

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ» (ФГБНУ «РОСНИИПМ»)

На правах рукописи

БАКЛАНОВА ДАРЬЯ ВИКТОРОВНА

ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ  
НА ВЕРОЯТНОСТЬ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНО  
ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ КАНАЛОВ

Специальность – 05.23.07 – Гидротехническое строительство

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Косиченко Ю. М.

Новочеркасск 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	с.
<b>Введение</b> .....	4
<b>1 Состояние исследований по оценке влияния фильтрации из каналов на условия их эксплуатации</b> .....	8
1.1 Понятия безопасности и риска аварии гидротехнических сооружений.....	8
1.2 Сценарии аварийных ситуаций и основные факторы, влияющие на возникновение отказов и аварий на крупных каналах.....	9
1.3 Опыт эксплуатации крупных каналов.....	12
1.4 Обзор существующих работ в области оценки безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений.....	18
1.5 Направления дальнейших исследований, обоснование их цели и задач.....	27
<b>Выводы по главе</b> .....	28
<b>2 Результаты теоретических исследований по расчетному обоснованию вероятности разрушения потенциально опасных участков крупных каналов от фильтрационных воздействий</b> .....	30
2.1 Потенциально опасные участки крупных каналов.....	30
2.2 Допущения и предпосылки, принятые при расчетах фильтрации и оценке риска аварий на каналах.....	35
2.3 Расчет фильтрации через дамбу канала в насыпи и оценка риска возникновения аварийной ситуации.....	36
2.4 Расчет фильтрации через дамбу канала в насыпи с горизонтальным трубчатым дренажем и оценка риска возникновения аварийной ситуации.....	43
2.5 Расчет фильтрации через дамбу канала в насыпи с облицовкой и оценка риска возникновения аварийной ситуации.....	45
2.6 Расчет фильтрации через дамбу канала на косогоре и оценка риска возникновения аварийной ситуации.....	47
2.7 Сопоставление результатов расчета для дамбы канала в насыпи с известными методами.....	50
<b>Выводы по главе</b> .....	57
<b>3 Натурные исследования по оценке современного технического состояния магистральных каналов юга России и образованию различных деформаций их русел</b> .....	58
3.1 Общая характеристика объектов исследований.....	58
3.2 Методика проведения натурных исследований.....	64
3.3 Результаты натурных исследований.....	67
3.4 Натурные наблюдения за формированием кривой депрессии по опытным скважинам на Донском магистральном канале.....	75
3.5 Оценка риска разрушения потенциально опасных участков	

Донского и Пролетарского магистральных каналов.....	85
<b>Выводы по главе</b> .....	91
<b>4 Разработка мероприятий по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов</b> .....	93
4.1 Рекомендуемые мероприятия по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов (по опыту эксплуатации каналов юга России)....	93
4.2 Новые технические решения по противофильтрационной защите дамб каналов.....	101
4.3 Способ заделки очага фильтрационных деформаций в дамбе канала.....	106
4.4 Оценка экономического эффекта от повышения надежности и безопасности потенциально опасных участков каналов.....	108
<b>Выводы по главе</b> .....	111
Основные выводы.....	113
Список использованных источников.....	115
Приложения.....	129
Приложение А – Сводные данные по техническому состоянию магистральных каналов Краснодарского, Ставропольского краев, Ростовской и Астраханской областей.....	130
Приложение Б – Примеры построения гидродинамической сетки....	136
Приложение В – Основные характеристики электронного тахеометра «ТОРCON»GPT-105N и копия свидетельства о его поверке.....	138
Приложение Г – Акт внедрения результатов НИР.....	141

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Согласно Водной стратегии Российской Федерации на 2010 – 2020 гг. ставится задача комплексного и рационального использования водных ресурсов [20]. В связи с этим появилась необходимость в интенсификации водного хозяйства, которое призвано решать проблемы дефицита водных ресурсов, а также обеспечения объектов народного хозяйства и населения водой требуемого качества, что осуществляется в значительной степени с помощью крупных магистральных каналов [21].

Наиболее густо крупные магистральные каналы расположены на юге страны, где необходимо разумное потребление водных ресурсов с целью улучшения водообеспечения населения, промышленных предприятий и сельского хозяйства [58]. На территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов зарегистрировано более 60 крупных каналов с общей протяженностью 23 тыс. км [29].

К крупным магистральным каналам оросительных систем на юге страны относятся Большой Ставропольский канал, Донской, Нижне-Донской, Верхне-Сальский, Пролетарский, Багаевский, Азовский, Право-Егорлыкский, Невинномысский, Терско-Кумский и другие магистральные каналы. Многие из них используются комплексно для целей водоснабжения, орошения, обводнения, энергетики, рыбного хозяйства и рекреации. В настоящее время их техническое состояние значительно ухудшилось, в связи с чем, потенциально опасными признаны 12 магистральных каналов, с общей протяженностью 1400 км [92].

Так как некоторые участки каналов представляют собой потенциальную опасность и пребывают в неудовлетворительном техническом состоянии, то важной проблемой является безаварийная эксплуатация магистральных каналов и гидротехнических сооружений расположенных на них.

Целью исследований является разработка расчетно-теоретического обоснования влияния фильтрационных факторов на вероятность возникновения аварийных ситуаций потенциально опасных участков каналов.

Для достижения цели исследований были поставлены следующие задачи:

- рассмотреть и проанализировать опыт эксплуатации крупных магистральных каналов России и зарубежья и установить причины возникновения отказов и аварий на каналах;
- разработать методику расчетно-теоретической оценки риска возникновения аварийной ситуации на наиболее опасных участках крупных каналов от фильтрационных деформаций;
- получить зависимости для определения удельных фильтрационных расходов, действующих градиентов напоров в теле и основании дамбы канала с учетом дополнительного фильтрационного сопротивления под дном канала;
- выполнить оценку достоверности результатов по методике автора в сравнении с методом ЭГДА и методом эквивалентного профиля Е. А. Замарина;
- провести натурные исследования по оценке современного технического состояния крупных магистральных каналов юга России и выполнить наблюдения за формированием депрессионной кривой и уровнем грунтовых вод в их дамбах;
- определить вероятность возникновения аварийных ситуаций на потенциально опасных участках действующих магистральных каналов;
- разработать инженерно-технические мероприятия по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов;
- провести оценку экономического эффекта от применения мероприятий по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках Донского магистрального канала.

Методы исследований. В процессе проведения исследований применялись теоретические, экспериментальные и натурные методы.

В качестве теоретических методов были использованы методы теории надежности и теории фильтрации. Экспериментальные исследования выполнены методом электрогидродинамических аналогий, при этом осуществлялось физическое моделирование задач плоской фильтрации. Натурные исследования проводились согласно общепринятым методикам.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- впервые разработана методика для оценки риска разрушения потенциально опасных участков магистральных каналов в насыпи и на косогоре вследствие фильтрационных воздействий;

- получены усовершенствованные расчетные зависимости для определения удельных фильтрационных расходов через тело и основание дамбы канала в насыпи и на косогоре, учитывающие дополнительное фильтрационное сопротивление под дном канала;

- предложены расчетные зависимости для определения фильтрационной прочности грунта дамб для различных расчетных схем канала;

- выполнен анализ натурных исследований и выявленных деформаций и отказов в работе грунтовых дамб крупных магистральных каналов юга России.

Достоверность исследований подтверждается сопоставлением полученных результатов с данными, полученными по экспериментальным исследованиям и методикам других авторов. А также тем, что натурные исследования проведены с использованием современных аттестованных приборов и оборудования. Полученные результаты обработаны с применением ПЭВМ.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

- составлена схема сценариев возможных аварийных ситуаций на крупных каналах, возникающих вследствие фильтрационных, гидравлических и оползневых процессов;

- систематизированы аварии и деформации на каналах России и зарубежья;

- на основе анализа эксплуатации действующих крупных магистральных каналов предложены рекомендуемые мероприятия по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках магистральных каналов;

- предложена конструкция противофильтрационной диафрагмы для устранения фильтрации через тело дамб каналов высотой до 10 м, а также способ заделки очага фильтрационных деформаций в размываемых руслах каналов;

- разработаны рекомендации по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов.

Внедрение результатов. На основании разработанной методики оценки риска разрушения потенциально опасных участков магистральных каналов в насыпи и на косогоре вследствие фильтрационных воздействий проведены расчеты вероятности аварийных ситуаций на Донском и Пролетарском магистральных каналах, которые внедрены в ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз».

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы обсуждались на научно-практических конференциях «Разработка мероприятий по повышению эксплуатационной надежности и безопасности гидротехнических сооружений, техническое перевооружение и модернизация гидротехнических сооружений средствами водоучета и автоматизации водораспределения и водоотведения на мелиоративных системах» ФГБНУ «РосНИИПМ» (г. Новочеркасск 29.10.2010 г.), «Эксплуатационный мониторинг технического состояния и современные методы обследования гидротехнических сооружений мелиоративного назначения» ФГБНУ «РосНИИПМ» (г. Новочеркасск 24.12.2010 г.), «Техническое состояние и уровень безопасности мелиоративных каналов и гидротехнических сооружений» ФГБНУ «РосНИИПМ» (г. Новочеркасск 21.10.2011 г.), 94-й конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВПО ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова (г. Новочеркасск, 28.05.2012 г.), Международной научно-практической конференции «Проблемы комплексного обустройства техноприродных систем» ФГБОУ ВПО МГУП (г. Москва 16-18 апреля 2013 г.), «Эксплуатационная надежность и безопасность каналов и гидротехнических сооружений» ФГБНУ «РосНИИПМ» (г. Новочеркасск 17.05.2013 г.).

Публикации. По основным результатам работы опубликовано 8 печатных работ, из них 4 в рецензируемых журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка использованных источников (136 наименований) и приложений. Общий объем диссертационной работы 144 страницы печатного текста, включая 39 рисунков и 26 таблиц.

# 1 СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗ КАНАЛОВ НА УСЛОВИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

## 1.1 Понятия безопасности и риска аварии гидротехнических сооружений

Под безопасностью гидротехнических сооружений (ГТС) понимают свойство гидротехнических сооружений, позволяющее обеспечивать защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов [77].

К характеристикам безопасности гидротехнических сооружений относятся критерии безопасности гидротехнического сооружения, показатели состояния гидротехнического сооружения и окружающей среды, характеризующие пределы и уровень его безопасности [100].

Под критериями безопасности гидротехнического сооружения понимают предельные значения количественных и качественных показателей состояния гидротехнического сооружения и условий его эксплуатации, соответствующие допустимому уровню риска аварии гидротехнического сооружения и утвержденные в установленном порядке федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственный надзор за безопасностью гидротехнических сооружений [77].

Риском аварии на гидротехническом сооружении называют показатели вероятностей возникновения аварий и их ожидаемых последствий для жизни и здоровья людей, собственности и окружающей среды.

Оценка риска аварий на гидротехническом сооружении это исследование условий возникновения аварий на гидротехническом сооружении, включающее: идентификацию опасностей возможных их источников, а также исследование возможных аварий и механизмов их возникновения и развития на основе моделирования различных сценариев аварий [100]. При этом допустимым уровнем риска аварии считается значение риска аварии гидротехнического сооружения, установленное нормативными документами [77].



## **1.2 Сценарии аварийных ситуаций и основные факторы, влияющие на возникновение отказов и аварий на крупных каналах**

Гидротехническое сооружение в виде искусственного русла правильной формы, предназначенное для транспортирования воды в различных целях (орошения, осушения, обводнения, гидроэнергетики, судоходства, лесосплава и т. д.), называется каналом [84].

Классификация каналов в наиболее полном виде дана А. А. Королевым [52] и А. А. Угинчусом [107]. Кроме того, расширенная классификация каналов приведена в ряде работ Н. П. Розанова [25], Ю. А. Ибад-Заде [39, 40], В. С. Лапшенкова [63], Е. К. Рабковой [88, 89], Ю. М. Косиченко [56] и др. [49].

Каналы бывают открытые, когда устраиваются в грунте в выемке, насыпи или полувыемке-полунасыпи, и закрытые, когда используются трубопроводы. Трубопроводы могут быть уложены на поверхность земли, а также расположены в выемке и засыпаны грунтом.

По назначению каналы подразделяют на следующие виды:

- оросительные,
- осушительные;
- обводнительные;
- энергетические;
- судоходные;
- подводящие или отводящие;
- лесосплавные;
- водопроводные;
- рыбоходные;
- водосбросные;
- комплексные.

По способу подачи воды каналы подразделяют на самотечные и машинные, в которых вода из источника поступает в канал с помощью насосных станций.

По топографическим условиям трассирования каналы проходят в выемке, насыпи, полувыемке-полунасыпи.

По роду материала, из которого выполнены дно и откосы открытых каналов и стенки закрытых каналов, каналы подразделяют на:

- земляные;
- фашинно-хворостяные;
- деревянные;
- каменные;
- бетонные;
- железобетонные;
- металлические.

По форме поперечного сечения каналы бывают полигональные, прямоугольные, трапецеидальные, параболические, ложбинообразные. На стадии проектирования каналов форма поперечного сечения выбирается в зависимости от инженерно-геологических условий, положения уровня грунтовых вод, а также требуемых размеров канала.

В зависимости от характеров уклона дна каналы могут быть с прямым уклоном, с обратным уклоном и с горизонтальным дном.

Необлицованные каналы это каналы, которые не имеют защитных одежд и проходят в земляных руслах.

Облицованные каналы это каналы, которые имеют защитные одежды. Применение облицовок уменьшает фильтрационные потери воды из канала, исключает размывы русла канала от воздействия ветровых волн. Каналы с защитными противофильтрационными покрытиями имеют более высокий КПД и отличаются большей пропускной способностью, так как защитные покрытия, обеспечивают меньшие гидравлические сопротивления [31].

По результатам проведенных исследований [2, 3, 36, 43, 53, 58, 70, 71] установлено, что основными факторами, влияющими на возникновение отказов и аварий на крупных каналах являются:

- значительная фильтрация через дамбы каналов (появление свободных ходов фильтрации, продольных трещин в дамбах, суффозии или выпора);
- оползание откосов дамб каналов;
- перелив через гребень дамбы;

- подъем уровня грунтовых вод, подтопление и заболачивание прилегающих к каналу территорий, засоление орошаемых земель;
- подмывы бортов каналов течением и действием ветровых волн;
- зарастание русла канала водной и древесной растительностью, ведущее к снижению пропускной способности;
- скорость течения, которая может быть выше допустимой и приводит к размыву русла, или ниже незаилающей – и приводит к отложению наносов;
- несвоевременный уход и ремонт за земляными руслами каналов.

Наибольшую угрозу для нормальной эксплуатации крупных каналов создают деформации вызванные развитием фильтрационных процессов, при которых происходят суффозионные процессы в теле дамб каналов и в их основании, а также оползни и опасные деформации русла канала при размывах. Таким образом, можно выделить основные сценарии развития аварийных ситуаций на каналах, разделив их на два уровня (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Сценарии аварийных ситуаций на каналах

На первом уровне можно выделить три группы сценариев, основанных на воздействии гидравлических, фильтрационных и оползневых процессов. На втором уровне – конкретные сценарии разрушения каналов, относящихся к трем выделенным группам [129, 133].

### **1.3 Опыт эксплуатации крупных каналов**

Начиная с 1930 г. до 1950-60-х годов XX века в России и за рубежом было распространено строительство крупных каналов в земляном русле. Исследования, проведенные на ряде крупных каналов, показывают, что в процессе их эксплуатации на протяжении 30-50 лет наблюдаются различные негативные процессы, связанные с интенсивным зарастанием и заилением их русла водной растительностью, значительной фильтрацией, подъемом уровня грунтовых вод, подтоплением и засолением прилегающих к каналам территорий, размывами, оползанием и обрушением откосов, подмывами берегов.

Наиболее густо крупные магистральные каналы расположены на юге России, где имеется дефицит водных ресурсов и необходимо их рациональное использование с целью улучшения водообеспечения населения, промышленности и сельского хозяйства (таблица 1.1) [86].

На юге страны наибольшие площади орошаемых земель находятся в Краснодарском, Ставропольском краях, Республике Дагестан, а также в Ростовской и Астраханской областях. На территории Северо-Кавказского и Южного федеральных округов расположено 98,9 тыс. км оросительной сети, что составляет 53 % от всей оросительной сети, находящейся на территории Российской Федерации. Протяженность оросительной сети в Краснодарском крае составляет 23,7 тыс. км, в Ставропольском крае, Астраханской и Ростовской областях – около 11,3-11,5 тыс. км.

Сводные данные по магистральным каналам Краснодарского и Ставропольского краев, Ростовской и Астраханской областей и их техническому состоянию приведены в приложении А.

Таблица 1.1 – Сводные данные по крупным магистральным каналам юга России, находящихся в ведении Минсельхоза России

Наименование канала	Год ввода в эксплуатацию	Длина, км	Пропускная способность, м <sup>3</sup> /с	Отрасли использования
Большой Ставропольский	1970/1983 <sup>1</sup>	288/480 <sup>2</sup>	180	О,В,Э,Р
Донской МК	1952	120	250	О,СХВ,Р
Терско-Кумский	1961	146	100	О,В
Невиномысский МК	1948	48	75	О,Э,В
Кумо-Манычский	1964	96	60	П,О
Право-Егорлыкский	1953	123	45	О,В,П
Верхне-Сальский МК	1975	98,90	30	О
Нижне-Донской МК	1953	73,9	25,6	О
Пролетарский МК	1960	83,4	54	О
Багаевский МК	1954	36,45	30	О
Азовский МК	1953	84,95	20	О
МК Кубанской оросительной системы	1940	113	80	О
Канал им. Октябрьской революции (КОР)	1971	91,50	50	О
Старотеречный	1930	68	50	О
Примечания: <sup>1</sup> – числитель – год ввода БСК-1; знаменатель – год ввода БСК-3; <sup>2</sup> – числитель – длина построенного участка; знаменатель – длина по проекту. Обозначения: О – орошение; В – водоснабжение; Э- энергетика; Р – рыбное хозяйство.				

Для орошения, водоснабжения населенных пунктов и пополнения водных ресурсов р. Егорлык в 1948 г. был построен Невинномысский канал.

Исследования, проводимые персоналом эксплуатирующей организации, позволили выявить характерные деформации после длительного срока эксплуатации канала. К ним относятся: оползание вовнутрь мокрых откосов, подмывы берегов, зарастание канала водной растительностью, заиление выпуклых участков. Похожие деформации наблюдались на Терско-Кумском магистральном канале, который берет начало на р. Терек. Однако помимо прочего проводимые исследования выявили подтопление фильтрационными водами полосы отчуждения канала и прилегающих сельскохозяйственных угодий в некоторых местах [58].

Для обводнения и орошения центральных и северо-восточных районов Ставрополья во второй половине XX века построено четыре очереди Большого Ставропольского канала (БСК).

Водохозяйственная система БСК является одной из крупнейших в России, включает магистральный канал, межхозяйственные распределители, 8 регулирую-

щих водохранилищ, в том числе очень крупное Кубанское водохранилище площадью зеркала 50,2 км<sup>2</sup> и полным объемом 620 млн. м<sup>3</sup>, каскад из четырех ГЭС общей мощностью 384 тыс. кВт, групповые водопроводы общей длиной 627 км. Система используется для орошения 54 тыс. га, обводнения – 700 тыс. га, хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения гг. Усть-Джегуты, Черкесска, городов – курортов Кавказских Минеральных вод, Невинномысской ГРЭС, Буденовского завода пластмасс и для выработки электроэнергии на ГЭС.

Обследования канала выявили основные деформации на Головном участке БСК – 1 [36]. На неукрепленных откосах правого берега в результате ливневой деятельности образовались промоины (щели) шириной 0,2-0,4 м и глубиной 0,3-0,5 м, на вогнутом левом откосе на 40,5 км обнаружена крупная оползневая подвижка (срыв), на противоположном правом берегу – такой же по величине срыв (подвижка) с отвалившимся, но еще не размытым грунтом. Подсечки наблюдались на 22,5 км, основной причиной образования которых являлись ветровые волны.

При первоначальной замочке первой очереди Большого Ставропольского канала (БСК-1) на первых 8 км после начала замачивания на внешних откосах появились выходы фильтрационных вод [36], что свидетельствовало о наличии в дамбе канала или в его основании свободных ходов фильтрации, кроме того, неоднократно возникала угроза прорыва высоких однобортных дамб канала, вызванная карстово-суффозионными процессами с наличием воронок, отверстий и просадок на откосах канала [10, 118].

В настоящее время все каналы оросительной системы БСК имеют удовлетворительное техническое состояние, а их КПД находится в пределах 0,80-0,90.

Правоегорлыкский канал (ПЕК) с расходом 45,0 м<sup>3</sup>/с и длиной 127 км, проходящий по сильно пересеченной местности и является составной частью Правоегорлыкской обводнительно-оросительной системы. Система вступила в эксплуатацию в 1960 г. Она охватывает северо-восточную часть Ставропольского края, два района Ростовской области и западные районы Калмыкии.

Для перехода балок и речек на канале впервые в практике иригационного строительства на Северном Кавказе были использованы высокие (до 25-35 м) земля-

ные насыпи и уникальные дюкера. В процессе эксплуатации на канале наблюдались деформации русла связанные с размывами откосов и отложением наносов в виде кос.

Все магистральные каналы Право-Егорлыкской обводнительно-оросительной системы в настоящее время характеризуются удовлетворительным техническим состоянием и КПД равным 0,75.

Донской магистральный канал (ДМК) введен в эксплуатацию в 1952 г. с головным расходом  $160 \text{ м}^3/\text{с}$ , частично расширен в 1975 г. Канал используется комплексно для оросительно-обводнительных целей, подпитки р. Сал и переброски стока в бассейн р. Западный Маныч. Проведенные ФГБОУ ВПО НГМА натурные исследования на ПК 408 и ПК 107 позволили выявить, что после 20-летней эксплуатации русло канала подвергалось интенсивным обрушениям и оползням, при этом нередко возникала угроза перелива воды через гребень дамбы с образованием прорана [3, 58].

Продолжением ДМК является Пролетарский магистральный канал (ПМК), введенный в эксплуатацию в 1960 году, протяженностью 83,4 км и расходом в голове  $54 \text{ м}^3/\text{с}$ . Канал проложен в земляном русле полигонального поперечного сечения. На канале имеется 55 гидротехнических сооружений. В результате проведенных обследований были выявлены следующие дефекты магистрального канала:

- зарастание русла канал водной растительностью;
- размывы и интенсивное заиливание канала;
- деформация поперечного сечения;
- фильтрационные процессы, связанные с наличием карстовых пород.

В целом, техническое состояние каналов Ростовской области можно охарактеризовать как удовлетворительное, а на некоторых участках Нижне-Донского и Азовского магистральных каналов как неудовлетворительное. Верхне-Сальский и Большовский магистральные каналы имеют также неудовлетворительное техническое состояние, что связано со значительными деформациями их русел и большими потерями на фильтрацию, что обуславливает снижение КПД до 0,70-0,73 и ниже на 15 % проектных значений.

Аварии, связанные с переливом воды через бровки канала, наблюдались в Армении на Малом Октеберянском магистральном канале [106].

Размывами откосов и отложения наносов, оползневые явления, в виде внезапного перекрытия русла канала оползнем наблюдались также на Саратовском канале и на канале Иртыш-Караганда [3, 96].

В целом, на основе анализа эксплуатации крупных каналов Юга России, установлены основные виды деформаций, в результате воздействия которых могут возникать аварийные ситуации, отказы в работе каналов и ухудшение их технического состояния и срока службы.

Представленная на рисунке 1.1 схема возможных сценариев аварийных ситуаций на каналах основана на опыте эксплуатации крупных каналов России, аварии и деформации на которых систематизированы в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Аварии и деформации на каналах России и зарубежья

№ п/п	Канал, ОС	Аварии	Деформации	Источник информации
1	2	3	4	5
1	Азовский МК	-	- интенсивное заиливание и зарастание водной растительностью;	[58]
2	БСК	- аварии, вызванные переливом воды через бровки канала на косячных участках; - угроза прорыва дамбы, вызванная карсто-суффозионными процессами;	- выход фильтрационного потока на низовой откос, образование подсечек и размывов; - деформации ложа канала; - интенсивные обрушения и оползни в русле канала;	[10, 36]
3	Донской МК	-	- значительное оползание откосов на двух участках; - интенсивное зарастание русла канала в береговой зоне;	[58]
4	Невинномысский канал	-	- размыв откосов и отложение наносов в виде кос; - зарастание русла канала растительностью; - оползневые процессы; - подсечки бортов канала;	[58]



Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5
5	Право-Егорлыкский канал	-	- размыв откосов и отложение наносов;	[45]
6	Пролетарский МК	-	- фильтрационные процессы, связанные с наличием карстовых пород; - интенсивное зарастание водной растительностью; - размывы и заиление канала; - деформации поперечного профиля канала;	-
7	Терско-Кумский канал		- выход фильтрационного потока на приканальную территорию; - размывы вогнутых и заиление выпуклых берегов канала; - заиление начального участка канала; - зарастание сорной растительностью;	[58]
8	Канал Иртыш-Караганда	-	- размыв откосов и отложение наносов в виде кос - интенсивные обрушения и оползни в русле канала	[3]
9	Каракумский канал	-	- переработка берегов, связанная с воздействием судовых и ветровых волн - зарастание сечения канала водорослями	[3]
10	МК Кубанской оросительной системы	-	- деформации откосов в результате воздействия ветровых волн;	[3]
11	Малый Октебрюнский МК	- перелив воды через бровки канала;	-	[106]
12	Северо-Крымский канал	- прорывы дамб;	- интенсивная фильтрация, образование продольных и поперечных просадок и трещин; - оползание откосов, связанное с их оттаиванием; - запотевание внешних откосов;	[3]
13	Самгорская ОС	- угроза прорыва дамбы, вызванная карсто-суффозионными процессами;	-	[106]
14	Саратовский канал	-	- деформации откосов канала, из-за влияния ветровых волн;	[3]
15	Нижне-Донской МК	-	- зарастание русла канала водной растительностью;	[58]

На основе опыта эксплуатации крупных магистральных каналов можно заключить, что влияние именно фильтрационных факторов приводит грунтовые русла каналов к нежелательным изменениям и деформациям, в результате которых возможно ухудшение условий их эксплуатации и возникновение аварийных ситуаций.

#### **1.4 Обзор существующих работ в области оценки безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений**

В настоящее время средний возраст гидротехнических сооружений в России составляет 40-50 и более лет, в связи с этим многие гидротехнические сооружения, в том числе и каналы, требуют ремонта и модернизации.

Вопросы безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений рассматривались в работах В. С. Алтунина [3, 4], К. Н. Анахаева [4, 5, 6], В. А. Белова [14], Е. Н. Белендира [13], В. А. Волосухина [22, 23], В. Н. Жиленкова [32, 33], И. Н. Иващенко [37], А. В. Ищенко [42, 43], Г. М. Каганова [45-48], Ю. М. Косиченко [24, 53-61, 119-121], Ц. Е. Мирцхулавы [70, 71], Н. Н. Павловского [79, 80], А. М. Прудовского [87], В. П. Недриги [25], Н. Н. Розанова [62, 90], Н. С. Розанова [91], И. С. Румянцева [94], С. В. Сольского [98, 99], Д. В. Стефанишина [104, 105], О. М. Финагенова [109, 110], Р. Р. Чугаева [117] и других [95, 97, 118]. Из зарубежных исследователей этим направлением занимались: Fell R. [123], Harford D. [124], Allen Hugh [122], Laffite R. [125], Musket M. [126, 127].

Главными причинами аварий на ГТС, являются потеря прочности, устойчивости, осадки, воздействие фильтрационных вод, суффозия, кольматаж и т. д. [91]. Анализ опыта эксплуатации крупных каналов показывает, что аварийные ситуации, связанные с разрушениями их дамб могут наступить по тем же причинам, что и разрушения плотин, т. к. дамбы каналов представляют собой такой же напорный фронт, как и плотины водохранилищ. За долгие годы эксплуатации техническое состояние каналов и сооружений на них значительно ухудшилось, что может привести к увеличению вероятности аварий на них, поэтому необходимо получение обосно-

ванных критериев безопасности таких объектов с учетом последствий возможных аварий, а также разработка новых методик по предупреждению и оценке риска возникновения аварийных ситуаций на каналах, с учетом всех особенностей режима работы именно этих сооружений.

При аварии на грунтовом сооружении наиболее серьезным ее последствием является возникновение прорана и затопление прилегающей территории, что может привести к большим экономическим потерям, а также к социальным и экологическим последствиям. В 1997 году вступил в силу закон «О безопасности гидротехнических сооружений», в соответствии с которым все собственники гидротехнических сооружений, представляющих опасность для населения и народного хозяйства, должны предоставить декларации безопасности с прогнозом развития и расчетами вероятного вреда при возникновении аварии на сооружениях [77].

Комитетом по разрушениям и авариям плотин было отмечено, что при их эксплуатации наибольшим разрушениям подвергаются плотины и дамбы из грунтовых материалов (до 77 %), причем большая часть аварий происходила на плотинах высотой до 30 м [118].

Главными причинами этих повреждений и разрушений являются:

- переливы воды через бровки дамбы;
- неблагоприятные воздействия фильтрационных потоков, при которых происходят суффозионные процессы в теле дамб и их основаниях.

При этом доля влияния фильтрационных факторов на развитие повреждений грунтовых плотин составляет около 30%.

По экспертным оценкам отечественных специалистов, аварийность ГТС в России в 2,5 раза превышает среднемировые показатели. Установлено, что основными причинами аварий являются дефекты при строительстве и ошибки при проектировании, а также неудовлетворительное техническое состояние сооружений. В связи с этим в нормативных документах повышены требования к безопасности ГТС. За рубежом некоторые аспекты проектирования ГТС с учетом риска аварий рассмотрены в «Еврокоде 7» [128].

В настоящее время для оценки риска аварий гидротехнических сооружений

существует несколько методик: Fell R. [123], В.С. Кузнецова, Д. В. Стефанишина [104, 105], А. Н. Фролова, Л. А. Золотова, И. Н. Иващенко [37] и Д. Б. Радкевича, ГНЦ ПФ НИИ ВОДГЕО [68], ОАО «НИИЭС» [67], ФГУП «РосНИИВХ», ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева [69], ФГБОУ ВПО МГУП [45, 47-48] и др.

Методика анализа риска аварий гидротехнических сооружений ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева [69] устанавливает методические основы анализа риска, необходимые для этого термины и определения, а также, определяет требования к оформлению результатов, кроме того, данная методика применима к анализу риска аварий гидротехнических сооружений различных типов и классов.

В Методике [69] главной задачей анализа риска аварий гидротехнических сооружений является использование всей имеющейся информации о сооружениях для оценки риска для отдельных людей, групп населения, окружающей среды и имущества и от опасностей, которые возникают после аварий на гидротехнических сооружениях.

Анализ риска аварий гидротехнических сооружений выполняется в следующем порядке:

1. Планирование и организация работ.
2. Идентификация опасностей.
3. Расчет и оценка риска, определение его значимости.
4. При необходимости разработка рекомендаций по уменьшению риска.
5. Оформление результатов анализа риска аварии.

Для идентификации опасностей для каждого сооружения проводят предварительный анализ опасностей, разработку сценариев возможных негативных процессов, в результате которых возможны аварии на гидротехнических сооружениях, а также формирование перечня основных сценариев возникновения различных чрезвычайных ситуаций их ранжирование по уровню опасности для персонала гидротехнических сооружений, населения, окружающей среды и имущества.

На этапе расчета и оценки риска аварии ГТС, определенные опасности должны быть уточнены для каждого сооружения с точки зрения его типа, класса и

назначения.

Результаты по оценке риска аварии ГТС выражаются качественно или количественно, в связи с отсутствием нормативных документов или методик для анализа риска аварий и значений критериев приемлемого риска, а также из-за различных особенностей каждого гидротехнического сооружения.

Методика по оценке риска аварий гидротехнических сооружений [68], разработанная в НИИ ВОДГЕО под научным руководством Н. Н. Розанова и Н. П. Куранова, позволяет на основе экспертного анализа оценить степень опасности и уязвимости ГТС, включая возможный ущерб при возникновении аварии [62, 90].

В данной методике оценка опасности аварии ГТС проводится по четырем группам показателей, к которым относятся:

- превышение принятых природных воздействий и нагрузок, принятых при расчетах элементов сооружения;
- полное соответствие конструкции гидротехнического сооружения, свойств его материалов и условий его эксплуатации проекту;
- соответствие принятых проектных решений, действующим нормативным требованиям;
- вероятные последствия и ущерб при возникновении аварии на гидротехническом сооружении.

Степень опасности аварии на гидротехническом сооружении по каждому из показателей находится на основании экспертных оценок и определяется отдельно на том или ином уровне, каждому из которых присвоен свой код. Интегральная количественная оценка опасности напорного фронта гидротехнического сооружения определяется коэффициентом опасности  $\lambda$ , который является вероятностью возникновения наиболее неблагоприятной аварийной ситуации на сооружении.

Степень уязвимости ГТС также оценивается на основании экспертных оценок и определяется восприимчивостью сооружений к воздействию факторов опасности. К показателям уязвимости ГТС относятся:

- техническое состояние сооружения по результатам визуальных и инструментальных обследований);
- состояние окружающей среды в зоне влияния гидротехнического сооружения;
- соблюдение норм безопасной работы сооружения и организация его эксплуатации;
- готовность гидротехнического сооружения к локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Интегральная оценка уязвимости ГТС определяется коэффициентом уязвимости  $v_y$ .

В целом, количественно степень риска аварии гидротехнического сооружения определяется коэффициентом риска аварии, который находится по формуле:

$$R_a = \lambda \cdot v_y, \quad (1.1)$$

где  $v_y$  – коэффициент уязвимости аварии ГТС;

$\lambda$  – коэффициент опасности аварии.

Данная методика является достаточно простой и удобной в применении и позволяет учесть индивидуальный, социальный, экономический и экологический ущерб, кроме того может применяться при составлении деклараций безопасности гидротехнических сооружений.

