

На правах рукописи



Родионов Максим Владимирович

**ГРУНТОВЫЕ ПЕРЕЛИВНЫЕ ПЛОТИНЫ
С НИЗОВЫМ ОТКОСОМ, СФОРМИРОВАННЫМ
ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ ОБОЛОЧКАМИ**

Специальность 05.23.07 Гидротехническое строительство

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

САМАРА 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Бальзанников Михаил Иванович
Официальные оппоненты:	Бухарцев Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», профессор Дзюбенко Любовь Федоровна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Новосибирский государ- ственный архитектурно-строительный университет», доцент
Ведущая организация	ФГБОУ ВПО «Московский государ- ственный строительный университет».

Защита состоится 24 мая 2012 г. в 14-30 на заседании диссертационного совета ДМ 212.213.02 при ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет».

Адрес: 443110, Самара, ул. Молодогвардейская, 194, ауд. 0407.

Факс: (846) 242-37-00. E-mail: sgasu@sgasu.smr.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет».

Автореферат разослан 24 апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ДМ 212.213.02
канд. техн. наук



А.А. Михасек

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Проектирование гидроузлов неизбежно связано с решением проблемы пропуска расходов воды в период эксплуатации объекта. С этой целью в состав гидроузла включают водопропускные сооружения. Тип и конструкция таких сооружений значительно влияют на общую стоимость гидроузла. Снизить затраты на возведение гидротехнического объекта можно при совмещении водосброса с водоподпорным сооружением. Поэтому обоснование и проектирование гидроузлов с сооружениями, обладающими указанными совмещенными функциями является важным направлением повышения их эффективности и обеспечения рационального использования природных водных ресурсов для различных хозяйственных целей.

В качестве сооружений, обеспечивающих создание напора, часто применяются грунтовые плотины. Среди их достоинств – использование местных строительных материалов, малые сроки возведения и низкая стоимость. Пропуск паводковых расходов воды непосредственно через грунтовую плотину в большинстве случаев оказывается наиболее экономичным решением, поскольку позволяет отказаться от возведения дорогостоящих специальных водопропускных сооружений. Однако для обеспечения возможности перелива паводковых вод через грунтовую плотину требуются специальные конструктивные решения, защищающие гребень и низовой откос плотины от размыва.

Существующие конструкции грунтовых переливных плотин обладают существенными недостатками: либо необходим сильно распластаный профиль, либо весьма трудоемки, либо требуют применения дорогостоящих элементов крепления. В последние годы в гидротехническом строительстве получают распространение конструкции с использованием геосинтетических оболочек, заполненных грунтом. Такие конструкции отличаются низкой стоимостью и высокой технологичностью устройства. Их применение может обеспечить получение значительного экономического эффекта. Вместе с тем, использование геосинтетических оболочек в качестве защитного покрытия для низового откоса переливной плотины до настоящего времени изучено недостаточно.

Таким образом, разработка эффективных конструкций грунтовых переливных плотин с низовым откосом, для крепления которого используются геосинтетические оболочки, исследования гидравлических условий работы таких конструкций, а также разработка методов расчетного обоснования их параметров является актуальной и своевременной.

Цель и основные задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка новых конструкций грунтовых переливных плотин с низовым откосом, сформированным геосинтетическими оболочками, исследование гидравлических условий пропуска воды и степени гашения кинетической энергии сбрасываемого потока, а также разработка методики обоснования основных параметров грунтовых переливных плотин и их элементов.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

- проанализировать конструктивные решения грунтовых переливных плотин и их низовых откосов, используемые методы гидравлического исследования переливных плотин, а также методы обоснования их основных параметров и элементов крепления нижнего бьефа;
- разработать новые эффективные конструкции грунтовых переливных плотин на основе современных материалов и технологических достижений, в том числе, с применением геосинтетических оболочек, обеспечивающие снижение затрат на возведение грунтовых плотин при сохранении хороших показателей гашения избыточной кинетической энергии потока в пределах водосливного откоса;
- обосновать условия моделирования, разработать физические модели и методы проведения гидравлических исследований новых разработанных конструктивных решений грунтовых переливных плотин;
- выполнить экспериментальные исследования моделей грунтовых переливных плотин, выявить влияние основных геометрических параметров грунтовой переливной плотины на режим течения, глубину и скорость потока, степень гашения кинетической энергии сбрасываемого потока, а также на характеристики гидравлического прыжка в нижнем бьефе;

– разработать методику расчетного обоснования основных параметров новых разработанных конструкций грунтовых переливных плотин и их элементов.

Предмет и объект исследования. Объектом исследования являются низко и средненапорные грунтовые гидротехнические сооружения, допускающие перелив паводковых вод, в частности – грунтовые переливные плотины, а также новые эффективные конструкции крепления их гребня и низового откоса. Предмет исследования – гидравлические характеристики пропускаемого паводкового расхода воды и параметры гашения избыточной кинетической энергии сбрасываемого через плотину потока, а также методика обоснования основных параметров конструкций грунтовых переливных плотин и их элементов.

Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследования. Методологической базой исследования являются: законодательные акты Российской Федерации, в том числе, о безопасности гидротехнических сооружений, нормативно-техническая документация по гидротехническим сооружениям, методологические основы проектирования грунтовых плотин, расчетно-аналитические методы обоснования их основных параметров. Теоретической базой диссертационного исследования являются работы ученых и специалистов в области гидротехнического строительства, методы обоснования подобия гидравлических явлений при физическом моделировании и методы проведения модельных гидравлических исследований. В качестве эмпирической базы исследования использованы экспериментальный стенд для проведения гидравлических исследований, физические модели грунтовых переливных плотин, регулирующая, измерительная и фиксирующая аппаратура и оборудование.

Научная новизна результатов работы заключается в разработке новых эффективных конструкций грунтовой переливной плотины с низовым откосом, сформированным геосинтетическими оболочками, в уточнении классификации грунтовых переливных плотин, в получении новых экспериментальных данных о влиянии основных геометрических параметров плотин с низовым откосом, сформированным геосинтетическими оболочками, на режим течения, параметры сбрасываемого потока и степень гашения его кинетической энергии, а также

в разработке методики расчетного обоснования основных параметров новых конструкций грунтовых переливных плотин.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость диссертационного исследования состоит в развитии научных представлений о подходах к совершенствованию конструкций низконапорных грунтовых переливных плотин, в частности, с применением геосинтетических оболочек, в уточнении классификации грунтовых переливных плотин, в развитии методов экспериментальных гидравлических исследований грунтовых гидротехнических сооружений, допускающих перелив паводковых вод, и методов обоснования основных параметров новых конструкций грунтовых переливных плотин и их элементов.

