

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Б.Н. ЕЛЬЦИНА

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ
им. Н.ИСАНОВА

Диссертационный совет

На правах рукописи
УДК. 626-4/-9(043.3)

Логинов Геннадий Иванович

РУСЛОВЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ВОДОЗАБОРЕ ИЗ
ГОРНЫХ РЕК В ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ИРРИГАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ

Специальность: 05.23.07 – Гидротехническое строительство

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Бишкек – 2014

Работа **выполнена** в Кыргызско-Российском Славянском университете
им Б.Н. Ельцина

Научный консультант - доктор технических наук, профессор
Лавров Н.П.

Официальные оппоненты – доктор технических наук,
профессор **Касымбеков Ж.К.**
доктор технических наук,
профессор **Карлыханов Т.К.**
доктор технических наук,
профессор **Бакиев М.Р.**

Ведущая организация – **ОАО «Кыргызсуудолбоор»**

Защита состоится «19» декабря 2014 г. в _____ часов на заседании
диссертационного совета _____ при Кыргызско-Российском Славянском
университете им. Б.Н. Ельцина и Кыргызском Государственном
университете строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызско-Российского
Славянского университета им. Б.Н. Ельцина и Кыргызского
Государственного университета строительства, транспорта и архитектуры
им. Н. Исанова.

Автореферат разослан «_____» _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
доцент

Л.В. Ильченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальность исследований. Проектирование и эксплуатация водозаборных сооружений на малых горных реках до настоящего времени проводится без достаточного учета требований по созданию необходимых русловых и гидравлических процессов на участках ведения водозабора, что является одной из основных причин их простоев, повреждений и аварий. Поэтому возникает необходимость оценки рациональности существующих компоновочных схем водозаборных и регуляционных сооружений с определением их недостатков, и проведения теоретических и экспериментальных исследований для повышения характеристик процесса водозабора, путем организации управления двухфазными потоками и режимами формирования рельефов дна. Это обосновывает актуальность темы диссертационной работы, посвященной изучению и разработке возможностей использования энергии водных потоков на участках зарегулированных русел и бьефах низконапорных плотинных водозаборных сооружений, для минимизации производственных издержек.

Связь темы диссертации с крупными научными программами, основными научно-исследовательскими работами, проводимыми научными учреждениями. Тема диссертации: «Русловые и гидравлические процессы при водозаборе из горных рек в гидроэнергетические и ирригационные системы» рассмотрена и утверждена на Ученом совете Кыргызско-Российского Славянского университета в 2011 году, приказ № 32 от 24.02.11.

Разделы темы с участием автора выполнялись:

- в научно-исследовательских работах Кыргызской аграрной академии и Департамента науки, инноваций и научно-технической информации при Кыргызпатенте с 1999 г. по 2003 г.;
- в ходе выполнения госбюджетной темы: КР-13 «Модернизация водозаборного сооружения для малых деривационных ГЭС», финансируемой Департаментом науки, инноваций и научно-технической информации при Кыргызпатенте с 2005 г. по 2007 г. в рамках НИЦ «Перспективные технологии и материалы» КРСУ;
- при выполнении проекта МНТЦ № KR-1130 «Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны» в КРСУ, финансируемого Евросоюзом с 2007 г. по 2010 г.;
- при выполнении хоздоговорной темы КРСУ ХГ-08-12: Разработка технико-экономического обоснования (ТЭО) по объекту: «Малые ГЭС на реке Усек» в 2012 г.

Цель и задачи исследования. В связи с поставленной темой диссертации целью исследований является совершенствование теории, методов исследований и расчетного обоснования необходимых характеристик русловых и гидравлических процессов при водозаборе из горных рек, позволяющих сократить привлекаемые материальные ресурсы при проектировании, строительстве и повысить надежность

низконапорных плотинных водозаборных сооружений в процессе эксплуатации.

Для реализации цели потребовалось решить следующие основные задачи:

- провести анализ русловых и гидравлических процессов при водозаборе из горных рек известными конструкциями водозаборных сооружений с разработкой их классификации по признакам конструктивной преемственности;
- на основании анализа эксплуатационных характеристик и результатов лабораторных исследований компоновок существующих водозаборных сооружений определить недостатки в организации процесса водозабора, их причины и последствия с формулированием возможностей по совершенствованию технических характеристик водозаборных сооружений;
- обосновать совершенствование структурной модели процесса водозабора из горных рек с использованием низконапорных плотинных водозаборных сооружений;
- выполнить обзор и анализ методов описания гидравлических и русловых процессов при водозаборе из горных рек, с теоретическим обоснованием параметров элементов водозаборных сооружений;
- разработать компоновки усовершенствованных конструкций водозаборных сооружений;
- выполнить теоретическое обоснование усовершенствованной конструкции стабилизатора расхода воды для водоприемных оголовков водозаборных сооружений из горных рек
- разработать методику лабораторных исследований конструкций низконапорных плотинных водозаборных сооружений из малых горных рек;
- провести экспериментальные исследования элементов конструкции низконапорных плотинных водозаборных сооружений из горных рек с определением рациональных параметров регулирующих сооружений, наносозащитных элементов, пропускной способности ломаных в плане порогов, гидравлических характеристик усовершенствованного стабилизатора расхода воды и необходимых условий эксплуатации в зимнем режиме;
- на основании анализа качественных и количественных характеристик русловых и гидравлических процессов в бьефах разработанных конструкций водозаборных сооружений оценить эффективность их использования при водозаборе из горных рек в гидроэнергетические и ирригационные системы;
- с использованием результатов теоретических и экспериментальных исследований разработать рекомендации по выбору способов организации процесса водозабора в зависимости от гидрологических особенностей

источника, методам расчетного обоснования, проектирования и эксплуатации водозаборных сооружений.

Научная новизна полученных результатов заключается в:

- усовершенствовании классификации низконапорных водозаборных сооружений из горных рек на основании обобщения и анализа научной литературы по теме диссертации, рассмотрения истории вопроса обоснована;
- усовершенствовании схемы описания движения двухфазного потока жидкости (вода - наносы) на криволинейных участках зарегулированных русел;
- разработке алгоритма определения плановой конфигурации и размеров наносозащитных порогов при рассмотрении кинематических структур водного потока в верхнем бьефе водозаборного сооружения;
- усовершенствовании теоретического обоснования конструкций и гидравлических параметров промывных трактов водозаборных сооружений;
- разработке усовершенствованных конструкций водозаборных сооружений для гидроэнергетических и ирригационных систем и стабилизатора расхода воды на основе теоретических и экспериментальных исследований;
- усовершенствовании методики проведения лабораторных исследований конструкций водозаборных сооружений из горных рек
- разработке и применении методов оценки деформаций дна русел горных рек при водозаборе;
- дальнейшем развитии новых схем проведения процесса водозабора в горно-предгорной зоне с уменьшением капиталовложений при строительстве и эксплуатации.

Практическая значимость полученных результатов исследований заключаются в разработке комплексных методов расчетного обоснования параметров низконапорных плотинных водозаборных сооружений для создания необходимых структур русловых и гидравлических процессов на участке проведения водозабора.

Использование предложенной методики анализа транспортирующей способности водного потока в промывном тракте водозаборного сооружения повышает качество выполняемых прогнозов русловых деформаций.

Разработанные рекомендации по областям применения усовершенствованных компоновочных схем сооружений для определенных морфометрических и гидрологических условий малых горных рек повышают эффективность проектирования и эксплуатации головных гидроузлов гидроэнергетических и ирригационных систем. Применение разработанной конструкции стабилизатора расхода воды увеличивает надежность водоподачи.

Полученные результаты разработок и исследований использованы при проектировании и строительстве водозаборного сооружения для деривационных ГЭС на р. Иссык-Ата (Кыргызская Республика), при строительстве водозаборного сооружения на реке Мерке, в проекте «Каскад малых ГЭС на реке Усек» (Республики Казахстан), а также в учебном процессе Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина.

Экономическая значимость полученных результатов. Годовой экономический эффект от внедрения новой техники на водозаборном сооружении Иссык-Ата равен 173,5 тыс. сомов, а сокращение ежегодных издержек при внедрении водозаборного сооружения на реке Мерке составило 17,83 тыс. \$США (2,62 млн.тенге), что подтверждено расчетами экономической эффективности и актами внедрения в производство.