Упрощенная методика расчета параметров волны прорыва грунтовых плотин низконапорных гидроузлов разработана ФГОУ «ВПО «МГУП» и имеет целью оперативно и с приемлемой точностью получать параметры волны прорыва и в первую очередь максимальную глубину затопления в нижнем бьефе [47]. Полученная, в результате использования основных принципов метода планирования эксперимента, эмпирическая зависимость имеет вид:

$$h_{\max} = 2,51 \frac{H_0^{0,98} \cdot n_0^{0,02} \cdot Q_0^{0,05}}{W_{\text{вод}}^{0,05} \cdot x^{0,33}}, \quad (1.2)$$

где  $W_{\text{вод}}$  – объем водохранилища до начала аварии;

$H_0$  – глубина у плотины до начала аварии;

$n_0$  – шероховатость русла верхнего бьефа;

$Q_0$  – расход воды в нижнем бьефе гидроузла до начала аварии;

$x$  – расстояние от створа плотины до створа наблюдения.

Приведенная методика имеет целью оперативно и с приемлемой точностью получать параметры волны прорыва и в первую очередь максимальную глубину затопления в нижнем бьефе.

Однако указанная методика применима лишь к низконапорным гидроузлам водохранилищ при отсутствии подпора нижерасположенных ГТС.

Методика оценки риска аварийных ситуаций на водохранилищах малого объема разработана ФГУП «РосНИИВХ» и главной причиной крупных аварий на плотинах всех типов называет перелив через гребень с образованием прорана, являющийся следствием как природных, так и техногенных воздействий.

Значение риска перелива через гребень за счет высокого паводка:

$$\lambda_{1.1} = \frac{P\%}{100 \cdot K_{1.1}^{\text{гар}}}, \quad (1.3)$$

где  $P\%$  – расчетная обеспеченность, %;

$K_{1.1}^{\text{гар}}$  – гарантированный коэффициент надежности плотины.

Гарантированный коэффициент надежности плотины по защите ее от перелива через гребень при пропуске паводка  $K_{1.1}^{\text{гар}}$  с учетом погрешностей [38]:

$$K_{1.1}^{\text{гар}} = \frac{Q_{\text{сум}} - m_{Q_{\text{сум}}}}{Q_{\text{max, p\%}} - m_{Q_{\text{p\%}}}} = \frac{Q_{\text{сум}}^{\text{гар}}}{Q_{\text{max, p\%}}^{\text{гар}}}; \quad \left. \begin{array}{l} m_{Q_{\text{p\%}}} = t_{\alpha} \cdot \sigma_Q \\ \text{или} \\ m_{Q_{\text{p\%}}} = \frac{\sigma_{\alpha} \cdot t_{\alpha}}{r - \sigma_2 \cdot t_{\alpha}} \end{array} \right\}, \quad (1.4)$$

где  $m_{Q_{\text{сум}}}$  – суммарное максимальное отклонение расхода водопропусков от проектного значения при превышении ФПУ в водохранилище (неполное раскрытие затворов, подпор в нижнем бьефе, проектные просчеты и т.п.).

Указанная методика оценивает только риск перелива через гребень плотины, что недостаточно для обеспечения безопасной работы сооружения.

Основополагающими исследованиями в области надежности и безопасности работы каналов, являются исследования Ц. Е. Мирцхулавы, который учел множество факторов, влияющих на надежность работы канала и представил их в виде многопараметрической функции [71]:

$$\omega(\tau) = f[\omega_{\Gamma}(\tau), \omega_{\text{рз}}(\tau), \omega_{\text{кн}}(\tau), \omega_{\text{гр}}(\tau), \omega_{\text{кл}}(\tau), \omega_{\text{э}}(\tau), \omega_{\text{н}}(\tau)], \quad (1.5)$$

где  $\omega_{\Gamma}(\tau)$  – обобщенный параметр гидравлических условий канала;

$\omega_{\text{рз}}(\tau)$  – обобщенный параметр условий заиления и размыва;

$\omega_{\text{кн}}(\tau)$  – обобщенный параметр конструктивной надежности;

$\omega_{\text{гр}}(\tau)$  – обобщенный параметр геологических и геотехнических условий;

$\omega_{\text{кл}}(\tau)$  – обобщенный параметр климатических условий;

$\omega_{\text{э}}(\tau)$  – обобщенный параметр условий эксплуатации канала;

$\omega_{\text{н}}(\tau)$  – обобщенный параметр неучтенных факторов.

Любой из перечисленных обобщенных параметров может быть разделен на отдельные параметры, характеризующие конструктивную надежность работы канала.

Наиболее часто дамбы каналов разрушаются при переливе воды через гребень с образованием прорана или при развитии фильтрационных и просадочных процессов.

Часто прорывы дамб каналов происходят на участках в насыпи, при прохождении канала через долины, ложбины и понижения рельефа, а также на косогорных участках со стороны низовой дамбы. В условиях косогорного рельефа, широко развитого в предгорных зонах нашей страны, просадочные и другие инженерно-геологические процессы и явления имеют свои специфические особенности, об этом говорит практика строительства каналов в Средней Азии, Кавказе, Предкавказье и других районах [27].

Для расчета параметров прорана в настоящее время имеется множество различных методов. При этом определяется объем выносимого грунта, ширина прорана, время образования прорана, максимальный расход воды через проран. Однако, несмотря на необходимость точного прогнозирования возникновения и раз-



вития прорана в грунтовых плотинах, надежные методы его расчета в настоящее время отсутствуют. Ранее предложенные модели развития прорана состоят из зависимости для определения его пропускной способности, зависимости интенсивности выноса грунта из тела плотины от гидравлических и геометрических параметров.

Представленные в научной литературе зависимости для интегральных характеристик проранов основаны на статистической обработке сведений о случившихся прорывах дамб. Ряд исследователей ставят эти характеристики в зависимости от «фактора формирования прорана» – комплекса,  $W_{\text{изл}} \cdot h_0$ , где  $W_{\text{изл}}$  – объем излившейся воды,  $h_0$  – начальный перепад уровней воды.

Выполненная Пономарчук К. Р. [83] статистическая обработка данных привела к следующим зависимостям:

$$Q_{\text{max}} = 1,29 \cdot (W_{\text{изл}} \cdot h_0)^{0,43}, \quad (1.6)$$

$$W_{\text{вын}} = 0,05 \cdot (W_{\text{изл}} \cdot h_0)^{0,72}, \quad (1.7)$$

$$T_{\text{max}} = 6,8 \cdot (W_{\text{изл}} \cdot h_0)^{0,36}, \quad (1.8)$$

где  $Q_{\text{max}}$  – максимальный расход в процессе излива, м<sup>3</sup>/с;

$W_{\text{вын}}$  – суммарный объем вынесенного грунта, м<sup>3</sup>;

$T_{\text{max}}$  – полное время развития прорана, с.

К недостаткам предложенных расчетов относится то, что представленные интегральные зависимости не дают представления о механизме формирования проранов во времени.

Математическая модель, предложенная А. М. Прудовским, основана на анализе систематического экспериментального исследования. Эмпирическая зависимость, полученная при относительно небольшом диапазоне изменения величины  $h_t$ , имеет следующий вид:

$$\left( \frac{dB_{\text{пр}}}{dt} \right)_t \cong \frac{A \cdot \sqrt{g}}{w_{\text{уд}}} \cdot h_t^{5/2}, \quad (1.9)$$

где  $A \cong 0,02$ ;

$t$  – текущее время образования прорана, с;

$w_{уд}$  – площадь поперечного сечения дамбы между ее гребнем и дном прорана, м<sup>2</sup>;

$h_t$  – разность между уровне воды в верхнем бьефе и отметкой дна прорана, м.

Тот факт, что данная зависимость получена для весьма ограниченного диапазона изменения факторов, требует ее уточнения.

Проблемой фильтрации воды занимались такие известные отечественные ученые как профессор Н. Е. Жуковский, академик Н. Н. Павловский, Н. Н. Веригин [19], С. Ф. Аверьянов [1], П. Я. Полубаринова-Кочина [81] и другие [74, 75], но наиболее точное теоретическое решение для случая фильтрации из канала дал профессор В. В. Ведерников [16-18], который получил общеизвестную зависимость для фильтрационного расхода, приходящегося на 1 погонный метр канала трапецеидального сечения:

$$q = k \left( B + 2h \frac{K}{K_1} \right), \quad (1.10)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации грунта, в котором проходит канал, м/с;

$B$  – ширина канала поверху, м;

$h$  – глубина наполнения канала, м;

$K$  и  $K_1$  – эллиптические интегралы первого рода.

Однако в формуле (1.10) значения величин  $2 \frac{K}{K_1}$  необходимо определять из графиков и таблиц, в зависимости от значения отношения  $\frac{B}{h}$ , для трех коэффициентов заложения откосов  $m=1$ ,  $m=1,5$ ,  $m=2$ , что достаточно проблематично, кроме того большинство крупных магистральных каналов имеют полигональное поперечное сечение, где коэффициент заложения откосов меняется по всей глубине и не всегда принимает заданные значения.

Вопросами свободной фильтрации, а также фильтрацией через земляные плотины занимались К. Н. Анахаев, Б. Х. Амшоков, Ж. Х. Шогенова [4, 5], кото-

рые предложили методику фильтрационного расчета земляных плотин на проницаемом основании разной мощности.

$$\frac{q}{k} = \frac{H^2}{2L_1} + \frac{H \cdot T_2}{L_1 + 0,44T_2}, \quad (1.11)$$

где  $\frac{q}{k}$  – фильтрационный расход через земляную плотину на проницаемом основании разной мощности;

$k$  – коэффициент фильтрации грунтов тела и основания плотины;

$H$  – действующий напор;

$L_1$  – ширина плотины от верховой грани эквивалентного прямоугольника в верхнем бьефе до дренажа.

Из выше изложенного следует, что большинство исследователей занимались разработкой математических моделей развития прорана и влияния фильтрационных факторов на основе статистических и экспериментальных данных. При этом часть исследований касалась плотин низконапорных гидроузлов малых водохранилищ и дамб золошлакоотвалов. Следует отметить что, в настоящее время вследствие длительного срока эксплуатации многих магистральных каналов (30-50 лет) необходимо обоснование влияния фильтрационных факторов на безопасность эксплуатации каналов, особенно на потенциально опасных участках в насыпи и на косогорах, для чего требуется разработка методики расчета риска аварий на таких участках вследствие фильтрационных деформаций.

### **1.5 Направления дальнейших исследований, обоснование их цели и задач**

Проведенный анализ современного состояния исследований по оценке влияния фильтрации из каналов на условия и безопасность их эксплуатации позволил выявить основные сценарии аварийных ситуаций и факторы, влияющие на возникновение отказов и аварий на крупных магистральных каналах.

Вместе с тем, проблемы безопасности эксплуатации этих сооружений еще недостаточно решены по причине сложности изучения процессов, приводящих русла каналов к различным фильтрационным деформациям, отказам или авариям.

Поэтому целью настоящих исследований является разработка расчетно-теоретического обоснования влияния фильтрационных факторов на вероятность возникновения аварийных ситуаций на магистральных каналах, а также усовершенствованных методов расчета фильтрации и определения фильтрационной прочности грунта тела и основания дамб канала.

В соответствии со сформулированной целью основными направлениями исследований являются следующие задачи:

- выполнить теоретические обоснования по оценке наиболее опасных участков крупных каналов;
- получить теоретические зависимости для определения удельных фильтрационных расходов, действующих градиентов напоров в теле и основании дамбы канала;
- разработать методику оценки риска возникновения аварийной ситуации на наиболее опасных участках крупных каналов;
- провести расчетную оценку эффективности работы предложенной методики по сравнению с уже известными методами;
- провести натурные исследования по оценке современного технического состояния крупных каналов (на примере каналов юга России);
- разработать комплекс мероприятий направленный на предупреждение и устранение аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов;
- разработать новое устройство и способ для устранения фильтрации через тело дамб каналов, выполненных из грунтовых материалов.

### **Выводы по главе**

1. Выполнен обзор существующих работ в области безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений, в том числе В. С. Алтунина, К. Н. Анахаева,

Г. М. Каганова, Н. Н. Розанова, И. С. Румянцева, Ю. М. Косиченко, В. А. Волосухина и др.

2. Представлены основные методы оценки риска аварий гидротехнических сооружений, разработанные ГНЦ ПФ НИИ ВОДГЕО, ОАО «НИИЭС», ФГУП «РосНИИВХ», ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, ФГБОУ ВПО МГУП.

3. Проведен анализ расчетных зависимостей для определения глубины затопления, максимального расхода через проран, объема вынесенного грунта, полного времени развития прорана, ширины прорана, полученных И. А. Секисовой, К. Р. Пономарчук, А. М. Прудовским и др.

4. Представлен анализ существующих зависимостей для определения удельного фильтрационного расхода для различных условий и поперечных сечений, полученные В. В. Ведерниковым, Ц. Е. Мирцхулавой, К. Н. Анахаевым, Б. Х. Амшоковым и Ж. Х. Шогеновой.

5. На основе анализа различной научно-технической литературы автором были сформулированы основные направления дальнейших исследований по обоснованию вероятности разрушения потенциально опасных участков крупных каналов от влияния фильтрационных факторов.

## **2 РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО РАСЧЕТНОМУ ОБОСНОВАНИЮ ВЕРОЯТНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ КРУПНЫХ КАНАЛОВ ОТ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

### **2.1 Потенциально опасные участки крупных каналов**

К потенциально опасным участкам крупных каналов можно отнести участки в насыпи, на косогоре и в неустойчивых грунтах (просадочных, карстово-суффозионных), так как при эксплуатации крупных каналов на таких участках часто возникают различные негативные процессы, связанные с прорывом дамб, значительными размывами их русел, оползнями [3, 58, 70, 71]. Эти нежелательные явления приводят к нарушению безопасности работы каналов и к невозможности их дальнейшей эксплуатации.

На участках каналов в насыпи и на косогоре уровень воды в канале значительно превышает отметки прилегающей территории, в результате чего в дамбе канала могут образовываться опасные фильтрационные деформации в виде сосредоточенных ходов фильтрации, суффозии или выпора в зоне выхода фильтрационных вод на низовой откос или основание дамбы.

В качестве примеров разрушений опасных участков крупных каналов от фильтрационных воздействий можно выделить участки в насыпи первой очереди Большого Ставропольского канала (БСК-I), общей протяженностью около 5000 м [36, 58], где неоднократно наблюдались разрушения внутренних бортов канала, с образованием подсечек и размывов размером до 1,5 м, появлялись выходы фильтрационных вод на внешних откосах дамб.

На рисунках 2.1 и 2.2 приведены конструкции насыпей через р. Джегонас и р. Абразинка.

На первых 3,5 км БСК-1 проходит по косогору, где на 1,1-2,2 км в нижней однобортной дамбе (рисунок 2.3) появлялись выходы фильтрационных вод, трещины до 0,15 м, воронки до 1,3 м, что потребовало ее укрепления.

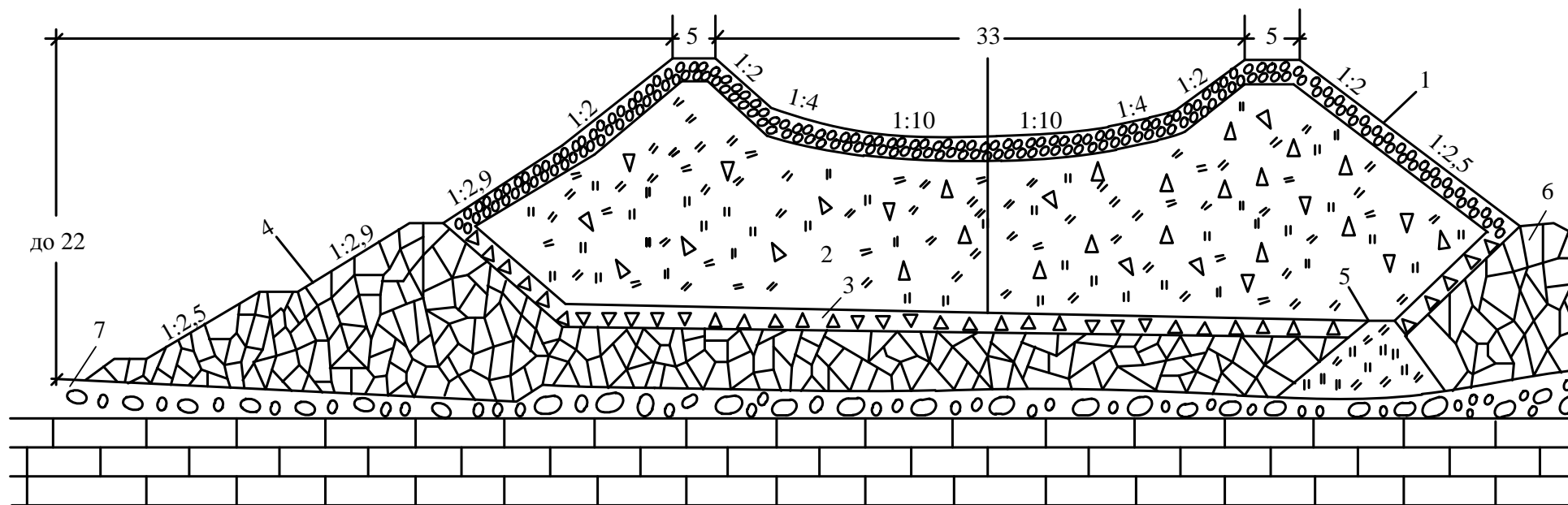


Рисунок 2.1 – Конструкция насыпи через р. Джегонас:

- 1 – защитное покрытие из гравийно-галечниковой смеси; 2 – насыпь, преимущественно из суглинков со щебенкой;
- 3 – слой из щебенки известняка (h=1 м); 4 – рваный камень (известняк); 5 – призма из суглинков и супесей;
- 6 – грубоокатанные гравийно-галечниковые отложения из осадочных пород с заполнителем из песков, супесей, суглинков; 7 – мелоподобные тонко- и толстоплитчатые известняки

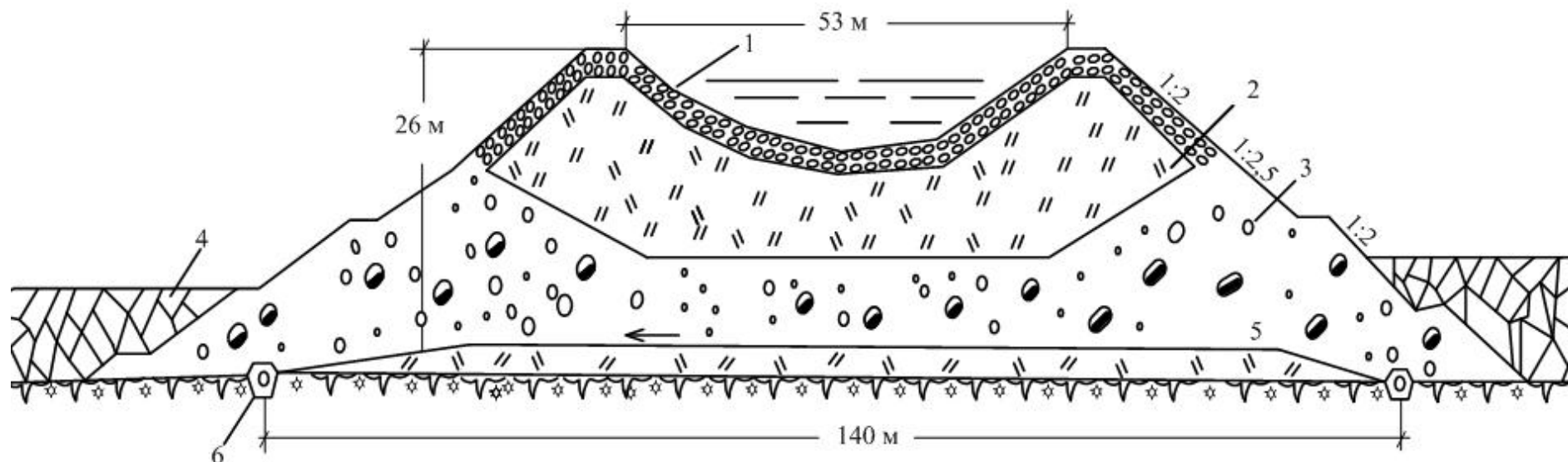


Рисунок 2.2 – Типовое сечение насыпи через р. Абазинка:

- 1 – крепление гравийно-галечниковым материалом; 2 – глина и суглинок делювиальные;
- 3 – гравийно-галечниково-песчаная смесь; 4 – пригрузочная призма из полускальных пород (аргиллит, алевролит);
- 5 – подсыпка из делювиальных глин и суглинков; 6 – дренаж



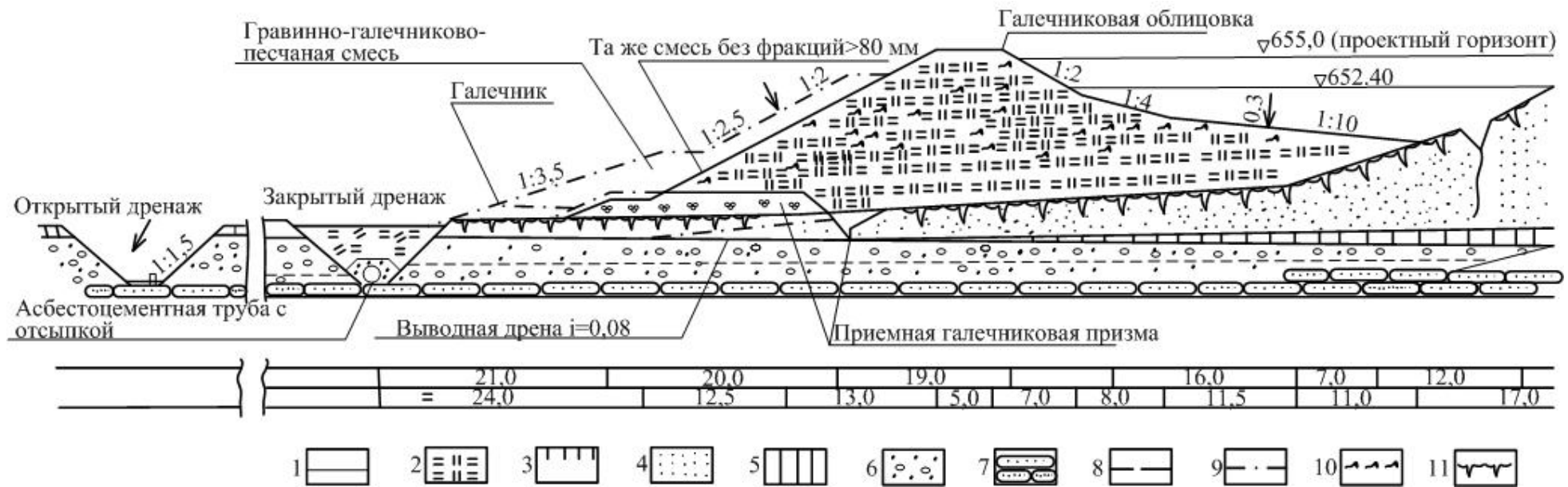


Рисунок 2.3 – Конструкция однобортной дамбы и геологический разрез по характерному поперечнику на 2 км БСК

На Право-Егорлыкском канале, который проходит через многочисленные балки, имеются участки в насыпи и на косогоре, протяженность которых приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Техническая характеристика Право-Егорлыкского магистрального канала

Наименование участков и номер пикетов	Расход в начале участка, м <sup>3</sup> /с	Размер канала				Канал проходит в				Грунты
		Длина участка, км	Ширина по дну, м	Глубина наполнения при максимальном расходе, м	Заложение откосов	Выемке, км	Насыпи, км	Полувыемке-полунасыпи, км	Косогорье, км	
ПК0-ПК100	32	10	18	3,6	1:1	0,7	2,5	6,8	-	суглинки
ПК0-ПК100	32	10	18	3,6	1:1	0,7	2,5	6,8	-	суглинки
ПК0-ПК100	32	10	18	3,6	1:1	0,7	2,5	6,8	-	суглинки
ПК100-ПК280	31,5	18	26	3,4	1:1	2,6	1,9	13,5	-	суглинки
ПК100-ПК280	31,5	18	26	3,4	1:1	2,6	1,9	13,5	-	суглинки
ПК280-ПК420	30,5	14	26	3,3	1:1	0,3	0,6	13,1	-	суглинки
ПК280-ПК420	30,5	14	26	3,3	1:1	0,3	0,6	13,1	-	суглинки
ПК420-ПК533	30,0	11,3	15	4,2	1:1	0,4	-	10,9	-	тяж. суглинки
ПК420-ПК533	30,0	11,3	15	4,2	1:1	0,4	-	10,9	-	тяж. суглинки
ПК533-ПК950	24,0	41,7	18	3,3	1:1	13,6	5,4	20,3	2,4	
ПК533-ПК950	24,0	41,7	18	3,3	1:1	13,6	5,4	20,3	2,4	кам. отм.
ПК950-ПК1100	23,5	15,0	16	3,0	1:1	10,4	1,2	13,4	-	лег. суглинки
ПК950-ПК1100	23,5	15,0	16	3,0	1:1	10,4	1,2	13,4	-	лег. суглинки
ПК1100-ПК1262	22,0	14,5	15	3,2	1:1	0,9	0,7	8,8	-	лег. суглинки
ПК1100-ПК1262	22,0	14,5	15	3,2	1:1	0,9	0,7	8,8	-	лег. суглинки
ПК1100-ПК1262	22,0	14,5	15	3,2	1:1	0,9	0,7	8,8	-	суглинки
ПК1100-ПК1262	22,0	14,5	15	3,2	1:1	0,9	0,7	8,8	-	суглинки

На канале Иртыш-Караганда на участке, проходящем по косогору, имели место оползни. Аварийные ситуации складывались на отдельных участках Северо-Крымского канала, проходящих в насыпи, где наблюдались продольные и поперечные просадки, трещины и интенсивная фильтрация через дамбы, вызвавшая их прорывы [24].

По-существу, дамбы каналов, особенно на участках в насыпи и на косогоре, представляют собой напорный фронт такой же, как и для грунтовых плотин. Поэтому каналы на этих участках необходимо считать потенциально опасными объектами и, следовательно, для них должны быть разработаны методы расчета риска возможной аварии [129-133].

В данной главе рассматриваются расчеты фильтрации для каналов в насыпи и на косогоре, и дается оценка риска их аварии вследствие фильтрационных процессов.

## **2.2 Допущения и предпосылки, принятые при расчетах фильтрации и оценке риска аварий на каналах**

При фильтрационных расчетах земляных дамб ввиду сложности учета всех факторов, влияющих на движение фильтрационного потока, принимались следующие допущения:

1) Грунт тела дамбы канала принимался однородным и изотропным, то есть когда значение коэффициента фильтрации во всех направлениях является постоянным.

2) Вся область фильтрации была разделена на область фильтрации через тело дамбы канала с коэффициентом фильтрации  $K_T$  и область фильтрации через дно и основание дамбы с коэффициентом фильтрации  $K_0$ .

3) Водоупор, во всех случаях, принимался водонепроницаемым и горизонтальным.

4) Положение депрессионной кривой в однородных дамбах каналов определяется только геометрическими размерами их профиля и не зависит от качества грунта.

5) Фильтрация рассматривается в одной плоскости и считается установившейся.

6) Дно канала принималось водопроницаемым для всех расчетных схем.

### 2.3 Расчет фильтрации через дамбу канала в насыпи и оценка риска возникновения аварийной ситуации

Механизм разрушения грунта дамбы непосредственно связан с увеличением действующего напора на участках канала в насыпи, вследствие чего повышаются градиенты напора фильтрационного потока на частицы грунта дамбы и в случае их превышения допускаемых (критических) значений происходит нарушение устойчивости сначала отдельных частиц грунта, а затем и их групп. В результате чего образуются ходы фильтрации, с постепенно перемещающимися потоком частицами грунта, обычно свойственных для несвязных (песчаных) грунтов, или с разрушением массивов грунта, что характерно для связных (глинистых) грунтов.

В связи с этим расчет фильтрации через дамбу канала и оценка вероятности ее разрушения вследствие фильтрационных воздействий представляет важную задачу при проектировании и эксплуатации каналов.

Для определения риска аварии крупного магистрального канала была рассмотрена расчетная схема для наиболее опасного участка в насыпи (рисунок 2.4) [130, 131].

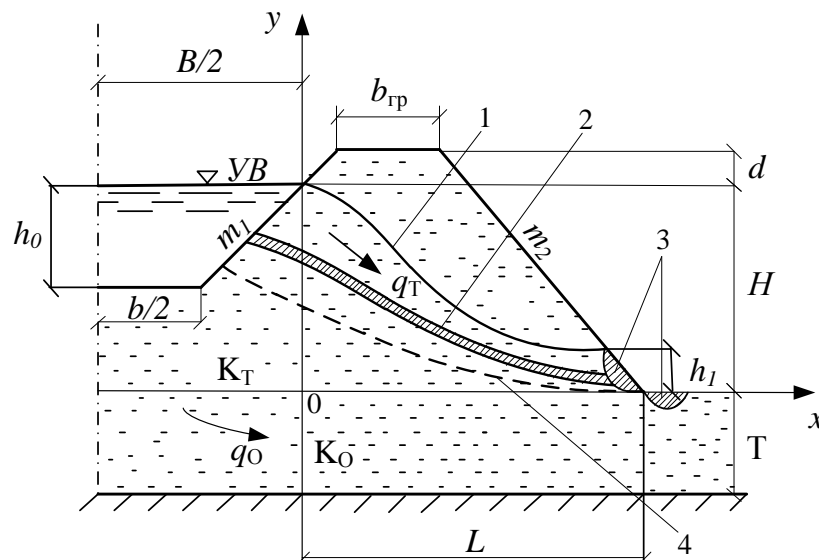


Рисунок 2.4 – Расчетная схема крупного магистрального канала в насыпи: 1 – кривая депрессии; 2 – вероятный сосредоточенный ход фильтрации в дамбе канала; 3 – вероятные зоны местных фильтрационных деформаций; 4 – линия разделения фильтрационного потока

Ввиду симметричности фильтрации из канала в расчетах учтем половину области фильтрации. Вся область фильтрации была разделена на область фильтрации через дно и основание дамбы канала с удельным фильтрационным расходом  $q_0$  и область фильтрации через тело дамбы с удельным расходом  $q_T$ .

При решении данной задачи воспользуемся известными решениями для однородных грунтовых плотин, полученных для случая водонепроницаемости основания [25].

В отличие от этих решений применительно к каналам в насыпи найдены также необходимые расчетные формулы для водопроницаемого основания дамбы канала. При этом будем учитывать дополнительное фильтрационное сопротивление под дном канала, что обусловлено значительной мощностью грунта между дном канала и основанием дамбы высотой  $(H - h_0)$ , приводя его к проницаемости основания [130].

Удельный расход фильтрационного потока через тело дамбы канала определяется по формуле дополненной автором фильтрационным сопротивлением под дном канала в насыпи:

$$q_T = K_T \frac{H^2 - h_1^2}{2(L_p - m_2 h_1) + \Delta L_K}, \quad (2.1)$$

$$\Delta L_K = (H - h_0) \cdot \Phi_1, \quad (2.2)$$

$$\Phi_1 = \frac{2}{\pi} \ln \frac{4(H - h_0)}{\pi \cdot b / 2} \text{ при } \frac{b}{2(H - h_0)} < 0,5, \quad (2.3)$$

где  $q_T$  – Удельный расход фильтрационного потока через тело дамбы канала, м<sup>2</sup>/сут;

$K_T$  – коэффициент фильтрации грунта насыпи канала, м/сут;

$\Delta L_K$  – дополнительное фильтрационное сопротивление под дном канала, м;

$\Phi_1$  – фильтрационное сопротивление в безразмерной форме [93];

$b$  – ширина канала по дну, м.

Учет дополнительного фильтрационного сопротивления под дном канала в насыпи  $\Delta L_K$ , как показано при сопоставлении результатов расчета по методике

Е. А. Замарина [34, 35] в п. 2.7, позволяет более точно найти фильтрационный расход через тело и основание. При этом отклонение по этому методу может составлять до 40 %.

Высота выхода депрессионной кривой на низовой откос:

$$h_1 = \frac{L_p}{m_2} - \sqrt{\left(\frac{L_p}{m_2}\right)^2 - H^2}, \quad (2.4)$$

$$L_p = \beta \cdot h_0 + L, \quad L = m_1 \cdot d + b_{гр} + m_2(H + d), \quad \beta = \frac{m_1}{2m_1 + 1}, \quad (2.5)$$

где  $L_p$  – ширина эквивалентного профиля дамбы канала по основанию, м;

$m_1, m_2$  – коэффициенты заложения соответственно верхового и низового откосов;

$H$  – действующий напор, м;

$\beta$  – коэффициент, зависящий от величины коэффициента заложения верхового откоса;

$h_0$  – глубина воды в канале, м;

$L$  – длина участка дамбы от уреза воды до сопряжения низового откоса с нижерасположенной территорией, м;

$d$  – превышение гребня дамбы над уровнем воды в канале, м;

$b_{гр}$  – ширина дамбы по гребню, м.

Расчетные ординаты кривой депрессии вычисляются по уравнению:

$$h_x = \sqrt{H^2 - \frac{2q_T}{K_T} \cdot x_i}. \quad (2.6)$$

Условие образования общих фильтрационных деформаций грунта тела дамбы канала (например, в виде сосредоточенных фильтрационных ходов) согласно СП 23.13330.2011 [102] и СП 39.13330.2012 [103] запишем следующим образом:

$$J_{est,m}^T > \frac{1}{\gamma_n} J_{cr,m}^T, \quad (2.7)$$

где  $J_{est,m}^T$  – действующий средний градиент напора в теле дамбы канала;

$J_{cr,m}^T$  – критический средний градиент напора в теле дамбы канала;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности, принимаемый в зависимости от класса.