Практическая значимость исследования обусловлена тем, что обоснована возможность применения геосинтетических оболочек для крепления гребня и низового откоса при возведении и ремонте грунтовых переливных плотин. Результаты проведенных исследований и полученные параметры сбрасываемого потока позволяют оценить его воздействие на элементы крепления плотины и нижнего бьефа, а следовательно, обосновать рекомендации по обеспечению их прочности и надежности работы. Разработанные методики обоснования параметров новых конструктивных решений грунтовых переливных плотин обеспечат обоснованный выбор их основных параметров и параметров геосинтетических оболочек, используемых в качестве элементов крепления низового откоса.

Личный вклад соискателя заключается в непосредственном его участии в проведении анализа публикаций по применяемым конструктивным решениям и исследованиям грунтовых переливных плотин, разработке предложений по использованию геосинтетических оболочек в качестве конструктивных элементов для грунтовых гидротехнических сооружений, в разработке новых конструкций переливных грунтовых плотин, уточнении методики проведения гидравлических исследований физических моделей грунтовых плотин, в получении, обработке и анализе результатов экспериментальных исследований, а также в личном участии в апробации и внедрении результатов исследования и подготовки основных публикаций по выполненной работе.

На защиту выносятся:

- Уточненная классификация грунтовых переливных плотин.
- Новые конструкции грунтовой переливной плотины с низовым откосом, сформированным с применением геосинтетических оболочек.
- Результаты экспериментальных исследований моделей предложенных автором конструкций грунтовых переливных плотин, полученные данные о влиянии основных геометрических параметров грунтовой переливной плотины на режим и параметры пропускаемого потока, степень гашения его кинетической энергии.
- Методика расчетного обоснования основных параметров новых разработанных конструкций грунтовых переливных плотин и элементов низового откоса, сформированного геосинтетическими оболочками.

Достоверность научных результатов подтверждается использованием в диссертационной работе научно обоснованных и апробированных методов проведения экспериментальных исследований, воспроизводимостью результатов модельных исследований и совпадением экспериментальных данных при многократных измерениях, обоснованием и соблюдением условий подобия при физическом моделировании, тщательным анализом погрешности и точности измеряемых и вычисляемых параметров. Полученные данные о параметрах пропускаемого потока через плотину хорошо согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации, полученными другими исследователями, в частности параметров потока на гладком и ступенчатом водосбросах, а также соответствием полученных результатов диссертационного исследования существующим современным научным представлениям.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы представлены и обсуждены на Всероссийских научно-техн. конф. «Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика» (Самара, 2007-2009 гг.), Всероссийских научно-техн. конф. «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре» (Самара, 2010-2011 гг.), Четырнадцатой Международной межвузовской научно-практ. конф. молодых ученых, докторантов и аспирантов (Москва, МГСУ, 2011 г.), научных

семинарах кафедры природоохранного и гидротехнического строительства СГАСУ (Самара, 2008-2011 гг.).

Реализация работы. Результаты диссертационной работы внедрены в ОАО «Инженерный центр энергетики Поволжья» (г. Самара) при проектировании переездов и скотопрогонов на гидромеханизированных каналах инженерных защит, в HUESKER Synthetic GmbH (Германия, г. Гешер) при проектировании грунтовых плотин, в ЗАО «Земьспецпроект» (г. Самара) при проектировании реконструкции грунтовых водоподпорных сооружений, в ЗАО «Волгоспецстрой» Филиал Саратовский (г. Саратов) при реконструкции насыпей земляного полотна, а также в ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет» при осуществлении учебного процесса, в курсовом и дипломном проектировании студентов, обучающихся по специальности «Гидротехническое строительство».

Публикации. Основные результаты исследования опубликованы в десяти печатных работах, в том числе, одна статья – в рецензируемом научном издании, рекомендованном ВАК, один патент на изобретение № 2432432, один патент на полезную модель № 100527.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 119 наименований, в том числе 28 – на иностранном языке, и приложений. Работа содержит 153 страницы машинописного текста, 61 рисунок и 8 таблиц. Общий объем работы – 197 с.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, научная новизна, сформулированы цель и основные задачи исследования, приведены сведения о практической и теоретической значимости результатов работы, ее апробации и реализации, о личном вкладе соискателя.

В первой главе диссертации приведен аналитический обзор публикаций, отражающих конструктивные особенности грунтовых переливных плотин, проанализированы технические решения по креплению низового откоса и дана оценка их надежности. Рассмотрены современные методы расчета и обоснова-

ния основных параметров грунтовых переливных плотин, а также методики экспериментальных исследований грунтовых переливных плотин.

Грунтовым плотинам принадлежит важная роль в развитии гидротехнического строительства и рационального использования природных водных ресурсов для различных хозяйственных целей. Большое значение для совершенствования методов расчетного обоснования и проектирования грунтовых плотин оказали работы М.М. Гришина, А.Л. Можевитинова, Н.Н. Павловского, Г. Терцаги, Л.Н. Рассказова, Н.Н. Розанова, Р.Р. Чугаева. В них разработаны методы обоснования рациональных конструктивных решений плотин, показана важность обеспечения надежной работы сооружений, и пр.

Развитию методов оценки надежности грунтовых плотин, проблемам обеспечения их устойчивости, прочности грунтов и фильтрационной прочности посвящены работы Р.А. Апрапетяна, П.П. Богословский, В.В. Бухарцева, А.Л. Гольдина, Л.Ф. Дзюбенко, Ю.П. Ляпичева, А.А. Ничипоровича.

Значительный вклад в совершенствование конструкций грунтовых переливных плотин внесли исследователи С.В. Избаш, П.И. Гордиенко, Н.Н. Беляшевский, И.С. Румянцев, Н.П. Пузыревский, Ю.П. Правдивец, Г. Ченсон и многие др. Анализ научных публикаций показал, что пропуск паводковых расходов воды непосредственно через грунтовую плотину в большинстве случаев является наиболее экономичным и технологичным решением, поскольку позволяет отказаться от возведения дорогостоящих специальных водопропускных сооружений в составе гидроузла.

Ученые усовершенствовали подходы к решению вопросов обеспечения надежности водоподпорного грунтового сооружения в условия пропуска расходов переливом через плотину.

Особенностью конструкций грунтовых переливных плотин является наличие в пределах их гребня и низового откоса специальных устройств крепления, позволяющих осуществлять пропуск паводковых расходов без разрушения водоподпорного грунтового сооружения. Большинство технических решений по креплению низового откоса обладают существенными характерными недостатками: либо требуют сильно распластанного профиля плотины (при

креплении откоса камнем), либо весьма трудоемки (при использовании ряжевых креплений из деревянных или железобетонных балок, при применении габионов), либо предусматривают применение дорогостоящих элементов крепления (железобетонных плит, омоноличивание откоса бетоном). Указанные недостатки приводят к значительному удорожанию грунтового переливного сооружения.