Результаты нашей работы могут быть использованы в странах СНГ со сходными природно-климатическими условиями на контрактной основе в рамках международных договоров.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- классификация низконапорных водозаборных сооружений на горных реках, отличием которой является использование признаков преемственности для определения связей рассматриваемых конструкций;
- современная структурная модель процесса водозабора с обоснованием рассмотрения новых технологических операций: сброса необходимых объемов воды и рыбопропуска;
- обоснование методики описания движения двухфазного потока жидкости (вода - наносы) на криволинейных участках русел;
- метод теоретического обоснования плановой конфигурации наносозащитных порогов по кинематическим характеристикам отдельных струй воды в верхнем бьефе водозаборного сооружения;
- метод оценки транспортирующей способности потока воды в промывных трактах водозаборных сооружений, который основан на анализе теоремы об изменении количества движения жидкости, в отличии от существующих методик, базирующихся на использовании уравнения Бернулли;
- новые улучшенные конструкции водозаборных сооружений из горных рек, обеспечивающие круглогодичный водозабор с необходимыми наносозащитными и шугозащитными характеристиками;
- усовершенствованная конструкция стабилизатора расхода воды для размещения в водоприемных оголовках сооружений, которая отличается взаимным перемещением отдельных элементов устройства, что дает возможность проведения самоочистки внутренних полостей устройства;
- методика исследований русловых и гидравлических процессов при организации водозабора на участках малых горных рек с различными гидроморфометрическими характеристиками;

- результаты лабораторных исследований гидравлических характеристик элементов и устройств низконапорных плотинных водозаборных сооружений;
- результаты исследований некоторых характеристик зимнего режима малых горных рек Кыргызстана;
- результаты исследований русловых процессов на сопрягающих участках зарегулированных русел с бытовыми руслами рек;
- результаты исследований режимов сезонных изменений, в развитии рельефа дна зарегулированных русел в верхнем бьефе низконапорных плотинных водозаборных сооружений;
- основы расчетного обоснования, рекомендации по проектированию и эксплуатации низконапорных водозаборных сооружений на горных реках.

Личный вклад соискателя. Диссертация выполнена автором по результатам 15-и летних исследований, проведенных на научной базе кафедры «Горные гидротехнические сооружения» Кыргызского аграрного университета (КАУ) им. К.И. Скрябина (1998-2004 г) и кафедры «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» Кыргызско-Российского Славянского университета (КРСУ) им. Б.Н. Ельцина.

На основе анализа научно-технических отчетов, специальной литературы, проектных и патентных данных автором были сформулирована проблема, цель и задачи исследований, намечены теоретические и экспериментальные пути их решения.

Теоретические и экспериментальные исследования, анализ основных материалов исследований, разработка методик инженерного расчета средств для осуществления процессов водозабора, рекомендаций по проектированию и эксплуатации водозаборных сооружений на горных реках, формулирование основных выводов осуществлено лично автором диссертации.

При постановке ряда задач и обработке материалов по теоретическому и экспериментальному исследованию русловых и гидравлических процессов при водозаборе автор получил ценные советы научного консультанта д.т.н., проф. Н.П. Лаврова. При разработке классификации и усовершенствовании конструкции водозаборных сооружений и средств гидравлической автоматизации помощь оказали: д.т.н., проф. Б.И.Мельников, к.т.н., доц. А.И. Рохман, к.т.н., доц. И.К. Рудаков.

Апробация результатов диссертации. Материалы, отражающие основное содержание диссертации, докладывались в 1999-2007 годах на научно-практических конференциях Кыргызского аграрного университета, на ежегодных научно-практических конференциях Кыргызско-Российского Славянского университета 2006-2013 года, на научных чтениях в Рязанском государственном агротехническом университете им. П.А. Костычева, посвященных памяти член-корреспондента РАСХН и НАН КР Я.В. Бочкарева в 2009 году, на международной научно-практической

конференции «XLI неделя науки СПбГПУ» в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете в 2010 году, на VIII международной научно-практической конференции «Дни науки-2012» проведенной издательским домом «Образование и Наука» в городе Прага, Чехия 2012 год.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертации опубликовано 42 научные статьи, в т.ч.:

- в сборниках научных трудов Кыргызской аграрной академии;
- в Вестнике Кыргызского аграрного университета им К.И. Скрябина;
- в Вестнике Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина;
- в номерах ежемесячных научных журналов Кыргызстана: «Наука и новые технологии», «Известия Вузов», и России: «Гидротехническое строительство», «Гидротехника XXI век», «Инженерно-строительный журнал»;
- в сборнике научных трудов и Вестнике Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова;
- в сборнике научных трудов, посвященном памяти академика Ц.Е. Мирцхулава в институт водного хозяйства Грузинского технического университета;
- в сборниках научных трудов Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева.

На технические устройства, описанные в работе, получены: 4 патента КР, 2 патента РФ. Материалы диссертации отражены в 4-х монографиях, в 2- методических указаниях для курсового и дипломного проектирования КРСУ (в соавторстве).

В приведенных научных и методических трудах в необходимом объеме отражены результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных по теме диссертационной работы.

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит: введение, 6 глав, 32 приложения, полный объем выполнен на 448 страницах компьютерного текста, включает 150 иллюстрации на 55 страницах, 33 таблицы на 17 страницах, список использованной литературы включает 195 наименований на 13 страницах и 32 приложения на 109 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первой главе диссертации проведена оценка технических характеристик гидроэнергетических и ирригационных систем горно-предгорной зоны Кыргызстана и существующих линейных схем гидроэнергетических и ирригационных систем. Определены гидрологические, гидроэнергетические, морфометрические характеристики, малых горных рек республики и их отдельных участков.

Проведен анализ русловых процессов на участках рек с выделением русловых форм, характерных для малых горных водотоков.

Определен состав, особенности, технологические характеристики элементов и устройств существующих конструкций водозаборных сооружений из горных рек. Выполнен анализ характеристик используемых русловых и гидравлических процессов с целью выполнения основных технических требований и технологических операций. При этом изучены рекомендации по надежному обеспечению водой гидроэнергетических и ирригационных систем зарубежных и отечественных ученых: S. Elsdon, N. Kanthack, R. Krohmer, С.Т. Алтунина, К.Ф. Артамонова, Н.Ф. Данелия, И.С. Румянцева, И.И. Леви, Я.В. Бочкарева, Б.И. Мельникова, А.С. Офицерова, А.И. Рохмана, И.К. Рудакова, Г.В. Соболина, А.В. Филончикова, и многих других.

Обосновывается классификация существующих конструкций низконапорных водозаборных сооружений рис. 1.

Эта классификация определяет связь известных компоновочных схем путем заимствования рациональных предшествующих решений для разработки последующих усовершенствованных компоновок сооружений.