Действующий средний градиент напора по Р. Р. Чугаеву [117] будет равен:

$$J_{est,m}^T = \frac{H}{L + 0,4H}. \quad (2.8)$$

Критический средний градиент напора  $J_{cr,m}^T$  принимается для песчаных грунтов равным – 0,75-1, для супесей и суглинков – 1-4.

Удельный фильтрационный расход в основании дамбы канала с учетом дополнительного фильтрационного сопротивления под дном канала слоя мощностью  $(H - h_0)_{пр}$  составит:

$$q_0 = K_0 \cdot T \frac{H}{(H - h_0) \frac{K_0}{K_T} \cdot \Phi_1' + 0,88T + L_0}, \quad (2.9)$$

$$L_0 = b_{гр} + (H + d) \cdot (m_1 + m_2), \quad (2.10)$$

$$\Phi_1' = \frac{2}{\pi} \ln \left[ \frac{4(H - h_0)}{\pi \cdot b / 2} \cdot \frac{K_0}{K_T} \right], \quad (2.11)$$

где  $K_0$  – коэффициент фильтрации грунта основания дамбы канала, м/сут;

$T$  – мощность водопроницаемого основания, м;

$L_0$  – условная ширина дамбы по основанию, м;

$\Phi_1'$  – дополнительное фильтрационное сопротивление под дном канала.

Приведенную мощность слоя грунта под дном канала  $(H - h_0)_{пр}$  определяется как  $(H - h_0) \cdot \frac{K_0}{K_T}$ .

Общий удельный фильтрационный расход из канала в насыпи составит:

$$q = 2(q_T + q_0). \quad (2.12)$$

Условие образования общих фильтрационных деформаций основания представим [103]:

$$J_{est,m}^O > \frac{1}{\gamma_n} J_{cr,m}^O, \quad (2.13)$$

где  $J_{est,m}^O$  – действующий средний градиент напора в основании дамбы канала;

$J_{cr,m}^O$  – критический средний градиент напора в основании дамбы канала.

Действующий средний градиент напора в основании находим по формуле:

$$J_{est,m}^O = \frac{H}{(H - h_0) \cdot \frac{K_O}{K_T} \cdot \Phi_1' + 0,88T + L_O}. \quad (2.14)$$

Значения критического среднего градиента напора определяется по СП 39.13330.2012 [103].

Условие образования местных фильтрационных деформаций грунта тела дамбы при выходе потока на низовой откос (например, в виде суффозии и выпора) запишем как [103]:

$$J_{est,max}^T > \frac{J_{cr}^T}{\gamma_n}. \quad (2.15)$$

Значения местного критического градиента напора для песчаных грунтов 0,30, для глинистых грунтов – 1,0.

Максимальный местный градиент напора при выходе потока на низовой откос можно определить по следующей формуле:

$$J_{est,max}^T = \frac{\sqrt{H^2 - \frac{2q_T}{K_T} (L - m_2 \cdot h_1 - \Delta x_{\text{ВЫХ}})}}{\Delta x_{\text{ВЫХ}}}, \quad (2.16)$$

где  $\Delta x_{\text{ВЫХ}}$  – расстояние по оси ОХ при выходе фильтрационного потока на низовой откос, принимаемое равным  $(0,05 - 0,10)L$ , м.

Оценка риска разрушения дамбы канала от фильтрационных воздействий определяется по формуле:

$$\lambda_T = \frac{\gamma_n}{K_{H J_{est,m}^T}^{\text{гар}}} \cdot \lambda_H, \quad (2.17)$$



где  $\gamma_n$  – коэффициент надежности;

$\lambda_n$  – нормативный риск, определяемый в зависимости от класса сооружения для основного вида нагрузок по [101], 1/год.

Риск разрушения дамбы канала вследствие фильтрационных процессов можно установить через гарантированный коэффициент надежности, который определяется по формуле:

$$K_{H J_{est,m}}^{\text{гар}} = \frac{J_{cr,m}^T - m_{J_{cr,m}^T}}{J_{est,m}^T + m_{J_{est,m}^T}}, \quad (2.18)$$

$$m_{J_{cr,m}} = \sigma_{J_{cr,m}} \cdot t_\alpha, \quad m_{J_{est,m}} = \sigma_{J_{est,m}} \cdot t_\alpha; \quad (2.19)$$

где  $\sigma_{J_{cr,m}}$ ,  $\sigma_{J_{est,m}}$  – среднеквадратическое отклонение соответственно критического и среднего градиентов;

$t_\alpha$  – коэффициент Стьюдента.

Оценка риска разрушения основания дамбы канала вследствие общих фильтрационных деформаций определяется по формулам:

$$\lambda_O = \frac{\gamma_n}{K_{H J_{est,m}^O}^{\text{гар}}} \lambda_n, \quad (2.20)$$

$$K_{H J_{est,m}^O} = \frac{J_{cr,m}^O - m_{J_{cr,m}^O}}{J_{est,m}^O + m_{J_{est,m}^O}}. \quad (2.21)$$

Общий риск разрушения дамбы канала составит сумму рисков разрушения тела и основания дамбы канала:

$$\lambda = \lambda_T + \lambda_O. \quad (2.22)$$

Если значение общего риска разрушения дамбы канала, превысит значение нормативного риска, то это свидетельствует о большой вероятности возникновения аварийной ситуации.

Приведем примеры расчета риска разрушения дамбы канала, проложенного в насыпи, по предложенной выше методике и полученным формулам. Исходные данные и результаты расчетов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчета фильтрационных характеристик и риска разрушения дамбы крупного канала на участке в насыпи

№ п/п	Исходные данные и определяемые величины	Результаты расчетов		
1	Исходные данные к расчетному случаю	$H = 20$ м, $m_1 = 3$ , $m_2 = 2$ , $d = 1$ м, $b_{гр} = 8$ м, $T = 10$ м, $K_T = 1$ м/сут, $K_O = 0,3$ м/сут, $h_0 = 5$ м, $b = 6$ м, $\gamma_n = 1,1$		
	Удельные фильтрационные расходы, $m^2/сут$	$q_T$	$q_O$	$q$
		3,620	0,485	7,930
	Высота выхода кривой депрессии на низовой откос $h_1$ , м	9,08		
	Критические средние градиенты	$J_{cr,m}^T$	$J_{cr,m}^O$	-
		1,0	1,0	-
	Действующие средние градиенты	$J_{est,m}^T$	$J_{est,m}^O$	-
		0,328	0,162	-
	Максимальный местный градиент напора $J_{est,max}^T$	1,670		
	Риск разрушения тела и основания дамбы канала, $\times 10^{-3}$ 1/год	$\lambda_T$	$\lambda_O$	$\lambda$
1,87		0,89	2,76	
Нормативный риск для IV класса сооружений, $\lambda_n$ , $\times 10^{-3}$ 1/год	5,0			
2	Исходные данные к расчетному случаю	$H = 30$ м, $m_1 = 2$ , $m_2 = 1$ , $d = 0,5$ м, $b_{гр} = 4$ м, $T = 20$ м, $K_T = 1$ м/сут, $K_O = 0,6$ м/сут, $h_0 = 6$ м, $b = 10$ м, $\gamma_n = 1,2$		
	Удельные фильтрационные расходы, $m^2/сут$	$q_T$	$q_O$	$q$
		9,23	2,88	24,2
	Высота выхода кривой депрессии на низовой откос $h_1$ , м	14,7		
	Критические средние градиенты	$J_{cr,m}^T$	$J_{cr,m}^O$	-
		0,75	1,0	-
	Действующие средние градиенты	$J_{est,m}^T$	$J_{est,m}^O$	-
		0,632	0,240	-
	Максимальный местный градиент напора $J_{est,max}^T$	2,65		
	Риск разрушения тела и основания дамбы канала, $\times 10^{-4}$ 1/год	$\lambda_T$	$\lambda_O$	$\lambda$
5,23		1,49	6,72	
Нормативный риск $\lambda_n$ для II класса сооружений, $\times 10^{-4}$ 1/год	5,0			

На основании анализа результатов расчета для первого расчетного случая можно заключить следующее: риск разрушения дамбы канала по средним градиентам не превышает нормативный.

Однако не выполняется условие местной фильтрационной прочности грунта при выходе фильтрационного потока на приканальную территорию, что свидетельствует о возможности локальных разрушений грунта основания за дамбой.

Анализ результатов для второго расчетного случая свидетельствует о том, что здесь будут образовываться общие фильтрационные деформации в виде сосредоточенных ходов фильтрации.

Возможны также локальные разрушения грунта основания за дамбой при выходе фильтрационного потока. Риск разрушения дамбы канала превышает нормативный, что свидетельствует о большой вероятности возникновения аварийной ситуации.

Отметим, что изложенная выше методика позволяет оценить риск разрушения дамб крупного канала вследствие фильтрационных деформаций для наиболее опасных его участков, проходящих в насыпи.

На основании проведенных расчетов могут быть заблаговременно разработаны предупредительные мероприятия по исключению вероятности аварии крупного канала.

#### **2.4 Расчет фильтрации через дамбу канала в насыпи с горизонтальным трубчатым дренажем и оценка риска возникновения аварийной ситуации**

Для обеспечения устойчивости откосов дамб каналов из грунтовых материалов применяется горизонтальный дренаж, который обеспечивает прием и отвод профильтровавшейся через тело или основание грунтовой дамбы воды, то есть задачей дренажа является понижение отметок кривой депрессии и недопущение выхода фильтрационного потока на низовой откос.

Расчет фильтрации из канала в насыпи с горизонтальным трубчатым дренажем со стороны низового откоса у основания (рисунок 2.5) несколько отличается

от предыдущей схемы, так как кривая депрессии имеет другой вид и не выходит на низовой откос [130, 131]. Соответственно удельный фильтрационный расход через тело дамбы канала с горизонтальным трубчатым дренажем будет рассчитываться по следующей зависимости:

$$q_T = K_T \frac{H^2}{2L_p + \Delta L_K}, \quad (2.23)$$

$$L_p = L_D + \Delta L, \quad \Delta L = \beta \cdot h_0, \quad \beta = \frac{m_1}{2m_1 + 1}, \quad \Delta L_K = (H - h_0) \cdot \Phi_1, \quad (2.24)$$

где  $L_D$  – расстояние от уреза воды в канале до оси трубчатого дренажа.

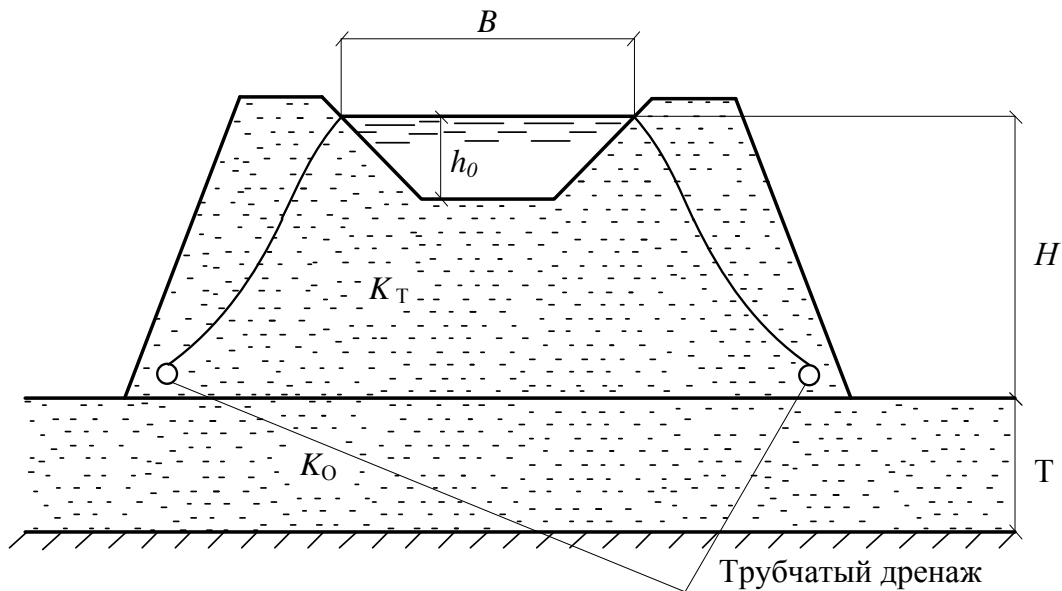


Рисунок 2.5 – Схема фильтрации из канала в насыпи с горизонтальным трубчатым дренажем

Уравнение кривой депрессии имеет вид:

$$h_{x_i} = \sqrt{\frac{2q_T}{K_T} \cdot (L_D - x_i)}, \quad i = 1 \dots 10. \quad (2.25)$$

Удельный фильтрационный расход в основании дамбы канала

$$q_O = K_O \cdot T \frac{H}{(H - h_0) \frac{K_O}{K_T} \cdot \Phi_1 + 0,88T + L'_O}, \quad (2.26)$$

$$L'_O = m_1(h_0 + d) + b_{гр} + l_{др}, \quad (2.27)$$

где  $L'_0$  – ширина дамбы по основанию, м;

$l_{др}$  – расстояние от гребня плотины до начала дренажа, м.

Суммарный удельный фильтрационный расход из канала в насыпи с горизонтальным трубчатым дренажем определяется по приведенной выше формуле (2.12).

Расчет фильтрационной прочности выполняется аналогично каналу в насыпи без дренажа по соотношениям (2.7) и (2.13), где действующий средний градиент напора в теле дамбы определяется по формуле (2.8), а действующий средний градиент напора в основании насыпи – по формуле (2.14).

Риск разрушения тела дамбы и основания вычисляется по формулам (2.17) и (2.20).

## **2.5 Расчет фильтрации через дамбу канала в насыпи с облицовкой и оценка риска возникновения аварийной ситуации**

В настоящее время значительная часть магистральных каналов на некоторых участках выполнена в облицовке, поэтому возникает необходимость оценки безопасности работы таких участков с точки зрения фильтрации.

Как известно, применение противофильтрационных одежд на каналах необходимо, если величина ожидаемых фильтрационных потерь будет больше величины допустимых потерь, а также, если фильтрация из канала будет способствовать подъему уровня грунтовых вод, которые вызывают заболачивание, подтопление и засоление орошаемых земель.

В случае фильтрации из канала с облицовкой при отсутствии дренажа и условии залегания уровня грунтовых вод на поверхности прилегающей территории (рисунок 2.6) фильтрационный расход для всего сечения канала определяется с учетом фильтрационного сопротивления на гидродинамическое несовершенство канала и дополнительного сопротивления, обусловленного применением противофильтрационной облицовки по следующей формуле [57]:

$$q = \frac{2H \cdot T'}{\Phi_K + \Phi_{\text{обл}} + \sqrt{\frac{T' \cdot Z_0}{\epsilon_{\text{п}}}}}, \quad (2.28)$$

где  $\Phi_K$  – фильтрационное сопротивление на гидродинамическое несовершенство канала;

$\Phi_{\text{обл}}$  – фильтрационное сопротивление, обусловленное применением противофильтрационной облицовки;

$Z_0$  – критическая глубина залегания уровня грунтовых вод при отсутствии испарения с поверхности грунтовых вод, м;

$\epsilon_{\text{п}}$  – интенсивность испарения с поверхности почвы.

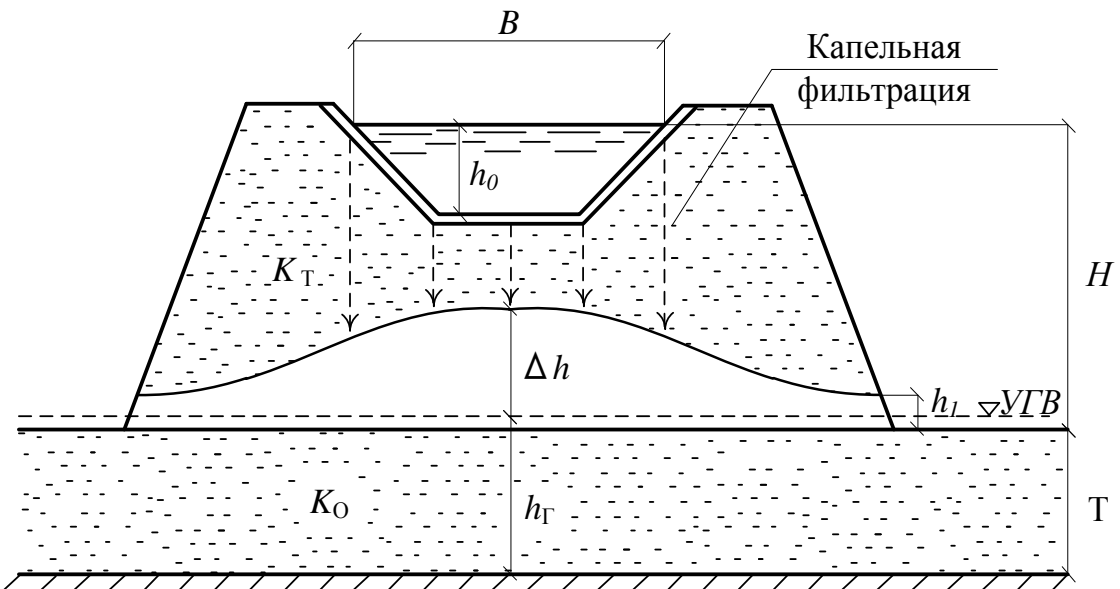


Рисунок 2.6 – Схема фильтрации из канала с облицовкой при отсутствии дренажа и условия залегания уровня грунтовых вод на поверхности прилегающей территории

$$T' = K_T \left( \frac{H}{2} \right) + K_O \cdot T, \quad (2.29)$$

$$\Phi_K = \Phi_K' + 2\Phi_K'', \quad (2.30)$$

где  $\Phi_K'$ ,  $\Phi_K''$  – дополнительные сопротивления на несовершенство канала.

$$\Phi_K' = \alpha \frac{K_O}{K_T} (H + T) \cdot f_K' - \frac{K_T - K_O}{K_T} H \cdot f_{K_T}', \quad (2.31)$$

$$\Phi_K'' = \beta \frac{K_O}{K_T} (H + T) \cdot f_K'' - \frac{K_T - K_O}{K_T} H \cdot f_{K_T}'' , \quad (2.32)$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$  – поправочные коэффициенты, определяемые из графиков А. Я. Олейника [78];

$f_K'$ ,  $f_K''$ ,  $f_{K_T}'$ ,  $f_{K_T}''$  – параметры, определяемые по графикам [78].

Фильтрационное сопротивление облицовки можно определить по формуле [115]:

$$\Phi_{\text{обл}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \cdot \frac{T_{\text{п}} \cdot H}{q_T} , \quad (2.33)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, определяемый в зависимости от соотношений  $\Delta H_K / H_K$ ,  $K_T / K_{\text{обл}}$  и  $\delta_0$ ;

$\Delta H_K$  – потеря напора через облицовку, м;

$K_T$  – средний коэффициент фильтрации облицовки, м/сут;

$\delta_0$  – толщина облицовки, м;

$T_{\text{п}}$  – средняя проводимость водоносной толщи.

Кривая депрессии под каналом строится по следующему уравнению:

$$h_x = h'' + \frac{h' - h''}{L} \cdot x - \frac{\varepsilon_{\text{п}} \cdot x}{2T'} (L - x) , \quad (2.34)$$

где  $h' = H - \frac{q}{T'} (\Phi_K + \Phi_{\text{обл}})$ ;  $h'' = h_{\Gamma}$ .

Оценка фильтрационной прочности грунта тела и основания дамбы канала производится аналогично расчетной схеме канала в насыпи без дренажа, рассмотренной выше.

## 2.6 Расчет фильтрации через дамбу канала на косогоре и оценка риска возникновения аварийной ситуации

Участки каналов на косогоре встречаются реже, чем участки в насыпи, однако они не менее опасны, так как уровень воды в канале значительно превышает от-

метки прилегающей территории и фильтрация, в таком случае, будет происходить в основном через однобортную дамбу и ее основание.

Примером таких участков может служить головной участок Большого Ставропольского канала, который практически весь (27 км) проходит по косогору.

Фильтрация из канала на косогоре с водопроницаемым основанием мощностью  $T$  (рисунок 2.7) будет происходить, как уже говорилось, через нижнюю однобортную дамбу и ее основание, имеющее наклон поверхности под углом  $\alpha$ . Величиной фильтрации через верхнюю дамбу, как правило, малой высоты, из-за наклона поверхности косогора можно пренебречь [133].

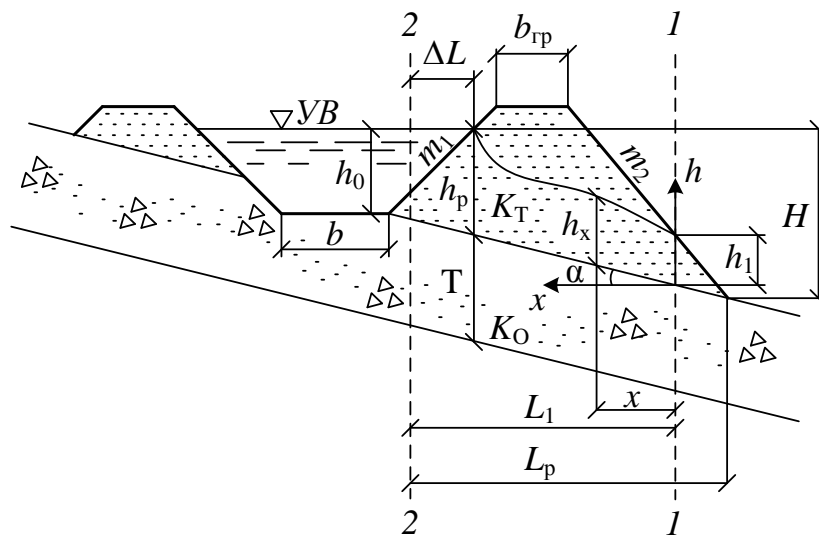


Рисунок 2.7 – Расчетная схема канала на косогоре

Для расчета фильтрации в теле и основании дамбы используем приближенное решение В. П. Недриги [25] для двух фрагментов, разделенных сечением 1-1. Сечение 2-2 принимается на расстоянии  $\Delta L$  от уреза воды.

Суммарный удельный фильтрационный расход через тело и основание дамбы канала на косогоре определяем по формулам (2.35) и (2.36):

$$q_T = K_T \left( \frac{h_p^2 - h_1^2}{2L_1} + i \frac{h_p + h_1}{2} + T \frac{K_O}{K_T} \cdot \frac{h_p + i \cdot L_1 - h_1}{L_1 + \Delta L_K} \right) \cos \alpha, \quad (2.35)$$

$$q_O = A \cdot h_1 + K_O \cdot T \left( i + \frac{h_1}{B \cdot h_1 + D} \right), \quad (2.36)$$



где  $h_p$  – расстояние от уреза воды до подошвы дамбы, м;

$$L_1 = L_p - \frac{m_2}{1 - i \cdot m_2} h_p; \quad i = \operatorname{tg} \alpha; \quad L_p = \Delta L + L; \quad \Delta L = \frac{m_1}{1 + 2m_1} \cdot h_p; \quad (2.37)$$

$$\Delta L_K = h_0 \cdot \Phi_1; \quad \Phi_1 = \frac{2}{\pi} \ln \frac{4 \cdot h_0}{\pi \cdot b}; \quad (2.38)$$

$$A = K_T(i + \operatorname{tg} \beta); \quad \beta = \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{m_2} \right) - \alpha; \quad B = \frac{m_2}{(1 - i \cdot m_2) \cdot \cos \alpha} + \sin \alpha; \quad D = T(0,5 - \operatorname{tg} \alpha). \quad (2.39)$$

Решение двух уравнений (2.35) и (2.36) находим путем подбора или графически путем пересечения двух кривых, вычисляемых при различных значениях  $h_1$ .

Отличием данных формул от известного решения В. П. Недриги является то, что в уравнении (2.35) учитывается дополнительное фильтрационное сопротивление канала  $\Delta L_K$ .

В случае водонепроницаемого основания под дамбой канала, когда грунты основания представляют маловодонепроницаемые глинистые грунты или скальные нетрещиноватые породы, расчетные формулы будут иметь вид:

$$q_T = K_T \cdot \left( \frac{h_p^2 - h_1^2}{2L_1} + i \frac{h_p + h_1}{2} \right) \cos \alpha. \quad (2.40)$$

Действующий средний градиент напора в теле дамбы для оценки возможности образования общих фильтрационных деформаций в виде сосредоточенных ходов фильтрации найдем по формуле Р. Р. Чугаева [117]:

$$J_{\text{est},m}^T = \frac{H}{L_p - \Delta L + 0,4H}, \quad (2.41)$$

где  $H = h_p + i(L_p - \Delta L)$ .

Действующий средний градиент напора в основании дамбы канала можно найти по формуле с учетом дополнительных фильтрационных сопротивлений канала ограниченной ширины  $b$ :

$$J_{\text{est},m}^O = \frac{H}{h_0 \cdot \Phi_1 + 0,88 \cdot T + L_O}, \quad (2.42)$$

где  $L_O = b_{\text{гр}} + (h_0 + d) \cdot m_1 + (H + d) \cdot m_2$ .

Максимальный выходной градиент напора при выходе потока на низовой откос дамбы определим по формуле полученной автором:

$$J_{\text{est,max}}^T = \frac{\left[ \sqrt{\left( h_1 + T \frac{K_O}{K_T} - i \frac{0,1(L_1 - \Delta L)}{2} \right)^2 + \frac{0,2(L_1 - \Delta L)}{\cos \alpha} \cdot \frac{q}{K_T} - T \frac{K_O}{K_T} + i \frac{0,1(L_1 - \Delta L)}{2}} \right]}{0,1(L_1 - \Delta L)}. \quad (2.43)$$

Максимальный выходной градиент напора в основании при выходе потока за дамбой вычислим по зависимости:

$$J_{\text{est,max}}^O = \frac{H}{0,05\pi L_O}. \quad (2.44)$$

Оценка риска разрушения нижней дамбы канала вследствие фильтрационных воздействий на косогоре проводится также как и для канала в насыпи.

Пример расчета риска разрушения дамбы крупного канала на косогоре приведен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты расчета риска разрушения потенциально опасного участка канала на косогоре

Исходные данные	Результаты расчета						
	$q$ , м <sup>2</sup> /сут	$J_{\text{est,m}}^T$	$J_{\text{est,m}}^O$	$J_{\text{est,max}}^T$	$J_{\text{est,max}}^O$	$\lambda$ , ×10 <sup>-3</sup>	$\lambda_H$ , ×10 <sup>-3</sup>
$H=20$ м, $m_1=2$ , $m_2=3$ , $d=1$ м, $b_{\text{гп}}=7$ м, $T=15$ м, $\alpha=20^\circ$ , $\gamma_n=1,1$ , $h_0=5$ м, $b=6$ м, $K_T=1$ м/сут, $K_T=0,3$ м/сут	4,46	0,37	0,24	0,59	1,72	3,37	5,0

Для участка канала на косогоре с водопроницаемым основанием расчеты показали возможность появления локальных разрушений грунта основания дамбы при выходе фильтрационного потока на приканальную территорию.

## 2.7 Сопоставление результатов расчета для дамбы канала в насыпи с известными методами

Для оценки достоверности результатов по методике автора были выполнены расчеты по известному методу эквивалентного профиля Е. А. Замарина [34,

35], а также проведены экспериментальные исследования методом электромоделирования.

### 2.7.1 Моделирование задачи безнапорной фильтрации из канала в насыпи методом электромоделирования

Для сравнения результатов теоретических исследований с экспериментальными данными проводились исследования методом электрогидродинамических аналогий (ЭГДА) для различных значений высоты насыпи.

Исследования выполнялись на установке ЭГДА-9/60 в лаборатории фильтрационных исследований кафедры гидравлики и инженерной гидрологии ФГБОУ ВПО НГМА по методике изучения безнапорного движения фильтрационного потока, представленной в работах [7, 15, 30, 108].

Для выполнения моделирования методом ЭГДА было изготовлено четыре (по числу опытов) электрические модели на электропроводной бумаге с сопротивлением  $R=4000$  Ом (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Электрическая модель канала в насыпи, выполненная на электропроводной бумаге

Применение метода ЭГДА позволяет построить гидродинамическую сетку движения и определить удельный фильтрационный расход [60].

Исследования проводились в следующей последовательности:

- исследование задачи безнапорной фильтрации из канала в насыпи при  $H=1$  усл. ед.,  $h_0=0,25$  усл. ед. с определением положения кривой депрессии и построением гидродинамической сетки;

- исследование задачи безнапорной фильтрации из канала в насыпи при  $H=1$  усл. ед.,  $h_0=0,5$  усл. ед. с определением положения кривой депрессии и построением гидродинамической сетки;

- исследование задачи безнапорной фильтрации из канала в насыпи при  $H=1$  усл. ед.,  $h_0=0,75$  усл. ед. с определением положения кривой депрессии и построением гидродинамической сетки;

- исследование задачи безнапорной фильтрации из канала в насыпи при  $H=1$  усл. ед.,  $h_0=1$  усл. ед. с определением положения кривой депрессии и построением гидродинамической сетки;

После проведения исследований по гидродинамической сетке определялся удельный фильтрационный расход (для расчета принимался пояс равного напора):

$$\frac{q}{k} = \Delta h \sum_{i=1}^n \frac{\Delta l}{\Delta S}, \quad (2.45)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации,  $k=1$  усл. ед.;

$\Delta h$  – напор, который гасится в пределах каждого пояса давления.

$\Delta l$  – расстояние между смежными линиями тока;

$\Delta S$  – расстояние между смежными эквипотенциалами.

$$\Delta h = 0,1 \cdot H. \quad (2.46)$$

Результаты экспериментальных исследований по методу ЭГДА, а также по методу автора в относительных величинах приведены в таблице 2.4.

Примеры построения гидродинамической сетки представлены в приложении Б.

Таблица 2.4 – Сравнение расчетных значений приведенного фильтрационного расхода с базовыми данными гидродинамических сеток

Параметры земляной дамбы при $H = 1$ (усл. ед.)	Приведенный фильтрационный расход, $q/k$		Отклонение результатов, $\delta$ %
	методом электромоделирования	по методу автора	
$H = 1, h_0 = 0,25, m_1 = 2, m_2 = 1, d = 0,1, b_{\text{пр}} = 0,8, T = 1, K_T = K_O = 1, b/2 = 0,3$	0,403	0,393	2,48
$H = 1, h_0 = 0,5, m_1 = 2, m_2 = 1, d = 0,1, b_{\text{пр}} = 0,8, T = 1, K_T = K_O = 1, b/2 = 0,3$	0,430	0,408	5,12
$H = 1, h_0 = 0,75, m_1 = 2, m_2 = 1, d = 0,1, b_{\text{пр}} = 0,8, T = 1, K_T = K_O = 1, b/2 = 0,3$	0,438	0,418	4,46
$H = 1, h_0 = 1, m_1 = 2, m_2 = 1, d = 0,1, b_{\text{пр}} = 0,8, T = 1, K_T = K_O = 1, b/2 = 0,3$	0,398	0,410	3,02

Сопоставление результатов расчета по методике автора с результатами полученными по методу ЭГДА (при одинаковых коэффициентах фильтрации в теле и основании дамбы канала) показало близкие значения с расхождением в пределах 2,48-5,12 %, что свидетельствует об их достоверности и возможности применения предлагаемой методики на практике.

### 2.7.2 Сопоставление результатов расчета для дамбы канала в насыпи с методом Е. А. Замарина

В методе Е. А. Замарина используются приближенные фильтрационные уравнения для основных типов земляных плотин. Эти уравнения имеют простой математический вид, легко решаются и не требуют трудоемких вычислительных операций и, кроме того, достоверность результатов подтверждена многочисленными экспериментальными исследованиями на моделях.

В методе Е. А. Замарина реальный профиль земляной плотины заменяется расчетным, эквивалентным в фильтрационном отношении профилем с вертикальным верхним откосом и фильтрационный расход через тело плотины определяется по формуле [34, 35]:

$$\frac{q_T}{k_T} = \frac{H_1^2 - h_1^2}{2(L - m_2 h_1)}, \quad (2.47)$$

где  $q_T$  – удельный расход фильтрационного потока через тело плотины;

$k_T$  – коэффициент фильтрации грунта насыпи канала;

$m_2$  – коэффициент низового откоса;

$H_1$  – действующий напор;

$L$  – длина участка дамбы от уреза воды до сопряжения низового откоса с ниже расположенной территорией;

Высота выхода депрессионной кривой рассчитывалась по формуле (2.4), приведенной в п.2.3.

Депрессионная кривая строится по зависимости:

$$y = \sqrt{H^2 - \frac{2q_T}{K_T} \cdot x}, \quad (2.48)$$

где  $y, x$  – текущие координаты.

Максимальный местный градиент напора при выходе потока на низовой откос рассчитывался по зависимости:

$$J_{est, \max} = \frac{H}{\pi \sqrt{x_1^2 - l^2}}, \quad (2.49)$$

где  $x_1 = 1,005 \cdot l$ ;  $l = \frac{L_0}{2}$ .

Для расчета фильтрационного расхода через тело дамбы канала по методике автора использована формула (2.1), приведенная в п. 2.3:

$$q_T = K_T \frac{H^2 - h_1^2}{2(L_p - m_2 h_1) + \Delta L_K}.$$

Для расчета высоты выхода депрессионной кривой использовалась выше-приведенная формула (2.4). Максимальный местный градиент напора определялся по зависимости (2.16), приведенной в п.2.3:

$$J_{est_{max}}^T = \frac{\sqrt{H^2 - \frac{2q_T}{K_T} (L - m_2 \cdot h_1 - \Delta x_{вых})}}{\Delta x_{вых}}.$$

Исходные данные для расчета приняты аналогично, как и в первом примере п. 2.3 (таблица 2.2).