В результате проведенного обзора выявлено, что современные методы расчета и обоснования основных параметров грунтовых переливных плотин помимо расчетов, проводимых для глухих грунтовых плотин, включают дополнительные две группы расчетов: 1 – гидравлические; 2 – деформативные и прочностные расчеты элементов крепления низового откоса. Важнейшими рассчитываемыми параметрами первой группы являются: пропускаемый расчетный расход, напор на гребне и глубина потока в пределах низового откоса, степень гашения избыточной кинетической энергии потока, а также выявление условий смены гидравлического режима потока в пределах низового откоса и условий сопряжения потока в нижнем бьефе. Именно эти параметры оказывают решающее влияние на выбор конструкции грунтовой переливной плотины. В большинстве случаев расчеты опираются на результаты экспериментальных исследований моделей переливных плотин, поскольку они дают наиболее достоверные результаты о гидравлических параметрах пропускаемого потока.

Показано, что при обосновании основных параметров конструкций крепления откосов грунтовых переливных плотин и нижнего бьефа часто используют эмпирические формулы и графики. Однако такие графики могут быть рекомендованы только для определения параметров исследованных типов конструкций плотин. Для новых конструктивных решений необходима разработка адаптированных методик обоснования параметров.

Отмечено, что для обеспечения высокой экономической эффективности гидроузла в целом важно не только обоснованно выбирать конструктивные решения элементов крепления гребня и откоса и их параметры, но и применять новые материалы, конструкции и технологии.

Во второй главе изложены тенденции развития конструкций грунтовых переливных плотин в направлении совершенствования для повышения их надежности, обоснована возможность применения геосинтетических оболочек в гидротехническом строительстве, представлены новые авторские разработки конструкций грунтовых переливных плотин с низовым откосом из геосинтетических оболочек, уточнена классификация переливных плотин.

При совершенствовании конструкций грунтовых переливных плотин наибольшее значение принадлежит новым конструктивным разработкам по откосам плотин, поскольку именно откосы воспринимают наиболее опасное разрушающее воздействие со стороны высоких скоростей потока пропускаемого паводкового расхода, а следовательно, являются наиболее ответственными элементами грунтовых плотин для сохранения их надежной эксплуатации. Показано, что совершенствование конструкций низового откоса плотины осуществляется, как правило, с целью: снижения стоимости строительства грунтовой плотины, повышения надежности и безопасности ее эксплуатации, сокращения сроков строительства и (или) проведения ремонтно-восстановительных работ и повышения их технологичности.

В диссертационной работе предложено применять для формирования гребня грунтовых переливных плотин и их низовых откосов строительные материалы в сочетании с геосинтетическими оболочками. Геосинтетические оболочки представляют собой некоторые емкости из синтетического материала, предусматривающие возможность заполнения их грунтом. Имеется некоторый опыт практического применения геосинтетических оболочек в гидротехническом строительстве, в частности, для берегоукрепления, строительства дамб и искусственных намывных территорий.

В работе приведены новые авторские конструкции грунтовых переливных плотин: грунтовая плотина с низовым откосом из геосинтетических оболочек (рис. 1, а), плотина с низовым откосом из геосинтетических оболочек и армогрунтовым низовым клином (рис. 1, б), конструкция сопряжения низового откоса из геосинтетических оболочек с берегами и участками глухой грунтовой плотины (рис. 1, в), плотина с креплением нижнего бьефа геосинтетическими

оболочками (рис. 1, г). Конструкции защищены патентами на изобретение (№ 2432432) и полезную модель (№ 100527).

Преимуществами новых разработок являются: максимальное использование местных грунтовых строительных материалов; сведение к минимуму дорогостоящих и трудоемких конструкций из железобетонных и металлических изделий, каменных и гравийных материалов; высокая надежность работы, связанная с тем что, элементы крепления низового откоса в виде геосинтетических оболочек способны воспринимать динамическое воздействие сбрасываемого потока без разрушения; снижение стоимости и трудоемкости строительства.