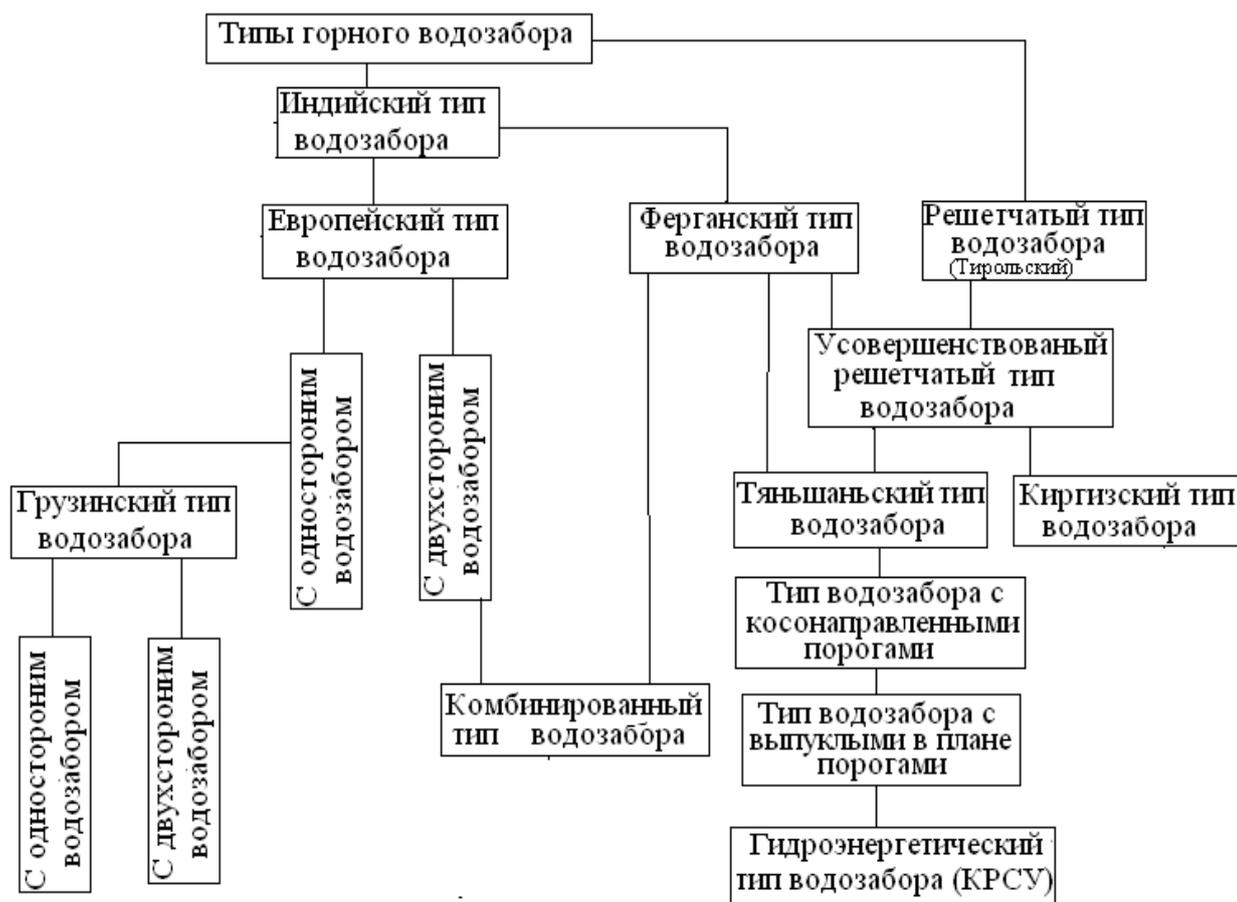


Рис. 1 – Классификация типов низконапорных плотинных водозаборных сооружений на горных реках

Приведенная классификация была использована для систематизации материалов при создании рациональных русловых и гидравлических процессов при водозаборе.

Проанализированы схемы регуляционных сооружений и работ на участках малых горных реках для направления необходимых объемов воды к водоприемным и водосбросным элементам, а также для регулирования режимов движения твердых включений речных потоков.

Рассмотрены известные конструкции стабилизаторов расхода воды, устанавливаемых на водоприемных оголовках отводящих каналов водозаборных сооружений. Определены их основные недостатки.

На основании результатов выполненного аналитического обзора определены цели и задачи исследований по теме диссертации.

Во второй главе освещены технологические и теоретические основы процесса водозабора из горных рек в гидроэнергетические и ирригационные системы.

В ходе анализа структурной модели технологического процесса водозабора обоснованы дополнительные операции - сброса необходимых объемов воды и рыбопропуска, рассматриваемые ранее в качестве действий водоотбора и рыбозащиты. Для этих операций подобраны действия осуществления и приемы их выполнения.

По результатам анализа недостатков известных приемов организации технологического процесса водозабора из малых горных рек существующими конструкциями низконапорных плотинных водозаборных сооружений, нами определены их основные причины и последствия. С целью устранения этих причин для совершенствования были выделены следующие технологические приемы:

- создание поперечной циркуляции воды на участке подводящего русла с помощью криволинейного зарегулированного участка;
- увеличение интенсивности поперечной циркуляции воды перед водоприемником при создании локального циркуляционного винта;
- в теплый период года осуществление водоотбора из поверхностных горизонтов потока и донный отвод наносов;
- отбор воды в зимний период из придонных горизонтов потока с поверхностным отводом и сбросом ледовошуговых образований;
- создание глубин водного потока необходимых для образования устойчивых гидравлических структур перед элементами сооружения;
- обеспечение плавного подхода объемов воды к устройствам водозаборного сооружения и отвода потока;
- параметры и местоположение устройств подпорного створа определяются с учетом условий создания активных зон движения твердых включений в подводящем зарегулированном русле;
- поддержание расчетных напоров в верхнем бьефе сооружения и стабилизация расходов воды, подаваемой в отводящие каналы, осуществляется с использованием средств гидроавтоматики
- при паводке обеспечивается одновременный сброс излишков воды и плавника по всему фронту водозаборного сооружения, а влекомых наносов - через отверстия речного пролета;

Выполнение этих условий позволило в ходе исследований провести согласование принципов компоновки усовершенствованных конструкций водозаборных сооружений с существующими методиками проектирования устройств водозабора из горных рек.

При обзоре теоретических основ и методов описания, русловых и гидравлических процессов, при низконапорных плотинных водозаборных сооружениях, определены основные характеристики речных наносов с учетом транспортирующей способности потоков воды.

Анализируя методы расчета гидроморфометрических характеристик горных рек, были рассмотрены зависимости Г.И. Шамова, А.М. Латышенкова, Гончарова, Л.Л. Лиштвана И.В. Егизарова, Б.А. Фидмана, В.Н. Гончарова, В.С. Кнороза, И.И. Леви, Ц.Е. Мирцхулавы В.Ф и других авторов. При этом обосновано применение в работе методики В.Ф. Талмазы и А.Н. Крошкина, учитывающей особенности гидрологических режимов горных рек Средней Азии.

Рассматривая устройство криволинейного подводящего русла перед подпорным створом водозаборного сооружения в качестве первой ступени защиты от наносов, были проанализированы известные представления о причинах возникновения поперечной циркуляции. В частности, были совместно рассмотрены две причины возникновения поперечных течений на криволинейном участке:

1) М.А. Дементьев, А.К. Ананян, И.Л. Розовский, М.В. Потапов, Н.Ф. Данелия, М.П. Кожевников причинами образования радиальных вторичных течений считали инерционную силу – центробежную.

2) А.Я. Милович определял в качестве причины поперечных течений в радиальном направлении разность давления в поперечных сечениях криволинейных участков.

При этом в качестве движущей нами была определена центростремительная сила, уравновешивающая центробежную силу. Это равенство было выражено в виде:

$$gJ_{non} = \frac{v^2}{R_{кр}} \rightarrow J_{non} = \frac{v^2}{gR_{кр}}, \quad (1)$$

Но факт возникновения донных токов на криволинейном участке нарушает представленное равенство сил, вызывает необходимость рассмотрения более сложной расчетной схемы. С учетом этого нами была сформулирована расчетная схема перераспределения объемов воды, на участке криволинейного русла, приведенная на рис. 2.

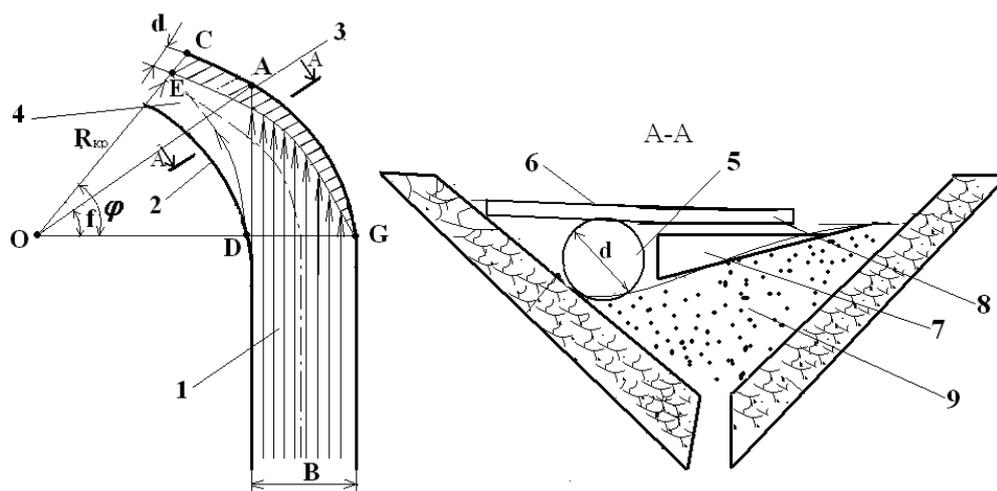


Рис. 2 - Расчетная схема криволинейного участка русла: 1 - подводящий прямолинейный участок; 2 - выпуклый берег; 3 - вогнутый берег; 4 - отложения наносов; 5 - сечение конусообразного потока; 6 - поверхность потока с поперечным уклоном; 7 - поперечное сечение потока движущегося вдоль выпуклого берега; 8 - сечение потока, движущегося к вогнутому берегу со стороны прямолинейного участка русла; 9 – отмостка русла.