Сводные результаты расчетов по предложенной автором методике и по методу эквивалентного профиля Е. А. Замарина приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Сводные результаты расчетов

Определяемые величины	Результаты расчета по предложенной методике автора	Результаты расчета по методу эквивалентного профиля Е. А. Замарина	Расхождение данных полученных по методу автора и методу Е. А. Замарина, $\delta$ , %
Исходные данные к расчетному случаю: $H = 20$ м, $m_1 = 3$ , $m_2 = 2$ , $d = 1$ м, $b_{тр} = 8$ м, $T = 10$ м, $K_T = 1$ м/сут, $K_0 = 0,3$ м/сут, $h_0 = 5$ м, $b = 6$ м, $\gamma_n = 1,1$			
$q_T$ , м <sup>2</sup> /сут	3,62	4,54	-25,4
$q_0$ , м <sup>2</sup> /сут	0,48	0,48	-
$q$ , м <sup>2</sup> /сут	4,10	5,02	-22,4
$h_1$ , м	9,08	9,08	0
$J_{est_{max}}^T$	2,574	1,125	56,29

Рассчитанные по приведенным формулам координаты кривых депрессий приведены в таблице 2.6, где  $y_1$  – ордината кривой депрессии, полученная по методу автора,  $y_2$  – ордината кривой депрессии, полученная по методу Е. А. Замарина.

Таблица 2.6 – Координаты кривых депрессии

$x$ , м	5	10	20	30	40	44,052	52	52,85	55,248
$y_1$ , м	19,07	18,1	15,97	13,52	10,51	9	4,85	4,17	0
$y_2$ , м	18,83	17,58	14,78	11,3	6,07	0	-	-	-

По полученным координатам построены кривые депрессии, которые представлены на рисунке 2.9.

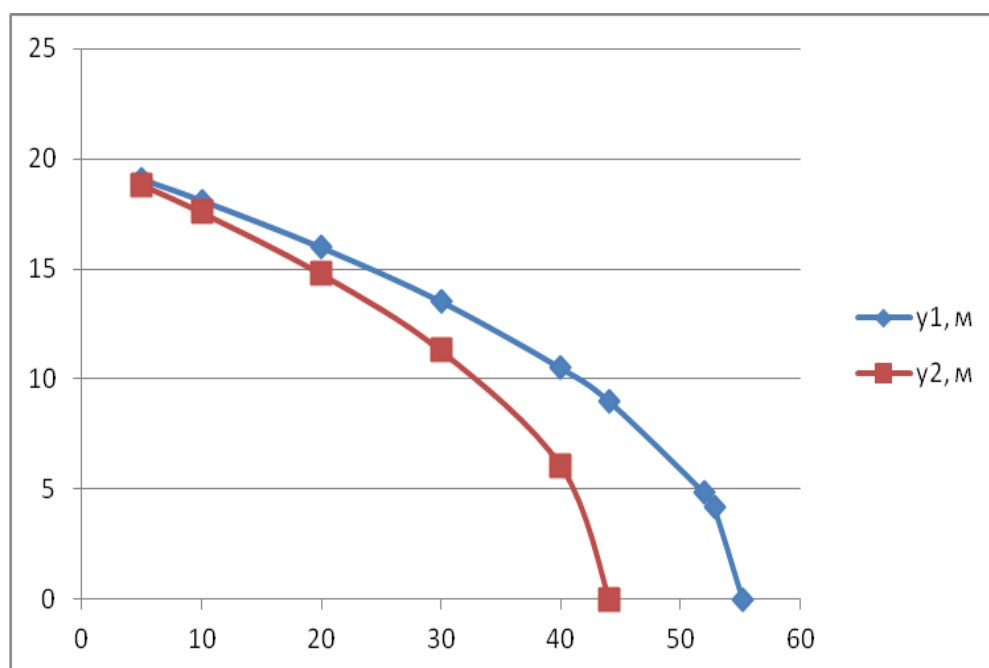


Рисунок 2.9 – Кривые депрессии, полученные по методикам автора и Е. А. Замарина  
 $y_1$  – по методу автора,  $y_2$  – по методу Е. А. Замарина

Не смотря на полученные достаточно сходимые результаты расчетов по методам автора и Е. А. Замарина имеются существенные расхождения между значениями удельного фильтрационного расхода через тело канала в насыпи по методу автора с результатами расчета по методу Е. А. Замарина.

Так, по предложенной методике автора  $q_T = 3,62 \text{ м}^2/\text{сут}$ , а по методике Е. А. Замарина  $q_T = 4,54 \text{ м}^2/\text{сут}$ , т. е. удельные расходы отличаются на 25,4 %, что объясняется учетом в первом случае дополнительного фильтрационного сопротивления под дном канала мощностью  $(H - h_0) = 10 \text{ м}$ .

Удельные фильтрационные расходы в основании  $q_0$  по этим методам получены практически одинаковыми, общие расходы через тело и основание отличаются на 22,4 %, а градиенты напора – на 56,3 %.

Таким образом, представленный анализ расчетов свидетельствует о том, что использование для расчета дамб каналов в насыпи известных методик расчета фильтрации в грунтовых плотинах при высоте насыпи больше 5 м, дает значительное отклонение до 20-50 %. Ввиду этого автор считает возможным применение методов расчета фильтрации плотин для каналов в невысоких насыпях до 5 м,



а в насыпях свыше 5 м – методику автора по уточненным формулам, изложенным выше.

### **Выводы по главе**

1. Представлена методика и получены формулы для расчета фильтрации через дамбу канала в насыпи, в насыпи с горизонтальным трубчатым дренажем, в насыпи с облицовкой, канала на косогоре.

2. Приведены зависимости для определения фильтрационной прочности грунта дамбы, использование которых необходимо при проектировании и эксплуатации каналов.

3. Приведены расчетные формулы для оценки риска разрушения потенциально опасных участков крупных каналов.

4. Проведено сопоставление результатов расчета для дамбы канала в насыпи с методом эквивалентного профиля для грунтовых плотин Е. А. Замарина и экспериментами методом электромоделирования. При сопоставлении результатов расчетов по методике автора с результатами, полученными экспериментальным методом отклонение изменялось в пределах 2,48-5,12 %, что свидетельствует о достоверности результатов, полученных по предлагаемой методике. Сравнение результатов расчетов по методике автора с методом Е. А. Замарина при высоте насыпи больше 5 м показало значительное расхождение результатов, достигающее 20-40 %.

### **3 НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ СОВРЕМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КРУПНЫХ КАНАЛОВ ЮГА РОССИИ И ОБРАЗОВАНИЮ РАЗЛИЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ИХ РУСЕЛ**

#### **3.1 Общая характеристика объектов исследований**

Натурные исследования были проведены на участках Донского и Пролетарского магистральных каналов Ростовской области, которые характеризуются различными условиями работы и техническим состоянием.

Донской магистральный канал (ДМК) после расширения на головном участке до 45 км имеет расход до 250 м<sup>3</sup>/с. ДМК начинается от нижнего бьефа Цимлянского водохранилища и проходит по левобережной, второй надпойменной террасе р. Дон. Схема трассы ДМК приведена на рисунке 3.1.


Строительство ДМК осуществлялось по очередям. В 1952 году в качестве объектов первоочередного строительства были закончены и введены в эксплуатацию головное водозаборное сооружение, участок магистрального канала до тоннеля, длиной 30,6 км. Остальная часть ДМК с сооружениями на нем была построена позже. Донской магистральный канал введен в эксплуатацию в 1958 г. Всего на Донском канале построены 73 гидротехнических сооружения, в т.ч. тоннель длиной 6 км, дюкер на 110 м<sup>3</sup>/с, 7 электрифицированных перекачивающих станций.

Донской магистральный канал имеет комплексное назначение (служит для орошения, обводнения и сельхозводоснабжения) в настоящее время подает воду на орошение сельхозкультур на площади 163,10 тыс. га, в том числе 32,76 тыс. га рисовых севооборотов, и обводнение 525 тыс. га сельхозугодий. Кроме этого, по каналу вода поступает для хозяйственно-питьевого водоснабжения с населением более 200 тыс. и рыбного хозяйства.

ДМК рассчитан на круглогодичную работу с подачей расхода воды 200-250 м<sup>3</sup>/с в апреле-мае и 70-100 м<sup>3</sup>/с в зимний период. Проектная пропускная способность головного сооружения ДМК составляет 250 м<sup>3</sup>/с и обеспечивается при уровне Цимлянского водохранилища не ниже 33,2 м.

# СХЕМА ДОНСКОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА

## Условные обозначения

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  | Донской магистральный канал                  |  | Мост                                      |
|  | Межхозяйственный распределитель              |  | Труба-ливнепровод                         |
|  | Ливнеотводящий тракт                         |  | Водомерный пост                           |
|  | Водовыпуск в межхозяйственный распределитель |  | Километровый знак                         |
|  | Водовыпуск в хозяйственный распределитель    |  | Эксплуатационный поселок                  |
|  | Перегораживающее сооружение                  |  | Линейная эксплуатационная точка (усадьба) |
|  | Сброс  |  | Рыбозащитное сооружение                   |
|  | Насосная станция                             |   |   |

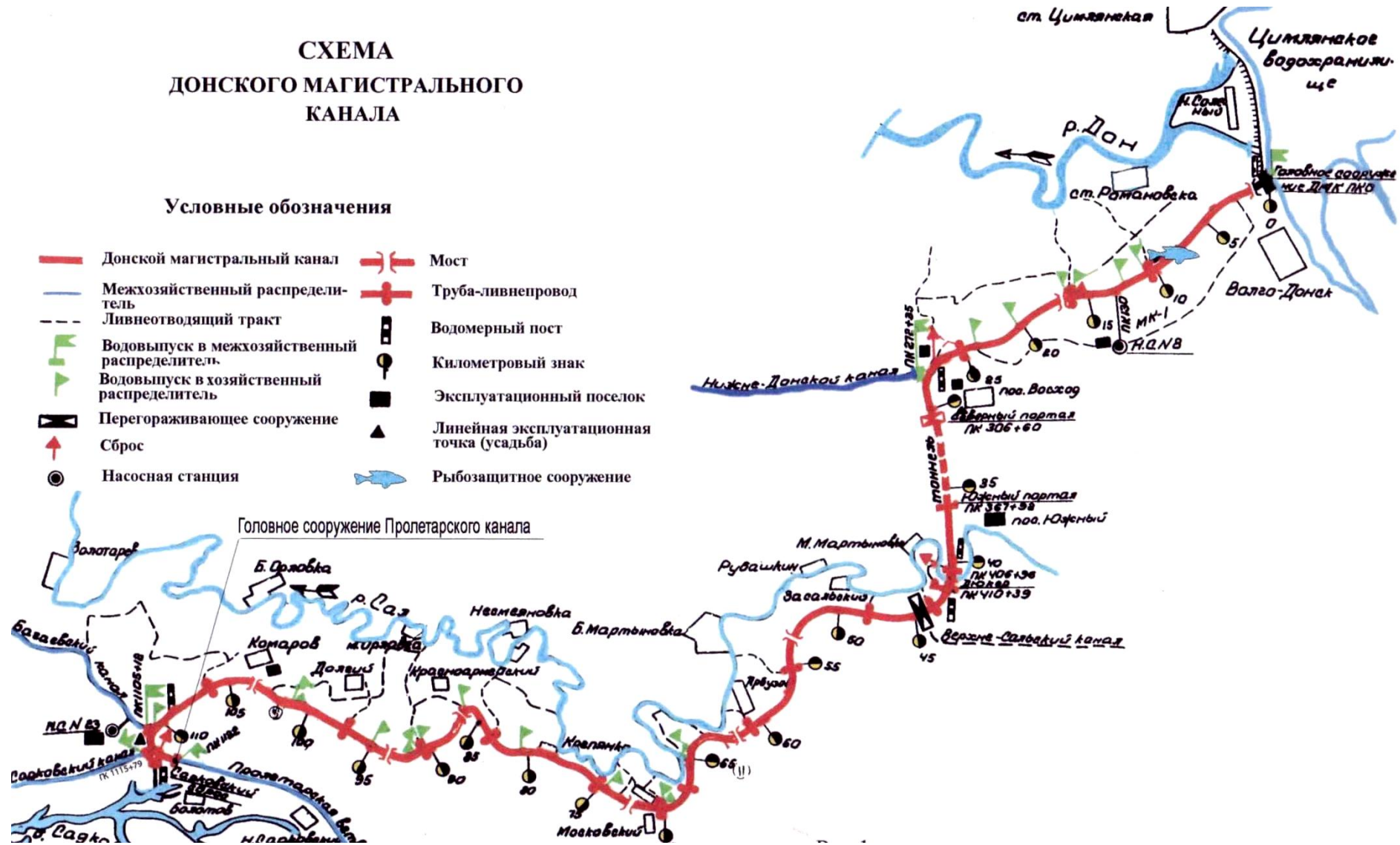


Рисунок 3.1 – Схема Донского магистрального канала

Режим работы ДМК характеризуется продолжительностью до 8 месяцев в году (с марта по октябрь). Типовое поперечное сечение канала представлено на рисунке 3.2.

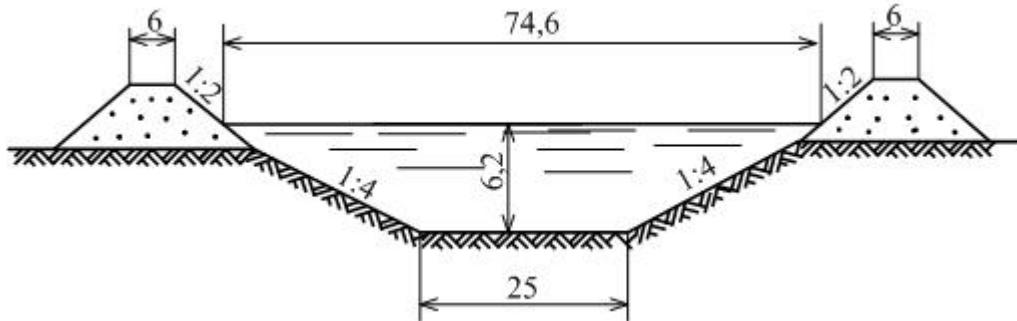


Рисунок 3.2 – Типовое поперечное сечение ДМК

Пролетарский магистральный канал (ПМК) ответвляется от Донского магистрального канала на восток в двух километрах от впадения последнего в Весёловское водохранилище (рисунок 3.3). ПМК пропускает расход воды  $54 \text{ м}^3/\text{с}$  и имеет протяженность 83,4 км и относится к магистральным каналам I порядка Донского магистрального канала.



Рисунок 3.3 – Схема расположения Пролетарского магистрального канала

Русло канала полигонального сечения, уклон дна 0,00004, заложение откосов в нижней части 1:4 до глубины 2-2,5 м, в верхней части – 1:2, коэффициент шероховатости русла равен 0,02.

Канал проходит в земляном русле в выемке, в полувыемке-полунасыпи, в местах прохождения балок – в насыпи с высотой дамб обвалования до 6-8 м.

Канал проложен в средних суглинках, под которыми на небольших участках вскрываются известняки и пески. В этих местах на канале предусмотрено устройство противофильтрационных экранов из суглинка. Грунтовые воды в районе трассы канала залегают на глубине от 2 до 11 м.

Площадь орошаемых земель на Пролетарском магистральном канале составляет около 23,5 тыс. га, из которых рисовые севообороты занимают 19,3 тыс. га, однако, в настоящее время, в связи с ухудшением мелиоративного состояния орошаемых земель и увеличением фильтрационных потерь воды из канала урожайность риса снизилась.

Общий вид и поперечный профиль Пролетарского магистрального канала представлены на рисунках 3.4 и 3.5 соответственно.



Рисунок 3.4 – Общий вид Пролетарского магистрального канала

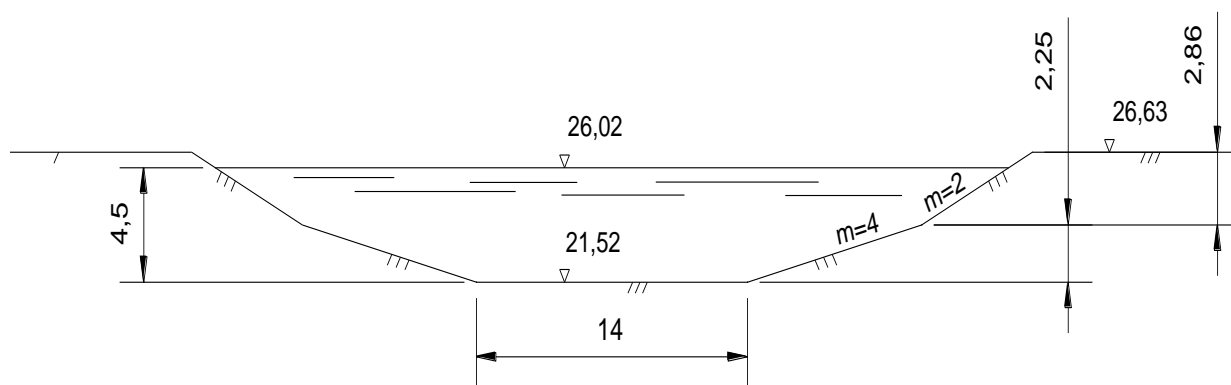


Рисунок 3.5 – Поперечный профиль Пролетарского магистрального канала

Основные характеристики исследованных каналов приведены в таблице 3.1.

На Донском магистральном канале, который являлся объектом исследований, построены четыре магистральных канала: Нижне-Донской, Багаевский, Верхне-Сальский и Пролетарский, кроме того, из ДМК осуществляется забор воды для Азовского магистрального канала и подпитка донской водой Веселовского водохранилища. Основные технические характеристики этих каналов представлены в таблице 3.2.

Техническое состояние магистральных каналов указанных в таблице 3.2 можно охарактеризовать как удовлетворительное, а на некоторых участках Нижне-Донского и Азовского магистральных каналов – как неудовлетворительное.

Такие магистральные каналы как Верхне-Сальский и Большовский имеют неудовлетворительное техническое состояние, что связано со значительными деформациями их русел, заилением, большими потерями на фильтрацию. Вследствие этих причин их КПД составляет 0,70-0,73, что на 15 % ниже проектных значений.

Анализ технического состояния Донского и Пролетарского магистральных каналов приведен в п.3.3.

Необходимо отметить, что из-за длительного срока эксплуатации от 35 до 55 лет магистральные каналы Ростовской области имеют недостаточный и неудовлетворительный уровень по основным показателям технического уровня и технического состояния.

Таблица 3.1 – Технические характеристики исследуемых каналов

Наименование канала	Время эксплуатации, лет	Протяженность, км	Глубина, м	Ширина по дну, м	Уклон дна	Площадь орошения, тыс. га	Потенциально опасные участки
Донской МК	60	112	6,2	25	0,00003	163,10	В районе х. Комаров на протяжении 4 км наблюдается выклинивание фильтрационных вод в основании дамбы. Протяженность участков, требующих устройства противофильтрационной защиты, составляет около 8 км
Пролетарский МК	52	83,4	4,5-5	4	0,00004	77,7	Фильтрационные процессы, связанные с наличием карстовых пород у н. п. Наумовка на ПК 1549-1520, размывы и интенсивное заиливание канала у ст. Буденовская на ПК 1622-1634.

Таблица 3.2 – Технические характеристики магистральных каналов  
Ростовской области

№ п/п	Наименование канала	Год ввода	Протяженность, км	Расход воды м <sup>3</sup> /с	Конструкция облицовки (ПФЗ)	Коэффициент полезного действия проект./факт.	Техническое состояние
1	Донской магистральный канал (ДМК), в т.ч. тоннель ДМК	1953 1955	112,0 8,1	25,0 165,0	земляное русло	0,93/0,90	удовл.
2	Азовский МК	1953	92,2	22,0	земляное русло	0,83/0,78	удовл./неуд.*
3	Багаевский МК	1954	30,6	34,6	земляное русло	0,84/0,75	удовл.
4	Большовский МК	1963	29,3	22,5	земляное русло	0,87/0,73	неудовл.
5	Верхне-Сальский МК	1975	99,0	30,0	земляное русло	0,85/0,70	неудовл.
6	Нижне-Донской МК	1953	73,9	30,0	земляное русло	0,86/0,76	удовл./неуд.*
7	Пролетарский МК	1960	83,4	54,0	земляное русло	0,90/0,85	удовл.
8	Садковский МК	1971	10,6	11,4	ж/б сборная+пленка	0,93/0,86	удовл.

Примечание: \* – неудовлетворительное техническое состояние на отдельных участках

### 3.2 Методика проведения натуральных исследований

Методика натуральных исследований включает в себя проведение визуальных и инструментальных обследований.

Основной задачей визуальных обследований являлось выявление дефектов и повреждений каналов, неисправностей их конструкций и элементов, снижающих их безопасность, при необходимости – определение мест и программы проведения в дальнейшем специализированных детальнейших обследований.

В задачи визуального обследования также входило выявление признаков неблагоприятных для каналов процессов, аномально больших осадков, деформаций, трещин, оползней, обвалов, размывов, перемещений, а также зон и участков



разрушения материала конструктивных элементов, открытых выходов фильтрационного потока, состояния крепления откосов и т.п.

Наблюдения за фильтрацией наиболее ответственны в отношении устойчивости грунтовых дамб. К наиболее опасным явлениям, которые могут быть зафиксированы при визуальных наблюдениях, относятся: выход фильтрационного потока на откос выше дренажа, выпор грунта, ощутимые просадки в зонах суффозии, свищи, грифоны, ключи, мокрые пятна и т.д.

Объектами визуального обследования каналов были все основные их конструктивные элементы, от состояния каждого из которых может зависеть работа сооружения, а также состояние близлежащей территории.

Фотосъемка проводилась для получения объективного визуального отображения внешнего вида исследуемого объекта и его элементов, выводов о техническом состоянии и уровне безопасности сооружения.

Инструментальное обследование каналов выполнялось с целью определения осадок, вертикальных смещений, а также для определения положения депрессионной кривой и уровней грунтовых вод.

Инструментальные обследования позволили выявить дефекты, которые невозможно было идентифицировать при визуальном осмотре сооружения. На заключительном этапе полученные данные обрабатывались и заносились в ведомость.

Инструментальные обследования проводились непосредственно на Донском и Пролетарском магистральных каналах с помощью следующих приборов: тахеометра «TOPCON» GPT-105N, GPS навигатора Garmin GPSMAP 76CSx, лазерного дальномера «Leica Disto» A5; цифровой видеокамеры, персонального компьютера, а также реперов, реек, створных знаков и указателей (рисунок 3.6).

Все используемые приборы и оборудование имеют свидетельства об их поверках, позволяющие с достоверностью выполнять измерительные работы. Основные характеристики приборов и оборудования приведены в таблице 3.3.



Рисунок 3.6 – Комплект оборудования для исследования основных параметров Донского и Пролетарского магистральных каналов

Таблица 3.3 – Основные характеристики приборов и оборудования

Оборудование	Функция оборудования	Точность измерения
Персональный компьютер	Обработка полученной информации	-
Тахеометр «ТОРCON» GPT-3000LN	Измерение горизонтальных и вертикальных углов, расстояний и превышений	угловых измерений: 2"/3"/5"/7" Измерение расстояний по призме: $\pm (2 \text{ мм} + 2 \text{ ppm})$ до 3000 м
GPS навигатор Garmin GPSMAP 76CSx	Расчет местоположения определение конфигурации объекта, определение площадей объектов	-
Лазерный дальномер «Leica Disto» A5	Замеры линейных расстояний, площадей и объемов	$\pm 3 \text{ мм}$
Цифровая видеокамера Sony	Визуальное обследование сооружений, видеосъемка	-
Эхолот Humminbird Fishfinder 595	Определение глубины волы в канале, конфигурации дна	-
Измерительная рулетка «Index»	Замеры линейных расстояний	-

Для анализа размыва Пролетарского магистрального канала в суглинистых грунтах на потенциально-опасных участках проводилась плановая съемка выбранного участка с разбивкой поперечников через 6 м. Поперечные створы на откосах закреплялись постоянными знаками (колышками).

Съемка осуществлялась с помощью тахеометра «TOPCON» GPT-105N. Свидетельство о поверке тахеометра, а также его технические характеристики приведены в приложении В.

Деформации и сдвиги плит облицовки, а также размеры элементов канала фиксировались измерительной рулеткой и лазерным дальномером, который позволяет производить эффективные измерения на расстоянии до 100 м.

Диагностика условий работы каналов проводилась с целью определения их технического состояния.

### **3.3 Результаты натурных исследований**

В задачи натурных исследований, проводимых на крупных каналах юга России, помимо оценки их современного технического состояния, входило определение повреждений русел, а также выявление причин возникновения этих повреждений. Кроме того, в результате исследований необходимо было проанализировать и обобщить имеющиеся данные наблюдений, полученные как автором работы, так и другими организациями.

В 2011-2012 гг. году автором, совместно с сотрудниками института «РосНИИПМ», были проведены обследования Донского (от 45 до 111,5 км) и Пролетарского (ПК 1512-1549 и ПК 1622-1634.) магистральных каналов.

Донской магистральный канал проложен, в основном, в полувыемке-полунасыпи, а в местах пересечения балок – в насыпи. В 2011 г. натурные обследования на Донском магистральном канале проводилось в период опорожнения канала и показали, что за период эксплуатации канала дамбы оплыли (рисунок 3.7, 3.8), наблюдаются оползни, просадки и заиление ложа каналов, зарастание откосов растительностью до уреза воды, на отдельных участках происходит

разуплотнение грунтов и увеличение фильтрации воды через тело дамбы, а также подъем уровня грунтовых вод. Большие потери воды наблюдались и на водовыпускных сооружениях в хозяйственную оросительную сеть, которые забирали воду расходом 0,2-0,5 м<sup>3</sup>/с.



Рисунок 3.7 – Опльвы дамб Донского магистрального канала



Рисунок 3.8 – Деформации откосов на Донском магистральном канале

На некоторых участках канала разрушены плиты облицовки (рисунок 3.9).





Рисунок 3.9 – Разрушение плит облицовки на ДМК

В неудовлетворительном состоянии находятся и отводящие каналы от ливнепроводящих сооружений, а также металлоконструкции рабочих затворов, электроподъемного оборудования и винтовых подъемников всех головных водозаборов Донского магистрального канала, которые выработали свой ресурс, устарели и требуют реконструкции и модернизации с учетом современных требований эксплуатации.

Верхний и нижний бьефы сооружений не обеспечивают достаточного гашения энергии воды, что вызывает эрозию канала.

На протяжении 4 км, в районе х. Комаров, наблюдается выклинивание фильтрационных вод в основании дамбы, как показали материалы изысканий, за счет погребенного под дамбами растительного грунта. Суммарная протяженность таких участков, требующих устройства противофильтрационной защиты, составляет около 8 км.

В целом техническое состояние Донского магистрального канала можно оценить как удовлетворительное, несмотря на то, что грунты дамб канала на некоторых участках разуплотнились и фильтруют воду.

На Пролетарском магистральном канале натурные обследования проводились в августе 2011 г. В результате проведения визуальных обследований зафиксированы многочисленные размывы берегов канала (рисунок 3.10, 3.11), зарастание русла канал водной растительностью, деформации откосов канала, деформа-

ции поперечного сечения, разрушение и зарастание плит облицовки на некоторых участках (рисунок 3.12, 3.13), фильтрационные процессы, связанные с наличием карстовых пород у н. п. Наумовка на ПК 1520-1549, а также размывы и интенсивное заиление канала у ст. Буденовская на ПК 1622-1634.



Рисунок 3.10 – Деформации берегов Пролетарского магистрального канала



Рисунок 3.11 – Размыв берегов Пролетарского МК





Рисунок 3.12 – Разрушение и сползание плит облицовки на Пролетарском магистральном канале



Рисунок 3.13 – Обрастание плит облицовки растительностью

На ПК 1520-1549 Пролетарский канал проходит в средних суглинках, под которыми вскрываются известняки и пески, что создает условия для дренирования фильтрационных вод из канала. На этом участке были проведены натурные измерения отметок бровок дамб канала и глубины воды через каждые 6 м. После

чего было проведено сопоставление проектных и натуральных параметров Пролетарского магистрального канала, которое представлено в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Проектные и натурные параметры ПМК на ПК 1512-1542

Пикетаж	Существующие отметки, м			Проектные отметки, м	
	Левой дамбы	Правой дамбы	Дна	Дамбы	Дна
1	2	3	4	5	6
ПК 1512	25,02	25,27	20,74	24,98	19,88
ПК 1518	25,16	24,99	21,02	24,96	19,86
ПК 1524	25,21	24,92	20,70	24,93	19,83
ПК 1530	24,73	24,81	20,69	24,91	19,81
ПК 1536	24,80	25,19	20,38	24,88	19,78
ПК 1542	24,84	24,75	20,66	24,86	19,76

Анализируя результаты сводной таблицы можно сделать вывод о заилении канала на 0,6-1,16 м, а также о смещении дамб канала. На ПК 1530 и ПК 1542 дамбы канала осели на 10-18 см и 2-11 см соответственно.

На остальных поперечниках отметки дамб увеличились от 3 до 29 см. Это свидетельствует об изменении поперечного сечения канала, заилении дна и уменьшении пропускной способности русла канала.

Общие сведения по результатам обследований ДМК, ПМК и других каналов Юга России приведены в таблице 3.5.

Анализируя данные таблицы 3.5 можно сделать вывод о том, что на каналах, проходящих в земляном русле, основными проблемами при их эксплуатации является зарастание русла водной растительностью (Азовский и Нижне-Донской, Багаевский, Пролетарский магистральные каналы).

В связи с этим снижается пропускная способность русла, повышается уровень воды в канале и увеличивается вероятность возникновения аварийной ситуации связанной с переливом воды через бровки канала.

Размывы откосов и деформации поперечного сечения каналов (ДМК, ПМК, БСК-1, ТКК) приводят к возникновению отказов в работе каналов, т. е. к уменьшению или прекращению подачи требуемых расходов водопользователям.



Таблица 3.5 – Натурные данные деформаций на каналах юга России

Каналы	Расход, факт./проект. м <sup>3</sup> /с	КПД канала факт./проект	Характер ложа (земляное, облицованное)	Обнаруженные дефекты и деформации	Данные наблюдений	Год наблюдений
1	2		5	6	8	9
Донской МК	201/250	0,82/0,89	Земляное	- выклинивание фильтрационных вод в основании дамбы; - разрушение плит облицовки; - оплывы дамб на 2-х участках; - зарастание растительностью и камышом в береговой зоне;	Ю. М. Косиченко Д. В. Бакланова	2005 2011-2013
Пролетарский МК	54	0,80/0,85	Земляное	- зарастание водной растительностью; - заиление дна канала; - деформации поперечного профиля канала; - разрушение плит облицовки; - фильтрация из канала, связанная с наличием карстовых пород в основании канала;	Д. В. Бакланова	2011-2013
Азовский МК	18/20	0,78/0,82	Земляное	- зарастание откосов водной растительностью по всей длине канала; - образование водорослей; - размывы и обрушения откосов; - заиление русла канала;	Ю. М. Косиченко, Ю. И. Иовчу	2004 2007-2008
Нижне-Донской МК	25,6/25,6	0,76/0,9	Земляное	- зарастание откосов водной и древесной растительностью; - оплывы дамб; - заиление дна с уменьшением пропускной способности;	Ю.И. Иовчу	2007-2008

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	7
Багаевский МК	24/30	0,75/0,75	Земляное	<ul style="list-style-type: none"> <li>- зарастание водной растительностью и заиление русла канала;</li> <li>- снижение пропускной способности на 20-30 %;</li> </ul>	Ю.И. Иовчу	2007
БСК-1	172/180	0,928/0,96	Земляное с укреплением на отдельных участках	<ul style="list-style-type: none"> <li>- образование провальных воронок в ложе канала на 5-7 км;</li> <li>- образование провальных зон с выраженной инфильтрацией. Глубокие промоины глубиной до 0,5 м и шириной 1-1,5 м.</li> <li>- деформации покрытия;</li> <li>- образование подсечек и размывов;</li> <li>- выход фильтрационного потока на низовой откос;</li> <li>- угроза прорыва дамб, вызванная карстово-суффозионными процессами;</li> </ul>	Ю. У. Байчоров и др.  К. Г. Гурин	1972-1978  2005
Терско-Кумский	80,0		Земляное	<ul style="list-style-type: none"> <li>- размывы откосов на 6 км;</li> <li>- отложение наносов у правой части канала;</li> <li>- зарастание сорной растительностью;</li> <li>- выход фильтрационного потока на приканальную территорию;</li> </ul>	Г. Л. Лобанов	1980-1985

По итогам проведенных натурных исследований обнаружены значительные деформации, связанные с проявлением оползневых процессов (ДМК, БСК-1), разрушением и деформациями покрытий каналов на некоторых участках (ДМК, ПМК, БСК-1), в связи с чем, возможно увеличение расхода фильтрационного потока, действующих средних градиентов напора в теле и основании дамб каналов в насыпи, что также грозит аварийной ситуацией.

Кроме того, в настоящее время фактический КПД этих каналов значительно снизился, что свидетельствует об ухудшении их технического состояния, понижении показателей безопасной работы на потенциально опасных участках.

Для повышения КПД данных каналов, снижения потерь воды на фильтрацию необходимо провести по каналам комплексный капитальный ремонт, а на некоторых участках – реконструкцию с устройством современных противофильтрационных облицовок и устройств.

### **3.4 Натурные наблюдения за формированием кривой депрессии по опытным скважинам на Донском магистральном канале**

Для наблюдения за положением депрессионной кривой и уровнем грунтовых вод по правой стороне Донского магистрального канала в пределах первой очереди реконструкции канала были выбраны три контрольных створа (створ №1 ПК 485, створ №2 ПК 523, створ №3 ПК 533) (рисунок 3.14).

Створы выбраны в наиболее характерных участках, в каждом створе две скважины располагались в пределах канала до проходящей рядом шоссейной дороги, и одна скважина за дорогой.

Под руководством главного гидрогеолога «Южводпроекта» бригада бурильщиков выполнила работы по устройству 9 наблюдательных скважин (рисунок 3.15). По пьезометрам в течение 6 месяцев были осуществлены наблюдения за колебаниями уровней грунтовых вод.