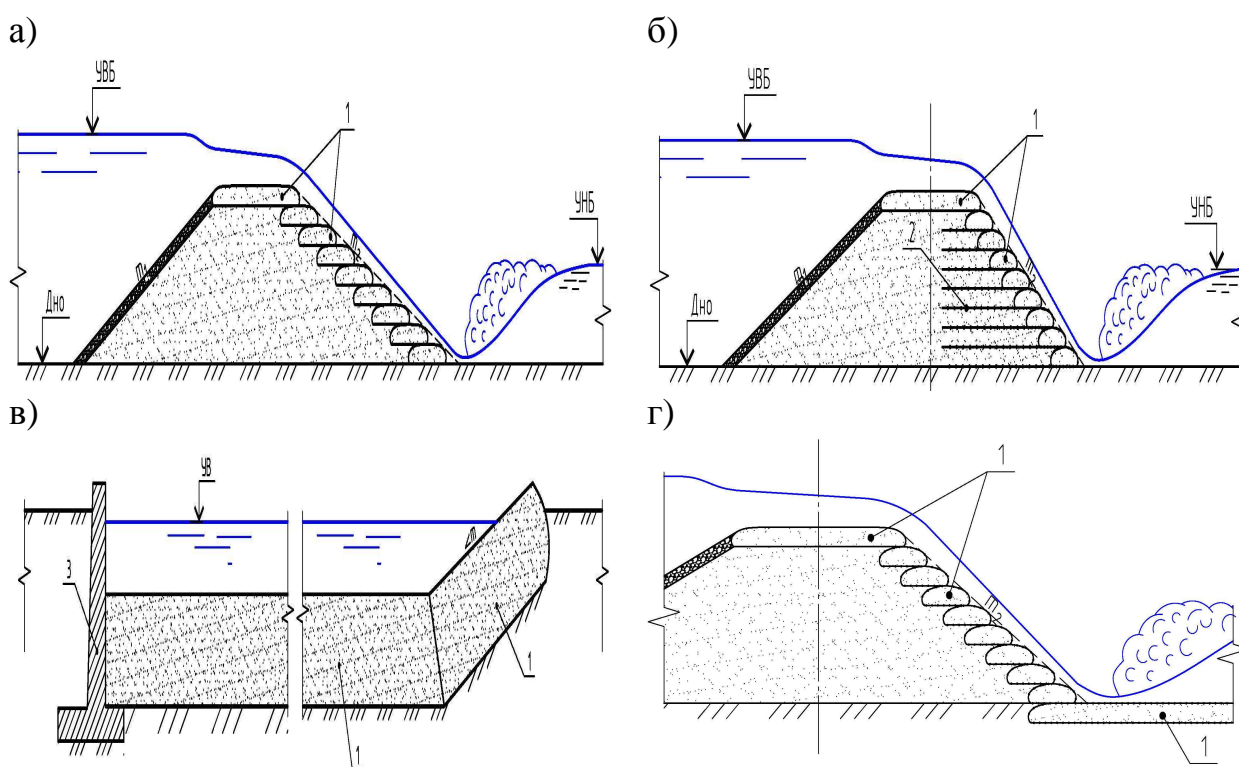


Рисунок 1 – Схемы грунтовых переливных плотин с низовым откосом из геосинтетических оболочек: 1 – геосинтетические оболочки; 2 – армогрунтовый низовой клин; 3 – подпорная стенка

В соответствии с развитием конструктивных решений грунтовых переливных плотин уточнена их классификация (рис. 2), в которой предложено дополнительно выделить ступенчато-криволинейную форму элементов крепления и новый материал крепления – геосинтетические оболочки.

В работе отмечено, что из-за существенных отличий предложенных конструкций грунтовых переливных плотин, обусловленных формированием ступенчато-криволинейного низового откоса, гидравлические условия и характе-

ристики потока, пропускаемого по низовому откосу, будут существенно отличаться от известных и изученных исследователями ранее. В связи с этим необходимы исследования с целью изучения влияния новых разработанных конструкций на гидравлические характеристики сбрасываемого потока и степень гашения энергии, а для обоснованного назначения геометрических параметров конструктивных решений таких грунтовых переливных плотин и элементов низовых откосов, необходима разработка соответствующих методик.

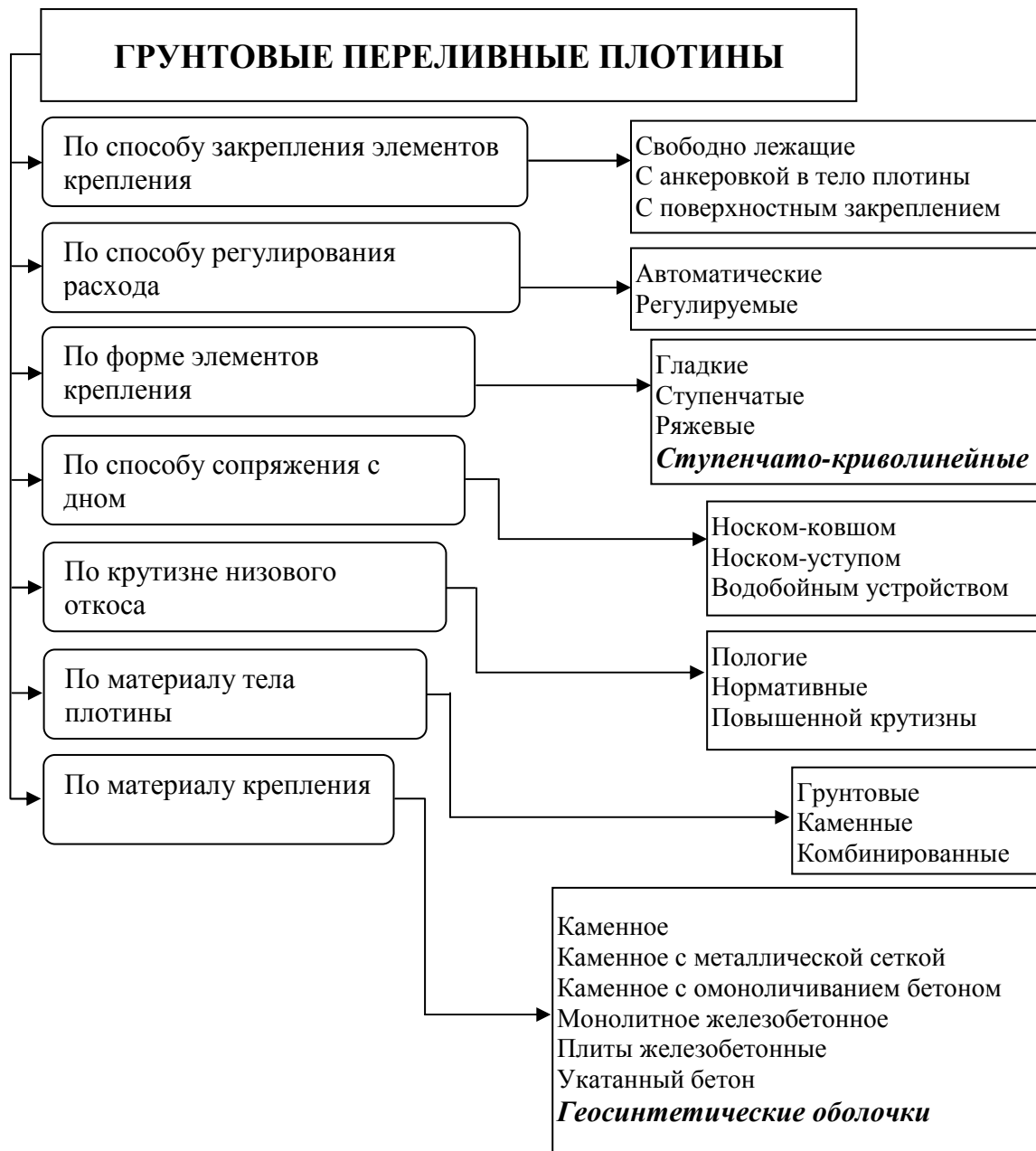


Рисунок 2 – Уточненная классификация грунтовых переливных плотин

В третьей главе представлена краткая характеристика экспериментальной установки, описание исследованных моделей грунтовых переливных плотин и используемых измерительных приборов, приведен анализ условий моделирования и разработанная методика проведения исследований.

Исследования грунтовых переливных плотин проводились на экспериментальной установке, состоящей из следующих основных частей: успокоительный бак; гидравлический лоток, мерный бак и накопительный бак. Модели грунтовой переливной плотины устанавливались в гидравлическом лотке, размеры которого позволяли разместить варианты исследуемых моделей и имели следующие значения: длина 5,6 м, ширина 0,23 м, высота 0,9 м.

При проведении модельных гидравлических исследований рассматривались три модели низового откоса переливных плотин: с гладким низовым откосом – тип А; со ступенчатым низовым откосом из прямоугольных элементов – тип Б; со ступенчато-криволинейным низовым откосом – тип В. Для каждой модели значения коэффициента заложения низового откоса m принимались равными 3, 2 и 1. Модели типов Б и В имели высоту ступеней 0,05 м.