Учитывая известные эмпирические зависимости для определения угла размещения воронки размыва от начала кривизны русла, нами была получена формула для определения разности углов размещения точек (А) и (С) (см. рис. 2), учитывающая смещение струй водного потока при продольных уклонах дна подводящих участков русел i_p изменяющихся от 0,005 до 0,05:

$$\varphi - f = 58,3 \frac{B}{R_{кр}} + 29,36i + 9,9, \quad (2)$$

Описываемый механизм предполагает, что при постепенном сложении струй воды вдоль вогнутого берега они образуют поток, который представляет расширяющийся поступательно движущийся объем от точки (G) до (C), циркулирующий в поперечном направлении. Циркуляция конусообразного потока приводит к его заглублению в размываемое дно русла. Увеличение сечения происходит за счет упорядоченного пополнения со стороны прямолинейного подводящего русла, от начала кривизны до сечения с наибольшей воронкой размыва.

На наш взгляд, возникновению придонных токов на криволинейном участке способствует динамика происходящего процесса. Поток, движущийся вдоль вогнутого берега, подвержен центробежной силе, которая уравнивается движущей объемной силой воды, являющейся в этом случае центростремительной. Но поступающие со стороны прямолинейного участка струи воды, набегая на вогнутый берег, до вступления во взаимодействие с конусообразным вальцем не участвуют в уравнивании сил. Это создает дополнительное превышение уровней воды у вогнутого берега над уровнями у выпуклого берега, что и определяет возникновение донных токов, как элемента

уравновешивающего силу инерции поступательного движения воды со стороны прямолинейного участка. Взаимодействие движущихся, соединяющихся на поверхности и отделяющихся в придонной области объемов воды, вызывает поперечную циркуляцию потока вдоль вогнутого берега.

Для перехода от качественного описания к количественным характеристикам нами была рассмотрена математическая модель, описывающая происходящие гидравлические процессы:

$$\left. \begin{aligned} Q_{bi} &= Q_{\phi(i-1)} + Q_P \theta_i - Q_{\text{дон}i} \\ \theta_i &= \frac{\cos \varphi_{i-1} - \cos \varphi_i}{1 - \cos \varphi} \\ Q_{\text{дон}i} &= Q_{\text{дон}(i-1)} + \int_0^{L_{\text{кpi}}} \omega_i C_i \sqrt{R_i \Delta J} \times dl \\ \omega_i &= k_i dl \\ d_i &= \sqrt{\frac{4 \times Q_{bi}}{\pi \times v}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где Q_P - расход воды в русле реки; φ_i - угол между входным сечением криволинейного участка и рассматриваемым i -м поперечным сечением; $Q_{\text{дон}i}$ - расход донных токов воды, отделяющихся от конусообразного потока от его начала до рассматриваемого сечения; θ_i - коэффициент, учитывающий долю проекции рассматриваемого участка в общей проекции вогнутого берега, на плоскость, размещенную в начале кривизны русла; ω_i - площадь поперечного сечения придонного потока отделяющегося от конусообразного вальца; k - вертикальный размер донного потока в рассматриваемых сечениях; R_i - расчетная величина гидравлического радиуса; d_i - диаметр конусообразного вальца; v - средняя скорость воды в конусообразном вальце; C_i - коэффициент Шези для движения придонных токов; ΔJ - приращение поперечного уклона свободной поверхности водного потока в результате действия силы инерции при набегании потока на вогнутый берег.

При рассмотрении кинематических структур потока в верхнем бьефе низконапорного плотинного водозаборного сооружения при высоких коэффициентах водозабора $\alpha_g \rightarrow 0,9$, выполнено теоретическое обоснование плановых параметров наносозащитных порогов. Учитывалось смещение струй воды в верхнем бьефе сооружения от динамической оси подводящего русла в сторону наносозащитного порога, которое происходит по криволинейной траектории с изменяющимся радиусом кривизны $R_{\text{д.о.}i}$ (рис. 3).

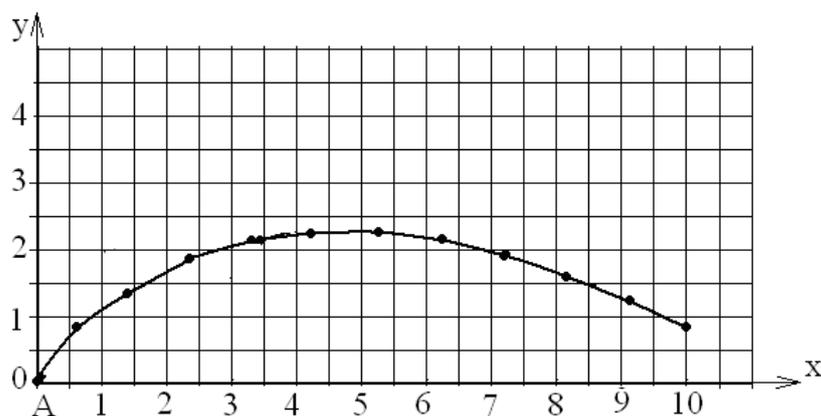


Рис. 4 – Контуры внешней поверхности наносозащитного порога.

Выполненное расчетное построение внешнего контура наносозащитного порога определило необходимость устройства концевой участка конструкции с противоположной направленностью от направления поверхности на начальном и среднем участках. С учетом предпосылок проведенного теоретического обоснования это увеличит значения продольных скоростей на концевом участке циркуляционного вальца выпуклых в плане порогов.

При рассмотрении вариантов увеличения транспортирующей способности промывного тракта нами на основании поисковых модельных исследований было предложено устройство горизонтального козырька на нижней кромке затвора промывного тракта. Это позволило создать понижение давления в придонном слое двухфазного потока с увеличением скоростей объемов воды под горизонтальным козырьком (рис. 5), и гарантировало повышение сбрасываемых объемов наносов. В ходе преобразования уравнения Бернулли, составленного для сечений I-I и II-II (см. рис. 5) получены формулы для расчета скоростей водного потока под горизонтальным козырьком.

Для условий истечения без донной вставки:

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} \sqrt{2g(H_p - \varepsilon a - h_w) + \alpha_1 V_1^2}, \quad (6)$$

При устройстве донной вставки:

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{\alpha_1}} \sqrt{2g(H_p - \varepsilon a - h_w) - \alpha_1 V_1^2 + \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}, \quad (7)$$

где p_1 и p_2 - давление на свободной поверхности потока в сечениях; ρ - плотности жидкости; g - ускорение свободного падения; α_1 и α_2 - коэффициенты, учитывающие неравномерное распределение скоростей потока в сечениях I-I и II-II соответственно; ε - коэффициент сжатия струи потока; h_w - потери энергии потока.

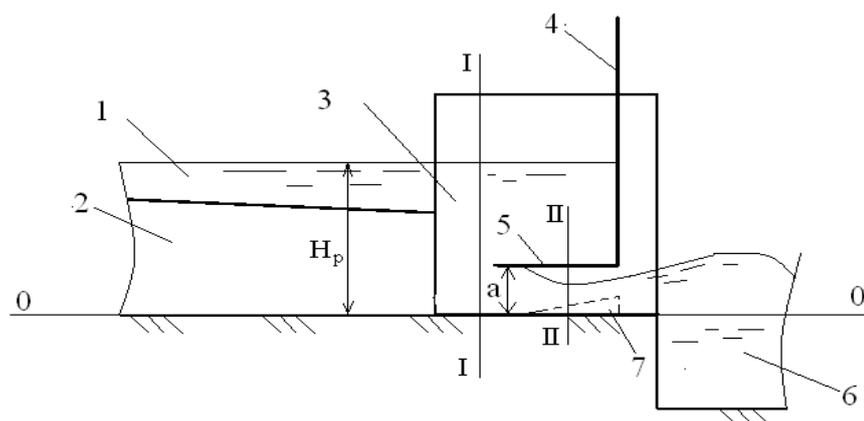


Рис. 5 – Расчетная схема горизонтального козырька: 1 – верхний бьеф; 2 – наносозащитный порог; 3 – промывной тракт; 4 – плоский затвор; 5 – горизонтальный козырек; 6 – отводящее русло; 7 – донная вставка.

Предварительные результаты лабораторных исследований устройства горизонтального козырька на затворе в промывном тракте подтвердили повышение транспортирующей способности объемов воды, сбрасываемых в нижний бьеф сооружения.

С целью анализа факторов, определяющих транспортирующую способность потока через промывной тракт, нами было рассмотрено уравнение приращения количества движения для массы двухфазного потока жидкости (вода – влекаемые наносы):

$$\int_{\omega} \rho(u d\omega)u + \int_{\omega_n} (\rho_n - \rho)(u_n d\omega_n)u_n = \rho \alpha' v^2 \omega_1 + (\rho_n - \rho) \alpha'' v_n^2 \omega_n, \quad (8)$$

где ρ и ρ_n - плотность воды и влекаемых наносов; α' и α'' - коэффициенты количества движения; v и v_n - скорости движения воды и влекаемых наносов.