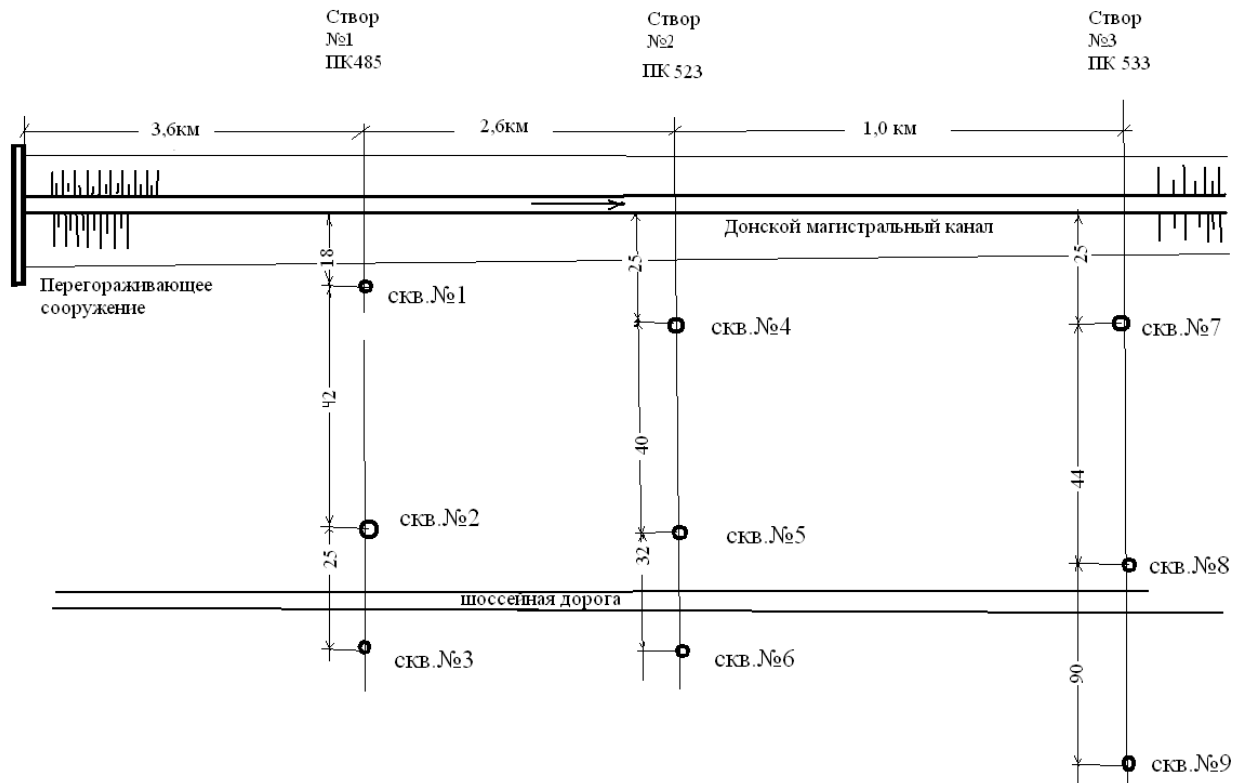


Рисунок 3.14 – Схема расположения по каналу трех створов и 9 наблюдательных скважин вдоль Донского магистрального канала



Рисунок 3.15 – Процесс бурения скважины до глубины 6 м путем наращивания шнека

Бурение скважин диаметром 230 мм было произведено буровой установкой с одновременной обсадкой трубами  $D=200$  мм и длиной 6,0 м до проектной глубины. Подстилающие грунты в приканальной зоне – высокопластичные суглинки. В каждую пройденную скважину устанавливались пьезометры для наблюдений за уровнем грунтовых вод (рисунок 3.16).

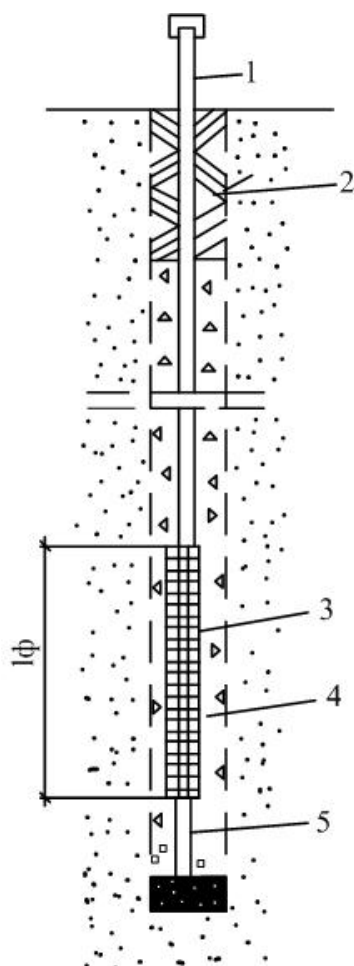


Рисунок 3.16 – Пьезометры для наблюдений за уровнем грунтовых вод  
1 – устье скважины; 2 – засыпка грунтом; 3 – водоприемник; 4 – обсыпка крупнозернистым песком; 5 – отстойник

Пьезометр представляет собой трубу  $D=108$  мм, состоящую из глухой надфильтровой части, рабочей части фильтра и отстойника, закрытого снизу деревянной или металлической пробкой. Фильтр представляет собой трубу  $D=108$  мм длиной 1 м с круглыми отверстиями  $D=12$  мм, расположенными в шахматном порядке.

Расстояние между центрами отверстий в горизонтальном ряду – 21 мм, в вертикальном ряду – 26 мм. Число отверстий на 1 п. м. – 360 шт, что обеспечивает скважность до 40 % достаточную для наблюдательных скважин.

Перфорированная часть трубы (фильтр) обматывается фильтрующей тканью. После установки фильтра в скважины обсадные трубы извлекались с одновременной обсыпкой затрубного пространства гравием. Гравийная обсыпка доводилась до глубины 2 м от поверхности земли. Далее затрубное пространство до поверхности земли тщательно тампонировалось пластичной глиной и была произведена прокачка скважин до полного осветления воды. Устье скважин №№ 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 было забетонировано в виде отмостки 1×1 м.

Верх трубы закрывался крышкой, на которой был надписан номер пьезометра после окончания работ по организации пьезометрической сети для наблюдений за режимом фильтрации грунтовых вод в приканальной зоне Донского магистрального канала, все скважины – пьезометры были переданы по акту дирекции Донского магистрального канала для обеспечения сохранности и проведения режимных наблюдений.

На каждую скважину был составлен паспорт. Все наблюдательные скважины перед сдачей их в эксплуатацию были привязаны в планово-высотном положении.

Конструкция наблюдательных пьезометрических скважин выбрана с учетом гидрогеологического строения, гидрогеологических условий водопроницаемости грунтов и глубины залегания грунтовых вод. Замеры уровней грунтовых вод проводились от верха трубы.

Пьезометрическая труба соединяет водоприемник с дневной поверхностью и выполняет роль бурового колодца, используемого для измерения уровня воды в пьезометре.

Оголовок опускных пьезометров представляет собой отрезок (длиной 0,3-0,4 м) пьезометрической трубы, выступающей над дневной поверхностью сооружения и закрытый сверху закручивающейся съемной металлической крышкой.

В каждом наблюдательном створе размещалось по три пьезометра по правой стороне канала на расстоянии 18-25 м, 40-44 м, 25-90 м соответственно от уреза воды в канале до первой скважины, между первой-второй и второй-третьей скважинами.

Результаты наблюдений заносились в ведомость замеров уровня грунтовых вод по наблюдательным скважинам (таблица 3.6), размещенных по правой стороне Донского магистрального канала одновременно проводился анализ воды (таблицы 3.7, 3.8).

Анализируя эти данные можно сделать вывод, что в среднем по всем скважинам при полном опорожнении воды в канале (рисунок 3.17) по сравнению с наполненным каналом до максимального уровня наблюдается снижение уровня грунтовых вод на 2,5 м.



Рисунок 3.17 – Зафиксированный уровень воды в канале при полном опорожнении в створе №1 (дата проведения наблюдений 8.12.12г.)

Результаты наблюдений за изменением уровня грунтовых вод в приканальной зоне Донского магистрального канала приведены на рисунке 3.18.

Анализ данных показывает, что уровни грунтовых вод в период наблюдений 10.09.12 г. залегают достаточно близко от поверхности на глубине 2,0-2,7 м при полном наполнении канала при уровне воды 27,40 м.

Таблица 3.6 – Ведомость замеров уровня грунтовых вод по наблюдательным скважинам, размещенных по правой стороне Донского магистрального канала

№ скв	Дата замеров									
	10.09.12 г.		25.10.12 г.		2.11.12 г.		24.11.12 г.		8.12.12 г.	
	отм. пов. земли, м	отм. УГВ	отм. пов. земли, м	отм. УГВ	отм. пов. земли, м	отм. УГВ	отм. пов. земли, м	отм. УГВ	отм. пов. земли, м	отм. УГВ
СКВ.№ 1/ 27,7	220	25,50	218	25,52	403	23,67	468	23,02	468	23,02
СКВ.№ 2/ 27,3	300	24,30	300	24,30	385	23,45	468	22,44	493	22,37
СКВ.№ 3/ 27,3	344	23,86	343	23,87	390	23,40	470	22,60	475	22,55
Глубина воды в канале, м	4,0	27,41	4,0	27,41	1,0	24,41	0,5	23,91	1,0	24,41
СКВ.№ 4/ 27,4	195	25,45	200	25,40	360	23,80	428	23,12	340	24,00
СКВ.№ 5/ 27,0	10,0	24,45	9,5	24,35	112,5	23,40	180,5	22,70	189,5	23,20
СКВ.№ 6/ 27,0	72,0	23,30	71,5	23,20	118,0	23,20	176	22,40	185	23,00
Глубина воды в канале, м	4,0	27,40	4,0	27,40	1,0	24,40	0,5	23,90	0,5	23,9
СКВ.№ 7/ 27,0	170	25,30	180	25,20	335	23,65	400	23,0	418	22,82
СКВ.№ 8/ 26,4	198	24,42	200	24,40	301	23,39	401	22,99	409	22,31
СКВ.№ 9/ 26,3	380	22,50	382	22,48	426	22,04	458	21,72	470	21,6
Глубина воды в канале, м	4,0	27,41	4,0	27,41	1,0	24,41	0,5	23,91	1,2	24,61



Таблица 3.7 – Результаты анализа воды объекта: Донской магистральный канал

№№ лаб. опред.	Наименование и №№ выработок	Глуби- на отбора проб, м	Сухой остаток мг/л	Содержание, мг/л/мг-экв/л							Жесткость мг-экв/л			РН
				Cl	HCO <sub>3</sub>	CO <sup>2</sup>	SO <sup>2</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup> по расчету	времен.	пост.	общая	
723	Вода канала		946,0	278,32	231,8	нет	224,27	112,0	34,05	181,93	3,8	4,6	8,4	7,0
			965,0	7,84	3,8		4,67	5,6	2,8	7,91				
724	СКВ.1	6,0	1019,0	258,44	439,2	нет	166,66	1120	24,32	238,05	7,2	0,4	7,6	7,0
			1082,0	7,28	7,2		3,47	5,6	2,0	10,35				
725	СКВ.2	6,0	873,0	178,92	402,6	нет	206,98	80,0	77,82	127,65	6,6	3,8	10,4	6,8
			918,0	5,04	6,6		4,31	4,0	6,4	5,55				
726	СКВ.3	6,0	1101,0	238,56	475,8	нет	238,26	120,0	48,64	218,04	7,8	2,2	10,0	7,0
			1178,0	6,72	7,8		4,96	6,0	4,0	9,48				
727	СКВ.4	6,0	954,0	238,56	341,6	нет	214,80	112,0	43,78	174,57	5,6	3,6	9,2	7,0
			973,0	6,72	5,6		4,47	5,6	3,6	7,59				
728	СКВ.5	6,0	1383,0	298,2	390,4	нет	422,20	240,0	43,78	183,77	6,4	9,2	15,6	7,0
			1421,0	8,4	6,4		8,79	12,0	3,6	7,99				
729	СКВ.6	6,0	1177,0	228,62	390,4	нет	370,35	136,0	77,82	169,05	6,4	6,8	13,2	7,0
			1195,0	6,44	6,4		7,71	6,8	6,4	7,35				
730	СКВ.7	6,0	889,0	238,56	353,8	нет	151,02	136,0	19,46	167,21	5,8	2,6	8,4	7,0
			909,0	6,72	5,8		3,15	6,8	1,6	7,27				
731	СКВ.8	6,0	1548,0	248,5	549,0	нет	533,71	216,0	11,87	163,76	9,0	11,0	20,0	7,0
			1562,0	7,0	9,0		11,12	10,8	9,2	7,12				
732	СКВ.9	6,0	2563,0	288,26	427,0	нет	1258,37	232,0	126,4 6	444,59	7,0	15,0	22,0	7,0
			2572,0	8,12	7,0		26,21	11,6	10,4	19,33				

Примечание: дата доставки проб – 2.11.2012 г.  
дата испытания – 8.11.2012 г.

Таблица 3.8 – Результаты анализа воды объекта: Донской магистральный канал

№№ лаб. опред.	Наименование и №№ выработок	Глубина отбора проб, м	Сухой остаток мг/л	Содержание, мг/л/мг-экв/л							Жесткость мг-экв/л			РН
				Cl	HCO <sub>3</sub>	CO <sup>2</sup>	SO <sup>2</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup> по расчету	времен.	пост.	общая	
879	Вода канала		957,0	269,8	244,0	нет	239,08	80,0	48,64	197,34	4,0	4,0	8,0	7,4
			977,0	7,6	4,0		4,98	4,0	4,0	8,58				
880	СКВ.1	6,0	1103,0	284,0	475,8	нет	246,08	80,0	150,78	104,19	7,8	8,6	16,4	7,0
			1143,0	8,0	7,8		5,13	4,0	12,4	4,53				
881	СКВ.2	6,0	1168,0	284,0	488,0	нет	233,32	80,0	68,10	258,98	8,0	1,6	9,6	7,2
			1189,0	8,0	8,0		4,86	4,0	5,6	11,26				
882	СКВ.4	6,0	1068,0	269,8	366,0	нет	246,90	128,0	48,64	191,82	6,0	4,4	10,4	7,4
			1092,0	7,6	6,0		5,14	6,4	4,0	8,34				
883	СКВ.5	6,0	1599,0	397,6	414,8	нет	464,58	224,0	82,69	222,64	6,8	11,2	18,0	7,0
			1654,0	11,2	6,8		9,68	11,2	6,8	9,68				
884	СКВ.6	6,0	1354,0	355,0	414,8	нет	378,99	136,0	150,78	126,27	6,8	12,4	19,2	7,2
			1389,0	10,0	6,8		7,89	6,8	12,4	5,49				
885	СКВ.7	6,0	993,0	312,4	402,6	нет	117,28	88,0	38,91	235,52	6,6	1,0	7,6	6,8
			1016,0	8,8	6,6		2,44	4,4	3,2	10,24				
886	СКВ.8	6,0	1788,0	468,6	536,8	нет	464,17	192,0	126,46	268,41	8,8	11,2	20,0	7,0
			1843,0	13,2	8,8		9,67	9,6	10,4	11,67				
887	СКВ.9	6,0	2980,0	553,8	451,4	нет	1238,6 1	320,0	126,46	515,2	7,4	19,0	26,4	6,8
			3017,0	15,6	7,4		25,80	16,0	10,4	22,4				

Примечание: дата доставки проб: 28.11.2012г.  
дата испытания: 30.11.2012г

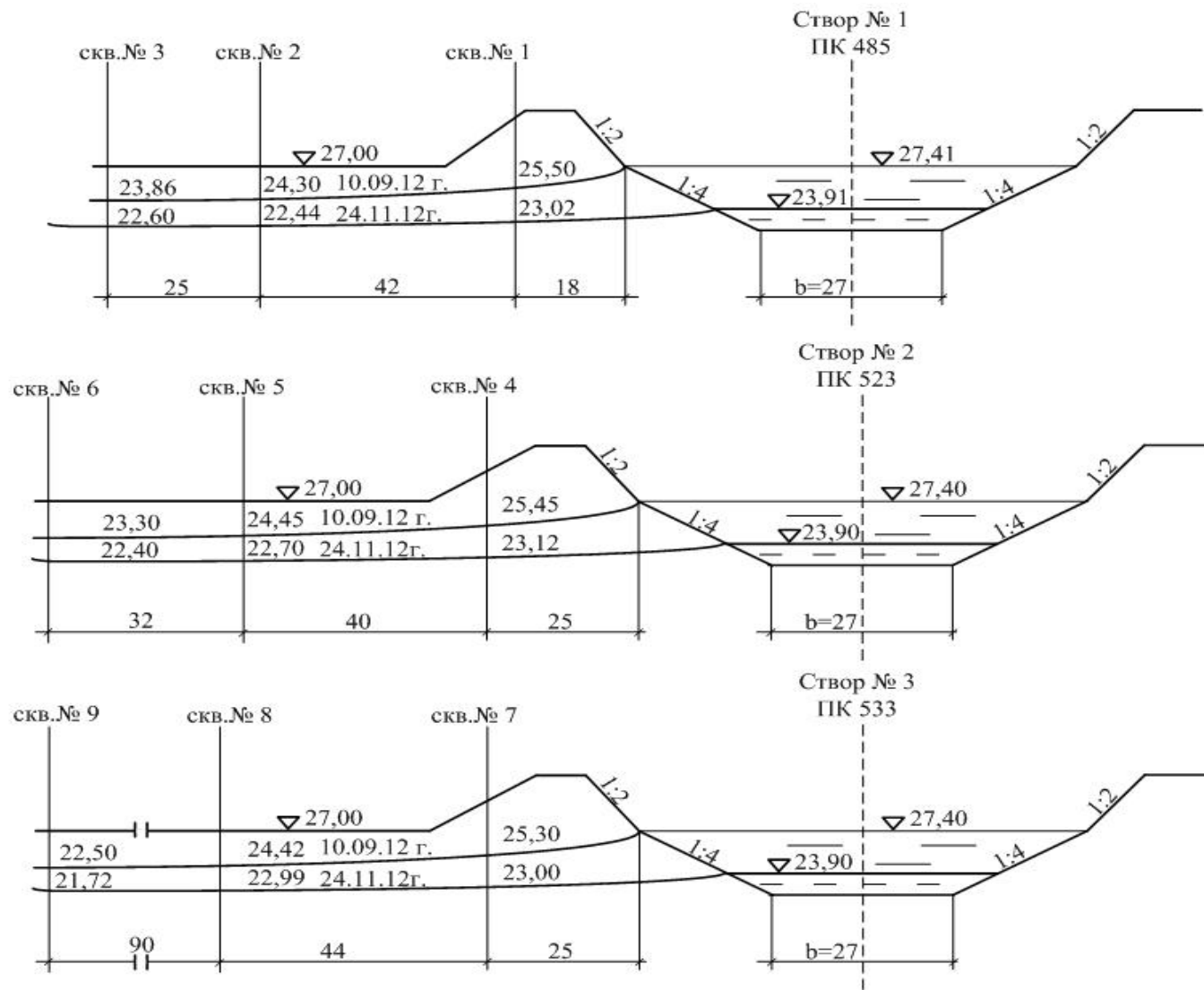


Рисунок 3.18 – Результаты наблюдений за изменением уровня грунтовых вод на Донском магистральном канале

При снижении уровня воды в канале на 24.11.12 г. на 3,5 м, при отметке 23,91 м, кривая депрессии существенно выполаживается, а при полном опорожнении канала наблюдается обратный приток грунтовых вод в канал, о чем свидетельствует оставшийся слой воды в канале глубиной до 0,5 м

В результате обратного притока грунтовых вод в канал возникают неблагоприятные явления, связанные с оплыванием откосов под действием фильтрационных сил (рисунок 3.19), что приводит к потере их статической устойчивости, а по дну канала отлагается слой сжиженного грунта.



Рисунок 3.19 – В период полного опорожнения канала в этом створе №3 наблюдался уровень стояния грунтовых вод 1,25м (дата проведения наблюдений 8.12.12г.)

Продукты деформации откосов приводят к уменьшению расчетной глубины в канале, а, соответственно, к снижению пропускной способности.

Кроме того, это сказывается неблагоприятно на техническом состоянии канала. В связи с этим, для приведения русла канала в нормальное техническое со-

стояние приводится очистка канала по дну с помощью землеройной техники или при наличии необходимой глубины – земснарядом.

По предложению ФГБНУ «РосНИИПМ» на этих участках канала при проведении его реконструкции предусматривается устройство противофильтрационных покрытий с возможностью отвода грунтовых вод в канал.

На основании анализа проб воды из наблюдательных скважин (таблицы 3.7 и 3.8) можно сделать вывод о том, что она относится к III-IV классу и при ее использовании для поливов оказывает неблагоприятное воздействие на плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур. Следовательно, поступление грунтовых вод из приканальной зоны в канал ухудшает качество оросительной воды непосредственно в канале.

### **3.5 Оценка риска разрушения потенциально опасных участков Донского и Пролетарского магистральных каналов**

По предложенной во второй главе методике автором были выполнены расчеты фильтрации и оценки риска разрушения потенциально опасных участков Донского и Пролетарского магистральных каналов.

#### **3.5.1 Оценка риска разрушения участков в насыпи Донского магистрального канала**

Пользуясь продольным профилем ДМК на ПК 499+00-ПК 1115+79 для расчета были выбраны участки канала в насыпи: ПК 530-540, ПК 555-565, ПК 605-620, ПК 655-665, ПК 703-707, ПК 750-755 и ПК 758-768.

Продольный профиль участков ПК 530-540, ПК 555-565, ПК 605-620, ПК 655-665 представлен на рисунке 3.20.

Ввиду полигонального поперечного профиля канала коэффициенты заложения верхового и низового откоса принимались равными 4. Исходные данные для расчетов приведены в таблице 3.9.

Результаты выполненных расчетов приведены в таблице 3.10.

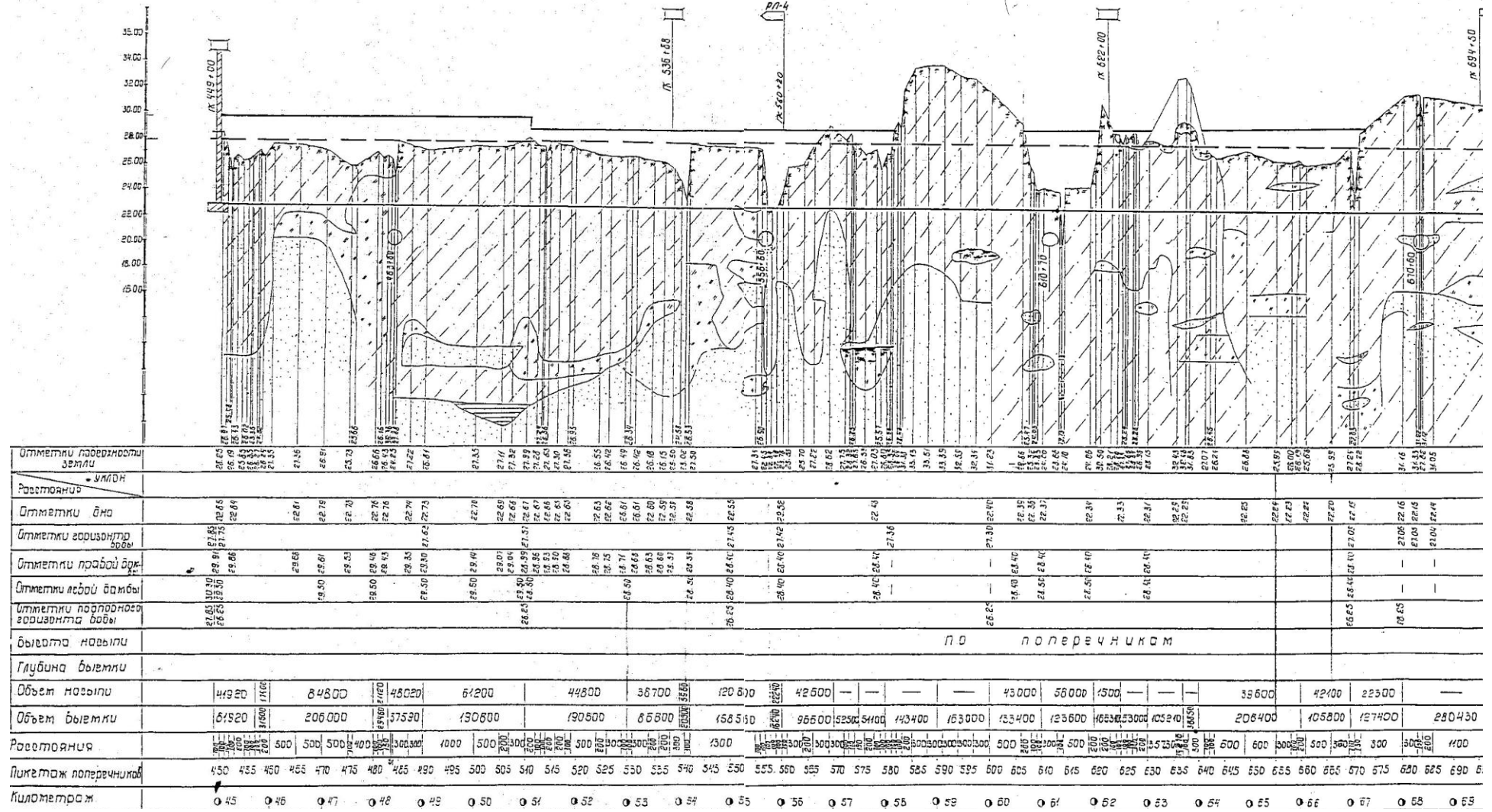


Рисунок 3.20 – Продольный профиль Донского магистрального канала с участками в насыпи на ПК 530-540, ПК 555-565, ПК 605-620

Таблица 3.9 – Исходные данные для расчета риска аварии участков в насыпи  
Донского магистрального канала

№ п/п	Участки ДМК в насыпи	Исходные данные для расчета риска аварии
1	ПК 530-540	$m_1 = m_2 = 4$ , $d = 1,0$ м, $b_{гр} = 6$ м, $b = 12$ м, $h_0 = 4,9$ м, $K_T = K_O = 0,2$ м/сут, $H = 14,0$ м, $T = 8,2$ м
2	ПК 555-565	$m_1 = m_2 = 4$ , $d = 0,98$ м, $b_{гр} = 6$ м, $b = 12$ м, $h_0 = 4,9$ м, $K_T = K_O = 0,2$ м/сут, $H = 9,62$ м, $T = 4,72$ м
3	ПК 605-620	$m_1 = m_2 = 4$ , $d = 1,1$ м, $b_{гр} = 6$ м, $b = 12$ м, $h_0 = 4,9$ м, $K_T = K_O = 0,2$ м/сут, $H = 10,64$ м, $T = 5,74$ м
4	ПК 655-665	$m_1 = m_2 = 4$ , $d = 0,50$ м, $b_{гр} = 6$ м, $b = 12$ м, $h_0 = 4,9$ м, $K_T = K_O = 0,2$ м/сут, $H = 9,7$ м, $T = 4,8$ м
5	ПК 703-707	$m_1 = m_2 = 4$ , $d = 1,0$ м, $b_{гр} = 6$ м, $b = 12$ м, $h_0 = 4,9$ м, $K_T = K_O = 0,2$ м/сут, $H = 15,0$ м, $T = 10,1$ м
6	ПК 750-755	$m_1 = m_2 = 4$ , $d = 0,99$ м, $b_{гр} = 6$ м, $b = 12$ м, $h_0 = 4,9$ м, $K_T = K_O = 0,2$ м/сут, $H = 15,0$ м, $T = 10,1$ м
7	ПК 758-768	$m_1 = m_2 = 4$ , $d = 1,0$ м, $b_{гр} = 6$ м, $b = 12$ м, $h_0 = 4,9$ м, $K_T = K_O = 0,2$ м/сут, $H = 10$ м, $T = 5,1$ м

Таблица 3.10 – Расчеты фильтрации для участков в насыпи на Донском  
магистральном канале

№ п/п	Участки ДМК в насыпи	$h_1$	$q_T$ , м <sup>2</sup> /сут	$q_O$ , м <sup>2</sup> /сут	$J_{est,m}^T$	$J_{est,m}^O$	$J_{est,max}^T$	$\lambda_T$ , $\times 10^{-4}$ 1/год	$\lambda_O$ , $\times 10^{-4}$ 1/год	$\lambda$ , $\times 10^{-4}$ 1/год
1	ПК 530-540	6,660	0,320	0,168	0,185	0,102	1,276	1,15	0,634	1,784
2	ПК 555-565	2,050	0,104	0,023	0,150	0,097	0,823	0,931	0,604	1,535
3	ПК 605-620	4,476	0,222	0,116	0,173	0,101	1,080	1,07	0,625	1,697
4	ПК 655-665	4,478	0,223	0,101	0,184	0,106	1,228	1,14	0,655	1,798
5	ПК 703-707	7,310	0,347	0,205	0,188	0,101	1,319	1,17	0,630	1,794
6	ПК 750-755	7,310	0,347	0,205	0,188	0,102	1,322	1,17	0,630	1,795
7	ПК 758-768	4,180	0,208	0,103	0,172	0,101	1,073	1,07	0,629	1,699

На основании анализа результатов расчетов для всех расчетных случаев можно заключить следующее: риск разрушения дамбы канала по средним градиентам не превышает нормативного значения принятого  $\lambda_H = 5 \cdot 10^{-4}$  1/год.

Однако на всех рассматриваемых участках, кроме ПК 555-565 (55-56 км), не выполняется условие местной фильтрационной прочности грунта при выходе фильтрационного потока на приканальную территорию, что свидетельствует о возможности локальных разрушений грунта в виде суффозии или выпора.

### 3.5.2 Оценка риска разрушения участков в насыпи Пролетарского магистрального канала

По результатам проведенных натурных исследований на Пролетарском магистральном канале может произойти ряд аварийных ситуаций, которые могут привести к сокращению или прекращению подачи воды потребителю.

