надежности противofильтрационных облицовок оросительных каналов / Ю. М. Косиченко, М. А. Чернов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / Под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2008. Вып. 40. – Ч.1 – С. 64-70.
- 6 Косиченко Ю. М. Результаты натурного обследования противofильтрационных облицовок каналов и водоемов / Ю. М. Косиченко, М. А. Чернов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / Под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2009. Вып. 42. – С. 140-147.
- 7 Ищенко А. В. Конструкции противofильтрационных облицовок каналов с применением современных геосинтетических материалов / А. В. Ищенко, М. А. Чернов // Инновационные технологии повышения эффективности мелиоративных систем и безопасности гидротехнических сооружений: Материалы научно-практической конференции. – Волгоград: ГНУ ПНИИЭМТ Россельхозакадемии, 2010. – С. 49-55.
- 8 Косиченко Ю. М. Повышение эффективности и надежности противofильтрационных облицовок оросительных систем / Ю. М. Косиченко, М. А. Чернов // Инновационные технологии повышения эффективности мелиоративных систем и безопасности гидротехнических сооружений: Материалы научно-практической конференции. – Волгоград: ГНУ ПНИИЭМТ Россельхозакадемии, 2010. – С. 55-60.
- 9 Косиченко Ю. М. Надежность каналов и водоемов с облицовкой из пленочных материалов и геомембран / Ю. М. Косиченко, М. А. Чернов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 3 – 37-40.
- 10 Чернов М. А. Конструкции защитных облицовок каналов и водоемов с применением геосинтетических материалов / М. А. Чернов / Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2011 – № 3.
- 11 Щедрин В.Н., Косиченко Ю.М., Миронов В.И., Ищенко А.В., Чернов М.А., Литвинова Н.В., Иовчу Ю.И. Выбор эффективной противofильтрационной защиты русел открытых каналов при реконструкции оросительных систем (рекомендации). – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2008. – 68 с.

Подписано в печать 7.11.2011 г.

Формат 60 x 84 1/16

Тираж 100 экз. Заказ № 328.

346428, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111