При этом рассматривалась расчетная схема, показанная на рис. 6.

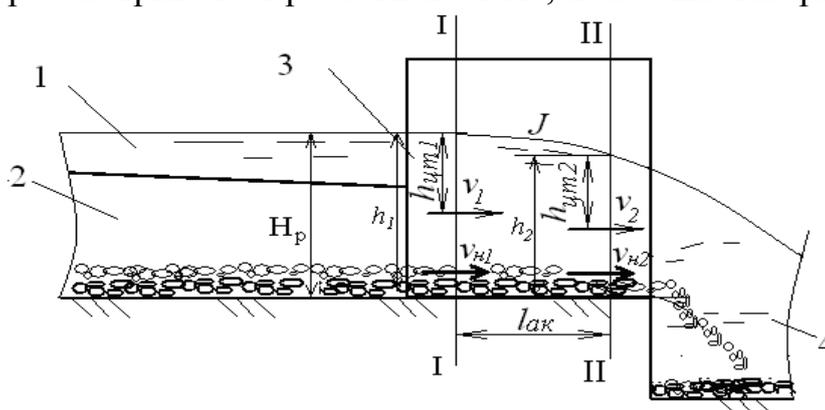


Рис. 6 - Расчетная схема промывного тракта водозаборного сооружения: 1 – верхний бьеф; 2 – наносозащитный порог; 3 – промывной тракт; 4 – отводящее русло.

В результате проведенного преобразования уравнения (8) нами была получена формула для определения расхода наносов вида:

$$G = \frac{2\Delta K_d - \rho g b_{np} (2h_2 J \times l_{ак} + J^2 l_{ак}^2)}{2\alpha'' (\rho_n - \rho) (v_{н2} - v_{н1})}, \quad (9)$$

где ΔK - приращение количества движения массы двухфазного потока жидкости, сбрасываемого через промывной тракт, заключенного между сечениями I-I и II-II в единицу времени dt ; b_{np} - ширина промывного тракта.

Вид уравнения (9), определил, что транспортирующая способность водного потока увеличивается при росте значений изменения количества движения, и уменьшается вследствие роста значений следующих величин: 1) ширины и глубины потока по длине промывного тракта; 2) длины промывного тракта; 3) плотности частиц наносов; 4) при ускорении частиц наносов по длине промывного тракта.

Учитывая эти факторы, нами было предложено устройство на дне промывного тракта донной вставки с обратным уклоном (рис. 7).

Выражая формулу (9) относительно только водного потока, создающего движение наносных масс, с учетом действия реакции R_x , запишем $\rho \alpha' Q (v_2 - v_1) = P_1 - P_2 - R_x$. При этом формула для расчета расхода наносов примет вид:

$$G = \frac{\Delta K_d - 0,5 b_{np} J \times l_{ак} \rho g (2h_2 + J \times l_{ак}) + R_x}{\alpha'' (\rho_n - \rho) (v_{н2} - v_{н1})}. \quad (10)$$

Знак (+) перед R_x свидетельствует о положительном влиянии донной вставки на увеличение транспортирующей способности потока.

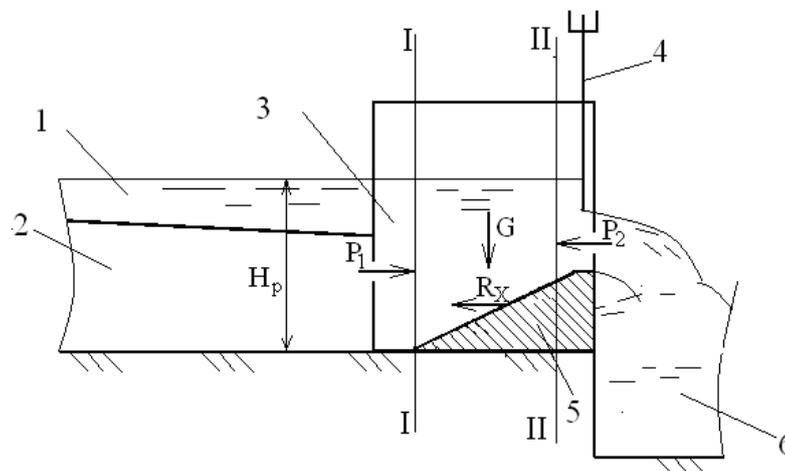


Рис. 7 – Схема размещения донной вставки в промывном тракте: 1 – верхний бьеф; 2 – наносозащитный порог; 3 – промывной тракт; 4 – затвор промывного тракта; 5 – донная вставка; 6 – отводящее русло.

На основании теоретических и поисковых модельных исследований, для совершенствования методов управления русловыми и гидравлическими процессами при водозаборе, с учетом гидроморфометрических особенностей малых горных рек нами были разработаны три конструкции низконапорных плотинных водозаборных сооружений (рис. 8): Водозаборное сооружение для деривационных ГЭС

(патент КР №607, 2003 г.), Водозаборное сооружение для горных рек (патент КР №920, 2006, Водозаборное сооружение из горных рек (патент РФ на полезную модель №133537, 2013). Используемые в их конструкции элементы и устройства позволяют создать в объемах воды необходимые гидравлические структуры.

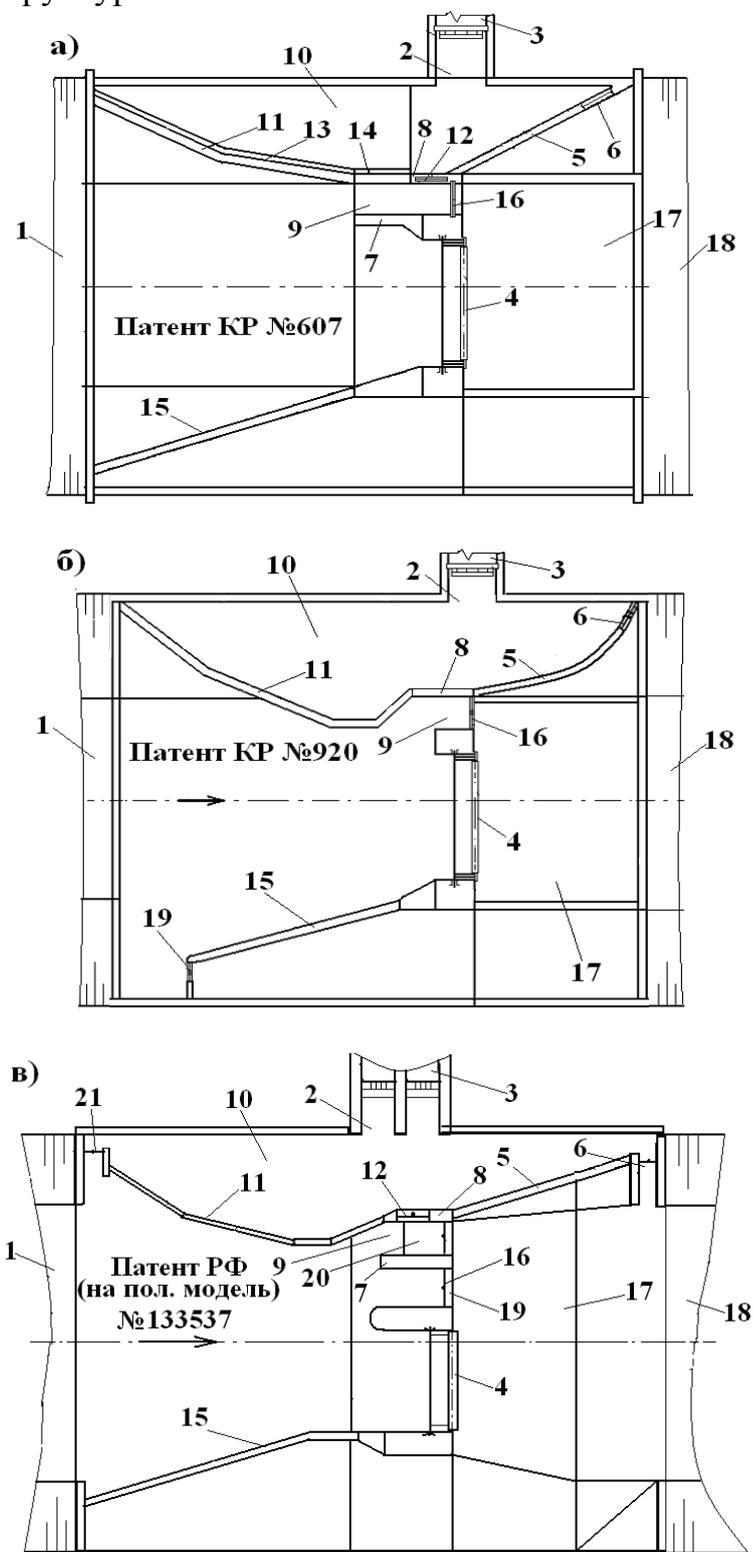


Рис. 8 – Компоновочные схемы водозаборных сооружений: 1 - подводящее русло; 2 – водоприемный оголовок; 3 – отводящий канал; 4 – затвор-автомат уровня верхнего бьефа; 5 – автоводослив водоприемной камеры; 6 – сбросное отверстие; 7 - промежуточный бычок; 8 – разделительная стенка; 9 – промывной

тракт; 10 – водоприемная камера; 11 – ломаный в плане наносозащитный порог; 12 – отверстие зимнего водозабора; 13 – внутренняя грань порога; 14 – закладные части под шандоры; 15 – автоводослив верхнего бьефа. 16 – сдвоенный затвор; 17 – водобойный колодец; 18 – отводящее русло; 19 – дополнительное промывное отверстие; 20 – донная вставка; 21 – верхнее водоприемное отверстие.