Для ПМК также были выполнены расчеты фильтрации и проведена оценка риска аварии потенциально опасных участков канала. На рисунках 3.21-3.24 представлены поперечные сечения канала при высоте насыпи дамб от 3 до 8 м. Исходные данные для расчетов приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Исходные данные для расчета риска аварии участков в насыпи Пролетарского магистрального канала

№ п/п	Участки ПМК в насыпи	Исходные данные для расчета риска аварии
1	с высотой насыпи до 3 м	$m_{1cp} = 3, m_2 = 3, d = 0,6 \text{ м}, b_{гр} = 6 \text{ м}, b = 4 \text{ м}, h_0 = 4,5 \text{ м},$ $K_T = K_O = 0,15 \text{ м/сут}, H = 3 \text{ м}$
2	с высотой насыпи от 3 до 4 м	$m_{1cp} = 3, m_2 = 3, d = 0,6 \text{ м}, b_{гр} = 6 \text{ м}, b = 4 \text{ м}, h_0 = 4,5 \text{ м},$ $K_T = K_O = 0,15 \text{ м/сут}, H = 4 \text{ м}$
3	с высотой насыпи от 4 до 6 м	$m_{1cp} = 3, m_2 = 3, d = 0,6 \text{ м}, b_{гр} = 6 \text{ м}, b = 4 \text{ м}, h_0 = 4,5 \text{ м},$ $K_T = K_O = 0,2 \text{ м/сут}, H = 6 \text{ м}$
4	с высотой насыпи до 8 м	$m_{1cp} = 3, m_2 = 3, d = 0,6 \text{ м}, b_{гр} = 6 \text{ м}, b = 4 \text{ м}, h_0 = 4,5 \text{ м},$ $K_T = K_O = 0,2 \text{ м/сут}, H = 8 \text{ м}$

Результаты вычислений приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Расчеты фильтрации для потенциально опасных участков Пролетарского магистрального канала

№ п/п	Участки ПМК	$h_1$	$q_T, \text{ м}^2/\text{сут}$	$q_O, \text{ м}^2/\text{сут}$	$J_{\text{est},m}^T$	$J_{\text{est},m}^O$	$J_{\text{est},\text{max}}^T$	$\lambda_T, \times 10^{-3} \text{ 1/год}$	$\lambda_O, \times 10^{-3} \text{ 1/год}$	$\lambda, \times 10^{-3} \text{ 1/год}$
1	с высотой насыпи до 3 м	0,812	0,041	0,002	0,169	0,117	0,892	0,959	0,669	1,628
2	с высотой насыпи от 3 до 4 м	1,110	0,056	0,002	0,172	0,119	0,928	0,981	0,679	1,660
3	с высотой насыпи от 4 до 6 м	2,040	0,102	0,029	0,200	0,128	1,175	1,138	0,728	1,866
4	с высотой насыпи до 8 м	3,111	0,150	0,067	0,217	0,128	1,398	1,237	0,729	1,966



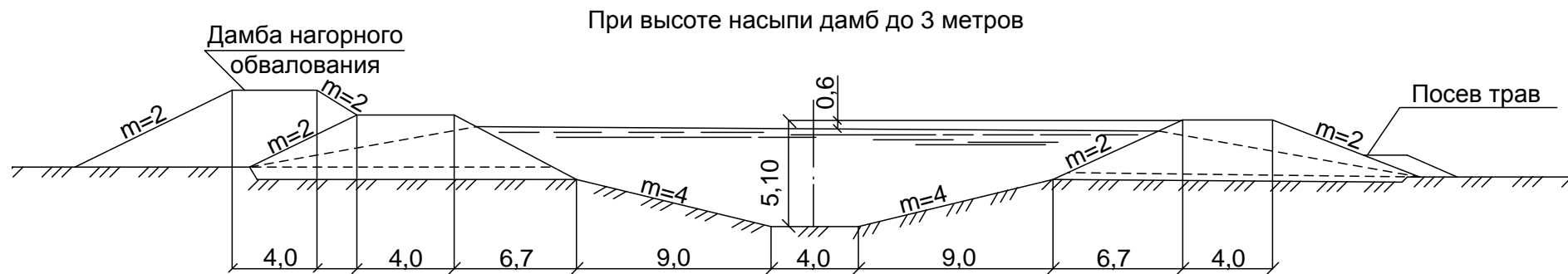


Рисунок 3.21 – Поперечные сечения ПМК при высоте насыпи дамб до 3 метров

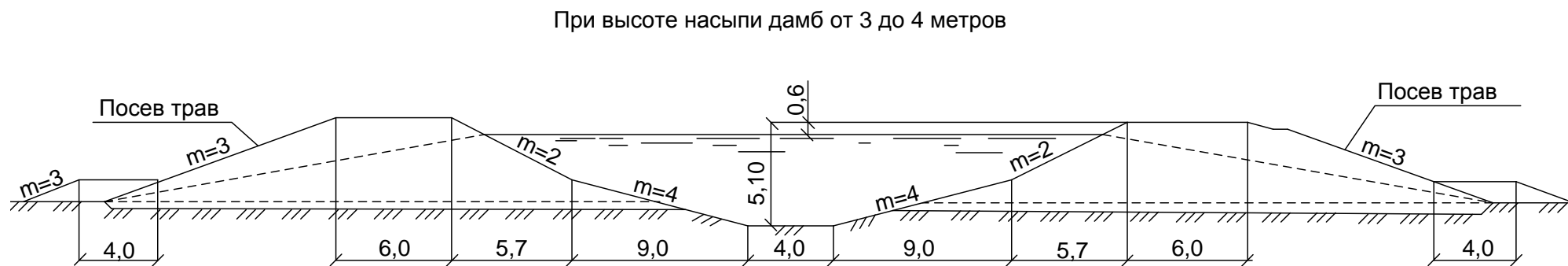


Рисунок 3.22 – Поперечные сечения ПМК при высоте насыпи дамб от 3 до 4 метров

При высоте насыпи дамб от 4 до 6 метров

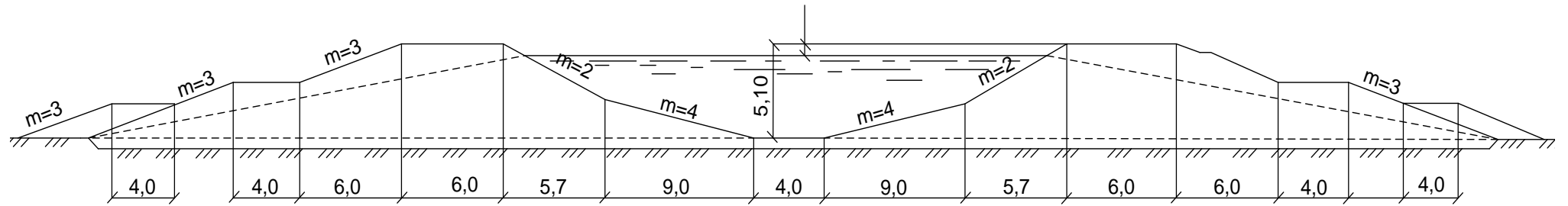


Рисунок 3.23 – Поперечные сечения ПМК при высоте насыпи дамб от 4 до 6 метров

При высоте насыпи дамб от 6 до 8 метров

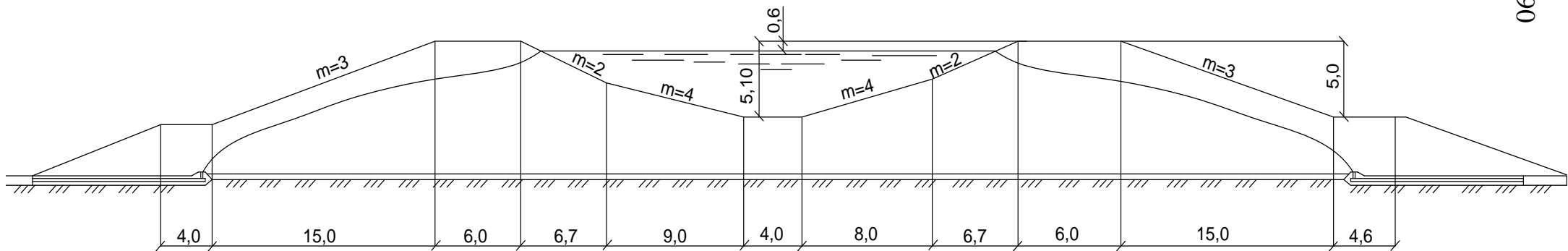


Рисунок 3.24 – Поперечные сечения ПМК при высоте насыпи дамб от 6 до 8 метров

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что для всех расчетных случаев риск аварии дамб Пролетарского магистрального канала не превышает нормативного значения. Однако возможны разрушения грунта дамб при выходе фильтрационного потока на приканальную территорию при высоте насыпи дамб от 3 до 8 м.

Выполнив натурные исследования на магистральных каналах Ростовской области, а также изучив опыт эксплуатации крупных магистральных каналов России и зарубежья, автором предлагается классификация каналов по техническому состоянию и уровню безопасности, которая представлена в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Классификация каналов по уровню технического состояния и безопасности, в зависимости от количественных диагностических показателей

Уровень технического состояния и безопасности канала	По заилению (% от площади живого сечения)	По устойчивости откосов	По градиенту фильтрации $J_{est}$	По превышению берм, $d$	По повреждению облицовок канала по площади (сколы, оголение арматуры), %
Нормальный уровень	0-8%	$K_{зап} \geq 1,05 K_{доп}$	$J_{est} < j_m$	$d \geq d_{np}$	0-10%
Пониженный уровень	8-15%	$K_{зап} < 1,05 K_{доп}$	$J_{est} = j_m$	$d < 0,95 d_{np}$	10-20%
Неудовлетворительный уровень	15-23%	$K_{зап} \leq K_{доп}$	$J_{est} > 1,2 j_m$	$\alpha < 0,90 d_{np}$	20-30%
Опасный уровень	23-30%	$K_{зап} \leq 0,95 \cdot K_{доп}$	$J_{est} > 1,5 j_m$	$d < 0,70 d_{np}$	30-40%

### Выводы по главе

1. Представлена подробная характеристика объектов натурных исследований – Донского и Пролетарского магистральных каналов.
2. Дано описание методики проведения визуальных и инструментальных обследований, с описание используемых приборов.
3. Приведены результаты натурных исследований и их анализ на каналах Юга России.

4. Результаты натурных исследований показали неудовлетворительное состояние дамб каналов, а также увеличение фильтрационных потерь, для снижения которых необходимо провести по каналам комплексный капитальный ремонт, а на некоторых участках – реконструкцию с устройством современных противо-фильтрационных облицовок и устройств.

5. В результате наблюдений за формированием кривой депрессии по опытным скважинам на Донском магистральном канале можно заключить, что при снижении уровня воды в канале кривая депрессии значительно выполаживается, а при полном опорожнении канала наблюдается обратный приток грунтовых вод в канал, вследствие чего наблюдается оплывание откосов дамб под действием фильтрационных сил и происходит потеря их статической устойчивости, а по дну канала отлагается слой сжиженного грунта.

6. Проведены расчеты риска аварий для участков в насыпи Донского и Пролетарского магистральных каналов и получены значения риска разрушения дамб каналов, который не превышает нормативного значения. Однако на некоторых участках возможны локальные разрушения грунта при выходе фильтрационного потока на низовой откос.

## **4 РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И УСТРАНЕНИЮ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ УЧАСТКАХ КАНАЛОВ**

### **4.1 Рекомендуемые мероприятия по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов (по опыту эксплуатации каналов юга России)**

В данном пункте предлагаются основные мероприятия по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов, которые изложены в рекомендациях, разработанных с участием автора.

Вопросы эксплуатации каналов и их русловых деформаций рассмотрены многими отечественными учеными [9, 11, 28, 29, 41-44, 48, 50, 51, 54, 55, 64-66, 72, 73, 82, 85, 89, 95, 111-114, 116 и др.].

Безаварийная работа магистральных каналов непосредственно зависит от условий и режима их эксплуатации. Своевременное поддержание в исправном состоянии дамб канала и сооружений на нем требует постоянного ухода, то есть проведения предупредительного ремонта и необходимых мер, особенно на потенциально опасных участках, связанных с быстрым устранением обнаруженных фильтрационных деформаций, а также с систематическим выполнением работ по улучшению технического состояния канала, увеличению его водонепроницаемости и повышению КПД.

Одной из важных задач службы эксплуатации магистральных каналов является достоверная оценка потерь на фильтрацию в настоящее время, а также прогнозирование их величины на будущий период.

Кроме того, при вводе канала в эксплуатацию необходимо уделять большое внимание фильтрации через дамбы канала, а также проводить необходимые наблюдения за работой приканального дренажа [36].

Эксплуатирующая организация должна проводить мероприятия по уменьшению потерь воды из канала и, при этом, оценивать негативное влияние фильтрационных вод на работу насыпных дамб канала и следить за деформациями, вызванными этим влиянием.

С этой целью, в процессе эксплуатации магистральных каналов должны проводиться текущие, капитальные ремонты, а при надобности аварийные работы, которые представляют собой вид ремонта, проводимый уже после возникновения аварийной ситуации или стихийного бедствия. Аварийные работы выполняют внепланово и, как правило, круглосуточно с принятием всех мер по быстрой ликвидации аварийной ситуации [8].

Текущий и капитальный ремонты – планово-предупредительные, которые проводят в определенном порядке. В процессе капитального ремонта магистральных каналов производится полное или частичное восстановление отдельных элементов или их групп на канале, конструктивных частей мелиоративной сети и их оборудования или замена их на более прочное и экономичное.

Периодичность капитального ремонта межхозяйственных магистральных или распределительных каналов в земляном русле составляет примерно 10 лет, при среднем сроке службы канала 100 лет.

Перечень основных работ по категориям ремонта, выполняемых на открытых каналах в земляном русле приведен в таблице 4.1.

Для достоверной оценки влияния фильтрационных факторов на вероятность возникновения аварийной ситуации на потенциально опасных участках каналов, необходимо постоянно вести наблюдения за качеством эксплуатации магистрального канала со сбором и анализом данных о работе отдельных его участков и фиксацией в специальных журналах:

- всех отказов канала;
- даты возникновения конкретного отказа, его причина;
- характеристики места повреждения канала, его размеров;
- времени потраченного на отыскание поврежденного участка канала, его ремонт;
- даты и времени ликвидации повреждений;
- описания проведенных мероприятий по ремонту и восстановлению работы поврежденного участка канала;
- материальных затрат на детали, оплату труда рабочим и работу машин.

Таблица 4.1 – Перечень основных работ по текущему и капитальному ремонту открытых каналов в земляном русле

Текущий ремонт	Капитальный ремонт
1	2
<p>Очистка от растительности и мусора.</p> <p>Очистка от наносов магистральных каналов при заилении до 30% живого сечения канала.</p> <p>Удаление оползней с ремонтом откосов и креплением их дерном или посевом трав. Проведение мероприятий по сокращению потерь воды на фильтрацию с уплотнением насыпного грунта и устройством глинистой облицовки ложа канала и т.д. Окашивание откосов и гребня дамб каналов от травянистой и кустарниковой растительности.</p> <p>Удаление перемычек.</p> <p>Перемещение и разравнивание кавальеров. Планировка бровок дамб и полос отчуждения в приканальной зоне.</p>	<p>Придание каналам проектных параметров и уклонов, изменение трассы каналов на отдельных участках канала с ремонтом или переустройством элементов сети затронутых при изменении трасс каналов по согласованию с землепользователями.</p> <p>В случае появления оползней, обрушений, выклинивания грунтовых вод и по другим техническим причинам в целях повышения эффективности и надежности эксплуатации магистральных каналов допускается изменение проектных параметров каналов по согласованию с землепользователями.</p> <p>Устройство перепадов или быстротоков при размывах русел каналов.</p> <p>Замена на каналах устаревших элементов и конструкций на новые, долговечные и высоконадежные с улучшенными техническими параметрами.</p> <p>Укрепление вогнутых откосов или увеличение радиуса закругления в случае размыва.</p> <p>Замена разрушенных креплений откосов до 50% от общей площади крепления. Замена биологических, деревянных, каменных креплений на бетонные и железобетонные в объеме 20% (единовременно) от общей площади креплений.</p> <p>Устройство дополнительных пешеходных мостов и переездов с креплением при необходимости железобетонными плитами в верхнем и нижнем бьефах.</p> <p>Очистка каналов от наносов при заилении более 30% живого поперечного сечения.</p>

При работе каналов на потенциально опасных участках в насыпи и на косогоре должны обеспечиваться незаиляющие скорости течения воды, так как заиление и зарастание русел снижает пропускную способность, что приводит к повышению уровней воды в канале и вероятности аварийной ситуации. В связи с этим необходимо добиться стабильной пропускной и транспортирующей способности по всей длине канала.

Кроме фильтрационных факторов, на возникновение аварийных ситуаций на потенциально опасных участках канала может влиять появление оползневых процессов, характерных чаще всего для искусственных насыпей. Оползни могут появляться вследствие комплекса причин, вызывающих изменение физико-механических свойств грунта. Например, при неправильном заложении откосов, на грунтах предрасположенных к оползанию, при повышенной фильтрации из канала, вырубке леса и кустарника, нарушении травяного покрова, распашке близлежащих земель, выпасом скота, подрезке основания неустойчивого косогора, а также при производстве земляных работ и их неорганизованное ведение на самом косогоре.

Оползни представляют собой большую угрозу при эксплуатации потенциально опасных участков каналов, ввиду возможного перекрытия русла канала грунтом оползня с последующим повышением уровня воды в канале, переливом воды через бровки дамбы, образованием прорана и, как следствие, затоплением прилегающей территории.

Автором предлагаются следующие профилактические мероприятия по исключению развития оползневых процессов:

- регулярный наружный осмотр, промеры заложения откосов и берм, надлежащее содержание имеющихся потенциально опасных участков канала и их своевременный ремонт;
- обследование состояния оползневого массива с выявлением необходимых работ по заделке трещин, деформаций и разрывов в грунте;
- устройство облицовок канала на опасных участках для обеспечения уменьшения фильтрации;



- надзор за состоянием водоохранной зоны.

При образовании оползня необходимо выполнить комплекс решений, направленных на устранение причин, вызывающих снижение устойчивости оползневого массива, и на механическое повышение его устойчивости с помощью противооползневых сооружений. В перечень этих мер входят:

- планировка поверхности оползневого массива и покрытие ее водонепроницаемой «одеждой»;
- перераспределение оползневых масс с разгрузкой активной части оползня и укладкой грунта у основания косогора;
- уполаживание низового откоса дамбы канала в насыпи или на косогоре с целью уширения основания дамбы;
- возведение поддерживающих сооружений при ремонте дамб на косогоре.

Оседание насыпей может происходить вследствие уплотнения грунта самой насыпи или из-за просадочных грунтов в основании, в том числе – и оттаявших вечномёрзлых, в связи с этим предлагается:

- уширение насыпей;
- быстрый сбор и отвод воды с нагорной стороны насыпи; перехват и отвод от насыпи грунтовых вод;
- возведение поддерживающего сооружения;
- отсыпка камня с низовой стороны насыпи;

При выпучивании грунтов с низовой стороны дамбы канала в насыпи необходимо систематически проводить наблюдения за состоянием грунта за дамбой и зондировкой этого участка металлическим щупом. В местах, где выпучивание грунтов с низовой стороны дамбы канала в насыпи, связано с наличием грунтовых вод, необходимо устраивать дренажи для перехвата и отвода воды. В качестве дренирующего устройства можно использовать древесные посадки вдоль каналов, если же эти мероприятия не оказывают нужного эффекта, необходимо принимать меры по увеличению длины пути фильтрации под дамбой.

Очень важным моментом при работе каналов на опасных участках является правильность выполнения проектных и строительных работ. Земляные насыпи, дамбы возводят в основном из однородных связных грунтов.

На подготовительном этапе возведения насыпей необходимо обеспечить полное снятие растительного слоя плодородного грунта, а также удалить непригодный грунт и уплотнить имеющееся основание.

К основным работам при возведении насыпи дамб каналов можно отнести:

- доставку грунта к месту строительства насыпи, которая осуществляется самосвалами и скреперами;
- выгрузку грунта, его разравнивание с последующим увлажнением и послойным уплотнением.

В зависимости от выбранной технологии производства земляных работ, а также от ширины слоя отсыпаемого грунта, определяют схему движения самосвалов, кроме того, весь участок производства работ по длине делят на отдельные отрезки, на которых последовательно осуществляют выгрузку транспортных средств. После этого приступают к разравниванию и уплотнению слоев грунта, толщиной по 0,3 м.

На заключительном этапе возведения насыпных дамб их откосы зачищают универсальными планировочными машинами, грейдерами, автогрейдерами или бульдозерами.

На основании вышеизложенного и анализа работы крупных магистральных каналов юга России автором предлагаются мероприятия по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов в земляном русле, которые представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Мероприятия по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках магистральных каналов в земляном русле

№ п/п	Наименование мероприятий	Периодичность проведения	Повышение показателей надежности и безопасности
1	2	3	4
1	Поддержание стабильной пропускной и транспортирующей способности по всей длине канала	постоянно	Повышение показателей надежности и безопасности канала на 10-40 %

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4
2	Режимные наблюдения за фильтрацией и работой приканального дренажа на потенциально опасных участках	Постоянно	
3	Регулярный наружный осмотр искусственных насыпей, промеры заложения откосов и берм. Надзор за состоянием водоохранной зоны	Постоянно	
4	Промеры отметок верха дамб канала, контроль за оседанием грунта тела и основания дамб канала	постоянно	
5	Систематические наблюдения за состоянием грунта за дамбой и зондировка опасного участка металлическим щупом	постоянно	
6	Очистка канала от растительности, мусора и наносов	1 раз в 1-2 года	Увеличение пропускной способности в 2-3,5 раза
7	Восстановление проектного поперечного сечения канала	1 раз в 1-2 года	
8	Ликвидация деформаций русла канала при размывах (подсечек) и действии ветровых волн (ветровая и водная эрозия)	постоянно	Повышение КПД канала на 3-5 %. Уменьшение фильтрационных потерь в 5-10 раз. Повышение общей и местной фильтрационной прочности грунта тела и основания дамбы, увеличение длины пути фильтрации.
9	Исключение деформаций русла канала связанных с развитием карстово-суффозионных процессов, заделка трещин с использованием конструкций из геомембран и габионных матов	1 раз в 3 года	
10	Ликвидация просадок дамб на потенциально опасных участках по средствам уширения насыпей, отвода воды с нагорной стороны насыпи, перехват и отвод от насыпи грунтовых вод. Восстановление проектных отметок дамб, возведение поддерживающего сооружения, укрепление откосов	1 раз в 2-3 года	

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4
11	Устранение оползней на верховом и низовом откосах с устройством противофильтрационных устройств или облицовок. Уполаживание низового откоса дамб канала	1 раз в 2 года	
12	Исключение выпучивания грунта с низовой стороны дамбы канала в насыпи или на косогоре по средствам устройства дренажа для перехвата и отвода воды или древесной посадки вдоль канала, увеличение длины фильтрационного потока под дамбой	1 раз в 2 года	
13	Устранение фильтрационных деформаций (мокрых пятен, суффозии, выпора) при выходе фильтрационного потока на низовой откос путем установки противофильтрационных устройств или «одежд»	1 раз в 3-5 лет	
14	Текущий ремонт канала	1 раз в 1-3 года	Уменьшение общего риска возникновения аварийной ситуации на потенциально опасных участках канала на 10-20 %
15	Капитальный ремонт канала	1 раз в 5-10 лет	Уменьшение общего риска возникновения аварийной ситуации на потенциально опасных участках канала до значений не превышающих нормативного $\lambda_n$

Проведение предлагаемых мероприятий позволит повысить КПД канала на 3-5 %, при этом сократить фильтрационные потери из канала в 5-10 раз, а также увеличить длину пути фильтрации, общую и местную фильтрационную прочность грунта тела и основания дамбы.

В целом использование предлагаемого комплекса мероприятий способствует уменьшению величины общего риска возникновения аварийной ситуации на участке канала в насыпи или на косогоре.



Сущность технического результата заключается в повышении эксплуатационной надежности низконапорных плотин и дамб из грунтовых материалов и снижении строительной стоимости противофильтрационной диафрагмы.

Противофильтрационная диафрагма состоит из плит двух типов – А (рисунок 4.3) и Б (рисунок 4.4), изготовленных из отходов полиолефинов, снабженных внутренними и наружными полуцилиндрическими выступами и каналами плотно соприкасающимися между собой, препятствующими их сдвигу в процессе эксплуатации и проникновению фильтрационных вод в нижний бьеф.

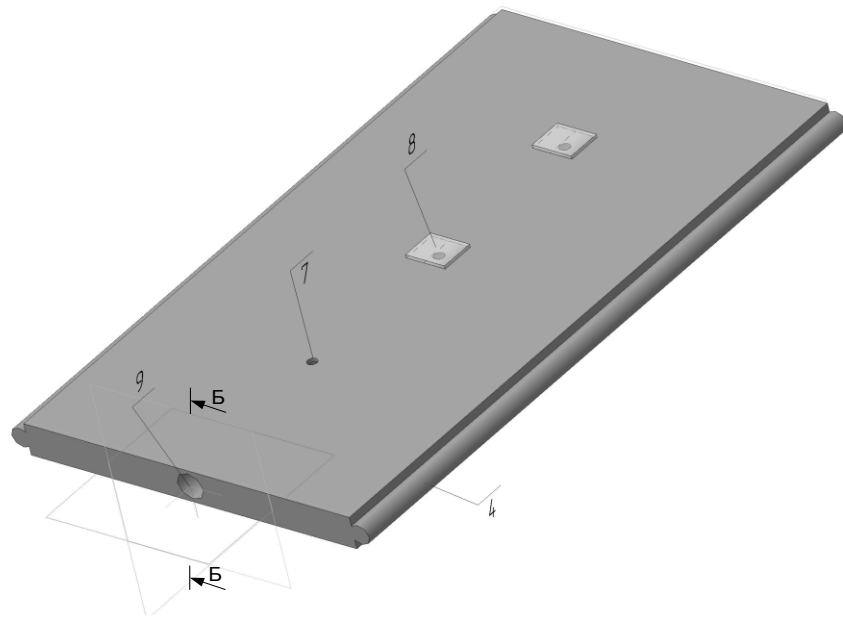


Рисунок 4.3 – Плита типа А

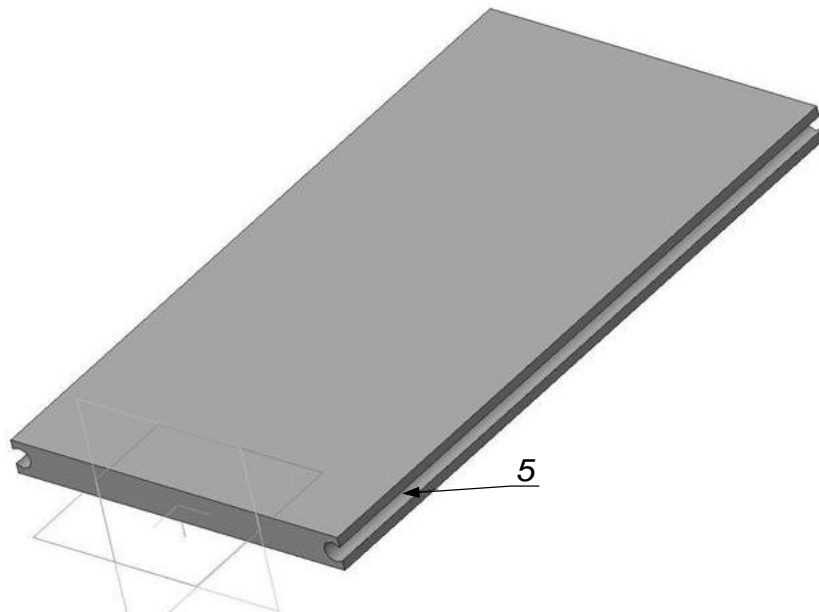


Рисунок 4.4 – Плита типа Б

Соединенные посредством полуцилиндрических выступов и каналов плиты помещаются в траншею на гребне дамбы на глубину необходимую для отсечения фильтрационного потока, при этом в плитах предусматриваются продольные цилиндрические полости, снабженные фильтрационными отверстиями, выполненными со стороны верхнего бьефа и предназначенными для определения уровня воды в теле плотины или дамбы. Для предотвращения выноса грунта фильтрационным потоком по контуру противофильтрационной диафрагмы выполняется обратный фильтр из нетканого геотекстиля.

Технический результат достигается применением противофильтрационной диафрагмы из плит, выполненных из отходов полиолефинов, снабженных продольной цилиндрической полостью, предназначенной для определения уровня воды и устраиваемой в гребне дамбы.

Предлагаемое устройство обеспечивает повышение надежности дамб из грунтовых материалов высотой до 10 м за счет обеспечения водонепроницаемости противофильтрационного устройства и доступности проведения наблюдений за уровнем грунтовых вод в теле дамбы, применение предлагаемой противофильтрационной диафрагмы способствует снижению строительной стоимости и материалоемкости с одновременной утилизацией отходов полиолефинов.

Повышение эксплуатационной надежности дамб каналов достигается следующим образом.

При выявлении очагов фильтрационных деформаций на низовом откосе дамбы в виде грифонов и ключей, определяют положение выхода кривой депрессии фильтрационного потока. Затем осуществляют устройство противофильтрационной диафрагмы в траншее на гребне дамбы на глубину равную  $S = h + a$ , где  $h$  – расстояние по вертикали от отметки гребня дамбы до места проявления очага фильтрационных деформаций на низовом откосе,  $a$  – величина заглубления диафрагмы, принимаемая от 1,0 до 1,5 м в зависимости от высоты сооружения. Траншею под диафрагму выполняют на глубину  $S$ , шириной 0,2-0,3 м, работы производят с помощью экскаватора, обеспечивающего необходимую глубину разработки грунта.

Устройство противофильтрационной диафрагмы на глубину  $S = h + a$  позволит значительно снизить высоту выхода депрессионной кривой на низовой откос с величины  $h_1$  до  $h_1'$  и уменьшить выходные градиенты фильтрационного потока до безопасного значения, исключая образование фильтрационных деформаций (суффозии, грифонов и ключей). Устройство противофильтрационной диафрагмы на глубину более  $S = h + a$  нецелесообразно, так как при этом устройство траншеи для противофильтрационной диафрагмы усложняется, а эффект защиты низового откоса не увеличивается.

Плиты, изготовленные в заводских условиях из отходов полиолефинов, имеют следующие параметры: толщина – 0,1 м, ширина – 1,5 м, длина – 8,0 м, снабжены полуцилиндрическими выступами и каналами. Плиты типа А снабжены наружными полуцилиндрическими выступами имеющими округлую форму, а также имеют продольную цилиндрическую полость, диаметром 0,08 м, центр которой расположен на расстоянии 0,5 м от кромки плиты, при этом продольная цилиндрическая полость имеет на одной из стенок отверстия диаметром 0,03 м, расположенные с расстоянием между центрами 0,5 м. Для предотвращения попадания в продольную цилиндрическую полость грунта, отверстия закрыты фильтром из нетканого геотекстиля плотностью 200 г/м<sup>2</sup>. Плиты типа Б снабжены внутренними полуцилиндрическими каналами.

Далее плиты разрезаются на секции длиной  $S$ , из полученных секций формируют противофильтрационную диафрагму путем соединения внутренних и наружных коннекторов. Длина противофильтрационной диафрагмы определяется по формуле  $L_{п.д.} = L_T - 1,0$ , где  $L_T$  – длина траншеи, 1,0 м – запас.

Затем производят раскройку геотекстиля на полотнища размером: шириной – 0,6 м, длиной – равной глубине траншеи  $S$ , полученные полотнища прикрепляют к боковым граням диафрагмы с нахлестом 0,1 м, путем нагрева поверхности плиты.

Далее противофильтрационную диафрагму в ручную или с помощью автокрана опускают в траншею устроенную на гребне дамбы канала, при этом отвер-



ствия в плитах типа А направлены в сторону верхового откоса. Засыпку траншеи производят вручную.

В процессе эксплуатации водоподпорного сооружения возможно проведение периодических наблюдений за уровнем грунтовых вод в теле сооружения, при этом уровень грунтовых вод измеряют в продольных цилиндрических полостях уровнемером скважинным, например УСП-Л-50. Данные наблюдений позволят прогнозировать изменение показателей надежности сооружения.

Противофильтрационную диафрагму плотин и дамб из грунтовых материалов выполняют следующим образом. В теле водоподпорного сооружения 1 формируют траншею 2, из плит типа А и плит типа Б собирают противофильтрационную диафрагму 3, путем соединения наружных полуцилиндрических выступов 4 и внутренних полуцилиндрических каналов 5, к противофильтрационной диафрагме прикрепляют полотна нетканого геотекстиля, выполняющего роль обратного фильтра 6, затем диафрагму опускают в траншею 2, ориентируя отверстия 7, защищенные фильтром из геотекстиля 8 в сторону верхнего бьефа. Далее производится засыпка траншеи 2. В процессе эксплуатации специалистами эксплуатирующей организации могут проводиться наблюдения за положением уровня грунтовых вод в теле водоподпорного сооружения путем замера уровня воды в продольной цилиндрической полости 9.

При появлении на низовом откосе низконапорной плотины или дамбы очага фильтрационных деформаций 10 в ее теле выполняют противофильтрационную диафрагму 3. Противофильтрационная диафрагма работает следующим образом. Фильтрационный поток, встречая на своем пути противофильтрационную диафрагму 3, гасит значительную часть фильтрационного напора, в результате чего происходит значительное понижение кривой депрессии 11 до положения 12, вследствие чего снижаются выходные градиенты фильтрационного потока до безопасных значений, исключая дальнейшее появление фильтрационных деформаций.

Предлагаемая противофильтрационная диафрагма плотин и дамб из грунтовых материалов позволит устранить фильтрацию через тело водоподпорного со-

оружения, выполнение противofильтрационной диафрагмы из плит, изготовленных из отходов полиолефинов, способствует удешевлению конструкции и вторичной переработке отходов полимеров, наличие обратного фильтра из геотекстиля исключит вероятность выноса грунта по контуру противofильтрационной диафрагмы. Наличие в плитах продольных цилиндрических полостей позволит производить наблюдения за уровнем грунтовых вод в теле водоподпорного сооружения, что позволит своевременно определить и прогнозировать изменения его технического состояния. Кроме того, изготовление плит длиной 8,0 м и возможность их разрезки на секции необходимой длины делают предлагаемое устройство универсальным.

#### **4.3 Способ заделки очага фильтрационных деформаций в дамбе канала**

Автором предлагается способ заделки очага фильтрационных деформаций в дамбе канала, который может быть использован при проведении аварийно-восстановительных работ под водой посредством заделки фильтрационных ходов в размываемых руслах каналов. Предлагаемый способ заделки очага фильтрационных деформаций в дамбе канала без его опорожнения повышает качество укладки, производительность и водонепроницаемость за счёт использования габионно-геомембранной конструкции защитного покрытия (заявка на изобретение № 2013149777 от 06.11.2013 г.).

На рисунке 4.5 изображена укладка габионно-геомембранной конструкции и заделка очага фильтрационных деформаций в дамбе канала, а также ширина габионно-геомембранной конструкции, необходимая для заделки очага фильтрации.

Габионно-геомембранная конструкция собирается следующим образом. Габионы размещают в решетчатые арматурные каркасы (заранее изготовленные по размерам 4х3х0,3 м, весом 37 кг), к которым по всему периметру проволокой через 1,0-1,5 метра прикрепляется тканый геотекстиль (например «Стабитекс») обладающий высокой прочностью, малой деформируемостью, высокой водопроницаемостью и средней плотностью (600 г/м<sup>2</sup>), после чего укладывается полотнище водо-

непроницаемой геомембраны (изготовленной например, из полиэтилена низкой или высокой плотности, в том числе из полимерных отходов) и производится крепление всей конструкции с двух сторон с помощью металлических скоб.