При моделировании гидравлических явлений были соблюдены требования геометрического, кинематического и гидродинамического подобия. В качестве основных критериев подобия учтены критерии Фруда и Рейнольдса. При этом соблюдение условий моделирования представлено в виде:

$$Fr = \frac{v^2}{gl} = idem \quad \text{и} \quad Ra_{\dot{a}} = \frac{vl}{\nu} > Ra_{\dot{a}\delta}, \quad (1)$$

где Re_{zp} – граничное значение числа Рейнольдса.

Согласно многочисленным данным других авторов для подобных исследований открытых потоков обычно число Re_{zp} принималось равным 10^4 . Принимая указанное число в качестве граничного значения, была определена величина минимального удельного расхода воды для подачи его на физические модели исследуемых плотин (10 л/(с·м)). Все исследования на моделях были проведены при большем значении определенного минимального допустимого удельного расхода. Проведена оценка погрешностей выполняемых измерений и вычислений параметров потока, показавшая, что значения находятся в допу-

стимых пределах (не превышают 2-5%) и позволяют оценить исследуемые параметры с удовлетворительной точностью.

В четвертой главе приведены результаты гидравлических исследований грунтовых переливных плотин с низовым откосом, сформированным геосинтетическими оболочками, выполнен анализ влияния основных геометрических параметров плотины на режим течения потока в пределах низового откоса и характеристики гидравлического прыжка, а также на степень гашения кинетической энергии сбрасываемого потока.

Исследования режимов течения потока на ступенчатом и ступенчато-криволинейном низовом откосах показали, что они аналогичны и зависят, в основном, от величины расходов и размеров ступеней. Причем, с увеличением заложения низового откоса смена режимов наступает при больших расходах. Смена режимов течения с перепадного на скользящий на моделях со ступенчато-криволинейным откосом происходит при меньших расходах на 45-55%.

Условие смены режимов на ступенчато-криволинейном низовом откосе:

$$\frac{q}{d\sqrt{gd}} > 0,31. \quad (2)$$

Полученные результаты условий смены режимов течения на ступенчатом и криволинейно-ступенчатом низовом откосе сопоставлены с данными других авторов (рис. 3). Сравнение показало хорошее совпадение результатов.

Изучение условий возникновения и смещения точки начала активной аэрации потока на ступенчато-криволинейном низовом откосе, показали, что они аналогичны условиям возникновения на ступенчатом откосе и зависят от размеров ступеней и расходов. С увеличением расхода точка начала активной аэрации потока смещается вниз по течению, а с увеличением коэффициента заложения низового откоса плотины момент начала активной аэрации потока наступает при больших расходах. При этом на ступенчато-криволинейном откосе в сравнении со ступенчатым точка наблюдается при меньших расходах (на 37-43%), а при аналогичных расходах – смещается ниже по течению (на 32-45%).

Полученные результаты исследований начала аэрации сопоставлялись с данными других авторов и также показали хорошую сходимость.

На рис. 4, а приведены полученные данные о начале зоны аэрации потока для разных величин заложения низового откоса и относительного удельного расхода воды для моделей со ступенчато-криволинейным низовым откосом. Отличия данных об условиях смены режимов течения и точках начала активной аэрации потока на моделях со ступенчатым и ступенчато-криволинейном откосах, на наш взгляд, обусловлены разной формой и размерами шероховатости на водосливном откосе исследуемых моделей. Так при одной и той же высоте ступени, высота шероховатости у ступенчато-криволинейного откоса на 25% меньше, чем у ступенчатого, при этом криволинейная форма ступеней оказывает меньшее сопротивление движению потока, чем прямоугольная.

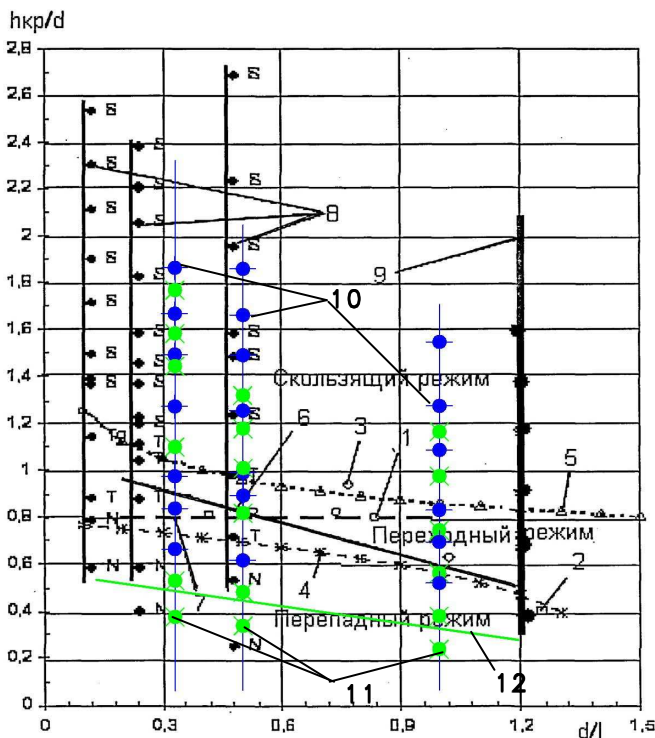


Рисунок 3 – Данные по смене режимов течения потока на ступенчатом откосе:

1 – Эссери и Хорнер; 2 – Бейтц и Лоулес; 3 – Монтеc; 4 – верхний предел перепадного режима Оутсю и Иашуда; 5 – зона начала скользящего режима Оутсю и Иашуда; 6 – Г. Ченсон; 7 – Раджаранама; 8 – Франтино; 9 – М.И. Мирзоев; 10 – данные автора для моделей «тип Б»; 11 – данные автора для моделей «тип В»; 12 – граница смены режимов для ступенчато-криволинейного водосброса; d и l – высота и длина ступени

Анализ данных об относительных сопряженных глубинах показал, что на ступенчато-криволинейном откосе глубины меньше на 38-70% чем на гладком и на 4-32% – чем на ступенчатом.

Графики изменения относительной сопряженной глубины $\bar{h} = h_1/h_2$ (h_1, h_2 - первая и вторая сопряженные глубины) при увеличении относитель-

го расхода $\bar{q} = \frac{q}{d\sqrt{gd}}$ для моделей со ступенчато-криволинейным низовым откосом приведены на рис. 4, б.

Оценка степени гашения кинетической энергии сбрасываемого потока в зависимости от основных параметров низового откоса плотины осуществлялась путем определения значений коэффициента скорости φ по длине водосливного откоса и в сжатом сечении за ней. Графики изменения коэффициента скорости по длине водосливного откоса приведены на рис. 5, а, а графики изменения коэффициента скорости при увеличении относительного расхода для моделей со ступенчато-криволинейным низовым откосом приведены на рис. 5, б.

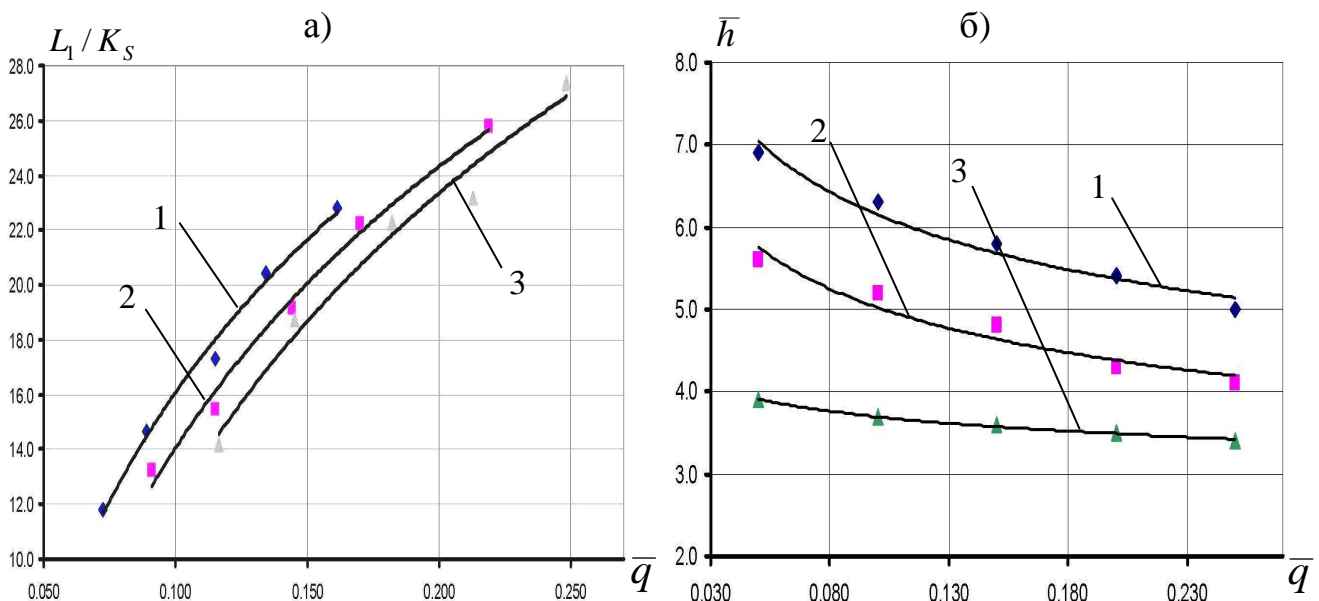


Рисунок 4 – Графики зависимости: а – $L_1 / K_S = f(\bar{q})$; б – $\bar{h} = f(\bar{q})$ для моделей «тип В»: 1 – при $m = 1$; 2 – при $m = 2$; 3 – при $m = 3$, L_1 - расстояние от гребня вдоль водослива до мерного створа; K_S - геометрическая шероховатость.

Анализ полученных результатов, показал, что характер изменения эффективности гашения кинетической энергии на всех исследуемых моделях аналогичен, с увеличением расхода и уменьшением коэффициента заложения низового откоса значения коэффициента скорости увеличиваются. При этом коэффициент скорости на моделях со ступенчато-криволинейным низовым откосом меньше на 24-52% чем на моделях с гладким откосом и на 2-22% – чем со ступенчатым. Причем с увеличением расхода разница между значениями коэффи-

коэффициентов скорости на моделях со ступенчато-криволинейным и ступенчатым откосом сокращается, что указывает на уменьшение степени влияния формы ступеней на эффективность гашения избыточной кинетической энергии потока в пределах водосливного откоса. Данные о коэффициентах скорости позволяют заключить, что на ступенчато-криволинейном и ступенчатом низовых откосах эффективность гашения избыточной кинетической энергии потока в пределах водосливного откоса значительно выше и может достигать 65%.

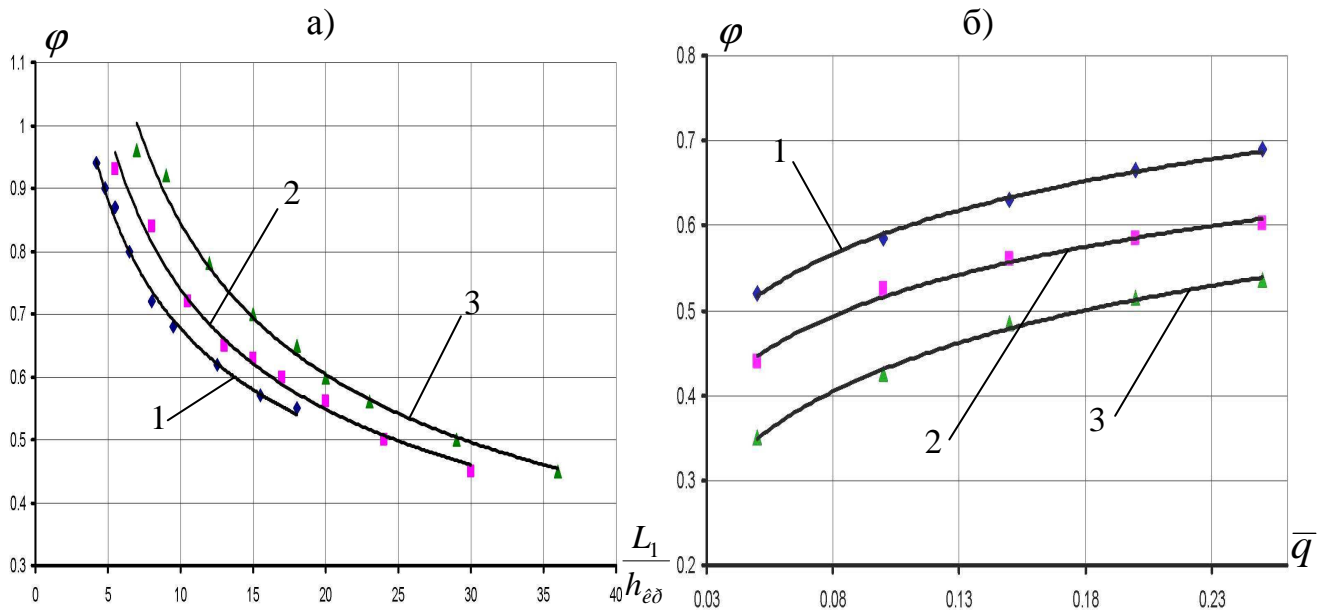


Рисунок 5 – Графики зависимости: а – $\varphi = f(L_1 / h_{\text{ед}})$; б – $\varphi = f(\bar{q})$ для моделей «тип В»: 1 – при $m = 1$; 2 – при $m = 2$; 3 – при $m = 3$

Меньшие значения коэффициентов скорости и относительных сопряженных глубин на моделях со ступенчато-криволинейным откосом, в сравнении со ступенчатым, можно объяснить ростом потерь энергии на трение и соударение струй потока.