Проведя теоретический анализ средств гидравлической автоматизации процесса стабилизации расходов воды, подаваемой в отводящий канал, нами была разработана новая конструкция секционного параболического коробчатого затвора (СПКЗ), приведенная на рис. 9.

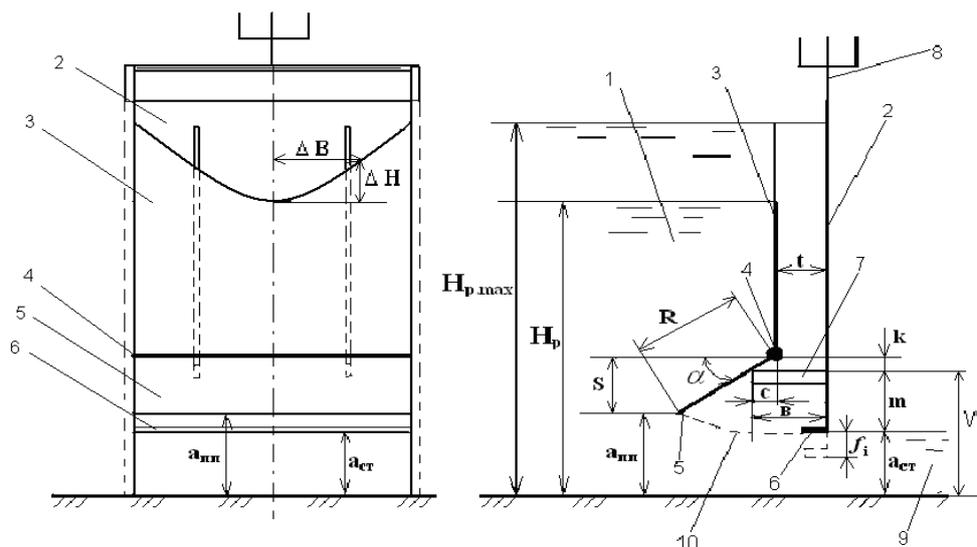


Рис. 9 – Расчетная схема СПКЗ: 1 – верхний бьеф; 2 – плоский затвор; 3 – передняя стенка; 4 – шарнир; 5 – поворотная пластина; 6 – горизонтальный козырек; 7 – штанга взаимодействия; 8 – подъемный винт затвора; 9 – нижний бьеф; 10 – траектория сжатия струи; 11 – траектория смещения нижней грани затвора при регулировании.

Отличительными особенностями стабилизатора являются:

- передняя стенка стабилизатора расхода устраивается отдельно от плоского затвора, что позволяет производить ее установку в водоприемном оголовке при прохождении паводка;
- гребень передней стенки имеет форму параболы, которая выполняется по координатам рассчитываемым формуле:

$$\Delta B = \frac{\mu_{нк} a_{n.n} B \sqrt{2g(H_p - a_{cm})}}{\mu_{нк} a_{nn} (B / \Delta B - 2) \sqrt{2g(H_p + \Delta H - a_{cm})} + 2\mu_{эк} a_{cm} \sqrt{2g(H_p + \Delta H - a_{cm})}}, \quad (11)$$

где $\mu_{нк}$ и $\mu_{эк}$ - коэффициенты расхода воды при истечении из под поворотной пластины и горизонтального козырька соответственно; a_{nn} и a_{cm} - открытия перемещающейся пластины и стабилизатора; B – ширина водоприемника; H_p – минимальная расчетная глубина в верхнем бьефе.

- управление открытием поворотной пластины производится с помощью штанги взаимодействия, закрепленной на плоском затворе.

В третьей главе приводится описание модельных установок, методы, аппаратура модельных и натурных исследований русловых и гидравлических процессов при водозаборе из малых горных рек.

Исследования физических пространственных моделей были выполнены в гидрокорпусе Кыргызского аграрного университета им. К.И. Скрябина, на гидротехнической площадке АООТ «Кыргызводпроект», на русловом лотке центра образования науки и культуры (ЦОНиК) КРСУ и установках лаборатории гидротехнических сооружений КРСУ. Гидравлическое моделирование выполнялось с соблюдением критерия гравитационного подобия Фруда, $Fr = idem$ с обеспечением подобия гидравлических явлений натурального и модельного объекта. Масштабы моделей водозаборных сооружений и отдельных устройств принимались в пределах от 1:7 до 1:25. Приведено описание схем экспериментальных установок, моделей водозаборных сооружений, методов лабораторных исследований наносозащитных и шугозащитных характеристик, водопрпускной способности отдельных элементов конструкции. Методы проведения физического моделирования с учетом математического планирования экспериментов размываемых русел и двухфазных потоков основывались на рекомендациях И.И.Леви, М.А.Михалева, А.Б.Векслера, основанных на условиях соблюдения кинематического подобия. Это позволило провести сравнение полученных результатов с данными других авторов.

Для создания гидроморфометрических характеристик моделируемых русловых и гидравлических процессов в качестве репрезентативных были выбраны река Сокулук, река Джууку и река Кугарт Кыргызстана, которые имеют различные гидрологические условия. Использование топографических и гидрологических характеристик этих водотоков, определялось с учетом методики Талмазы В.Ф. и Крошкина А.Н. Это позволило разработать рекомендации для расчета мутности водных потоков на предгорных участках рек республики. Разработанные зависимости для задаваемой мутности потока с учетом величин руслоформирующих расходов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Формулы для определения мутностей водного потока.

Уклон дна i	Расчетные зависимости	Величина достоверности аппроксимации R^2	Название реки
0,038	$\rho = 1,601 \left(\frac{Q_i}{Q_{P,\Phi}} \right)^{0,6453}$	0,9959	Сокулук
0,028	$\rho = 1,2052 \left(\frac{Q_i}{Q_{P,\Phi}} \right)^{0,5502}$	0,9925	Сокулук
0,024	$\rho = 1,296 \left(\frac{Q_i}{Q_{P,\Phi}} \right)^{0,6347}$	0,9976	Джууку

0,017	$\rho = 0.9547 \left(\frac{Q_i}{Q_{P.\Phi}} \right)^{0,5998}$	0,9976	Джууку
0,012	$\rho = 3.6131 \left(\frac{Q_i}{Q_{P.\Phi}} \right)^{0,6738}$	0,9992	Кугарт
0,007	$\rho = 2.1935 \left(\frac{Q_i}{Q_{P.\Phi}} \right)^{0,5988}$	0,9817	Кугарт

Разработанная методика оценки русловых деформаций с учетом объемов отложений и относительного их размещения, позволила произвести сравнение результатов расчетов и модельных исследований подводных криволинейных зарегулированных русел.

При моделировании условий зимнего режима эксплуатации водозаборных сооружений с оценкой работоспособности устройств для защиты от ледошуговых образований водоприемников и транспортирующей способности потока на участке шугосбросов, производилось добавление в поток искусственной шуги в виде цилиндрических гранул полиэтилена низкого давления.

Пересчет характеристик ледошуговых образований с природы на модель производился с учетом разработок А.В. Шипилова, основанных на принципе соблюдения кинематического подобия гидравлической крупности, предложенном А.Б. Векслером и З.А. Генкиным. Искусственная шуга закладывалась в начале подводного русла модели сооружения, в процентах от объема воды. Рациональность принятых компоновочных и конструктивных решений в экспериментах оценивалась по величинам коэффициентов шугонасыщения потока, отбираемого в отводы. Транспортирующая способность потока на участке шугосбросов оценивалась по длине распространения зазора в верхнем бьефе сооружения.