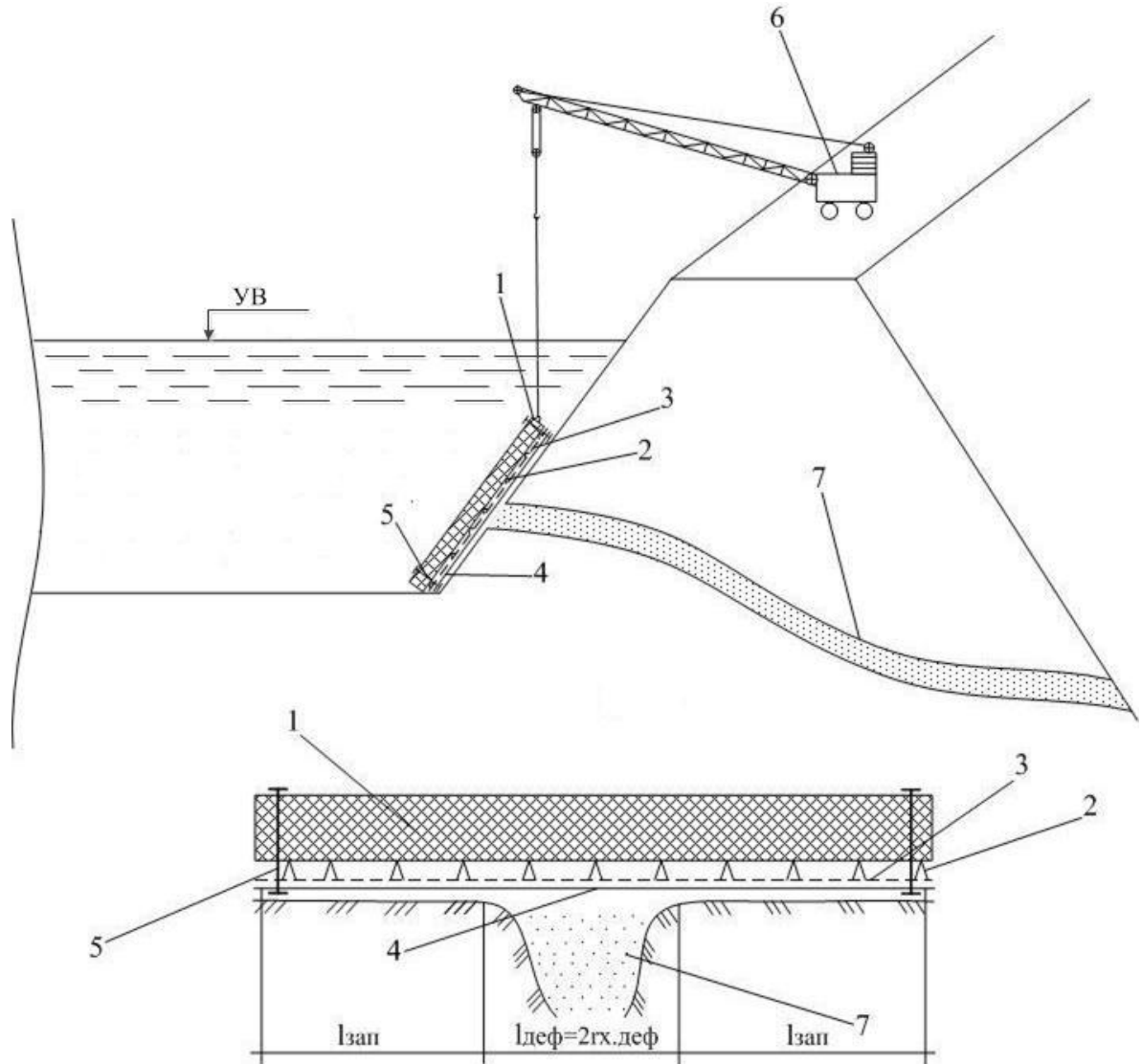


Рисунок 4.5 – Укладка габионно-геомембранной конструкции и заделка очага фильтрационных деформаций:

- 1 – арматурные каркасы с габионами; 2 – алюминиевая проволока;  
 3 – геотекстиль; 4 – водонепроницаемая геомембрана; 5 – металлическая скоба;  
 6 – подъёмный кран; 7 – свободный фильтрационный ход

После этого готовая габионно-геомембранная конструкция погружается под воду на откос с помощью подъемного крана на предварительно установленное по результатам промерных работ место расположения входной части свободного фильтрационного хода в дамбе канала.

Размеры габионно-геомембранной конструкции защитного покрытия конструкции будет зависеть от размера фильтрационного хода, а также от геологических и просадочных свойств грунта и определяется по формуле:

$$l_{кон.} = l_{зап} + 2 \cdot l_{деф}, \quad (5.1)$$

где  $l_{кон.}$  - ширина габионно-геомембранной конструкции защитного покрытия, м;

$l_{зап}$  – ширина запаса, м;

$l_{деф}$  – ширина области деформации, м.

Необходимая ширина запаса для исключения контактной фильтрации под габионно-геомембранной конструкцией принимается не менее  $l_{зап} \geq 1,5-2,0$  м, что позволяет под действием гидростатического давления прижимать плотно к основанию и области деформации непроницаемую геомембрану и исключить развитие фильтрационных деформаций через образованный фильтрационный ход.

Преимуществом предлагаемого способа заделки очага фильтрационных деформаций в дамбе канала является быстрота и простота производства работ, локализация фильтрационного хода, полная водонепроницаемость за счёт использования габионно-геомембранной конструкции.

#### **4.4 Оценка экономического эффекта от использования мероприятий по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов**

В настоящем пункте приведем оценку экономического эффекта от внедрения результатов НИР по теме диссертации за счет использования мероприятий по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов в земляном русле.

Расчет экономического эффекта основывается на расчете приведенных затрат по внедряемому мероприятию и базовому варианту, а также на определении чистого дохода от орошения дополнительной площади при внедренном мероприятии.

Рассчитаем экономический эффект на примере внедрения разработанной методики расчета фильтрации и оценки риска аварии, а также мероприятий приведенных в п. 4.1 (таблица 4.2) на участке 45-112 км Донского магистрального канала Ростовской области.

Внедряемое мероприятие: Комплекс мероприятий по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасном участке магистрального канала в земляном русле (см. таблицу 4.2).

Базовый вариант: Текущий ремонт канала, проходящего в земляном русле с частичным использованием комплекса мероприятий по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасном участке магистрального канала в насыпи.

Объект внедрения: Донской магистральный канал в Ростовской области.

Исходные данные для определения экономического эффекта от внедрения мероприятий приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Исходные данные для расчета экономического эффекта

Показатели	Принятые обозначения	Единица измерения	Современное состояние объекта	Базовый вариант	Внедряемое мероприятие
1	2	3	4	5	6
1. Расход канала	Q	м <sup>3</sup> /с	201	250	250
2. Длина канала	L <sub>к</sub>	км	67	67	67
3. КПД канала	η	–	0,82	0,89	0,90
4. Балансовая стоимость объекта	C <sub>бал</sub>	млн. руб.	812,205	–	–
Балансовая стоимость 1 км	C <sub>бал 1км</sub>	млн.руб./км	12,12	–	–
5. Ориентировочные капитальные затраты на текущий ремонт по вариантам: - в долях от балансовой стоимости - в стоимостном выражении	K K	– млн. руб.	– –	0,20 C <sub>бал</sub> 2,424	0,50 C <sub>бал</sub> 6,06
6. Время оросительного сезона	T <sub>ор</sub>	с	–	–	5·2,59·10 <sup>6</sup>
7. Оросительная норма при поливе яровой пшеницы	M	м <sup>3</sup> /га	–	–	3200
8. Прибавка урожайности при орошении яровой пшеницы	У <sub>пр</sub>	ц/га	–	–	5,4
9. Реализационная цена продукции (яровой пшеницы)	Ц	руб/кг	–	–	7,4

Расчет годового экономического эффекта от внедряемого мероприятия по сравнению с базовым вариантом выполняется по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2) \cdot L_k + \text{ЧД}, \quad (4.1)$$

где  $\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект, млн. руб.;

$Z_1 = C_1 + E_n \cdot K_1$  – приведенные затраты по базовому варианту, млн. руб./км;

$Z_2 = C_2 + E_n \cdot K_2$  – приведенные затраты по внедряемому мероприятию, млн. руб./км;

$C_1, C_2$  – эксплуатационные затраты соответственно по базовому варианту и внедряемому мероприятию, млн. руб./км;

$K_1, K_2$  – капитальные вложения соответственно по базовому варианту и внедряемому мероприятию, млн. руб.;

$E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности;

ЧД – чистый доход от орошения дополнительной площади при внедренном мероприятии, млн. руб.;

$L_k$  – длина участка канала, км;

Расчет приведенных затрат по базовому варианту и внедряемому мероприятию представлен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет затрат по базовому варианту и внедряемому мероприятию

Показатели и расчетные формулы	Обозначения	Единица измерения	Расчет показателей
Ежегодные издержки (эксплуатационные затраты) - по базовому варианту $C_1 = 0,05 C_{\text{бал}}$	$C_1$	млн. руб./км	$C_1 = 0,05 \cdot 12,12 = 0,606$
- по внедряемому мероприятию $C_2 = 0,05 C_{\text{бал}}$	$C_2$	млн. руб./км	$C_2 = 0,05 \cdot 12,12 = 0,606$
Затраты на текущий ремонт по базовому варианту $K_1 = 0,2 \cdot C_{\text{бал}}$	$K_1$	млн. руб./км	$K_1 = 0,2 \cdot 12,12 = 2,424$
Затраты на капитальный ремонт по внедренному мероприятию $K_2 = 0,5 \cdot C_{\text{бал}}$	$K_2$	млн. руб./км	$K_2 = 0,5 \cdot 12,12 = 6,06$
Нормативный коэффициент эффективности	$E_n$	–	$E_n = 0,15$
Приведенные затраты по базовому варианту $Z_1 = C_1 + E_n \cdot K_1$	$Z_1$	млн. руб./км	$Z_1 = 0,606 + 0,15 \cdot 2,424 = 0,9696$
Приведенные затраты по внедряемому мероприятию $Z_2 = C_2 + E_n \cdot K_2$	$Z_2$	млн. руб./км	$Z_2 = 0,606 + 0,15 \cdot 6,06 = 1,515$

Расчет чистого дохода от орошения дополнительной площади при поливе яровой пшеницы приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Расчет чистого дохода от орошения дополнительной площади по внедряемому мероприятию

Показатели и расчетные формулы	Обозначения	Единица измерения	Расчет показателей
Коэффициент повышения пропускной способности канала $\lambda_Q = \eta_1/\eta_2$	$\lambda_Q$	–	$\lambda_Q = 0,90/0,89 = 1,011$
Дополнительный расход канала от повышения пропускной способности $Q_{\text{доп}} = Q(\lambda_Q - 1)$	$Q_{\text{доп}}$	м <sup>3</sup> /с	$Q_{\text{доп}} = 250(1,011 - 1) = 2,8090$
Дополнительный объем воды, подаваемый по каналу от повышения пропускной способности $W = Q_{\text{доп}} \cdot T_{\text{ор}}$	W	м <sup>3</sup>	$W = 2,8090 \cdot 5 \cdot 2,59 \cdot 10^6 = 36,376 \cdot 10^6 \text{ м}^3$
Дополнительная площадь орошения от повышения пропускной способности канала $F_{\text{ор}} = \frac{W \cdot \eta}{M}$	$F_{\text{ор}}$	Га	$F_{\text{ор}} = \frac{36,376 \cdot 10^6 \cdot 0,90}{3200} = 10230,9$
Чистый доход от орошения дополнительной площади яровой пшеницы $ЧД = F_{\text{ор}} \cdot U_{\text{пр}} \cdot Ц$	ЧД	млн. руб.	$ЧД = 10230,9 \cdot 5,4 \cdot 10^2 \cdot 7,4 = 40,883$

Подставляя найденные в таблице 4.5 значения чистого дохода и приведенных затрат в формулу (4.1), получим:

$$\mathcal{E} = (0,9696 - 1,515)67 + 40,883 = 4,34 \text{ млн. руб.}$$

Таким образом, годовой экономический эффект от применения в эксплуатации Донского магистрального канала комплекса внедряемых мероприятий составит 4,34 млн. руб. на всю длину участка канала, протяженностью 67 км.

### Выводы по главе

1. Для практического использования разработан комплекс мероприятий по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов, который внедрен в эксплуатацию Донского магистрального канала Ростовской области.

2. Разработана противофильтрационная диафрагма для дамб каналов высотой до 10 м.

3. Разработанное устройство позволит повысить эксплуатационную надежность низконапорных плотин и дамб из грунтовых материалов, при низкой строительной стоимости противофильтрационной диафрагмы.

4. Предложен способ заделки очага фильтрационных деформаций в дамбах каналов, который повышает качество укладки, производительность и водонепроницаемость за счёт использования усовершенствованной габионно-геомембранной конструкции.

5. Выполнена оценка экономического эффекта от применения комплекса мероприятий по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасном участке Донского магистрального канала.

Экономический эффект от использования в эксплуатации комплекса внедряемых мероприятий составит 4,34 млн. руб.



## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На основе опыта эксплуатации каналов России и зарубежья автором определены основные причины и факторы, влияющие на возникновение аварий и отказов. Составлена схема сценариев возможных аварийных ситуаций на магистральных каналах, возникающих вследствие гидравлических, фильтрационных и оползневых процессов.

2. Разработана методика для расчетно-теоретической оценки риска возникновения аварийной ситуации на наиболее опасных участках крупных каналов в насыпи и на косогоре вследствие фильтрационных деформаций, включающая определение удельных фильтрационных расходов, действующих средних и выходных градиентов напоров, а также риска разрушения дамбы канала.

3. Получены зависимости (2.1)-(2.3), (2.9)-(2.11), (2.23) и (2.35) для определения фильтрационных расходов в дамбе канала и ее основании с учетом дополнительного фильтрационного сопротивления под дном канала для четырех расчетных случаев, а также зависимости (2.14), (2.16) и (2.43) для определения градиентов напора.

4. Выполнена оценка достоверности результатов по методике, предложенной автором, в сравнении с методом эквивалентного профиля Е. А. Замакина и экспериментальным методом электромоделирования. При сопоставлении результатов по методике автора и методу ЭГДА получены близкие результаты с расхождением в пределах 2,48-5,12 %, что свидетельствует об их достоверности и возможности применения предлагаемой методики на практике. При использовании метода Е. А. Замакина для дамб в насыпи более 5-10 м отклонения могут достигать до 40 %. На основании проведенных расчетов по различным методам автор рекомендует использовать для расчета дамб каналов в насыпи предложенную методику при высоте насыпи более 5 м, а при высоте насыпи до 5 м – известные методики расчета фильтрации для грунтовых плотин.

5. По результатам проведенных натурных исследований магистральных каналов, а также обобщения ранее полученных натурных данных других авторов прове-

дено уточнение имеющихся деформаций поперечного сечения русел. Результаты натурных исследований показали неудовлетворительное техническое состояние дамб каналов. Натурные наблюдения за формированием кривой депрессии и уровнем грунтовых вод на Донском магистральном канале подтвердили наличие обратного притока грунтовых вод в канал, при полном его опорожнении, в результате чего происходит оплывание откосов дамб под действием фильтрационных сил и потеря их статической устойчивости с отложением по дну канала слоя сжиженного грунта. В связи с этим, при проведении реконструкции данного участка канала рекомендуется выполнение противофильтрационных покрытий с отводом грунтовых вод в канал.

6. Выполненные расчеты риска аварий для участков в насыпи Донского и Пролетарского магистральных каналов показали, что риск разрушения дамб каналов составил соответственно  $\lambda = 1,535 \cdot 10^{-4} \div 1,798 \cdot 10^{-4}$  и  $\lambda = 1,628 \cdot 10^{-3} \div 1,966 \cdot 10^{-3}$ , что не превышает нормативных значений, однако, на некоторых участках возможны локальные разрушения грунта при выходе фильтрационного потока на низовой откос.

7. Для практического использования предложен комплекс мероприятий по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках в насыпи и на косогоре. Разработана противофильтрационная диафрагма для дамб каналов высотой до 10 м. Предлагаемое устройство позволит повысить эксплуатационную надежность дамб каналов, при низкой строительной стоимости самой диафрагмы.

Кроме того, предложен способ заделки очага фильтрационных деформаций в дамбах каналов, который позволяет оперативно ликвидировать их за счёт использования габионно-геомембранной конструкции.

8. Проведена оценка экономического эффекта от применения мероприятий по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасном участке Донского магистрального канала.

Ожидаемый экономический эффект от использования в эксплуатации комплекса внедряемых мероприятий составит 4,34 млн. руб.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- 1 Аверьянов, С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод / С. Ф. Аверьянов. – М.: Колос, 1982. – 236 с.
- 2 Алтунин, В. С. Особенности взвесенесущего потока в канале и расчет надежности / В. С. Алтунин, Т. А. Алиев // Гидротехническое строительство. – 1989. – № 7. – С. 11-16.
- 3 Алтунин, В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах / В. С. Алтунин. – М.: Колос, 1979. – 255 с.
- 4 Анахаев, К. Н. Расчет фильтрации через земляные плотины на проницаемом основании разной мощности / К. Н. Анахаев, Ж. Х. Шогенова, Б. Х. Амшоков // Гидротехническое строительство. – 2011. – № 2. – С. 29-33.
- 5 Анахаев, К. Н. Свободная фильтрация из водотоков / К. Н. Анахаев // Известия РАН. Механика жидкости и газа. – 2004. – № 5. – С. 94-99.
- 6 Анахаев, К. Н. Фильтрация в анизотропных грунтовых плотинах. Безопасность гидротехнических сооружений / К. Н. Анахаев, Р. А. Ляхевич // Гидротехническое строительство. – 2005. – № 4. – С. 19-22.
- 7 Аравин, В. И. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений / В. И. Аравин, С. Н. Нумеров. – М.-Л.: Госстройиздат, 1955 – 230 с.
- 8 Ачкасов, Г. П. Технология и организация ремонта мелиоративных гидротехнических сооружений / Г. П. Ачкасов, Е. С. Иванов. – М.: Колос, 1984, – 174 с.
- 9 Багров, М. Н. Оросительные системы и их эксплуатация / М. Н. Багров, И. П. Кружилин. – М.: Агропромиздат, 1988. – 255 с.
- 10 Байчоров, Ю. У. Применение пленочных противофильтрационных экранов для ремонтных работ Большого Ставропольского канала / Ю. У. Байчоров, Ю. М. Косиченко, Б. И. Сергеев // Гидротехническое строительство. – 1981. – №6. – С. 40-43.
- 11 Баламирзоев, А. Г. Методика расчета фильтрационной безопасности гидротехнических сооружений на трещиноватом загипсованном основании /

А. Г. Баламирзоев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2005. – № 4. – С.78-86.

12 Басниев, К. С. Подземная гидромеханика / К. С. Басниев, И. Н. Кочина, В. М. Максимов. – М.: Недра, 1993. – 416 с.

13 Белендир, Е. Н. Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений / Е. Н. Белендир, Д. А. Ивашинцов, Д. В. Стефанишин [и др.]. – СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2003. – Т. 1, 2. – 546 с., 524 с.

14 Белов, В. А. Оценка уровня фильтрационной безопасности земляных плотин и эффективность инженерной защиты малых водохранилищ / В. А. Белов, Ю. М. Косиченко, М. Ю. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2001. – 58 с.

15 Булдей, В. Р. Моделирование гидромелиоративных систем / В. Р. Булдей. – Киев: Наукова Думка, 1975. – 253 с.

16 Ведерников, В. В. Влияние капиллярного поднятия на фильтрацию из каналов / В. В. Ведерников // Гидротехническое строительство. – 1935. – № 5. – С. 20-27.

17 Ведерников, В. В. Теория фильтрации и ее приближение в области ирригации и дренажа / В. В. Ведерников. – М. – Л.: Госстройиздат, 1939. – 115 с.

18 Ведерников, В. В. Фильтрация из каналов / В. В. Ведерников. – М.; – Л.: Госстройиздат, 1934. – 67 с.

19 Веригин, Н. Н. Движение влаги в почве / Н. Н. Веригин // Докл. АН СССР. – 1953. – Т. 89. – № 2. – С. 229-232.

20 Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года и план мероприятий по ее реализации (утв. распоряжением Правительства РФ от 27.08.2009 г. № 1235-р) [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=128678>.

21 Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 03 июня 2006 г. № 74-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2006. – № 23. – Ст. 2381.

22 Волосухин, В. А. Использование водных ресурсов и безопасность гидротехнических сооружений в бассейне р. Кубань / В. А. Волосухин, М. А. Волынов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 4 – С. 65-68.

23 Волосухин, В. А. Рекомендации по безопасной эксплуатации Левого Ветви Правоегорлыкского канала / В. А. Волосухин, К. Г. Гурин, Я. В. Волосухин, Е. Н. Горобчук, В. И. Воропаев, Е. В. Высоцкий. – Новочеркасск: ИБГТС, 2009. – 125 с.

24 Гидравлические и экологические аспекты эксплуатации каналов: учебное пособие / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2000. – 230 с.

25 Гидротехнические сооружения – справочник проектировщика [Текст] / Г. В. Железняков, Ю. А. Ибад-Заде, П. Л. Иванов и др.; под общ. ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 253 с.

26 Гидротехнические сооружения: учеб. пособие для вузов / И. А. Васильева; под ред. Н. П. Розанова. – М.: Стройиздат, 1978. – 648 с.

27 Гольдин, Г. Р. Прогноз и профилактика повреждений каналов в просадочных грунтах, проложенных на косогорах: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.07 / Гольдин Григорий Рувимович. – М., 1989. – 21 с.

28 Гурин, К. Г. Неоднородная шероховатость частично облицованных русел крупных каналов: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.23.07 / Гурин Константин Георгиевич. – Новочеркасск, 2001. – 28 с.

29 Долгушев, И. А. Повышение надежности оросительных каналов / И. А. Долгушев. – М.: Колос, 1975. – 135 с.

30 Дружинин, Н. И. Изучение региональных потоков подземных вод методом электрогидродинамических аналогий / Н. И. Дружинин. – М.: Недра, 1966. – 123 с.

31 Железняков, Г. В. Пропускная способность русел каналов и рек / Г. В. Железняков. – Ленинград.: Гидрометеиздат, 1981. – 312 с.

32 Жиленков, В. Н. Исследования фильтрационной прочности глинистых грунтов в условиях контактного выпора / В. Н. Жиленков // Известия ВНИИГ

им. Б. Е. Веденеева: сб. науч. трудов / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – СПб, 1981. т. 146. – С. 86-95.

33 Жиленков, В. Н. О сопротивляемости глинистых грунтов контактному размыву фильтрационным потоком / В. Н. Жиленков, Н. И. Шевченко // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева: сб. науч. трудов / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – СПб, 1981. т. 146. – С. 3-12.

34 Замарин, Е. А. Гидротехнические сооружения / Е. А. Замарин, В. В. Фандеев. – 5-е изд. – М.: Колос, 1965. – 623 с.

35 Замарин, Е. А. Проектирование гидротехнических сооружений / Е. А. Замарин. – М.: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1961. – 232 с.

36 Запорожченко, Э. В. Инженерно-геологический опыт проектирования, строительства и эксплуатации первой очереди Большого Ставропольского канала / Э. В. Запорожченко. – Ставрополь: Ставропольское книжное издательство, 1974. – 78 с.

37 Золотов, Л. А. Безопасность гидротехнических сооружений / Л. А. Золотов, И. Н. Иващенко // Гидротехническое строительство. – 1991. – № 2. – С. 29-32.

38 Зотеев, В. Г. Методические принципы оценки риска аварийных ситуаций на водохранилищах малого объема / В. Г. Зотеев, И. С. Шахов, М. Г. Морозов, М. А. Приходько // Гидротехническое строительство. – 2003. – № 10. – С. 41-48.

39 Ибад-Заде, Ю. А. Водопроводные каналы / Ю. А. Ибад-Заде. – М.: Стройиздат, 1975. – 192 с.

40 Ибад-Заде, Ю. А. Транспортирование воды в открытых каналах / Ю. А. Ибад-Заде. М.: Стройиздат, 1983. – 272 с.

41 Иовчу, Ю. И. Методы и вероятностные модели оценки гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности оросительных каналов: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.23.07 / Иовчу Юлия Ивановна. – М., 2010. – 24 с.

42 Ищенко, А. В. Обоснование рациональных конструкций противофильтрационных устройств гидротехнических сооружений: автореф. дис. ... докт.

техн. наук: 05.23.07 / Ищенко Александр Васильевич. – Санкт-Петербург, 2010. – 32 с.

43 Ищенко, А. В. Повышение эффективности и надежности противофильтрационных облицовок оросительных каналов / А. В. Ищенко. – Ростов-на-Дону: Изд-во журн. «Известия вузов, Северо-Кавказский регион», 2006. – 212 с.

44 Кавешников, Н. Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений / Н. Т. Кавешников. – М.: Агропромиздат. 1989. – 272 с.

45 Каганов Г.М. Некоторые проблемы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений / Г. М. Каганов, В. И. Волков // Материалы междунар. науч.-практ. конф. / ФГОУ ВПО МГУП. – Ч. I. – М.: МГУП, 2006. – С.426-434.

46 Каганов, Г. М. Обследование гидротехнических сооружений при оценке их безопасности: учеб. пособие. / Г. М. Каганов, В. И. Волков, О. Н. Черных. – М.: МГУП, 2001. – 60 с.

47 Каганов, Г. М. Приближенная оценка глубины затопления территории в нижнем бьефе при прорыве напорного фронта низконапорных гидроузлов / Г. М. Каганов, В. И. Волков, И. А. Секисова // Гидротехническое строительство. – 2010. – № 4.– С. 22-26.

48 Каганов, Г. М. Сравнение параметров волны прорыва, определённых различными методами / Г. М. Каганов, В. И. Волков, И. А. Секисова // Гидротехническое строительство. – 2010. – № 1. – С. 34-36.

49 Каналы систем водоснабжения и ирригации (рекомендации по проектированию и эксплуатации каналов). – М.: Стройиздат, 1972. – 153 с.

50 Карасев, И. Ф. Русловые процессы при переброске стока / И. Ф. Карасев. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 288 с.

51 Колганов, А. В. Гидравлическая эффективность и надежность оросительных каналов / А. В. Колганов, Ю. М. Косиченко. – М.: Из-во «Рома», 1997. – 160 с.

52 Королев, А. А. Каналы гидроэлектрических станций / А. А. Королев. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1956.– 176 с.

53 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.

54 Косиченко, Ю. М. Вопросы безопасности и эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / Ю. М. Косиченко // Природообустройство. – 2008. – № 3 – С. 67-71.

55 Косиченко, Ю. М. Выбор противотрационных 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.

56 Косиченко, Ю. М. Гидравлика мелиоративных каналов / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НИМИ, 1992. – 175 с.

57 Косиченко, М. Ю. Гидравлическая эффективность и надежность функционирования каналов оросительных систем [Текст] / М. Ю. Косиченко, Ю. И. Иовчу // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказского региона. Технические науки. – 2008. – № 1. – С. 75-79.

58 Косиченко, Ю. М. Каналы переброски стока России / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470с.

59 Косиченко, Ю. М. Критерии эксплуатационной надежности оросительных каналов / Ю. М. Косиченко, М. Ю. Косиченко, Ю. И. Иовчу // Природообустройство. – 2008. – № 1. – С. 70-74.

60 Косиченко, Ю. М. Прогноз влияния Юмагузинского водохранилища на подтопление населенных пунктов в речной долине [Текст] / Ю. М. Косиченко, В. Л. Бондаренко, А. З. Абуханов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2003. – № 4. – С. 62-67.

61 Косиченко, Ю. М. Современное техническое состояние и уровень безопасности Донского и Пролетарского магистральных каналов / Ю. М. Косиченко, Е. И. Шкуланов, Г. Л. Лобанов // Инновационные технологии повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ГНУ ПНИИЭМТ. – Волгоград,



2010. – С. 239-245.

62 Куранов, Н. П. Расчеты риска аварий гидротехнических сооружений / Н. П. Куранов, Н. Н. Розанов, Е. А. Тимофеева // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 1. – С. 41-44.

63 Лапшенков, В. С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов / В. С. Лапшенков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 240 с.

64 Лобанов, Г. Л. Неразмываемые русла земляных каналов и разработка рекомендаций по их гидравлическому расчету: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / Лобанов Георгий Леонидович. – Новочеркасск, 1995. – 17 с.

65 Лятхер, В. М. Оценка надежности гидросооружений / В. М. Лятхер, Л. А. Золотов, И. Н. Иващенко, В. Б. Янгер // Гидротехническое строительство. – 1985. – № 2. – С. 19.

66 Мелиорация и водное хозяйство. Сооружения. Строительство: справочник / Под ред. А. В. Колганова, П. А. Полад-Заде – М.: «Ассоциация ЭкоСт», 2002. – с. 601.

67 Методика оценки уровня безопасности гидротехнических сооружений: СТП НИИЭС. – Введ. 2004–06–01. – М: ОАО «НИИЭС», 2003. – 85 с.

68 Методические рекомендации по оценке риска аварий гидротехнических сооружений водохранилищ и накопителей промышленных отходов. – М.: ФГУП «НИИ ВОДГЕО», 2002.

69 Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений: 210.02.НТ-04. – Одобрены решением Ученого совета ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» протокол № 12 от 19.11.04. – СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2004.

70 Мирцхулава, Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1974. – 280 с.

71 Мирцхулава, Ц. Е. О надежности крупных каналов / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1981. – 318 с.

72 Науменко, И. И. Надежность сооружений гидромелиоративных систем / И. И. Науменко. – Киев: Высшая школа, 1990. – 238 с.

73 Науменко, И. И. Повышение надежности оросительных систем / И. И. Науменко, А. В. Подласов, А. М. Сидоренко. – Киев: Урожай, 1987. – 93 с.

74 Нумеров, С. Н. Об одном способе расчета фильтрационных задач / С. Н. Нумеров. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, ОН, 1954. – № 4 – С. 133-139.

75 Нумеров, С. Н. Об оценке основных допущений методики расчета фильтрации жидкости в горизонтальных гидравлически связанных пластах / С. Н. Нумеров, Р. М. Барсегян // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева: сб. науч. трудов / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – Л., 1965. т. 78. С. 242-254.

76 Нумеров, С. Н. Приближённый способ расчёта напорной фильтрации в основании гидротехнических сооружений / С. Н. Нумеров // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева: сб. науч. трудов / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – Л., 1953. т. 50. С. 12-19.

77 О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июня 1997 г. № 117 – ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1997. – №30. – Ст. 3589.

78 Олейник, А. Я. Геогидродинамика дренажа / А. Я. Олейник. – Киев: Наукова думка, 1981. – 283 с.

79 Павловский, Н. Н. Гидравлический справочник / Н. Н. Павловский. – М.; Л.: ОПТН, 1937. – 890 с.

80 Павловский, Н. Н. Собрание сочинений: Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и её основные приложения / Н. Н. Павловский. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – Т.2. – 771 с.

81 Полубаринова-Кочина, П. Я. Теория движения грунтовых вод / П. Я. Полубаринова-Кочина. – М.: Наука, 1977. – 664 с.

82 Полякова, Н. Ю. Гидравлические сопротивления и пропускная способность бетонных русел каналов при их эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / Полякова Наталья Юрьевна. – Новочеркасск, 2000. – 28 с.

83 Пономарчук, К. Р. Разработка методики оценки параметров процесса формирования проранов при прорывах грунтовых плотин: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.23.07 / Пономарчук Карина Рюриковна. – Москва, 2001. – 23 с.

84 Попов, К. В. Мелиоративные каналы / К. В. Попов. – М.: Колос, 1969. – 184 с.

85 Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]: Утв. Министерством сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации 26.05.1998 г. // Справочная правовая система «Консультант Плюс». Разд. «Документы». – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_110478/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_110478/).

86 Проблемы и перспективы использования водных ресурсов в агропромышленном комплексе России: монография / под общ. ред. акад. В. Н. Щедрина. – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2009. – 342 с.

87 Прудовский, А. М. Образование прорана при прорыве земляной плотины / А. М. Прудовский // Безопасность энергетических сооружений (БЭС): науч.-техн. и произв. сб. НИИЭС, 1998. – Вып. 2-3. – С. 67-79.

88 Рабкова, Е. К. Метод расчета крупных каналов / Е. К. Рабкова // Гидротехника и мелиорация. – 1976. – №4. – С. 76-84.

89 Рабкова, Е. К. Проектирование и расчет оросительных каналов в земляном русле / Е. К. Рабкова. – М.: Изд-во УДН, 1990. – 252 с.

90 Розанов, Н. Н. Комплексный подход к оценке безопасности гидротехнических сооружений и риска аварий на них / Н. Н. Розанов, В. В. Верменко, Н. П. Куранов, Е. А. Тимофеева, Т. Г. Войнич-Сяноженцкий // Мелиорация и водное хозяйство. – 2013. – № 1. – С. 22-25.

91 Розанов, Н. С. Аварии и повреждения больших плотин / Н. С. Розанов, А. И. Царев, Л. П. Михайлов, И. Б. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, 1986 г.

92 Российский регистр гидротехнических сооружений – 2008: Справочное издание – М.: Росводресурсы, 2008. – 482 с.

93 Руководство по проектированию стен сооружений и противофильтрационных завес. – М.: Стройиздат, – 1977. – 128 с.

94 Румянцев, И. С. Проблемы гидротехнического строительства в России / И. С. Румянцев // Природообустройство. – 2008. – № 1. – С. 12-17.

95 Секисова, И. А. Разработка и апробация системы оценки состояния гидротехнических сооружений речных низконапорных гидроузлов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / Секисова Ирина Артуровна. – Москва, 2008. – 31 с.

96 Смирнов, А. Е. Канал Иртыш-Караганда / А. Е. Смирнов // Гидротехника и мелиорация. – 1974. – № 7. – С. 20-27.

97 Созаев, А. А. Обоснование параметров эксплуатационной надежности облицованных каналов в условиях предгорной зоны: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / Созаев Ахмед Абдулкеримович. – Новочеркасск, 2008. – 28 с.

98 Сольский, С. В. Надежность накопителей промышленных и бытовых отходов / С. В. Сольский, Д. В. Стефанишин, О. М. Финагенов, С. Г. Шульман. – СПб.: ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2006. – 300 с.

99 Сольский, С. В. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений Санкт-Петербурга / С. В. Сольский // Гидротехническое строительство. – 2004. – № 4. – С. 16.

100 СО 34.21.307-2005 Безопасность гидротехнических сооружений. Основные понятия. Термины и определения. – СПб: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2005. – 8 с.

101 СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. – Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2011 – 40 с.

102 СП 23.13330.2011. Основания гидротехнических сооружений. – Введ. 2011-05-20. – М.: Минрегион России, 2010 – 111 с.

103 СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов. – Введ. 2013-01-01. – М.: Минрегион России, 2012 – 70 с.

104 Стефанишин, Д. В. Оценка надежности и безопасности гидротехнических объектов в рамках теории риска и системного анализа: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.07 / Стефанишин Дмитрий Владимирович. – СПб., 1998. – 40 с.

105 Стефанишин, Д. В. Оценка нормативной безопасности плотин по критериям риска / Д. В. Стефанишин // Гидротехническое строительство. – 1997. – № 2. – С. 44-47.

106 Терлецкая, М. Н. Каналы в водонеустойчивых грунтах аридной зоны / М. Н. Терлецкая. – М.: Колос, 1983. – 96 с.

107 Угинчус, А. А. Гидравлические и технико-экономические расчеты каналов / А. А. Угинчус. – М.: Стройиздат, 1965. – 276 с.