Пятая глава диссертационной работы посвящена разработке методики расчета основных параметров грунтовых переливных плотин с низовым откосом, сформированным геосинтетическими оболочками, а также оценке экономической эффективности использования геосинтетических оболочек для низового откоса грунтовых переливных плотин.

Разработанная методика расчета основных параметров грунтовых переливных плотин с низовым откосом, сформированным геосинтетическими оболочками, предусматривает следующие основные этапы: 1) сбор исходных дан-

ных, анализ условий проектирования и строительства; 2) определение основных геометрических размеров грунтовой плотины; 3) определение специфических параметров конструкции низового откоса, обусловленные наличием геосинтетических оболочек; 4) определение параметров и конструктивных решений сопрягающих сооружений водосбросного участка грунтовой плотины с берегами.

Выполнение первых двух этапов осуществляется по известным и общепринятым методам, изложенным в соответствующей нормативной и технической литературе. Третий и четвертый этапы, в связи с особенностями разработанной конструкции грунтовой переливной плотины и применением геосинтетических оболочек, требуют разработки новых подходов.

Расчеты третьего этапа по определению специфических параметров конструкции низового откоса, обусловленные наличием геосинтетических оболочек, должны основываться на данных, полученных в результате проведенных модельных гидравлических исследований плотин. Так, на грунтовых переливных плотинах со ступенчато-криволинейным низовым откосом пропуск расчетных расходов должен осуществляться преимущественно при скользящем режиме течения, поскольку он наиболее благоприятен для работы водосбросного сооружения. В связи с этим, назначаемая высота геосинтетических оболочек должна удовлетворять экспериментально полученному условию (2). Высота сопрягающих сооружений водосбросного тракта с берегами или глухой частью грунтовой плотины зависит от глубины потока на водосливном откосе. Глубина потока в сечении по длине водосливного откоса определяется по формуле:

$$h_i = \frac{q}{\varphi_i \sqrt{2g(z_i + H_0 - h_i)}}, \quad (3)$$

где φ_i – коэффициент скорости в мерном створе; z_i – разность отметок между водосливным оголовком и дном водосливной поверхности в мерном створе.

Для определения в мерных створах значений коэффициентов скорости в зависимости от удельного расхода и заложения откоса, рекомендуется использовать экспериментальные графики зависимости $\varphi = f(L_1 / h_{\text{сд}})$, приведенные на рис. 5а или полученной путем обработки экспериментальных данных формулы:

$$\varphi = \hat{A} \cdot (L_1 / h_{\text{крит}})^{-\hat{A}}, \quad (4)$$

где A – коэффициент равный, при $m=1$ - $A = 1,63$, при $m=2$ - $A = 2,00$, при $m=3$ - $A = 2,58$; $h_{\text{крит}}$ – критическая глубина, м; B – коэффициент равный, при $m=1$ - $B = 0,38$, при $m=2$ - $B = 0,43$, при $m=3$ - $B = 0,48$.

Основные параметры крепления нижнего бьефа зависят от значений сопряженных глубин, которые, в свою очередь, определяются величинами потерь энергии в пределах ступенчато-криволинейного откоса. Потери энергии в сжатом сечении в зависимости от удельного расхода, заложения низового откоса, высоты водосливного порога и ступеней рекомендуется определять через коэффициент скорости и использовать экспериментальные графики зависимости $\varphi = f(\bar{q})$, приведенные на рис. 5,б, или полученной зависимости:

$$\varphi = \hat{A} \cdot \ln(\bar{q}) + \hat{A}, \quad (5)$$

где A – коэффициент равный, при $m=1$ - $A = 0,11$, при $m=2$ - $A = 0,10$, при $m=3$ - $A = 0,12$; $h_{\text{крит}}$ – критическая глубина, м; B – коэффициент равный, при $m=1$ - $B = 0,83$, при $m=2$ - $B = 0,75$, при $m=3$ - $B = 0,70$.

Приведены также подробные рекомендации по определению длины и поперечного профиля геосинтетических оболочек, расчету внутреннего давления и растягивающих усилий в поперечном и продольном направлениях, подбору свойств материала для изготовления оболочек, а также по определению устойчивости геосинтетических оболочек в пределах гребня и низового откоса грунтовой переливной плотины.

В диссертационной работе представлены расчеты параметров конкретной грунтовой переливной плотины, выполненные в соответствии с разработанной методикой. Исходные данные: высота грунтовой плотины – 10 м, расчетный расход через паводковый водосброс – 80 м³/с, допустимый удельный расход на гребне – 2,0 м²/с, бытовая глубина воды в реке – 2,0 м, грунты основания – песок (угол внутреннего трения – 32°, удельное сцепление – 1,0 кПа).

Проведены расчеты экономической эффективности использования геосинтетических оболочек для крепления низового откоса грунтовых переливных плотин, которые показали, что предложенная конструкция экономичнее на 11%

варианта крепления плотины камнем и на 29% – железобетоном, что свидетельствует о перспективности применения геосинтетических оболочек для строительства и ремонта грунтовых переливных гидротехнических сооружений.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основе анализа конструктивных решений грунтовых переливных плотин выявлены особенности их конструкций – наличие специального крепления, позволяющего осуществлять пропуск паводковых расходов без разрушения сооружения. Показано, что большинство конструктивных решений по креплению низового откоса плотин обладают существенными характерными недостатками, которые приводят к значительному (до 40-50%) их удорожанию.

2. Разработаны конструкции грунтовых переливных плотин: грунтовая плотина с гребнем и низовым откосом из геосинтетических оболочек, плотина с низовым откосом из геосинтетических оболочек и армогрунтовым низовым клином, конструкция сопряжения низового откоса из геосинтетических оболочек с берегами и участками глухой грунтовой плотины, конструкция грунтовой плотины с креплением нижнего бьефа геосинтетическими оболочками. Конструкции защищены патентами на изобретение № 2432432 и полезную модель № 100527. Особенности конструкций является использование геосинтетических оболочек в качестве элементов крепления гребня, низового откоса, нижнего бьефа и элементов сопряжения водосброса с берегами и участками глухой грунтовой плотины. Показаны преимущества новых конструкций.

3. Уточнена классификация грунтовых переливных плотин, позволяющая учитывать применение новых конструктивных решений, современных материалов и технологий, предусматривающая выделение в классификации дополнительной формы элементов крепления – ступенчато-криволинейной и материала крепления – геосинтетических оболочек.

4. Разработаны конструктивные решения и реализованы лабораторный экспериментальный стенд для проведения гидравлических исследований переливных плотин и физические модели плотин: с гладким откосом; со сту-

пенчатым откосом из прямоугольных элементов; со ступенчато-криволинейным откосом. Обоснованы условия моделирования плотин, разработана методика проведения лабораторных исследований.

5. Получены результаты экспериментальных исследований моделей грунтовых переливных плотин с низовым откосом, сформированным геосинтетическими оболочками. Выявлено, что:

- режимы течения потока на ступенчато-криволинейном низовом откосе и условия возникновения и смещения точки начала активной аэрации потока зависят, в основном, от величины расходов воды и размера ступеней. При этом смена режима течения с перепадного на скользящий происходит при меньших расходах на 45-55%, а точка возникновения начала активной аэрации потока наступает при меньших расходах на 37-43%;

- относительные сопряженные глубины на моделях со ступенчато-криволинейным низовым откосом меньше на 38-70% чем на моделях с гладким откосом и на 4-32% – чем со ступенчатым. При этом с увеличением расхода воды разница между значениями относительных сопряженных глубин на моделях со ступенчато-криволинейным откосом и ступенчатым откосом сокращается, что свидетельствует об уменьшении степени влияния формы ступеней;

- коэффициент скорости на моделях со ступенчато-криволинейным низовым откосом меньше на 24-52% чем на моделях с гладким откосом, и на 2-22% – чем со ступенчатым. При этом с увеличением расхода разница между значениями коэффициентов скорости на моделях со ступенчато-криволинейным и ступенчатым откосом сокращается, что указывает на уменьшение степени влияния формы ступеней на эффективность гашения избыточной кинетической энергии потока.

Таким образом, исследованиями подтверждено, что эффективность гашения избыточной кинетической энергии потока в пределах водосливного ступенчато-криволинейного откоса высока и может достигать 65%.

6. Разработана методика расчета основных параметров грунтовых переливных плотин с низовым откосом, сформированным геосинтетическими оболочками, включающая в себя этапы: 1) сбор исходных данных, анализ усло-

вий проектирования и строительства; 2) определение основных геометрических размеров плотины; 3) определение специфических параметров конструкции низового откоса, обусловленные наличием геосинтетических оболочек; 4) определение параметров и конструктивных решений сопрягающих сооружений водосбросного участка грунтовой плотины с берегами.

7. Выполнены и приведены примеры расчетов параметров конкретных грунтовых плотин. Проведены сопоставительные расчеты экономической эффективности использования геосинтетических оболочек в качестве элементов крепления низового откоса переливных грунтовых плотин, которые показали, что предложенная конструкция экономичнее на 11% варианта крепления плотины камнем и на 29% – железобетоном, что свидетельствует о перспективности применения геосинтетических оболочек для строительства и ремонта грунтовых переливных гидротехнических сооружений.

СПИСОК РАБОТ, В КОТОРЫХ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях

1. Бальзанников, М.И. Результаты исследования грунтовой переливной плотины со ступенчато-криволинейным низовым откосом [Текст] / М.И. Бальзанников, М.В. Родионов // Вестник МГСУ. – М.: МГСУ, 2012. – № 2. – С. 70-76.

Патенты

2. Патент РФ 2432432, МПК E02B7/06. Переливная грунтовая плотина / М.И. Бальзанников, М.В. Родионов. – Заявка № 2010126843; опубл. 2011, Бюл. № 30. – 8 с.

3. Патент РФ 100527, МПК E02B7/06. Переливная грунтовая плотина / М.И. Бальзанников, М.В. Родионов. – Заявка № 2010126899. опубл. 2010, Бюл. № 35. – 2 с.

Публикации в других научных изданиях

4. Назаров, А.П. Лабораторные исследования гидравлических условий водосливных плотин со ступенчатой низовой гранью [Текст] / А.П. Назаров, М.В. Родионов // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 64-й Всероссийской научно-технической конференции / СГАСУ. – Самара, 2007. – С. 387-399.

5. Родионов, М.В. Классификация геосинтетических материалов и область их применения в гидротехническом строительстве [Текст] / М.В. Родионов // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Обра-

зование. Наука. Практика: материалы 64-й Всероссийской научно-технической конференции / СГАСУ. – Самара, 2007. – С. 389-391.

6. Родионов, М.В. Водосбросы со ступенчатой сливной гранью в мировой практике гидротехнического строительства [Текст] / М.В. Родионов // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 65-й Всероссийской научно-технической конференции / СГАСУ. – Самара, 2008. – С. 385-387.

7. Родионов, М.В. Исследования переливного грунтового водоподпорного сооружения с низовой гранью из геосинтетических оболочек [Текст] / М.В. Родионов // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сб. науч. тр. Четырнадцатой Международной межвузовской научно-практич. конф. молодых ученых, докторантов и аспирантов (Москва, 27-29 апреля 2011 г.). – М.: МГСУ, 2011. – С. 684-693.

8. Бальзанников, М.И. Повышение экологической безопасности эксплуатируемых грунтовых гидротехнических сооружений [Текст] / М.И. Бальзанников, М.В. Родионов, В.А. Селиверстов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 100-105.

9. Бальзанников, М.И. Грунтовые плотины с низовым откосом, допускающим пропуск паводковых вод [Текст] / М.И. Бальзанников, М.В. Родионов // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук: сб. науч. тр. Вып.15. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – С. 100-105.

10. Бальзанников, М.И. Методика исследований моделей грунтовых переливных плотин [Текст] / М.И. Бальзанников, М.В. Родионов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 69-й Всероссийской научно-технической конференции / СГАСУ. – Самара, 2012. – С. 100-103.

Подписано в печать 23.04.2012 г. Формат 60x84/16

Бумага офсетная. Печать оперативная.

Уч.-изд. л. 1,03 . Усл. печ. л. 1,4.

Тираж 100 экз.

Отпечатано в СГАСУ

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет»
443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194