Количественные характеристики моделируемой шуговой массы определялись с учетом выполненных нами натурных исследований зимнего гидрологического режима рек Аламедин и Ала-Арча Кыргызской республики. Приводится методика исследований зимнего гидрологического режима малых горных рек с описанием разработанного устройства - шугобатометра.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований гидравлических процессов при водозаборе из горных рек.

Данные исследования проводились для оценки влияния плановых и высотных параметров наносозащитных порогов на характеристики гидравлического вальца обеспечивающего активную наносозащиту водоприемников при коэффициенте водозабора $\alpha_e=0,9$. Исследования наносозащитных устройств сооружений проводились в четыре этапа.

На первом этапе были определена рациональная величина угла размещения начальной секции трехсекционного ломаного в плане

При исследовании водопропускной способности трехсекционного ломаного в плане наносозащитного порога была получена функциональная зависимость для определения коэффициента расхода истечения через гребень:

$$m_{н.н} = 0,31 + 0,0601 \left(\frac{H_{н.н}}{C_n} - 0,867 \right), \quad (13)$$

Приведенная зависимость была рекомендована для расчетов при отношениях $H_{н.н}/C_n$ от 0,867 до 3,0 (здесь $H_{н.н}$ - напор воды над средней частью порога, C_n - ширина гребня порога в поперечном сечении).

Далее приводятся исследования по определению возможной величины понижения высоты трехсекционного ломаного в плане порога. Исследования проводились на модели водозаборного сооружения (см. рис.10). Расчетная схема понижения гребня на начальном участке представлена на рис. 11.

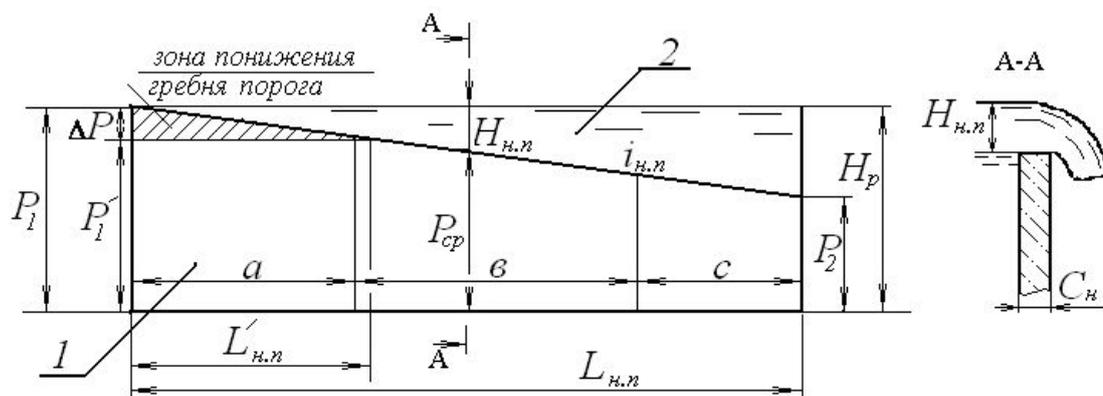


Рис. 11 – Расчетная схема ломаного в плане наносозащитного порога: 1 – наносозащитный порог; 2 – водосливной фронт при истечении через гребень наносозащитного порога; P_1' - высота участка порога после понижения; $L'_{н.н}$ - длина рассматриваемой области понижения порога.

На основании результатов этих исследований было установлено, что при понижении отметки гребня на начальном участке порога происходит повышение его пропускной способности и наносозащитных характеристик. Границы допустимых величин зоны понижения гребня порога приведены на рис. 12.

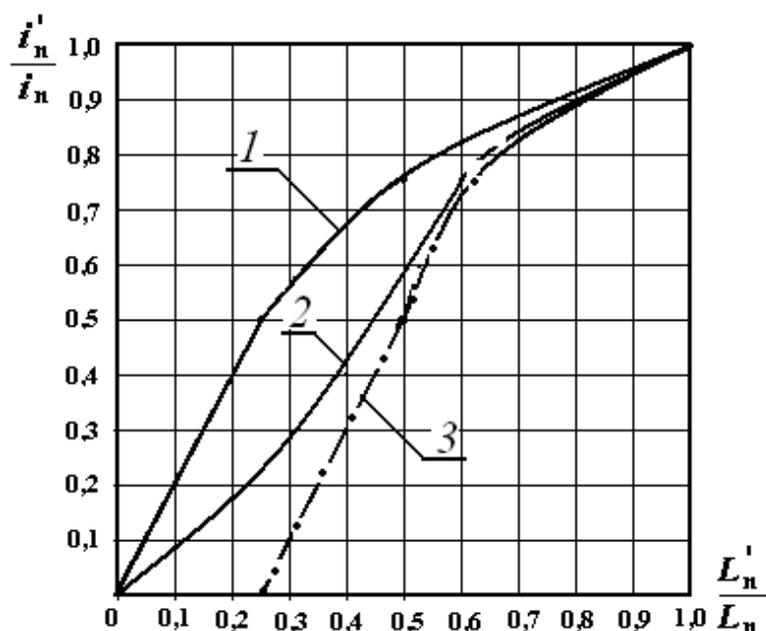


Рис. 12 – Границы зон допустимого понижения начального участка трехсекционного ломаного в плане наносозащитного порога в зависимости от относительного уклона гребня i'_n/i_n в зоне понижения и относительной длины этого участка L'_n/L_n : 1 – граница допустимых параметров зоны понижения для порогов с первоначальным уклоном гребня 0,06; 2 – граница допустимых параметров для порогов с первоначальным уклоном гребня 0,07; 3 – граница параметров для порогов с первоначальным уклоном гребня 0,08

По результатам экспериментальных исследований промывного тракта было определено, что относительная высота промежуточного бычка 13 (см. рис. 10) между речным пролетом и промывным трактом составляет $h_{нс}/H_p = 0,743 \div 0,94$. Допустимое расстояние от концевого участка наносозащитного порога до затвора промывного тракта l/H_p , находится в пределах от 0,2 до 0,55. При этих размерах конструктивных элементов наблюдается наименьший захват влекомых наносов в водоприемную камеру.

Однако, устройство затвора зимнего водозабора 10 (см. рис.10) в промывном тракте нарушает условие транспорта наносов при указанных допустимых пределах для рекомендованного расстояния l/H_p . Это вызвало необходимость устройства горизонтального козырька на нижней грани затвора промывного тракта (см. рис 5). По результатам лабораторных исследований было установлено, что при относительной длине горизонтального козырька $l_{коз}/H_p$ от 0,35 до 0,55 наблюдается повышенная транспортирующая способность сбрасываемого потока воды. Максимальный эффект сброса наносов в нижний бьеф сооружения наблюдался при открытиях затвора с горизонтальным козырьком на величину $a_{np}/l_{коз} = 0,24 \div 0,28$. В этих пределах коэффициенты водозабора изменяются от 0,6 до 0,83, причем большие значения соответствуют варианту с донной вставкой (см. рис. 7).

При наибольшем коэффициенте водозабора α_b , и увеличении открытия затвора основного промывного тракта транспортирующая

способность сбрасываемых расходов воды снижается. Это определило необходимость устройства дополнительного промывного тракта (см. рис. 8в), который включается в работу при высоких коэффициентах водозабора от 0,75 до 0,9.

На третьем этапе исследовался вопрос необходимости устройства концевой участка ломаного в плане наносозащитного порога с противоположной направленностью относительно начального и среднего участка порога (см. рис. 8б). Использование такой конструкцией наносозащитного порога было определено теоретически (см. рис. 4). Исследования проводились на физической модели, схема которой приведена на рис. 13.

В ходе исследований были определены относительные значения длин секций наносозащитных порогов для различных уклонов дна подводящего русла, приведенные в таблице 3. При этих значениях длин секций наблюдался допустимый процент ($\leq 5\%$) захвата влекомых наносов в водоприемную камеру от массы наносов, транспортируемых по подводящему руслу.

Исследуя водопропускную способность четырехсекционных ломаных в плане наносозащитных порогов с уклонным гребнем, была получена зависимость для определения коэффициента расхода:

$$m_{4с.н} = -0,0281 \left(\frac{H_{н.н}}{C_n} \right)^2 + 0,171 \frac{H_{н.н}}{C_n} + 0,1277, \quad (13)$$

Эта зависимость рекомендована для относительного среднего напора $H_{н.н}/C_n = 1,3 \dots 3,2$.