108 Фильчаков, П. Ф., Панчишин, В. И. Интеграторы ЭГДА, моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге / П. Ф. Фильчаков, В. И. Панчишин. – Киев: Изд-во АН УССР, 1961. – 244 с.

109 Финагенов, О. М. Риск в гидротехнике / О. М. Финагенов, А. Р. Бешлиян // Известия ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева: сб. науч. трудов / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – СПб., 2007. т. 246. С.107-112.

110 Финагенов, О. М. Учет социальных последствий аварий и нарушений при принятии решений по обеспечению надежности и безопасности эксплуатируемых ГТС / О. М. Финагенов, О. Р. Крупнов, С. Н. Белякова // Известия ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева: сб. науч. трудов / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. – СПб., 2007. т. 246 – С.112-120.

111 Чернов, М. А. Обоснование противofильтрационной эффективности облицовок каналов с применением полимерных материалов / М. А. Чернов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2011. – № 2. – С. 108-114.

112 Чернов, М. А. Оценка эксплуатационной надежности конструкций бетонопленочных облицовок каналов / М. А. Чернов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2011. – № 1. – С. 136-139.

113 Чернов, М. А. Противofильтрационные конструкции каналов и водоемов с применением геомембран из полиэтилена высокого и низкого давления: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / Чернов Михаил Александрович. – Новочеркасск, 2011. – 24 с.

114 Чернов, М. А. Расчетное обоснование надежности облицовок каналов с применением геомембран / М. А. Чернов // Природообустройство. – 2011. – № 4. – С. 28.

115 Чернышевская, Л. Е. Создание водосберегающих конструкций каналов оросительных систем: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 06.01.02 / Чернышевская Людмила Ефимовна. – Киев, 2003. – 45 с.

116 Чоу, В. Т. Гидравлика открытых каналов / В. Т. Чоу. – М.: Стройиздат, 1969. – 308 с.

117 Чугаев, Р. Р. Земляные гидротехнические сооружения / Р. Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1967. – 460 с.

118 Щедрин, В. Н. Безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Е. И. Шкуланов. – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2010. – 268 с.

119 Щедрин, В. Н. Вопросы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений для целей мелиорации / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко // Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – № 4. – С. 97-102.

120 Щедрин, В. Н. О проблемах безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко // Гидротехническое строительство. – 2011. – № 5. – С. 33-38.

121 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – М.: Росинформагротех, 2005. – 388 с.

122 Allen Hugh. Making a business of dam safety / Allen Hugh // W. P. And D. C. – August 1997. – P. 20-21.

123 Fell, R. Essential component of Risk Assesment for Dams. Chapter 12. Risk based Dam Safetty Evaluations / R. Fell // Trondheim, 1997. – 28-29 June – NNCOLD-CanCOLD-ICH.

124 Harford, D. Dam risk management in Canada – A Canadian approach to dam safety / D. Harford // Int. Workshop on risk-based dam safety evaluation. – Trondheim. – 1997.

125 Laffite, R. Classes of risk for dams / R. Laffite // Hydropower and Dam. – 1996. – Issue 6. – P. 59-66.

126 Musket, M. The seepage of water through dams with vertical faces / M. Musket. – 1935, – V.6.

127 Musket M. The flow of homogenous fluids though porous media / M. Musket // N. Y.-London, Mc Graw Hill book Co. – 1937 p.

128 TC 250/SC7/PT1. PT Version «g». Draft prEN 1997-1. «Eurocod 7: Geotechnical Design». Part 1: General Rules. – 166 p.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ АВТОРА ДИССЕРТАЦИИ

129 Бакланова, Д. В. Факторы, влияющие на возникновение аварийных ситуаций на крупных каналах [Электронный ресурс] / Д. В. Бакланова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2011. – № 3(03). – 9 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=37&id=41>.

130 Косиченко, Ю. М. Определение вероятного риска аварии крупного канала вследствие фильтрационных деформаций [Электронный ресурс] / Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 1(05). – 12 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=82&id=94>.

131 Косиченко, Ю. М. Расчет фильтрации через дамбу канала в насыпи и оценка риска аварийных ситуаций / Ю. М. Косиченко, Д. В. Бакланова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2012. – № 4. – С.77-81.

132 Тищенко, А. И. Применение размерностно-регрессионного метода к определению фильтрационных характеристик земляных дамб [Электронный ресурс] / А. И. Тищенко, Д. В. Бакланова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2012. – № 4(08). – 10 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=131&id=140>.

133 Бакланова, Д. В. Расчетное обоснование вероятности разрушения потенциально опасных участков крупного канала от фильтрационных воздействий / Д. В. Бакланова // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С.43-48.

134 Бакланова, Д. В. Возможные сценарии аварийных ситуаций на каналах / Д. В. Бакланова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2010. – Вып. 44. – С. 81-87.

135 Бакланова, Д. В. Методы устройства перемычек и ликвидации прорывов / Д. В. Бакланова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб ст. ФГНУ «РосНИИПМ» / под ред. В. Н. Щедрина. – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2010. – Вып. 44. – С. 118-123.

136 Бакланова, Д. В. Расчет фильтрации через дамбу канала на косогоре и оценка риска возникновения аварийной ситуации / Д. В. Бакланова // Материалы международной научно-практической конференции «Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства в России» (Костяковские чтения). – М.: Изд. ВНИИА, 2013. – С. 478.



## Приложения

Таблица А.1 – Техническая характеристика магистральных каналов и межхозяйственных распределителей Ростовской области

№ п/п	Наименование канала	Год ввода	Протяженность, км	Расход воды, м <sup>3</sup> /с	Конструкция облицовки (ПФЗ)	Коэффициент полезного действия проект./факт.	Техническое состояние
1	Донской магистральный канал (ДМК), в т.ч. тоннель ДМК	1953 1955	112,0 8,1	25,0 165,0	земляное русло	0,93/0,90	удовл.
2	Азовский МК	1953	92,2	22,0	земляное русло	0,83/0,78	удовл./неуд.*
3	Багаевский МК	1954	30,6	34,6	земляное русло	0,84/0,75	удовл.
4	Межхозяйственные распределители Бг-Р-5		5,2	6,4-7,8	ж/б сборная+пленка	0,95/0,86	удовл.
5	Бг-Р-6		24,0	6,0-7,2	земляное русло	0,85/0,77	
6	Бг-Р-7	1954	22,6	6,5-7,5	ж/б сборная+пленка	0,95/0,85	удовл.
7	Бг-Р-8		25,2	5,8-9,0	ж/б сборная+пленка	0,96/0,87	хорошее
8	Большовский МК	1963	29,3	22,5	земляное русло	0,87/0,73	неудовл.
9	Верхне-Сальский МК	1975	99,0	30,0	земляное русло	0,85/0,70	неудовл.
10	Нижне-Донской МК	1953	73,9	30,0	земляное русло	0,86/0,76	удовл./неуд.*
11	Пролетарский МК	1960	83,4	54,0	земляное русло	0,90/0,85	удовл.
12	Садковский МК	1971	10,6	11,4	ж/б сборная+пленка	0,93/0,86	удовл.

Таблица А.2 – Техническое состояние магистральных каналов Ставропольского края

№ п/п	Оросительная система	Площадь орошения, тыс. га	Срок эксплуатации, лет	Наименование каналов	Расход канала, м <sup>3</sup> /с	Протяженность, км	КПД канала (системы)	Техническое состояние: надежное, удовлетворительное, неудовлетворительное*
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Большой Ставропольский канал (БСК)	62,4	1969	Большой Ставропольский канал – 1, в том числе:	180	156,0		На балансе «Управление эксплуатации БСК»
			1974	Магистральный БСК-2	60	64,4	0,8	удовлетворительное
			1981	Магистральный БСК-3	55	42,5	0,8	удовлетворительное
			с 1984	Магистральный БСК-4	53,0	25,3	0,85	строительство продолжается
2	Право-Егорлыкская	89,1	1955	Магистральный Право-Егорлыкский канал (ПЕК) кроме того:	45,0	127,0	0,75	удовлетворительное
			1957	Магистральный Левая ветвь ПЕК кроме того:	23,0	230,0	0,75	удовлетворительное
3	Егорлыкская	13,4	1974	Магистральный Егорлыкский канал	13,0	77,3	0,75	удовлетворительное
4	Лево-Егорлыкская	11,5	1985	Магистральный канал ЛЕООС кроме того:	31,0	10,0	0,85	удовлетворительное
			1986	Западная ветвь 1-ая очередь	20,3	29,0	0,80	удовлетворительное
			1986	Западная ветвь 2-ая очередь	12,0	13,6	0,80	удовлетворительное
5	Междуречье Кубань-Егорлыкская	4,5	1975	Магистральный канал МКЕ	5,4	20,4	0,85	удовлетворительное
6	Невинномысская	3,1	1948	Невинномысский канал	75,0	49,2	0,75	удовлетворительное
7	Садово-Закумская	13,6	1974	Садовый канал	6,0	20,0	0,75	удовлетворительное
			1974	Закумский канал	3,6	8,5	0,75	удовлетворительное
8	Левокумская	14,9	1962	Левокумская ветвь Кумо-Манычского канала	22,0	55,2	0,75	удовлетворительное
9	Карапогайская	24,7	1980	Каркпогайская ветвь Терско-Кумского канала	24,0	55,9	0,75	удовлетворительное

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	Плаксейская	5,2	1939	Плаксейский канал	5,7	27,3	0,75	удовлетворительное
11	Кумская	7,2	1926	Кумский канал	2,0	22,0	0,75	удовлетворительное
12	Терско-Кумская	33,4	1929	Магистральный Левобережный				удовлетворительное
13	Архангельская	1,6	1976	Архангельский	1,5	6,8	0,75	удовлетворительное
14	Наурско-Шелковская	1,0	1960	Наурско-Шелковской канал	27,0	167,0	0,75	удовлетворительное

Примечание: \* при надежном техническом состоянии сооружение эксплуатируется без осуществления мероприятий по повышению безопасности его работы; при удовлетворительном техническом состоянии сооружение можно эксплуатировать после разработки и применения мероприятий, повышающих безопасность его работы; при неудовлетворительном (аварийном) состоянии сооружение нельзя эксплуатировать.

Таблица А.3 – Техническое состояние высоких насыпей на Большом Ставропольском и Право-Егорлыкском каналах Ставропольского края

№ п/п	Канал	Наименование ГТС	Характеристика ГТС			Техническое состояние: надежное, удовлетворительное, неудовлетворительное*
			Расход, м <sup>3</sup> /с	Напор на сооружение, м	Ширина или диаметр, м	
1	Большой Ставропольский канал (БСК)	БСК-3 Высокая насыпь на 2 км	55,0	-	длина 1200,0	удовлетворительно
		БСК-2 Высокая насыпь на 25 км	60,0	-	-//- 1600,0	удовлетворительно
2	Право-Егорлыкская (ПЕСООС)	Право-Егорлыкский магистральный канал	45,0	-	ширина по дну 8,0	удовлетворительно
		МК ПЕК Высокая насыпь «Терновочка»	37,0	-	высота 37,0	удовлетворительно
		МК ПЕК Высокая насыпь «Терновка»	37,0	-	высота 38,0	удовлетворительно

Таблица А.4 – Техническое состояние магистральных каналов Краснодарского края

Наименование канала	Площадь орошения, тыс.га	Срок эксплуатации, лет	Расход канала, м <sup>3</sup> /с	Протяженность, км	КПД канала	Техническое состояние: надежное, удовлетворительное, неудовлетворительное (аварийное)*
1	2	3	5	6	7	8
<u>Калининский филиал</u>						
МК Понуро-Калининской ОС	17,36	28	96,0	42,4	0,80	удовлетворительное
<u>Черноерковский филиал</u>						
МК Черноерковской ОС	7,3	32	25,0	21,0	0,82	удовлетворительное
<u>Краснодарский филиал</u>						
МК Пригородной ОС	23,507	30	17,5	58,0	0,83	удовлетворительное
<u>Петровско-Анастасиевский филиал</u>						
МК Петровско-Анастасиевской ОС	35,668	45	80,0	18,96	-	неудовлетворительное
МК/холл. часть/на 2,3 тыс.га	2,533	29	9,2	0,46	-	неудовлетворительное
МК/рабочая часть/2,3 тыс.га	0,532	27	12,0	5,25	-	неудовлетворительное
<u>Новокубанский филиал</u>						
Новокубанский МК Верхне-Кубанской ОС	6225	55	11,2	72	0,80	неудовлетворительное
Лабинский МК Лабинской ОС	6630	57	5	2,8	0,80	неудовлетворительное
Константиновский	-//-	-//-	16	19,5	0,80	неудовлетворительное
Михайловский	-//-	-//-	3	4,8	0,80	неудовлетворительное
Родниковский	-//-	-//-	3	14	0,80	неудовлетворительное
<u>Крымский филиал</u>						
МК Варнавинской ОС	11731	35	15	37,6	0,70	ПК0-ПК202 удовл.; ПК202-ПК376 неудовл.
<u>Темрюкский филиал</u>						
МК Азовской ОС	6,918	35	20	5,46	0,65	Удовлетворительное, частично неудовл.
<u>Северский филиал</u>						
МК-1 Крюковской ОС	997	33	22,0	1,67	0,82	надежное
МК-2 Крюковской ОС	-//-	-//-	5,6	3,94	0,82	удовлетворительное

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5	6	7
<u>Тихорецкий филиал</u>						
Краснодарский МК Краснодарской ОС	20,606	23	30	65,1	-	48,7 км-КМК, 17,3- техническое русло балки Челбас удовлетворительное
<u>Абинский филиал</u>						
Федоровский МК Фёдоровской ОС	10,78	37	111,0	28,1	0,80	удовлетворительное
<u>Красноармейский филиал</u>						
МК Кубанской ОС	39,2	75	60	19,2	0,85	надежное
МК Марьяно-Чебургольской ОС	42,5	40	185	46,2	0,85	надежное
Понуро-Калининской ОС	2,6	28	70	25,4	0,80	надежное

Примечание: Магистральный канал Кубанской ОС построен в 1932 г. общей длиной 19,2 км с расходом в логове канала 60 м<sup>3</sup>/с. При строительстве Марьяно-Чебургольской системы канал реконструирован на пропускную способность в логове канала 185 м<sup>3</sup>/с и длина его составила 46,2 км.

Таблица А.5 – Техническое состояние магистральных каналов Астраханской области

Оросительная система	Площадь орошения, тыс. га	Срок эксплуатации, лет	Наименование каналов (магистральные, распределительные)	Расход канала, м <sup>3</sup> /сек	Протяженность, км	КПД канала	Техническое состояние канала: надежное, удовлетворительное, неудовлетворительное (аварийное)
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Ахтубинский филиал</b>							
Владимировская ОС	5,4	23	Магистральный канал	8	16,4	0,85	удовлетворительное
Бугровая ОС	2,6	20	Магистральнфй канал	7	3,9	0,85	удовлетворительное
<b>Енотаевский филиал</b>							
Ивановская ОС	0,6	35	Магистральный канал	1	17,6	0,6	неудовлетворительное
Никольская РОС	5,9	28	Магистральный канал	6,4	14,1	0,85	удовлетворительное
			Коллектор	0	11,9	0,7	неудовлетворительное
<b>Камызякский филиал</b>							
Камышовская ОС	2,2	39	Магистральный канал	0,5	13,2	0,5	удовлетворительное
<b>Правобережный филиал</b>							
Бешкульская ООС	2	44	Магистральный канал	30	204,6	0,6	удовлетворительное
Прикаспийская ООС	1,7	45	Магистральный канал	30	111,5	0,6	удовлетворительное
<b>Харабалинский филиал</b>							
ХВТ-1	2,4	28	Магистральный канал	12	36	0,77	удовлетворительное
ХВТ-2	3,3	31	Магистральный канал	7	19	0,77	удовлетворительное
<b>Черноярский филиал</b>							
КАРОС	8,7	29	Магистральный канал	10,8	7	0,75	удовлетворительное

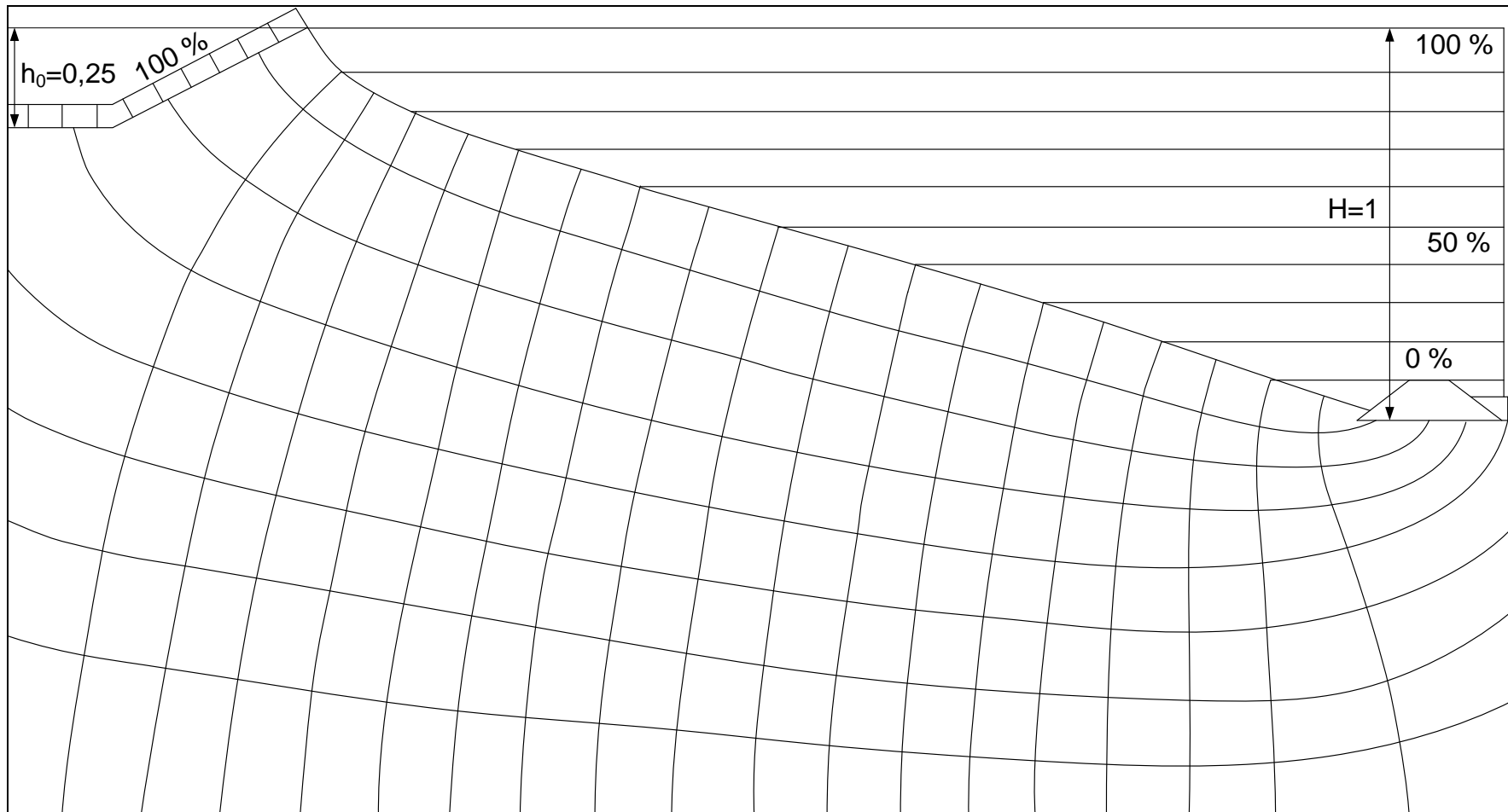


Рисунок Б.1 – Расчетная схема дамбы канала в насыпи при  $h_0=0,25$



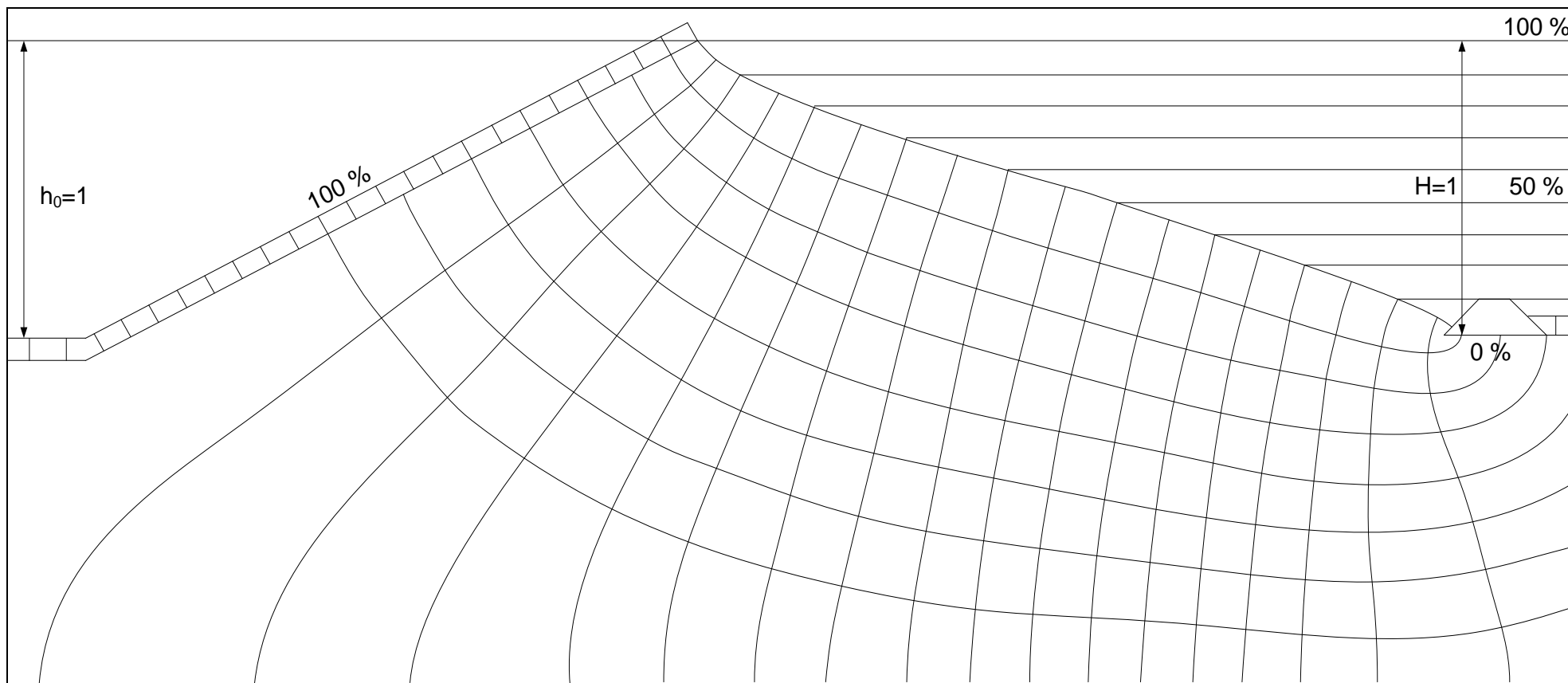


Рисунок Б.2 – Расчетная схема дамбы канала в насыпи при  $h_0=1$

Приложение В  
Основные характеристики тахеометра «ТОРCON» GPT-105N и копия  
свидетельства о его поверке

Таблица В.1 – Основные характеристики тахеометра «ТОРCON» GPT-105N

<b>Рабочие</b>	
Внутренняя память	24000 точек съемки
Время измерения	0.7-3.0 сек
Дальность измерения расстояний	20 км
Дальность измерения расстояний на одну призму	2000 м
Диапазон фокусировки оптического центра	от 0.5 м до бесконечности
Изображение	Прямое
Коммуникационные порты	RS-232C
Компенсатор / диапазон	1-осевой, жидкостный/ $\pm 3$
Наименьшее фокусное расстояние	1.3 м
Период работы батареи	8-40 ч.
Тип расположения	Передвижной
Точность измерения расстояний на призму	$\pm(2\text{мм}+2\text{ppm})$
Увеличение	30 крат
Дисплей	2 графических, с подсветкой и подогревом, 24 клавиши
Защита от внешних факторов	IP54 (с батареей)
Рабочая температура	от +10°C до +40°C
<b>Габариты</b>	
Вес	4,9 кг
Размер	336x184x150 мм

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"ЮЖНОЕ АЭРОГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ"  
ОАО "ЮЖНОЕ АГП"**

**СВИДЕТЕЛЬСТВО  
О ПОВЕРКЕ №13.73**

Действительно до "08" июля 2014 г.

Средство измерений Тахеометр электронный TOPCON  
GTS-105N

ГМС 060900040  
серия и номер клейма предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)

заводской номер №6Н1855

принадлежащее ФГБНУ "РосНИИПМ"  
ИНН 6150005087

поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано пригодным к применению.

Поверительное клеймо 

Главный метролог  И. П. Иваницкий

Поверитель  В. И. Ткаченко

"08" июля 2013 г.

Примечание. Обратная сторона свидетельства о поверке заполняется в соответствии с нормативными документами по поверке средств измерений.

Рисунок В.1 – Копия свидетельства о поверке электронного тахеометра «TOPCON» GPT-105N







## Приложение Г – Акт внедрения результатов НИР

СОГЛАСОВАНО

Директор ФГБНУ «РосНИИПМ»



В. Н. Щедрин  
« 04 » 10 2013 г.  
М.П.

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ФГБУ «Управление  
«Ростовмелиоводхоз»


В. А. Назаренко  
« 04 » 10 2013 г.  
М.П.

## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Настоящим подтверждаем, что результаты работы:

«Обоснование влияния фильтрационных факторов на вероятность аварийных ситуаций потенциально опасных участков каналов»

(наименование работы)

выполненной ФГБНУ «РосНИИПМ»

(наименование вуза, НИИ)

проводимой с 12 марта по 7 октября 2013 года

(сроки выполнения)

внедрены ФГБУ «Управление «Ростовмелиоводхоз»

(наименование организации)

1. Вид внедренных результатов: Рекомендации по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов

(наименование мероприятия)

2. Характеристика масштабов внедрения: единичное

(уникальное, единичное, массовое, серийное)

3. Форма внедрения:

методика расчета, способ и устройство для противofильтрационной защиты

(методика)

4. Новизна внедряемого мероприятия состоит в применении рекомендаций по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках каналов, включающих расчеты по оценке риска разрушения дамб Донского и Пролетарского магистральных каналов на участках в насыпи, мероприятия по предупреждению и устранению аварийных ситуаций на потенциально опасных участках, а также новые технические решения по противofильтрационной защите дамб каналов.

5. Ожидаемый годовой экономический эффект составит – 4,34 млн. руб. Расчет экономического эффекта прилагается (Приложение 1).

От ФГБНУ «РосНИИПМ»

Научный руководитель НИР  
Косиченко Ю. М.

Ответственный исполнитель  
Бакланова Д. В.

От ФГБУ «Управление  
«Ростовмелиоводхоз»

Начальник отдела  
В. М. Попов

УТВЕРЖДАЮ  
 Зам. директора ФГБУ «Управление  
 «Ростовмелиоводхоз»  
 \_\_\_\_\_ В. А. Назаренко  
 « 04 » \_\_\_\_\_ 20 13 г.  
 М.П.



### РАСЧЕТ

ожидаемого экономического эффекта от внедрения результатов  
 научно-исследовательской работы

Внедряемое мероприятие: Рекомендации по повышению безопасности эксплуатации магистральных каналов на потенциально опасных участках, включающие расчеты по оценке риска разрушения дамб Донского магистрального канала на участках в насыпи, мероприятия по повышению надежности и безопасности потенциально опасных участков, а также новые технические решения по противофильтрационной защите дамб каналов.

Базовый вариант: Текущий ремонт канала в земляном русле с частичным использованием комплекса мероприятий по повышению надежности и безопасности эксплуатации канала на потенциально опасном участке в насыпи.

Объект внедрения: Донской магистральный канал в Ростовской области.

Исходные данные для расчета экономического эффекта приведены в таблице 1.

Расчет годового экономического эффекта от внедряемого мероприятия по сравнению с базовым вариантом выполняется по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2)L_k + \text{ЧД}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект, млн. руб.;

$Z_1 = C_1 + E_n \cdot K_1$  – приведенные затраты по базовому варианту, млн. руб./км;

$Z_2 = C_2 + E_n \cdot K_2$  – приведенные затраты по внедряемому мероприятию, млн. руб./км;

$C_1, C_2$  – ежегодные издержки (эксплуатационные затраты) по базовому варианту и внедряемому мероприятию, млн. руб./км;

$K_1, K_2$  – капитальные вложения по базовому варианту и внедряемому мероприятию, млн. руб.;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности;

$L_k$  – длина канала, км;

ЧД – чистый доход от орошения дополнительной площади при внедренном мероприятии, млн. руб.;

Таблица 1 – Исходные данные для расчета экономического эффекта

Показатели	Принятые обозначения	Единица измерения	Современное состояние объекта	Базовый вариант	Внедряемое мероприятие
1	2	3	4	5	6
1. Расход канала	Q	м <sup>3</sup> /с	201	250	250
2. Длина канала	L <sub>к</sub>	км	67	67	67
3. КПД канала	η	–	0,82	0,89	0,90
4. Балансовая стоимость объекта	C <sub>бал</sub>	млн. руб.	812,205	–	–
Балансовая стоимость 1 км	C <sub>бал 1км</sub>	млн. руб./км	12,12	–	–
5. Ориентировочные капитальные затраты на текущий ремонт по вариантам: - в долях от балансовой стоимости - в стоимостном выражении	K K	– млн. руб.	– –	0,20 C <sub>бал</sub> 2,424	0,50 C <sub>бал</sub> 6,06
6. Время оросительного сезона	T <sub>ор</sub>	с	–	–	5·2,59·10 <sup>6</sup>
7. Оросительная норма при поливе яровой пшеницы	M	м <sup>3</sup> /га	–	–	3200
8. Прибавка урожайности при орошении яровой пшеницы	У <sub>пр</sub>	ц/га	–	–	5,4
9. Реализационная цена продукции (яровой пшеницы)	Ц	руб/кг	–	–	7,4

Таблица 2 – Расчет приведенных затрат по базовому варианту и внедряемому мероприятию

Показатели и расчетные формулы	Обозначения	Единица измерения	Расчет показателей
Ежегодные издержки (эксплуатационные затраты) - по базовому варианту $C_1 = 0,05 \cdot C_{бал}$ - по внедряемому мероприятию $C_2 = 0,05 \cdot C_{бал}$	C <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	млн. руб./км млн. руб./км	$C_1 = 0,05 \cdot 12,12 = 0,606$ $C_2 = 0,05 \cdot 12,12 = 0,606$
Затраты на текущий ремонт по базовому варианту $K_1 = 0,2 \cdot C_{бал}$	K <sub>1</sub>	млн. руб./км	$K_1 = 0,2 \cdot 12,12 = 2,424$
Затраты на капитальный ремонт по внедренному мероприятию $K_2 = 0,5 \cdot C_{бал}$	K <sub>2</sub>	млн. руб./км	$K_2 = 0,5 \cdot 12,12 = 6,06$
Нормативные коэффициент эффективности	E <sub>н</sub>	–	E <sub>н</sub> = 0,15
Приведенные затраты по базовому варианту $Z_1 = C_1 + E_{н} \cdot K_1$	Z <sub>1</sub>	млн. руб./км	$Z_1 = 0,606 + 0,15 \cdot 2,424 = 0,9696$
Приведенные затраты по внедряемому мероприятию $Z_2 = C_2 + E_{н} \cdot K_2$	Z <sub>2</sub>	млн. руб./км	$Z_2 = 0,606 + 0,15 \cdot 6,06 = 1,515$

Расчет чистого дохода от орошения дополнительной площади при поливе яровой пшеницы приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет чистого дохода от орошения дополнительной площади по внедряемому мероприятию

Показатели и расчетные формулы	Обозначения	Единица измерения	Расчет показателей
Коэффициент повышения пропускной способности канала $\lambda_Q = \eta_1/\eta_2$	$\lambda_Q$	–	$\lambda_Q = 0,90/0,89 = 1,011$
Дополнительный расход канала от повышения пропускной способности $Q_{\text{доп}} = Q(\lambda_Q - 1)$	$Q_{\text{доп}}$	м <sup>3</sup> /с	$Q_{\text{доп}} = 250(1,011 - 1) = 2,8090$
Дополнительный объем воды, подаваемый по каналу от повышения пропускной способности $W = Q_{\text{доп}} \cdot T_{\text{ор}}$	W	м <sup>3</sup>	$W = 2,8090 \cdot 5 \cdot 2,59 \cdot 10^6 = 36,376 \cdot 10^6 \text{ м}^3$
Дополнительная площадь орошения от повышения пропускной способности канала $F_{\text{ор}} = \frac{W \cdot \eta}{M}$	$F_{\text{ор}}$	Га	$F_{\text{ор}} = \frac{36,376 \cdot 10^6 \cdot 0,90}{3200} = 10230,9$
Чистый доход от орошения дополнительной площади яровой пшеницы $\text{ЧД} = F_{\text{ор}} \cdot U_{\text{пр}} \cdot Ц$	ЧД	млн. руб.	$\text{ЧД} = 10230,9 \cdot 5,4 \cdot 10^2 \cdot 7,4 = 40,883$

Подставляя найденные значения приведенных затрат и чистого дохода из таблиц 2 и 3 в расчетную формулу (1), годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E} = (0,9696 - 1,515)67 + 40,883 = 4,34 \text{ млн. руб.}$$

Таким образом, годовой экономический эффект от использования в эксплуатации комплекса внедряемых мероприятий составит 4,34 млн. руб. на всю длину участка канала, протяженностью 67 км.

Расчет составили:

Разработчики:

Научный руководитель НИР,  
Зам. директора ФГБНУ «РосНИИПМ»,  
Докт. техн. наук, профессор



Ю. М. Косиченко

Науч. сотр. отдела ГТСиГ  
ФГБНУ «РосНИИПМ»



Д. В. Бакланова