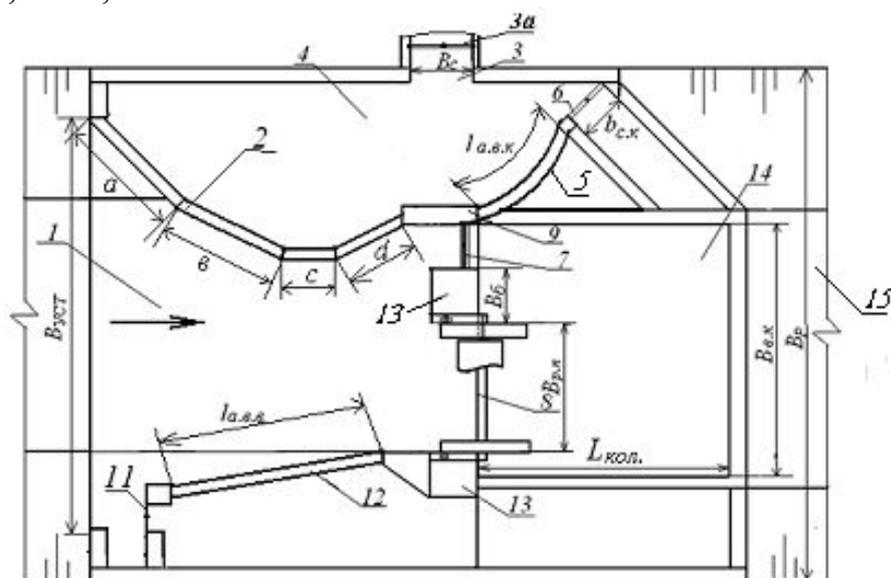


Рис. 13 - Модель водозаборного сооружения из горных рек: 1 – верхний бьеф; 2 – наносозащитный порог; 3 – водоприемный оголовок; 3а – регулятор расхода; 4 – водоприемная камера; 5 – автоводослив; 6 – сбросное отверстие; 7 – основной промывной тракт; 8 – речной пролет; 9 – разделительная стенка; 10 – концевая секция порога; 11 – дополнительный промывной тракт; 12 – автоводослив; 13 – быки; 14 – водобойный колодец; 15 – отводящее русло.

Таблица 3 - Относительные длины секций четырехсекционных порогов.

№ вар.	Уклоны дна подводящих русел i_p								
	0,017 – 0,028			0,028			0,038		
	$b/L_{н.н}$	$c/L_{н.н}$	$d/L_{н.н}$	$b/L_{н.н}$	$c/L_{н.н}$	$d/L_{н.н}$	$b/L_{н.н}$	$c/L_{н.н}$	$d/L_{н.н}$
1	0,236	0,086	0,0177	0,208	0,086	0,104	0,104	0,086	0,156
2	0,236	0,086	0,236	0,208	0,086	0,156	0,208	0,086	0,156

Проводя изучение перераспределения продольных составляющих местных скоростей в зоне циркуляционного вальца по длине четырехсекционного порога с уклонным гребнем, нами были обнаружены зоны сбойных течений. Эти зоны наблюдались вдоль концевых участков порогов № 2 (см. таблицу 3) при уклонах дна подводящего русла 0,017, 0,024 и 0,028. Распространение этих зон вызывало интенсивный захват донных наносов в водоприемную камеру в режимах переформирования призм наносов в верхнем бьефе.

Устройство донной вставки в промывном тракте высотой $0,4H_p$ позволило ликвидировать образование таких сбойных зон и повысить продольные составляющие скоростей в циркуляционном вальце, что улучшило наносозащитные характеристики исследуемых порогов.

С целью расширения области применения водозаборных сооружений, оборудованных ломаными в плане наносозащитными порогами, нами была рассмотрена возможность их применения на реках, относящиеся к III-й группе по классификации К.Ф. Артамонова, которые характеризуются относительно высокими расходами (до $350 \text{ м}^3/\text{с}$) мутностью потока $\rho = (0,35-4,33) \text{ г/л}$ и сравнительно малыми уклонами дна реки ($i_p = 0,007 - 0,012$)

Устройство в промывном тракте донной вставки повысило наносозащитные характеристики четырехсекционных порогов. При этом нами рассматривалась возможность устройства наносозащитных порогов с горизонтальным гребнем, с коэффициентом расхода $(0,398 \div 0,41)$. Исследовались два варианта исполнения секций порога, относительные размеры которых приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Варианты исследуемых конструкций четырехсекционных порогов с горизонтальным гребнем

№ вар.	Относительные длины секций порога.			
	$a/L_{н.н}$	$b/L_{н.н}$	$c/L_{н.н}$	$d/L_{н.н}$
1	0,442	0,236	0,086	0,236
2	0,501	0,236	0,086	0,177

По результатам исследований порогов с горизонтальным гребнем при коэффициенте водозабора 0,9, были сделаны следующие наблюдения:

- при высоте порога $(0,65 \div 0,7)H_p$ в верхнем бьефе сооружения происходит недопустимое поднятие гребня призмы влекаемых наносов;
- при высоте порога $(0,75 \div 0,8)H_p$ его длина приближается к ширине потока по верху в подводящем русле. Это обеспечивает равномерное

05.23.07 – «

КЫСКАЧА МАЗМУНУ

SUMMARY

of dissertation of Loginov Gennagy Ivanovich on theme "Bed and hydraulic processes in mountain rivers during water intake in hydropower and irrigation systems " for the degree of doctor of technical sciences , specialty 05.23.07 - Hydraulic Engineering

Keywords: bed processes , hydraulic processes , water intake , water intake constructsures , regulatory structures, flow regulator , operating modes , bedload sediments protecting threshold, wash channels , bottom inset, inlet chamber, modes of mountain rivers , ice-bathometer , two-phase flow, conveying capacity.

- In this work the investigations of bed and hydraulic processes in water intake from small mountain rivers are made. Improving of basic structures of water intakes constructsures and their means of hydraulic automation to reduce material costs in their design, construction, and to improve operational reliability are effected. A classification of existing designs of water intake constructsures from small mountain rivers, based on signs of portability is proposed. Technological, theoretical and experimental validation of designs and parameters of elements of improved layout schemes of structures is given. The technique of laboratory and field studies of bed and hydraulic processes in bay of low-head dam water intake constructsures based on modes of small mountain rivers of Kyrgyzstan is developed. To study the quantitative characteristics of formations of ice-brash in the flows of small mountain river the improved design of ice-bathometer is justified. System hydraulic study is done, prepared mathematical of relationships, interfacing design parameters of devices of structures with hydraulic processes and hydromorphic characteristics mountain rivers, on this basis of this methods of engineering calculation, recommendations for the design, construction and operation are developed. The results of study have been implemented in execution and used in educational process at the Faculty of Architecture Design and Construction of the Kyrgyz- Russian Slavic University. of B.N Yeltsin.

РЕЗЮМЕ

диссертации Логинов Геннадий Иванович на тему: «Русловые и гидравлические процессы при водозаборе из горных рек в гидроэнергетические и ирригационные системы» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.07 – Гидротехническое строительство

Ключевые слова: русловые процессы, гидравлические процессы, водозабор, водозаборные сооружения, регулиционные сооружения, стабилизатор расхода воды, режимы эксплуатации, наносозащитные пороги, промывные тракты, донная вставка, водоприемник, режимы горных рек, шугобатометр, двухфазные потоки, транспортирующая способность.

• В диссертационной работе выполнены исследования русловых и гидравлических процессов при водозаборе из малых горных рек низконапорными плотинными водозаборными сооружениями. Осуществлено совершенствование базовых конструкций водозаборных сооружений и средств их гидравлической автоматизации с целью сокращения материальных затрат при их проектировании, строительстве и для повышения эксплуатационной надежности. Предложена классификация существующих конструкций водозаборных сооружений из малых горных рек, основанная на признаках преемственности. Дано технологическое, теоретическое и экспериментальное обоснование конструкций и параметров элементов усовершенствованных компоновочных схем сооружений. Разработана методика лабораторных и натурных исследований русловых и гидравлических процессов в бьефах низконапорных плотинных водозаборных сооружений с учетом режимов малых горных рек Кыргызстана. Для изучения количественных характеристик шуговых образований в потоках малых горных реках обоснована усовершенствованная конструкция шугобатометра. Выполнены комплексные гидравлические исследования, получены математические зависимости, сопрягающие конструктивные параметры устройств сооружений с русловыми, гидравлическими процессами и гидроморфометрическими характеристиками горных рек, на этой основе разработаны методики инженерного расчета, рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации. Результаты исследований внедрены в производство и используются в учебном процессе на факультете Архитектуры дизайна и строительства Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина.