

Квасов Петр Андреевич

**Разработка противопаводковых и противоселевых
гидротехнических сооружений (конструкции и методы расчета)**

05.23.07 – гидротехническое строительство

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

д.т.н., академик МАИ

Кошумбаев М.Б.

Бишкек, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Глава 1 Современное состояние и особенности работы противопаводковых и противоселевых сооружений на Юго-Востоке Казахстана.....	12
1.1 Критический анализ работы защитных сооружений при прохождении паводков и селей.....	12
1.2 Недостатки существующих ГТС и тенденции их совершенствования.....	22
1.3 Постановка задачи исследований.....	29
1.4 Заключение по главе 1.....	40
Глава 2 Новые подходы к схемам противопаводковых мероприятий и совершенствованию противопаводковых сооружений.....	42
2.1 Концепция противопаводковой защиты – комплексное использование ГТС.....	42
2.2 Новые конструкции ГТС с плавкой вставкой – учет экологических ограничений.....	52
2.3 Применение МГЭС на водохозяйственных и противопаводковых ГТС.....	61
2.4 Заключение по главе 2.....	69
Глава 3 Местный размыв за новой конструкцией МГЭС и водосливной плотиной с плавкой вставкой: методика расчета, сопоставление с опытными данными.....	71
3.1 Состояние изученности местного размыва за водосбросами.....	71

3.2 Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов.....	79
3.3 Основные результаты экспериментов: картина течения в нижнем бьефе, расчетная схема.....	85
3.4 Методика расчета местного размыва.....	96
3.5 Заключение по главе 3	
Глава 4 Экспериментальное обоснование новых и усовершенствованных противоселевых конструкций.....	103
4.1 Состояние проблемы инженерной противоселевой защиты на Юго-Востоке РК.....	103
4.2 Описание экспериментальной установки, контрольно-измерительной аппаратуры и методики экспериментальных исследований.....	108
4.3 Результаты экспериментов по воздействию селя на жесткую и амортизирующую преграду.....	117
4.4 Новые усовершенствованные противоселевые конструкции.....	127
4.5 Заключение по главе 4.....	138
Выводы.....	141
Практические рекомендации.....	143
Список использованной литературы.....	145

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

Прошедшие весной 2015 г. катастрофические паводки привели к затоплению 1 тыс.149 домов в 17 районах Акмолинской, Карагандинской, Костанайской, Восточно-Казахстанской, Павлодарской, Северо-Казахстанской областях, на 89 участках подтоплено и размыто 173 км автодорог, в т.ч. и республиканского значения, разрушено 5 мостов, из зоны затопления было эвакуировано 16 тыс.63 человека. По данным Департамента ЧС МВД РК, такого массового одномоментного подтопления не отмечалось за весь период наблюдений. Это свидетельствует о крайне неудовлетворительной работе как систем противопаводковых мероприятий, так и отдельных противопаводковых гидротехнических сооружений (ГТС), не обеспечивающих безаварийную работу.

Летом 2015г. в пригороде г.Алматы на р.Талгар и р.Каргалинка селевые паводки, сопровождавшиеся разрушением зданий, занесением городских территорий, подчеркнули несовершенство существующей системы селезащиты и острую необходимость совершенствования как противоселевых конструкций, так и методов управления подобными системами. В связи с этим становится очевидным и понятным, почему USAID, реализующий в настоящее время проект информационно-дистанционной системы оценки рисков возникновения быстро развивающихся паводков, определил Казгидромет в качестве регионального Центрально-Азиатского центра, что свидетельствует об актуальности этой проблемы для РК [54].

В Государственной Программе управления водными ресурсами Казахстана (утвержденной Указом Президента РК № 786 от 4.04.2014 г.) отмечалось [28]:

- тенденция роста материального ущерба от вредного воздействия паводков;

- ожидается существенный дефицит водных ресурсов в размере до 12 км³ (50% от потребности);

- низкая эффективность использования водных ресурсов в Казахстане: на 1 доллар ВВП расходуется в 3 раза больше воды, чем в России или США, и в 6 раз больше, чем в Австралии;

- методы и механизмы управления водными ресурсами нуждаются в усовершенствовании, при этом мега-проекты представляются одним из возможных путей решения проблемы.

По нашему мнению, оптимальным решением проблемы будет бассейновый подход в управлении водными ресурсами, а ключевым моментом здесь является комплексное использование (энергетическое и противопоаводковое) существующих и намечаемых к строительству водохозяйственных схем и гидросооружений. Поэтому научное обоснование такого подхода становится чрезвычайно актуальным и востребованным.

Проведенный анализ катастроф и аварий на ГТС показал, что в подавляющем числе случаев причинами являются неудовлетворительная работа водосбросов и гасителей энергии в нижнем бьефе сооружений. Объекты ГТС должны оснащаться современными конструкциями независимых (возобновляемых) источников энергии (ВИЭ) для энергообеспечения приборов учета, наблюдения и реагирования в аварийных ситуациях. Поэтому чрезвычайно актуальными и востребованными являются новые современные технические решения, связанные с безаварийной работой катастрофических водосбросов и гасителей энергии. Большая вероятность возникновения сейсмоселей, как это не раз было в прошлом, выдвигает в число приоритетных задач совершенствование как самих противоселевых конструкций, так и методов их динамического расчета, требует принятия нестандартных решений. Применение современных средств автоматизации и альтернативных автономных ВИЭ позволяет устранить причины возникновения чрезвычайных и аварийных ситуаций, дистанционно осуществлять мониторинг и управлять режимами работы ГТС. Поэтому

сформулированные в работе цели и задачи являются актуальными и востребованными.

Связь темы диссертации с крупными научными программами или НИР:

Работа выполнялась в рамках госбюджетной НИР АО «КазНИИЭнергетика им. Акад.Ш.Ч. Чокина» “Теоретические и экспериментальные исследования малонапорных гидротурбин для малых ГЭС”.

Предмет исследования:

-конструкции малых водоподъемных и противоселевых плотин, обеспечивающих их работоспособность, надежность и устойчивость.

Объект исследований:

-схемы противопаводковых и противоселевых мероприятий, малые водоподъемные плотины энергетического и водохозяйственного назначения, противоселевые конструкции, обеспечивающие защиту населения и территории от селевых проявлений.

Цель работы:

-разработка новых гидротехнических и противоселевых конструкций, обеспечивающих экологическую безопасность территории и исключаящих негативное воздействие строительства на окружающую среду и оборудованных дополнительно средствами автоматизации, дистанционного мониторинга, контроля, сигнализации, учета и управления с использованием автономных ВИЭ (МГЭС).

Для достижения поставленных целей, решаются следующие основные задачи:

- критический обзор современного состояния пртивоселевых и малых водоподъемных плотин энергетического и водохозяйственного назначения,

оценка их работоспособности, надежности и устойчивости в чрезвычайных ситуациях, выявление причин прошедших на ГТС аварий;

- оценка экологической безопасности вновь проектируемых сооружений, разработка концепции строительства гидроузлов и противоселевых конструкций, исключающих негативное воздействие строительства на окружающую среду;

- разработка новых современных противоселевых конструкций и водоподъемных плотин, включающих аварийный водосброс с “плавкой” вставкой и гасителем энергии в нижнем бьефе сооружений, обеспечивающих их работоспособность и безусловную надежность и устойчивость;

- проведение экспериментальных исследований, обосновывающих теоретическую оценку импульсных нагрузок селя на сооружения и способ их уменьшения.

Разработка практических рекомендаций по:

- повышению работоспособности, устойчивости и надежности действующих ГТС и противоселевых конструкций;

- использованию новых конструкций ГТС с “плавкой” вставкой и “амортизирующих” противоселевых конструкций, снижающих импульсное воздействие селя;

- применению средств автоматизации для дистанционного мониторинга, контроля, управления с использованием автономных ВИЭ (МГЭС).

Методы исследований:

- системный анализ, натурное обследование, теоретические проработки и физическое моделирование, методы статистической обработки информации.

Научная новизна, положения выносимые на защиту:

- предложена новая концепция строительства малых водоподъемных плотин энергетического и водохозяйственного назначения, учитывающая экологические требования и предотвращающая негативное воздействие гидросооружений на окружающую среду;

- предложены новые конструкции водоподъемных плотин энергетического и водохозяйственного назначения с “плавкой” вставкой, предотвращающей несанкционированный подъем уровней верхнего бьефа и обеспечивающей сброс воды через катастрофический или аварийный водосбросы;

- предложены новые схемы и конструкции гашения воды в нижнем бьефе водосбросов для плотин с “плавкой” вставкой;

- экспериментально обосновано применение “амортизирующих” противоселевых конструкций, резко снижающих импульсное воздействие грязекаменного селя при ударном воздействии его на селезадерживающие сооружения;

- предложены новые конструкции противоселевых сооружений, в том числе “амортизирующие”, резко уменьшающие импульсное ударное воздействие грязекаменного селя на сооружение.

Практическая значимость работы.

Предложенная концепция использования водоподъемных плотин с “плавкой” вставкой, по сути, меняет региональную стратегию противоселевого и водохозяйственного строительства, существенно удешевляя его и обеспечивая экологическую устойчивость и безопасность территории, а предлагаемые новые запатентованные конструкции противоселевых сооружений и водоподъемных плотин позволяют реализовать как предлагаемую концепцию, так и региональную стратегию водохозяйственного и противоселевого строительства, экономически обосновывая существенное снижение стоимости рекомендуемых мероприятий при безусловном выполнении требований Департамента экологии и ЧС.

Работа выполнялась в рамках бюджетного государственного гранта “Теоретические и экспериментальные исследования малонапорных турбин для малых ГЭС” [100].

Основные выводы по работе:

- критический анализ состояния ГТС энергетического и водохозяйственного назначения показал их значительный физический и моральный износ, а выполненное в институте гидрогеологии МОН РК уточнение (увеличение) коэффициентов стока с водосборной поверхности, обусловленное антропогенным воздействием, приводит к увеличению расходов, значительно превышающих принятые при проектировании. Это несоответствие требует незамедлительной корректировки – модернизации водосбросов и гасителей действующих сооружений, обеспечения их безусловной устойчивости;

- предложена новая экологически обоснованная концепция строительства новых ГТС и противопаводковых конструкций, исключая негативное воздействие строительства на окружающую среду за счет применения новых конструкций, средств автоматизации, дистанционного мониторинга, контроля, сигнализации и управления;

- разработаны практические рекомендации для действующих ГТС и противоселевых сооружений, обеспечивающие их надежность, работоспособность и безусловную устойчивость за счет конструктивных изменений, использования ВИЭ и средств автоматизации;

- разработаны новые запатентованные конструкции водоподъемных плотин с “плавкой” вставкой, оборудованные ВИЭ (МГЭС) и средствами автоматизации, автоматически обеспечивающие безаварийный пропуск паводковых расходов расчетной обеспеченности;

- предложены новые запатентованные конструкции гасителей энергии для плотин с “плавкой” вставкой, обеспечивающие надежную и безаварийную работу нижнего бьефа;

- физическими экспериментами обосновано применение “амортизирующих” противоселевых конструкций, позволяющих резко снизить импульсные ударные селевые нагрузки. Полученный эффект снижения импульсных ударных нагрузок позволил разработать новые, более экономически и технически обоснованные конструкции сооружений;

- предложены новые запатентованные противоселевые конструкции, учитывающие эффект уменьшения импульсных ударных нагрузок и удешевляющие за счет этого стоимость сооружений, позволяют в случае их применения резко снизить общую стоимость схем и систем противоселевой защиты территорий и населенных мест.

Экономическая значимость

Внедрение разработанных рекомендаций на каскаде ГЭС на реке Курчум в ВКО позволяет по сравнению с разработками ТОО "Казгидро" (2007г.) "Технико-экономические исследования вариантов покрытия перспективных электрических нагрузок с рассмотрением альтернативных видов станций и оптимальных площадок их размещения" (Том 4 "Развитие генерирующих источников в ЕЭС Казахстана на период до 2030 года. Книга 4. Развитие гидроэлектростанций. № 3883-09-Т.4)

- увеличить на 6,5% объем выработки электроэнергии с 692 ГВтч до 696, ГВтч;
- сн
изить удельные капитальные затраты на 1 квт установленной мощности на 9,2% с 213,20 тыс.тг до 193,59 тыс.тг.
- уменьшить себестоимость выработки электроэнергии на 2,1% с 32,70 тг/квт.ч. до 32,01 тг/квт.ч.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций основывается на корректном использовании методов математического и физического моделирования, системного и статистического анализа, а также на внедрении разработанных рекомендаций.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на научных семинарах лаборатории гидросооружений КазНИИЭ, на международных научных конференциях в Сеуле и Берлине.

Личный вклад автора. Постановка проблемы, формулирование всех рассмотренных задач, поиск путей их решения, а также приведенные в диссертации научные и практические результаты, их анализ, формирование итоговых выводов осуществлены лично автором диссертации.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 научных трудов, из них 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК КР для публикации основных результатов кандидатских и докторских диссертаций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения.

Глава 1

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ И ПРОТИВОСЕЛЕВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ЮГО-ВОСТОКЕ КАЗАХСТАНА

1.1. Критический анализ работы защитных сооружений при прохождении паводков и селей

1.1.1 Анализ прохождения паводков

Последние десятилетия характеризуются опасным ростом количества и масштабов различных аварий и катастроф, неблагоприятным проявлением стихийных природных процессов, прохождением водных и селевых паводков, увеличением риска повреждений и экологически опасных разрушений гидротехнических сооружений. Все эти события провоцируют возникновение чрезвычайных ситуаций, приводят к увеличению пострадавших и росту масштабов прямых и косвенных ущербов (экономических, социальных, экологических) [113] .

В Казахстане на территориях, подверженных наводнениям и селям (северо-западные, северные, восточные, юго-восточные и центральные регионы республики), проживает более 1,4 млн. человек и располагается около 32 тыс. жилищных и производственных объектов.

В последнее время на территории республики участились чрезвычайные ситуации, связанные с антропогенными работами на водосборах, засорением русел рек, арычно-канальных систем, водопропускных и гидротехнических сооружений, которые приводят к подтоплению домов в период паводков.

Наблюдается тенденция возникновения паводков, вызванная изменением климата, нерациональным введением хозяйства в долинах рек, усилением их хозяйственного освоения [98].

Для территории Республики характерны резкие перепады температуры воздуха и выпадение значительных по суточному слою осадков. Сильные осадки в виде дождей обусловили формирование ряда наносоводных паводков. Сверхнормативные запасы снежного покрова при повышении температуры нередко приводят к склоновым стокам и затоплению населённых пунктов, разрушению автодорог и повреждению коммуникационных систем.

Паводки, формирующиеся в Алматинской, Восточно-Казахстанской, Западно-Казахстанской, Костанайской и Южно-Казахстанской областях, приурочены к крупным, преимущественно равнинным рекам и связаны с весенним половодьем, растянутым на продолжительное время.

Кроме того, техническое состояние гидротехнических сооружений по республике может явиться причиной возникновения катастрофических паводков, их последствия зачастую трудно предсказуемы. В результате резкого потепления, обильных осадков, заторов, а также залповых сбросов воды из переполненных водохранилищ и разрушения защитных дамб могут возникнуть катастрофические наводнения. Значительный урон стихия наносит сельскому хозяйству, автодорогам, линиям связи и электропередач, гидротехническим сооружениям, водоводам. Возможны человеческие жертвы, пострадавшие и пропавшие без вести [25, 26, 27].

Так, в **2008** году в периоды низких температур воздуха происходило обострение ледовой обстановки на реках юга и юго-востока: образование наледей и заторов льда, выхода воды на лёд и подтопление территорий населённых пунктов и жилых домов, создавалась угроза затопления. В 2008 г. зарегистрировано 7 случаев затора льда, 10 паводков, из них 6 тало-дождевых со склонов, 1 селевой выброс, 1 обвал.

В **2009** году для всех сезонов года были характерными резкие перепады температуры воздуха и выпадение значительных по суточному слою осадков. В результате интенсивного снеготаяния сброс талых вод по мёрзлому грунту привёл к формированию паводков с высокими расходами. Сильные осадки в

виде дождей обусловили формирование ряда наносоводных паводков и оползней.

В Урджарском районе Восточно-Казахстанской области 27 марта паводковые воды с полей, расположенных в северо-восточной части сел Урджар, Акжар, Жанай, подтопили 675 земельных участков сел, хозяйственные постройки на 13 улицах, асфальтное покрытие автодороги республиканского значения Таскескен – Бахты на площади 150 м². Уровень талой воды достигал 10-15 сантиметров. Паводковая ситуация стабилизировалась 29 марта, образовавшиеся русла талых вод были перекрыты. 8 апреля в Катон-Карагайском районе из-за обильного таяния снега и выпавших осадков в виде дождя повысился уровень воды реки Бухтарма. Превышение уровня воды составило от 30 до 60 сантиметров. Произошло подтопление 13 частных жилых домов в с.Сенное.

В 2010 году сверхнормативные запасы снежного покрова при повышении температуры вызвали паводки склонного стока, приведшие к затоплению населённых пунктов, разрушению автодорог и повреждению коммуникационных систем. По Алматинской области в Аксуском, Алакольском, Жамбылском, Карасайском, Райымбекском, Саркандском, Уйгурском районах зафиксировано 24 случая природных ЧС паводкового характера.

По Восточно-Казахстанской области в Абайском, Зайсанском, Тарбагатайском и Урджарском районах зафиксировано 14 случаев. В Кордайском районе Жамбылской области зафиксировано 3 случая ЧС паводкового характера.

11 марта в Аксуском районе области в с.Кызылагаш произошёл прорыв плотины с восточной стороны (водохранилище Ак-Ешке), в результате чего подтопило 467 дворов (2749 человек населения), ниже расположенную станцию Егинсу и окрестности. Водяной покров составил 1,5 – 1,8 метров. Ширина волны селевого потока составила 1,6 км, высота 3-4 метра. В результате ЧС уничтожено 80 % зданий, разрушено 460 жилых домов.

Произошло крушение моста на автодороге республиканского значения Алматы–Усть-Каменогорск, размыло участок железнодорожного полотна сообщением Сарыозек–Уштобе. Кроме того, пострадали населённые пункты Актогай и Егинсу. Общее количество населения, понёсшего материальный ущерб – 3861 человек, потеря жилого фонда – 631 дом. Материальный ущерб составил 8200 млн. тенге.

Не менее тяжёлая обстановка сложилась в Восточно-Казахстанской области. За зимний период 2009-2010 года на территории области снега выпало больше нормы в 2-4 раза, а в отдельных районах в 6 раз. Соответственно в весенний период создалась чрезвычайно сложная паводковая обстановка на всей территории области. Из-за резкого потепления в середине марта произошло подтопление 24 населённых пунктов в Абайском, Аягозском, Зайсанском, Курчумском, Тарбагатайском и Уланском районах.

В результате паводками нанесён ущерб: количество домов, не подлежащих восстановлению, составило 536, требующих ремонта – 621; разрушено 6 мостов, 27,5 км улиц населённых пунктов, 65,2 км автодорог, 3 объекта образования, 4 объекта здравоохранения, 1 объект культуры, 1 здание сельского Акимата, 18 водопропускных сооружений, 34,2 км водопроводных сетей, 13,3 км линий электропередач, 3 гидротехнических сооружения. От наводнения пало 3906 голов крупнорогатого скота, 18760 голов мелкорогатого скота и 648 лошадей. Общий материальный ущерб составил свыше 8,5 млрд. тенге.

В **2011** году в период низких температур воздуха происходило частичное перемерзание русел небольших рек юго-востока и востока, что приводило к формированию зажоров на окраинах населённых пунктов и заторам льда.

В Восточно-Казахстанской области в период с 12 по 14 апреля 2011 года в результате сильных склоновых стоков воды, промороженного грунта и разлива р. Маховка произошло подтопление в посёлке Старая Согра 63

жилых домов и 396 дачных участков, возникла угроза подтопления ещё 78 жилых домов.

По данным территориальных органов Департамента по чрезвычайным ситуациям (по состоянию на 15 августа 2013 года) в Республике общее количество водоёмов - 2192 (дамб, плотин), из них в республиканской собственности – 248, в коммунальной собственности – 1241, в частной собственности – 523, бесхозных – 180.

Обострение проблемы паводка связано также с физическим старением основных фондов водного хозяйства вследствие ограниченного выделения финансовых средств на мероприятия по повышению устойчивости гидротехнических сооружений, ремонтно-восстановительные работы. Ухудшение технического состояния гидротехнических сооружений увеличивает риск их разрушений во время паводков и половодий.

Дополнительными факторами риска является изменение характера стока рек на хозяйственно освоенных и подвергнутых трансформациям водосборных территориях, хозяйственное освоение паводкоопасных территорий в нижних бьефах гидроузлов и размещение там хозяйственных объектов и жилья, стеснение живого сечения потока рек. Все это приводит к наводнениям с тяжёлыми и катастрофическими последствиями, нанесению значительного ущерба объектам экономики, здоровью людей и к человеческим жертвам.

В условиях нарастающего износа основных производственных фондов, системного недофинансирования берегоукрепительных мероприятий, большого количества гидротехнических сооружений, требующих капитального ремонта и замены технологического оборудования, эти отрицательные тенденции могут сохраниться. По данным территориальных органов Департамента по чрезвычайным ситуациям 2837 водохозяйственных объектов подлежат ремонту, из них в республиканской собственности – 80, в коммунальной собственности – 516, в частной собственности – 174, бесхозных – 67.

Серьёзной проблемой является несоблюдение особого режима хозяйственной деятельности в водоохраных зонах на водных объектах. Данные территории застраиваются частными и хозяйственными постройками, размещены промышленные предприятия и образуются неорганизованные свалки мусора, которые способствуют сужению русла, уменьшению его пропускной способности и увеличению критических уровней воды.

Для комплексной защиты территорий и населенных пунктов от паводков, смягчения последствий от их воздействия необходимо определить первоочередные и стратегические цели – намечаемые мероприятия. Поэтому необходимо научное обоснование проблемы, которое должно основываться, как это принято в мировой практике, на

1. количественной оценке (вероятности) риска возникновения паводка;
2. количественной оценке вероятности ущерба от последствий прохождения паводков.

Только при наличии таких оценок возможно технико-экономическое обоснование разрабатываемых мероприятий в рамках устойчивого развития территории [23,29,55, 56].

1.1.2. Критический анализ работы сооружений при селепроявлениях на р.Хоргос

Общая характеристика проблемы

Бассейн реки Хоргос, типичный для Юго-Востока РК, относится к 1 категории селевой опасности, а селевые явления здесь возникают в результате интенсивных дождевых осадков, прорыве завальных озёр и подземных водоемов, что характерно для селеопасных рек Заилийского и Джунгарского Алатау. В этом отношении р.Хоргос не является каким-то исключением, а намечаемые противопаводковые и противоселевые мероприятия должны носить комплексный характер и учитывать положительный опыт, накопленный в результате эксплуатации подобных

сооружений в бассейнах рек Заилийского и Джунгарского Алатау и мировой опыт селезащиты. Селевые паводки на р.Хоргоз, сопровождавшиеся подмывом берегов, затоплением и разрушением объектов инженерной защиты, отмечались в 1988, 2003, 2007, 2010 гг. Так, 27 июля 2007 г. наносоводный селя с расходом $200 \text{ м}^3/\text{с}$ разрушил строящиеся объекты Международного центра приграничного сотрудничества (МЦПС) “Хоргос” и левобережную струенаправляющую дамбу. После прохождения селя ТОО “Казгидро” разработало рабочие проекты 2-ой, 3-ей, 4-ой очередей “Селезащитные и берегоукрепительные сооружения МЦПС “Хоргос”, и рабочий проект “Усиление нижнего бьефа нового моста”. Отсутствие фактических данных по гидрологии р.Хоргос потребовало привлечения реки – аналога для оценки паводковых расходов. В качестве аналога принята р.Усек со сходными физико-географическими условиями, при этом расчетный расход р.Хоргос 3 % обеспеченности в створе МЦПС составил $242 \text{ м}^3/\text{с}$, а расход 1 % обеспеченности составил $261 \text{ м}^3/\text{с}$.

Количество зимних осадков в 2009-2010 г. практически в 3 раза превысило норму (91,2 мм и 35,9 мм соответственно), т.е. водная составляющая селя 18-22 июня 2010 г. носила смешанный характер - интенсивное таяние снега при температурах $29,8-32,0^0 \text{ С}$. усугубилось сильным ливнем (6 мм, 3мм, 2,8 мм, 10 мм соответственно 18, 20, 21, 22 июня), что и привело к возникновению катастрофического селя с расходом $450-500 \text{ м}^3/\text{с}$.

Прохождение катастрофического селевого паводка с расходом почти в два раза превышающим расчетный, привело к разрушению:

- бутобетонного быстротока шириной 92 м;
- бетонного зуба быстротока;
- бетонных плит крепления верхового откоса берегоукрепительной дамбы первой очереди на длине 671 м;
- плит крепления откоса дамбы второй очереди на длине 2268 м.;
- канала прорези, заваленного селевыми отложениями;

- дорожного покрытия на площади около 3300 м²;
- инспекторской дороги длиной 2 200 м.;
- контрольно-следовой полосы.

При этом частично или полностью разрушенные сооружения - левобережные руслонаправляющие дамбы, канал-прорезь и др., предотвратили разрушение объектов МЦПС “Хоргос”, таможни, построек в селе Хоргос и др.

Оценка проектных решений.

В основу разработок ТЭО и рабочих чертежей положен системный подход, предусматривающий комплексное решение задачи. Обычно для бассейнов селеопасных рек со смешанным типом водного питания – прорыв озер и ливневый сток – в верховьях устраивается селеуловитель, регулирующий сбросы в нижний бьеф, а пропуск осветленной воды осуществляется по канализованному руслу, не допускающему русловое солеобразование. При этом на селеопасных притоках возводятся селезадерживающие сооружения, трансформирующие селевой поток в водный. Такая схема была реализована в бассейнах рек М. и Б.Алматинка, других реках Заилийского Алатау. В бассейне р.Хоргос роль такого селеуловителя играет котловина озера Казанколь, где откладывается твердая составляющая селей, образующихся выше озера. Отсутствие гидрологических наблюдений за стоком делало экономически малообоснованным возведение селеуловителей как в районе оз.Казанколь, так и на притоках р.Хоргос. Тем не менее, в ТЭО предусмотрено укрепление завальной перемычки оз.Казанколь, строительство селеуловителя Чукурбулак, сооружение на пяти наиболее опасных притоках р.Хоргос стабилизационных и берегоукрепительных сооружений. При этом предполагалось, что при составлении рабочих чертежей будут решены гидрологические и экономические вопросы, а саму проблему намечалось решать комплексно.

Проектировщики учли особенности формирования селей на р.Хоргос – в верхней части бассейна грязекаменные потоки трансформировались в наносоводные путем смешения селевой массы с водами р.Хоргос и ее притоков, а в нижнем течении рассматривалась частичная трансформация наносоводных паводков в водные при отложении крупных фракций (влекомых наносов) на конусе выноса (выше мостов) и пропуск частично осветленной воды через объекты МЦПС “Хоргос”, таможню, поселки Баскунчак, Хоргос.

Запроектированные на верхнем участке руслоформирующие и берегозащитные сооружения стабилизировали бы русло реки, предотвратили меандрирование, блуждание потока, частично задержали бы твердый сток селя.

Эти сооружения являются составной частью проекта селезащиты нижнего участка, где на конусе выноса запроектированы системы струенаправляющих дамб, защита нижнего бьефа моста, сооружение быстротока, возведение канала-прорези и т.д. К сожалению, проект для верхнего участка реки не был реализован, а для нижнего - лишь частично. Тем не менее, отметим, что проектировщиками было выбрано принципиально верное, экономически обоснованное в то время решение. Отсутствие данных фактических гидрологических наблюдений потребовало для обоснования расчетных расходов прибегнуть к нетрадиционному решению - выбору реки-аналога, где такие измерения имеются [47, 122, 2, 77].

Расчетные расходы р.Хоргос в рабочих проектах и ТЭО определялись в соответствии с действующими нормативами СНиП 2.06.01-86, что соответствует ныне действующим СНиП РК 3.04.01-2008, а район отнесен к 1 категории селеопасности в соответствии с действующей “Картой селевой опасности территории Республики Казахстан” 1996 г. Увеличить величину расчетного расхода (или уменьшить % обеспеченности) у проектировщиков не было оснований. Дело в том, что увеличение расчетного расхода приводит

к увеличению стоимости защитных сооружений - увеличению местного размыва, величины заглубления конструкции нижнего бьефа, а стоимость “омертвленного” капитала, как показывают расчеты, каждые 9 лет удваивается. Так что проектировщики действовали в рамках существующих нормативных документов.

Принятые конструкции струенаправляющих и защитных дамб высотой 3,0-3,5 м, шириной по гребню 6.0 м., с облицовкой верхового откоса с заложением 1:1,5 железобетонными плитами с заглублением в грунт на 1,2 м. и опирающихся на бетонный брус, обоснованы расчетами и возражений не вызывают. Такая конструкция довольно продолжительное время сопротивляется размыву, что и позволило в какой-то степени предотвратить разрушение объектов МЦПС “Хоргос”, таможни, мостов, построек поселка Хоргос.

Занесение канала-прорези, разрушение быстротока явилось следствием пропуска по этим сооружениям наносоводного селя с крупной валунно-галечной фракцией наносов. Обоснование расчетами размеров канала-прорези не представляется возможным - нет такой методики, здесь необходимо проведение специальных гидравлических исследований на размываемых моделях. Отметим, что все водосбросные сооружения плотины Медео, селеуловителя на р.Б.Алматинка и ниже расположенных сооружений, были обоснованы гидравлическими исследованиями.

Выводы и рекомендации [47]:

а) Разрушение руслостабилизирующих и берегозащитных сооружений на р.Хоргос явилось следствием форс-мажорных обстоятельств - появление селевого потока с расходом в 2 раза превышающим расчетный.

б) Усугубило ситуацию и последствия прохождения катастрофического селя 19-22.06,2010г. по р.Хоргос, отсутствие запроектированных, но не построенных сооружений в верхнем участке реки, т.е. отсутствовало системное, комплексное решение проблемы.

в) Принципиально верно выбранная схема организации селезащиты в бассейне р.Хоргос, конструкции русловых и защитных дамб не были подкреплены соответствующими гидравлическими исследованиями, которые позволили бы уточнить размеры проектируемых сооружений - канала-прорези, быстротока и т.д. Тем не менее, построенные сооружения частично выполнили свою задачу и предотвратили катастрофические последствия прохождения этого селя.

г) Предложения по устранению последствий прохождения селя и организации противоселевых и противопаводковых мероприятий:

- для решения частной задачи - защиты МЦПС “Хоргос” и расположенных ниже по течению сооружений и поселков необходимо комплексное и экономически обоснованное решение проблемы селе- и противопаводковой защиты бассейна р.Хоргос;

- схема селезащиты на р.Хоргос должна быть комплексной, учитывать новые гидрологические факторы, оценку эффективности сооружений на верхнем и нижнем участках реки, необходимость разработки новых, обоснованных математическим моделированием и гидравлическими исследованиями ГТС и селезащитных конструкций, учитывать мировой опыт селезащиты;

- борьба с селевыми потоками должна носить системный характер, при этом центр тяжести переносится на предотвращение возникновения селя, что достигается мониторингом ситуации, применением комплекса профилактических мероприятий [47].

1.2 Недостатки существующих ГТС и тенденции их совершенствования

Количественной характеристикой, определяющей степень экономической ответственности сооружения с учетом последствий его аварий или нарушений эксплуатации, является класс ГТС. Всего классов

четыре, при этом объектами первого-третьего классов является высоко- и средненапорные гидроузлы, представляющие собой уникальные сооружения со сложными техническими решениями (Капчагайская, Бухтарминская ГЭС, селеуловители в ур.Медео, на р.Б.Алматинка и др.). К четвертому классу относятся ГТС, при аварии которых чрезвычайная ситуация распространяется в пределах одного административного округа, а размер возможного материального ущерба относительно небольшой (до 1 млн МЗП (минимальной заработной платы в РК) [26,27]. Напорные сооружения малых водохранилищ, не используемые в энергетических целях, составляют до 70% от общего числа ГТС на территории РК. Возраст большинства низконапорных гидроузлов составляет более 30 лет, причем многие из них эксплуатировались без проведения необходимых ремонтных работ, выработали свой ресурс и поэтому являются объектами повышенной опасности.

Государственная программа управления водными ресурсами РК предусматривает модернизацию сооружений, внедрение водосберегающих, экологически безопасных конструкций, проведение НИР в области водохозяйственного комплекса. Эти работы, связанные с повышением надежности ГТС, невозможны без изучения конкретных причин, приводящих к их разрушению или повреждению. Поэтому анализ таких причин для Юго-Востока Казахстана, безусловно, необходим.

Анализ литературных источников, патентов, натурные исследования позволили выявить основные причины разрушения (повреждения) противопаводковых ГТС на Юго-Востоке Казахстана.

1. Отсутствие мониторинга за состоянием ГТС и отслеживания тех техногенных изменений, которые происходят на водосборах.
2. Изменение условий формирования стока на водосборах, как правило, увеличение модуля стока в связи с вырубкой лесов, использование природоохранных и ранее не нарушенных техногенно территорий под сельское хозяйство, животноводство, пастбища и т.д.

3. Потеря устойчивости ГТС из-за разрушения нижнего бьефа вследствие:

превышения расчетного расхода; неверного учета процесса размыва нижнего бьефа – неправильной расчетной схемы размыва, неверной оценки инженерно-геологических условий грунтов нижнего бьефа, ошибки при проектировании, строительстве водосбросных сооружений – неравномерное растекание потока в нижнем бьефе, недостаточная величина отброса струи;

4. Ошибки при строительстве ГТС – неверная расчетная схема устойчивости сооружения, выбор материалов и технологии строительства и т.д.

5. Непредусмотренные проектом изменения условий эксплуатации – прокладка дополнительных дорог, проведение работ в верхнем и нижнем бьефах, на откосах плотины; нарушения расчетных условий фильтрации – разрушение понура, других противофильтрационных устройств и т.д.

6. Форс–мажорные обстоятельства – землетрясения, катастрофические (ливневые) осадки и т.п., прорыв моренных, завальных озер в верхнем бьефе, разрушение вышерасположенных ГТС с водохранилищем, образование волны прорыва;

7. Обрушение (обвал) грунтов в водохранилище, сход селя (оползня) в водохранилище верхнего бьефа;

8. Зимние паводки, вызванные нерасчетным тепловым режимом на водосборах – резкое потепление, выпадение ливневых осадков зимой и т.д.

9. Нерасчетный сброс воды из вышерасположенного водохранилища, особенно в зимний период, суровые зимние (ледовые) условия в нижнем бьефе, затрудняющие отвод воды, нерасчетная пропускная способность русла в нижнем бьефе;

10. Нарушения условий эксплуатации гидросооружений и водохранилищ, отсутствие ремонтов, необеспеченность предусмотренных СНиПом условий эксплуатации и содержания ГТС;

11. Отсутствие (или неверная) система управления быстроразвивающимися паводками, что в условиях РК связано с регулированием (опорожнением) моренных и завальных озер: опорожнение (недопущение перелива через перемычку) путем сброса воды через внутренние тоннели, через поверхностные водосбросные каналы, сифонами, механической откачки воды и т.д., в частности, на озере 6 на леднике Маншук Маметовой в Заилийском Алатау;

12. Отсутствие мониторинга и системы мероприятий, предотвращающей перерастание водного паводка в наносоводный или грязевый селевый в условиях РК.

13. Отсутствие приборов дистанционного контроля за возникновением селеопасной ситуации с оповещением административных органов и населения о риске возникновения ЧС путем звуковых сирен, световой сигнализации (как это было в 70-ые годы в Алматы после селя 1973 г.) [39].

Тенденции совершенствования противопаводковой и противоселевой защиты в условиях Юго-Восточного Казахстана.

1. В настоящее время существует острая необходимость в осуществлении системы управления быстроразвивающимися паводками и селями. Лишь некоторые системы способны обеспечить раннее, заблаговременное предупреждение этих явлений. В мае 2015г. в Анкаре “Казгидромет” был определен как региональный Центр реализации проекта создания информационной диагностической системы оценки рисков возникновения быстро развивающихся паводков в Центральной Азии. Аналогичные проекты были осуществлены в Центральной Америке, Юго-Восточной Азии, на Среднем Востоке, в Южной Африке, на Черноморском побережье и в Восточной Европе. Техническую помощь для внедрения Системы и подготовки кадров в РК обеспечивает Гидрологический научно-исследовательский Центр США совместно с Национальной Метеорологической Службой, мониторинг и оценку проекта осуществляет

Всемирная Метеорологическая Организация и Агентство США по Международному развитию. Финансирование деятельности Центра в Казахстане полностью берет на себя Агентство США по международному развитию (USAID) (Кононенко О. “Казгидромет” станет региональным центром по предупреждению паводков в ЦА. “Панорама”, 2015,09.24).

2. Низкая эффективность использования в РК водных ресурсов требует безусловного её повышения за счет совершенствования методов и механизмов управления водными ресурсами, в частности, по нашему мнению, оптимальным решением здесь является бассейновый подход к управлению водными ресурсами.

3. Ключевой момент в бассейновом управлении водными ресурсами на Юго-Востоке Казахстана – комплексное использование (энергетическое и противопаводковое) существующих и намечаемых к строительству водохозяйственных схем и сооружений.

4. Разработка новых современных технических решений, обеспечивающих безаварийную работу катастрофических и аварийных водосбросов, в том числе с использованием современных nano- и гибких материалов, совершенствование методов расчета этих конструкций, использование автоматизации процессов.

5. Оснащение объектов ГТС современными возобновляемыми источниками энергии для энергообеспечения приборов учета, наблюдения, реагирования в аварийных ситуациях, передача дистанционно соответствующей информации.

6. Совершенствование противоселевых сооружений, в том числе, с использованием податливых конструкций, разработка и уточнение методов их динамического и статического расчета, применение в противоселевом строительстве современных строительных, в том числе, nano-материалов.

7. Применение гибких и nano-материалов для временной защиты от паводков и наносоводных селей объектов МЧС, в сочетании с

автоматизацией процессов управления и дистанционным мониторингом ситуации.

8. По нашему мнению, оптимальным решением проблемы будет бассейновый подход в управлении водными ресурсами, а ключевым моментом здесь является комплексное использование (энергетическое и противопаводковое) существующих и намечаемых к строительству водохозяйственных схем и гидросооружений. Поэтому научное обоснование такого подхода становится чрезвычайно актуальным и востребованным

9. Комплексный подход к использованию ГТС включает в себя их энергетическое, водохозяйственное и противопаводковое применение. Так, на построенных селеуловителях в Медео, на р.Большая Алматинка, на оз.Иссык и др., на проектируемых селезащитных плотинах на р.Хоргос экономически выгодно использование селехранилищ в неселеопасный период (сентябрь – май) в качестве водохранилищ с последующей сработкой его на гидроагрегатах с выработкой электроэнергии. Образец такой гидротурбины предлагается в настоящей работе.

10. Недостаточное внимание уделяется профилактическим противоселевым мероприятиям - посадке кустарников и деревьев на горных склонах, где формируется дождевой сток, с обеспечением пропуска водного паводка через застроенную городскую территорию в каналах, недопущение строительства в селеопасных зонах, подверженных воздействию оползней, грязекаменных селей, в том числе, сейсмического происхождения, снижение уровня воды в моренных и завальных озерах, предотвращение оползней путем недопущения обводнения оползнеопасных склонов.

11. Необходима разработка приборно-технологического оснащения для своевременного предсказания ЧС, создание технических мер для предупреждения их возникновения, направленных на защиту территорий и населения.

12. В Национальной Инженерной Академии РК разрабатывается проект (академик М.Мырзахметов) по анализу и прогнозу селевых явлений с

помощью информационно-коммуникационных и космических технологий, мониторинга предупреждения природных ЧС, вызванных изменением климата. Речь идет об изучении механизмов возникновения селей и лавин, о разработке технологий и технических средств для наблюдения за ними, создания математических и компьютерных моделей развития чрезвычайных ситуаций.

13. Одним из элементов информационно-коммуникационной технологии может стать предложенный российским ученым (А.Перолайнен) пилотный проект автоматизированной системы мониторинга уровней воды в бассейнах р.Б.Алматинка и Талгар. Этот проект может стать основой для развития сети инструментальных средств по сбору информации об уровнях воды в реках, скоростях их изменения и, в конечном счете, надежном и мгновенным способом оповещения населения и администрации о зарождении селея или наводнения.

14. В Государственной программе управления водными ресурсами Казахстана отмечается, что некоторые ключевые методы и механизмы управления водными ресурсами недостаточно развиты и нуждаются в усовершенствовании. Не учитывается, в частности, переход на бассейновый принцип управления водными ресурсами, возросшее финансирование водохозяйственной инфраструктуры, что способствовало бы повышению ее безопасности. Фрагментарные формы собственности на объекты ГТС препятствуют их эффективному, комплексному – ирригационному, водохозяйственному, энергетическому использованию, приводит к отсутствию системного подхода с учетом интересов всех отраслей.

15. В условиях финансового кризиса оптимальным является не строительство крупных дорогостоящих объектов в основном русле рек, а перенос центра тяжести и строительство малых водохозяйственных и энергетических плотин на притоках. Эта новая концепция использования водоподъемных плотин с “плавкой” вставкой и использованием возобновляемых источников энергии, применением гидроагрегатов нового

типа, разработанных в КазНИИЭнергетики, по сути, меняет региональную стратегию противоселевого и водохозяйственного строительства, существенно удешевляя его и обеспечивая экологическую устойчивость территории.

16. При реализации этой стратегии в первую очередь предполагается осуществить наиболее эффективные мероприятия, при этом возможны различные формы собственности для привлечения частного капитала к финансированию. Использование частного капитала является наиболее современной формой финансирования проектов, т.к. позволяет снизить нагрузку на бюджет, разделить инвестиционные и операционные риски, привлечь навыки частного сектора к управлению проектами и повышению капитальных вложений.

1.3 Постановка задачи исследований

Приведенный выше обзор и анализ современного состояния работы противоселевых и противопаводковых сооружений, необходимость увеличения эффективности использования водных ресурсов, предусмотренная госпрограммой управления водными ресурсами РК, предопределили направление исследования в настоящей диссертации:

- совершенствование организационной системы управления за счет внедрения бассейновых принципов управления водными ресурсами, учитывающих комплексное использование ГТС (энергетическое, водохозяйственное, противопаводковое);

- разработка новых конструкций ГТС с “плавкой” вставкой, позволяющее реализовать предлагаемую бассейновую систему управления. При этом возникает необходимость установки новых конструкций генераторов на МГЭС и оценки местного размыва, определяющего устойчивость ГТС за плотинами сплавкой вставкой;

- совершенствование конструкции сквозных селезадерживающих сооружений за счет внедрения эффекта амортизации, снижающего динамическое воздействие селя, тем самым удешевляя строительство.

1.3.1 Совершенствование системы управления

В Госпрограмме отмечается [28]:

- отсутствие системного и комплексного подхода с учетом интересов всех отраслей при планировании мероприятий водохозяйственного комплекса;

- фрагментированная собственность на объекты водохозяйственной инфраструктуры и нечеткая схема принятия решений в отношении инвестиций;

- отсутствие необходимой координации между различными функциями заинтересованных государственных органов;

- отсутствуют четкие целевые показатели для управляющих активами, что сильно ограничивает результативность принимаемых мер.

Международный опыт свидетельствует, что в водном хозяйстве существует ряд организационных структур, позволяющих повысить его эффективность. Одним из таких мероприятий является бассейновый принцип управления, на основе которого осуществляется переход от пересекающихся и размытых зон ответственности в управлении водными ресурсами к четкой пирамиде управления.

Рост антропогенных нагрузок на компоненты природы Юго-Восточного Казахстана (вырубка лесов, снижение почти вдвое лесистости на водосборных бассейнах отдельных притоков, нерегулируемый выпас скота, рост количества лесных пожаров, добыча строительных материалов, энергетическое и водохозяйственное строительство), глобальные изменения климата привели к резкому увеличению количества осадков, росту паводковых расходов и объемов твердого стока в бассейнах малых рек Республики. Необходимость повышения эффективности использования водных ресурсов делает научное обоснование технических и

технологических решений элементов систем противопаводковой защиты чрезвычайно актуальной.

Изменение условий формирования стока, гидрологического режима и сокращение водообмена привело к ухудшению гидробиологических и гидрохимических процессов. Для экологически безопасной и надежной стабилизации возникшей ситуации на малых реках необходимо принять такие методы управления, которые способствовали бы тому, чтобы река сама восстанавливалась со временем. Одним из элементов такой системы является разработка конструкции ГТС, отвечающая требованиям повышенной надежности и учитывающая особенности влияния на динамику и морфологию водного потока. Поэтому в последнее время большое внимание уделяется разработке новых конструктивных решений подъемно-регулирующих сооружений, например, регулирующим сооружениям с опрокидывающимися затворами на мелиоративных каналах (разработки к.т.н. Глоба А.М.). Обоснование параметров гибких дамб из композитных материалов предложил к.т.н. Малышевич Б.Н., а технологии возведения облегченных ГТС разработала д.т.н. Кашарина Т.П. Другим предлагаемым решением задачи экологической безопасности является предлагаемая нами плотина с “плавкой” вставкой, обеспечивающая пропуск паводковых расходов без существенного повышения уровня воды в верхнем бьефе [21,31,32,38,80,82].

1.3.2. Противоселевые конструкции

Горные и предгорные районы Республики (15% территории) находятся в селеопасной зоне. По данным Казселезащиты, сели угрожают 156-ти населенным пунктам и более 60 тысяч хозяйственным объектам. Наибольшая селевая активность в последнее столетие зарегистрировано в Илейском Алатау, где сели образуются в результате выпадения интенсивных дождевых осадков, прорыва моренных поверхностных и подземных водоемов, при оползнях и землетрясениях. За последние 100 лет зафиксированы более 100 случаев формирования селей различного происхождения, при этом 20 из них

носили характер катастроф и сопровождались жертвами. Селевая активность – это основная характеристика, используемая при решении задач селезащиты. Сложность оценки селевой активности состоит в небольшом количестве и крайне низком качестве информации о катастрофических селях в Казахстане [126].

Схема селезащиты г.Алматы и населенных пунктах Заилийского Алатау предусматривала проведение мониторинга селевой активности, системы профилактических мероприятий на моренах и склонах бассейнов селеносных рек, строительства селеуловителей котлованного и плотинного типа, аналогичных уже построенным сооружениям в ур.Медео, на р.Б.Алматинке, оз.Иссык. В условиях кризиса экономически нецелесообразно строительство плотинных селеуловителей, поэтому основной упор делается на сквозные сооружения, именно железобетонные, как наиболее экономичных. Поэтому приоритетной задачей является усовершенствование построенных или запроектированных конструкций типа И.И.Херхеулидзе, что позволяет при модернизации использовать отдельные работоспособные элементы конструкции с целью удешевления проводимых мероприятий [8,10,7].

Достоинства и недостатки сквозных селезадерживающих конструкций с оценкой их работоспособности, эксплуатационной надежности и эффективности достаточно подробно освещены в монографиях [96,39] и многочисленных статьях [9,15,42,74,83,120]. Здесь отметим лишь узловые моменты проблемы. Анализ работы построенных сквозных сооружений свидетельствует, что подавляющее число аварий происходит вследствие:

- а) недостаточной прочности отдельных элементов сквозных сооружений, подвергавшихся динамическому воздействию селей;
- б) неудовлетворительной работы нижнего бьефа в условиях переполнения селехранилища и перелива селя через гребень сооружения.

Поэтому вопросы расчета на прочность отдельных элементов сквозных конструкций и устойчивости нижнего бьефа являются решающими при

выборе типа сооружений или конструкций, которые необходимо усовершенствовать (модернизировать), и им уделяется основное внимание.

Прочность отдельных элементов сквозных сооружений определяется расчетами по существующим эмпирическим формулам. Эксплуатация сквозного селеуловителя на р.Акжар показала, что элементы этого сооружения на передней грани, воспринимающей удар селя, были разрушены, что косвенно подтверждает – существующие формулы ударного воздействия селя не совершенны, расчеты по ним дают неудовлетворительные (заниженные) результаты. Приведем краткий обзор формул для расчета удара селя о преграду.

В 1947 году П.С.Непорожний [97] предложил нагрузки от селя рассчитывать как гидродинамическое давление обтекания преграды струей. Предложенные П.С.Непорожним схемы в последующем неоднократно уточнялись, модифицировались и дополнялись, но принцип формирования динамической нагрузки от селя как давления обтекания остался неизменным. Этот принцип положен в основу вывода формул Г.М.Беручашвили [3], Д.В.Бичиашили [15], разработок АзНИИГиМ [83] и наиболее известных и обоснованных расчетных зависимостей, предложенных в ГрузНИИГиМ [35,86,111] и ЗакНИГМИ [120].

В ГрузНИИГиМ на основе закона сохранения количества движения получена зависимость, связывающая динамические нагрузки на вертикальную сплошную преграду с параметрами связного селевого потока в виде:

$$P = K \frac{\omega \gamma_c V_c^2}{g} \quad (1.1)$$

где, P - сила удара связного селя при плотности селевой массы $\gamma_c = (1,8 \div 2,3) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;

V_c^2 - скорость селя, м/с;

ω - площадь;

K - экспериментальный коэффициент, $K = 4,5$.

В зависимостях типа (1.1) поправочный эмпирический коэффициент K в формуле динамического давления свободной струи изменяется от 1,0 в формулах АзНИИГиМА [83] или 1,3 по рекомендациям С.Э.Эзимова и В.Н.Коробова [124] до $K = 9,0$ и по предложению З.С. Иорданишвили и Д.Д.Сахадзе [35]. Тем самым давление от селя на преграду при расчете по разным формулам этого вида может изменяться в 9 раз.

По расчетным зависимостям ЗакНИГМИ [120] в общем случае давление селевого потока на сооружение складывается из трех составляющих:

- а) гидростатического давления;
- б) гидродинамического давления;
- в) нагрузка от удара отдельных камней.

Нагрузка от удара отдельных камней определяется согласно нормам [86,109], но с введением дополнительного коэффициента поглощения энергии удара по формуле:

$$S_{уд} = \gamma_k (1 + K_0) K_y V_k V_m \quad (1.2)$$

где, K - коэффициент восстановления;

K_y - коэффициент поглощения энергии удара;

V_k - объем камня;

V_m - максимальная скорость потока на уровне расчетной площадки давления.

Японские исследователи предложили [128] зависимость для расчета ударного воздействия крупных каменных включений в виде:

$$P = \frac{1}{2} C_d \rho V_0^2 (\text{Па}^2) \quad (1.3)$$

здесь, ρ - плотность селевой массы;

α - радиус крупных каменных включений;

V_0^2 - средняя скорость селя;

C_d - коэффициент ударного трения, зависящий от относительной плотности грязевой составляющей селевой массы и каменных включений, а также некоторых других параметров, $C_d = 1,64$.

Следует отметить, что в литературе, посвященной селям, нередко вводятся без должного обоснования поправочные коэффициенты, существенно увеличивающие нагрузки от селей на сооружения. Так, в работе С.М.Амирджанова и У.Р.Мирза-заде [83] полное давление селевого потока учитывается с коэффициентом K , равным $1,6 / 2,0$.

Японские исследователи [128] учитывают гидростатическое давление наносов с поправочным "динамическим" коэффициентом $1,25 / 1,50$.

Устойчивость нижнего бьефа.

Вопросам устойчивости нижнего бьефа противоселевых сооружений уделяется значительное внимание, об этом косвенно свидетельствует и постоянно возрастающая стоимость селеводобросов. Так, например, для построенных в Заилийском Алатау сооружений затраты на строительство селедросов составили (в % к общей стоимости и в абсолютных величинах, приведенных к ценам 1984 г.):

- а) 1 очередь селеуловителя в ур.Медео - 13 % или 2,4 млн.руб.;
- б) 2 очередь селеуловителя в ур.Мынжилки - 48 % или 1,1 млн.руб.;
- в) селеуловитель на р.Большая Алматинка - 31 % или 3,6 млн.руб.

Наиболее просто вопросы устойчивости нижнего бьефа решаются для котлованных селеуловителей, однако, они не нашли широкого применения. Дело в том, что им присущ принципиальный недостаток - требуемый для их создания объем, земляных работ в 1,5-2 раза превосходит полезный объем селеохранилища, тогда как для плотинных селеуловителей это отношение обратное. Объясняется это тем, что в котлованной емкости селевая масса отлагается с уклоном $0,7i_{\text{быт}}$, и эта разница между бытовым уклоном русла и уклоном селевых отложений создает "бесполезный" объем выемки.

Описание и схемы некоторых конструкций противоселевых сооружений приведены в [19,20,112].

В Японии построено много высоких (до 65 м) противоселевых плотин повышенной надежности. Они представляют собой два сооружения различной высоты, соединенные продольными балками [112]. Нередко ниже

основной высокой плотины на расстоянии 5-10 м сооружены небольшие плотины-барражи как бы подпирающие нижний бьеф основной плотины. Японские специалисты считают, что существующие способы закрепления нижнего бьефа железобетонными туюфьяками, плитами и т.п. являются ненадежными [112].

И в Австрии, и в Японии сооружения многократно подвергались воздействию селей, и применяемые меры защиты от селей хорошо апробированы. Казалось бы, парадоксальная ситуация - сооружения, хорошо зарекомендовавшие себя в Австрии, неэффективны в Японии, но суть в том, что в зависимости от типа селевого процесса изменяются и методы защиты от селей. Наиболее наглядным примером такого подхода является селезащита от грязекаменных селен г.Алматы и защита от наносоводных селей округа Лос-Анджелес.

У нас в стране в практике противоселевого строительства для предохранения нижнего бьефа обычно применяют одну из двух конструкции: а) крепление нижнего бьефа вблизи сооружения (бетоном, железобетоном, старыми автопокрышками, габионами, кладкой и т.п.); б) в нижнем бьефе устраивают своеобразный водобойный (селеуспокоительный) колодец в виде дополнительной подпорной стенки, расположенной на незначительном удалении от основного сооружения. В первом случае с помощью защитных покрытий предохраняется от разрушения дно нижнего бьефа непосредственно у селесброса, а размыв отодвигается вниз по течению на расстояние, безопасное для устойчивости сооружений. Этот способ применяют в случае воздействия на плотину наносоводных селей. Во втором случае предполагается, что грунты нижнего бьефа под воздействием переливающегося через гребень селесброса грязекаменного потока могут перейти в "запредельное", "текущее" состояние, и устройством колодца преследуется цель предотвратить течение грунта.

Цель этого раздела работы - разработать рекомендации по конструкции сквозного противоселевого сооружения, воспринимающего нагрузки, как от

грязекаменных, так и от наносоводных селей. Для решения этой основной задачи необходимо:

а) оценить динамические нагрузки на элементы сквозного сооружения для расчета этих элементов на прочность и рассмотреть возможности уменьшения (снижения) селевых нагрузок;

б) оценить давление на дно нижнего бьефа при переливе селя через гребень сооружения и разработать мероприятия, предотвращающие катастрофические (недопустимые) разрушения нижнего бьефа;

в) оценить наносоудерживающий эффект сквозного сооружения.

При моделировании удара селя о сооружение необходимо соблюдать следующие безразмерные критерии подобия [24]:

$$\frac{\rho_i}{\rho_0}, \frac{d_i}{L}, \frac{L_1}{L}, \frac{E_i}{\rho_0}, M_i, \frac{\tau}{L} \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_0}}, F_2 = \frac{V}{\sqrt{gL}}, \frac{V_0^2 \rho}{\rho_0}, \frac{\eta}{\frac{\rho g^2}{2L^3}}, \frac{\delta_i}{\rho g L} \quad (1.4)$$

Все критерии, за исключением четырех последних, выполняются, если на модели использовать ту же селевую массу, что и в натуре, а сооружения выполнять из одних и тех же материалов, но в уменьшенном геометрическом масштабе. Два последних критерия, связанные с вязкостью и прочностными характеристиками твердых включений селевой массы, могут быть выполнены при приближенном моделировании, когда с увеличением линейного размера L значения этих критериев стремятся к нулю. Два других критерия F_2 и $\frac{V_0^2 \rho}{\rho_0}$ одновременно не могут выполняться. Согласно первому из них, скорость должна быть пропорциональна корню квадратному из отношения линейных размеров природы и модели, а из второго вытекает, что скорости на модели и в натуре должны быть одинаковыми.

С.С.Григорян [24] отмечает, что при моделировании удара снежной лавины о преграду все критерии подобия не выполняются, но определяющим является критерий силы тяжести. С.С.Григорян приводит формулу для пересчета ударных нагрузок от лавин в виде:

$$\frac{P_M}{P_N} = \frac{\rho_M V_M^2}{\rho_N V_N^2} \quad (1.5)$$

1.3.3

Местный размыв свободноотброшенной струей

Новая конструкция плотины с “плавкой” вставкой обеспечивает сопряжение бьефов по типу отброшенной струи, при этом в воронку местного размыва сбрасывается и поток от МГЭС. Поэтому изучение такого сложного сопряжения бьефов намечается экспериментальным путем.

К настоящему времени опубликовано более сорока различных расчётных теоретических, полу- и просто эмпирических зависимостей для определения глубины местного размыва сводноотброшенной (падающей) струей. Эти зависимости можно разделить на три группы.

Первую группу составляют формулы М.С.Вызго и сходные с ними зависимости Б.А.Мацмана, А.Шоклича, А.Веронезе, В.Эггенбергера, Г.Егера, Н.Т.Смолянинова, А.Н.Набиева, К.А.Амирова, Чэнь-Чунь-тина, Юй Чан-чжас, а также работы С.В.Избаша, Г.Лера, А.Шефера, П.Франке, В.С.Баумгарта, К.Сарма, А.А.Кадырова, А.Г.Соловьевой, Г.А.Юдицкого, Н.В.Лаптурева, Б.И.Студеничникова, Р.Сивасанкара и К.А.Каппасвами, Н.Е.Таварткинадзе. Эти формулы получены, в основном, экспериментальным путём при тех или иных граничных условиях.

Ко второй группе можно отнести рекомендации Ф.И.Пикалова, А.Е.Тлеукабылова, А.Ленкастре, Г.А.Рубинштейна и Х.Штрауба. Решения этих авторов основаны на теории размерности.

Третья группа объединяет работы, в которых для решения задачи местного размыва привлекается теория растекания струй. К ней относятся работы Е.А.Замарина, Н.И.Теперина, А.К.Патрашева, М.А.Михалева, Е.В.Плетневой, Ц.Е.Мирцхулава, И.В.Долидзе, С.Е.Эльясберга, Н.Д.Кодуа, Р.М.Вагабова, Т.Х.Ахмедова, А.А.Пичугиной и расчетные зависимости Н.Ф.Сальниковой, В.Георгцу и М.Д.Чертоусова, в основу которых положена теоретическая зависимость А.Н.Патрашева для глубины проникновения струи в водяную подушку.

Здесь не ставится цель дать критический обзор работ, посвященных размыву отброшенной струей. Большинство из них подробно проанализировано К.И.Россинским, А.Г.Соловьевой, Б.И.Студеничниковым, М.С.Вызго, С.М.Списским. Мы отметим лишь наиболее существенные стороны тех работ, которые имеют практическое значение.

При выводе своей расчетной зависимости М.С.Вызго [22] полагал, что размыв ограничивается глубиной нижнего бьефа, необходимой для затопления гидравлического прыжка. Анализируя растекание струи в воронке, М.С.Вызго условно разделяет поток динамической осью на две водоворотные зоны – верхнюю и нижнюю. Величина размыва (подтопления струи) определяется как сумма двух независимых друг от друга гидравлических прыжков: верхнего с вальцом над струей и нижнего, с вальцом под струей.

Однако схематизация размыва, предложенная М.С.Вызго, подверглась сомнению многими исследователями – участниками дискуссии о местном размыве, проведенной журналом “Гидротехническое строительство” в 1954-57 гг. [90,91,123].

В то же время следует отметить, что для обоснования предложенной зависимости М.С.Вызго привлек материалы многочисленных натуральных и лабораторных исследований. Поэтому его формула, хотя и основана на некоторых спорных допущениях, является в настоящее время одной из наиболее распространенных.

Теорию размерностей впервые для вывода формулы глубины местного размыва применил Ф.И.Пикалов. А.Е.Тлеукабылов также рассматривает применимость теории размерностей к изучению местного размыва и предлагает на основе этой теории исходное уравнение для глубины размыва

Здесь уместно отметить, что применение теории размерностей не исключает, а, более того, предопределяет необходимость эксперимента, т.к. анализ размерностей используется только для отыскания формы обобщения опытных (натурных) данных. Поэтому полученные таким путем (обобщение

экспериментальных данных на основе ПИ-теоремы) формулы приемлемы лишь в диапазоне тех экспериментов, на основе которых они получены.

В настоящее время общепринято, что воронка размыва стабилизируется тогда, когда осредненная скорость в придонной области станет равной или меньше донной неразмывающей скорости в воронке.

В основу предлагаемого нами способа расчета глубины местного размыва положено допущение, что размыв заканчивается, когда скорости отброшенной струи, постепенно уменьшаясь по мере растекания, достигают на выходе в отводящее русло величины, равной допускаемой (неразмывающей) скорости для данного грунта. Это означает, что в образовавшейся воронке размыва гасится вся избыточная кинетическая энергия сбросного потока и потока от МГЭС [48,49].

1.4. Заключение по главе 1

Анализ паводковых периодов 2008-2013 годов показывает, что подтопление домов и территорий в период паводка наблюдались в Алматинской, Восточно-Казахстанской, Жамбылской, Западно-Казахстанской, Карагандинской, Костанайской, Павлодарской и Южно-Казахстанской областях. Подверглись затоплению и разрушению более 19990 объектов, в том числе 6377 жилых дома, а также участки автодорог и другие сооружения. Наибольший ущерб от наводнений был нанесен Западно-Казахстанской, Алматинской, Восточно-Казахстанской и Южно-Казахстанской областям, где на восстановление было затрачено около 40 млрд. тенге.

Проведенный анализ селевой деятельности в регионе выявил настоятельную необходимость в разработке рекомендации по совершенствованию конструкции сквозного противоселевого сооружения, воспринимающего нагрузки как от грязекаменных, так и от наносоводных селей. Для решения этой задачи необходимо проведение экспериментальных исследований.

В целом, анализ паводков и селей в регионе показал необходимость разработки новой концепции размещения гидросооружений, учитывающей в соответствие с требованиями Госпрограммы управления водными ресурсами экологическую безопасность территории, защиту от паводков и селей, комплексный характер работы ГТС, повышение эффективности использования водных ресурсов.

Возникла настоятельная необходимость в разработке новых конструкций ГТС, реализующих предлагаемую концепцию развития водных ресурсов. Это – МГЭС с “плавкой” вставкой и амортизирующие противоселевые сквозные селеуловители.

Для обоснования этих новых конструкций необходимо проведение экспериментальных исследований. При этом необходимо учитывать следующие требования:

- обеспечение надежности функционирования сооружения, его отказоустойчивости и простоты в эксплуатации;
- возможность автоматического регулирования уровня воды в верхнем бьефе за счет автоматизации процесса и использования новых “мягких” материалов;
- конструктивная простота и максимальное использование при реконструкции частей сооружения, находящихся в работоспособном состоянии, что особенно важно для сквозных противоселевых конструкций.

Только в этом случае решаются поставленные в Госпрограмме задачи:

- повышение эффективности управления водными ресурсами;
- обеспечение сохранности водных экологических систем;
- гарантированное обеспечение населения, окружающей среды и отраслей экономики водными ресурсами.

ГЛАВА 2

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К СХЕМАМ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

2.1 Концепция противопоаводковой защиты – комплексное использование ГТС

Современный этап становления и развития устойчивой экономики Казахстана характеризуется структуризацией и детализацией целевых программ, выделением ключевых задач и совершенствованием механизмов их реализации. В числе “100 конкретных шагов”, сформулированных в мае 2015г. Президентом Н.А.Назарбаевым, для реализации пяти институциональных реформ, 4 (46, 47, 48, 49) прямо или опосредованно относятся к проблемам, рассматриваемым и решаемым в диссертации. Это – введение трехступенчатого принципа получения строительного разрешения, поэтапный отказ от государственной монополии на проведение экспертизы, внедрение ресурсного метода определения сметной стоимости строительства, обеспечивающего оперативное обновление сметно-нормативной базы новыми материалами, оборудованием, технологиями, внедрение системы еврокодов взамен устаревших СНИПов, позволяющей применять инновационные технологии и материалы. Эти шаги являются реализацией ранее принятых программ, в т.ч. Государственной Программы управления водными ресурсами Казахстана, где упор сделан на повышение эффективности использования водных ресурсов и водохозяйственного

комплекса РК в целом, что подчеркивает актуальность и востребованность рассматриваемых в диссертационной работе проблем.

По оценке Госпрограммы [28] водные ресурсы Казахстана характеризуются как ограниченные по сравнению с другими государствами. Ожидаемые тенденции роста потребления воды угрожают ростом регионального дефицита к 2030-му году. Основным объемом водных ресурсов обеспечивают поверхностные воды в среднегодовом объеме 101 куб.м. Объем гарантированных водных ресурсов в настоящее время составляет 23,2 куб.м в год. При неблагоприятных климатических и трансграничных гидрологических ситуациях в перспективе прогнозируется уменьшение поверхностного стока на 11,4 куб.м в год к 2040-му году. Эффективность использования воды в Казахстане в среднем ниже, чем в сравнимых странах как по отдельным отраслям, так и по экономике в целом. Казахстану требуется 97 куб.м воды на 1000 долларов ВВП, что превышает показатели Австралии (15 куб.м), Бразилии (26 куб.м), США (31 куб.м), России (33 куб.м), КНР (67 куб.м). Несбалансированность между антропогенной нагрузкой на водные объекты и их способности к восстановлению привела к тому, что экологическое неблагополучие стало характерным для РК и представляет реальную экологическую угрозу [116,115].

В Стратегии Казахстан-2050 и Президентских Посланиях сформулированы основные задачи перед водохозяйственным комплексом. В Государственной Программе управления водными ресурсами Казахстана (утвержденной Указом Президента РК № 786 от 4.04.2014г.) отмечалось:

- тенденция роста материального ущерба от вредного воздействия паводков;
- ожидается существенный дефицит водных ресурсов в размере до 12 км³ (50% от потребности);

- низкая эффективность использования водных ресурсов в Казахстане: на 1 доллар ВВП расходуется в 3 раза больше воды, чем в России или США, и в 6 раз больше, чем в Австралии;

- методы и механизмы управления водными ресурсами нуждаются в усовершенствовании, при этом мега-проекты представляются одним из возможных путей решения проблемы.

Решение этих задач возможно только при кардинальном пересмотре сложившейся крайне неэффективной системы использования водных ресурсов и затратной, экономически необоснованной практике противопаводковой и противоселевой защиты населения при ЧС. Новая концепция использования водных ресурсов, разработка которой предусмотрена Программой, утвержденной Президентом РК, должна быть научно обоснованной, экономически эффективной и опираться на зарубежный опыт развитых стран. Крайне неблагоприятная экологическая ситуация в регионе, обусловленная глобальным потеплением (засуха в США, катастрофические осадки и паводки в Европе), накладываются на региональные водохозяйственные проблемы – огромные заборы воды на орошение в КНР из р.Иртыша и р.Или, неурегулированная ситуация в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи, связанная со строительством ГЭС в Киргизии и Таджикистане, отсутствием согласования попуска воды на орошение летом и зимой на нужд энергетики требует от РК принятия не тривиальных, хорошо обоснованных решений. Отсутствие межгосударственных согласований и решений приводит к необходимости ограничиться решениями, принимаемыми на уровне Комитета водных ресурсов Министерства природных ресурсов охраны окружающей среды и Департамента ЧС при МВД [16, 92,101,102]. Предлагаемая новая концепция развития водохозяйственного комплекса РК основывается на максимально возможном использовании потенциала малых и горных рек путем строительства каскада экологически чистых МГЭС с “плавкими” вставками, обеспечивающими экологические требования и новой конструкцией

гидроагрегата с максимальной выработкой электроэнергии на единицу стоимости (веса), а также полной автоматизацией всех процессов, включая мониторинг состояния плотин и сооружений. Противопаводковая защита базируется на использовании каскадов ГЭС на притоках, что позволяет существенно снизить максимальные расходы, растянуть (размазать) паводок во времени. Второй элемент защиты – установка временных защитных дамб в виде водоналивных сооружений из синтетических композитных материалов. Такая схема, безусловно, требует проведения постоянного мониторинга паводковой ситуации с использованием автоматических, дистанционно управляемых приборов и устройств с передачей информации путем использования современных телекоммуникационных технологий, включая спутники связи.

Всемирный экономический форум (ВЭФ, Давос, World Economic Forum) опубликовал отчет о глобальных рисках в 2016 г. и на десятилетнюю перспективу. Наибольшую обеспокоенность экспертов ВЭФ, с точки зрения вероятности, вызывают экстремальные погодные условия и крупные природные катастрофы. По оценке возможного ущерба топ глобальных рисков возглавляют климатические проблемы и неспособность человечества приспособиться к климатическим изменениям. При этом эксперты особо выделяют, ставя его на третье место в перечне глобальных рисков, водный кризис. Вероятность возникновения водного кризиса в ближайшие десять лет оценивается в 39,8%, риски климатических изменений и природных катастроф – 36,7%. Многочисленные публикации свидетельствуют об остроте проблемы. Исключительно злободневная проблема эффективного использования природных ресурсов стоит в Казахстане [129].

По нашему мнению, оптимальным решением этой проблемы будет бассейновый подход в управлении водными ресурсами, а ключевым моментом здесь является комплексное использование (энергетическое и противопаводковое) существующих и намечаемых к строительству

водохозяйственных схем и гидросооружений. Поэтому научное обоснование такого подхода становится чрезвычайно актуальным и востребованным [14].

Бассейновый подход является средством сбалансированного управления природопользованием и позволяет скоординировать деятельность отраслевых и территориальных органов в решении вопросов природопользования. Методическую основу использования этого подхода в управлении природопользованием составляет представление о речном бассейне как о сверхсложной и иерархически устроенной природно-хозяйственной системе. Системная взаимосвязь природных и хозяйственных компонентов бассейна, четкость и однозначность выделения его границ, возможность прогнозировать изменения состояния природных компонентов и комплексов бассейна, как во времени, так и в пространстве, является основой для его эффективного управления природопользованием. Традиционно бассейновый подход использовался для управления водными ресурсами и решения водохозяйственных задач во Франции, Великобритании, Канаде, США и других развитых странах. Сопряженный анализ иерархий речного бассейна и сложившейся системы административно-территориального управления составляет основу выделения уровней управления природопользованием. Разным уровням управления соответствуют определенные организационные формы, в совокупности образующие единую систему управления природопользованием в бассейне. Широкое применение этого подхода за рубежом подчеркивает его эффективность [49,73,99].

Основные элементы предлагаемой концепции развития водохозяйственного комплекса:

1. Оценка водного и энергетического потенциалы малых и горных рек, учитывающая антропогенные изменения на водосборах.
2. Основная особенность предлагаемой концепции – акцент на водохозяйственное строительство на притоках, а не в руслах основных крупных рек, обосновывается экономически. Использование распределенной

энергетики, приближающей генерацию энергии к объекту ее потребления, повсеместное применение комбинированных, возобновляемых и альтернативных энергетических источников – особенность современной энергетики, тренд ее развития.

3. Разработка схем водохозяйственного и энергетического использования малых и горных рек на основе распределенной генерации (распределенной энергетики) экономически наиболее выгодна в условиях кризиса и проведения политики импортозамещения.

4. Использование каскада малых ГЭС, оборудованных “плавкими” вставками и свободнопоточных генераторов новой конструкции, обеспечивает максимальную выработку электроэнергии на единицу стоимости (или веса) агрегата [49].

5. Внедрение системы мониторинга климатических (осадки), гидрологических, гидрометрических показателей, критериев устойчивости и работоспособности ГТС и защитных сооружений с использованием современных телекоммуникационных технологий позволит повысить достоверность разрабатываемых краткосрочных прогнозов ЧС [33,68,69, 78].

6. Разрабатываемые схемы временной (краткосрочной) защиты населенных пунктов и территорий при возникновении ЧС с максимальным использованием водоналивных защитных дамб обвалования, комбинируя их с существующими постоянно действующими ГТС, позволяют резко снизить стоимость противопаводковой защиты [21,84,85,87,108].

7. Конструкция водоналивных дамб хорошо зарекомендовала себя в США, Западной Европе, России (на Дальнем Востоке). Они обладают рядом достоинств – дешевизна, возможность быстрой установки и демонтажа, устойчивость, возможность автоматизированного и дистанционного управления, использование прочных, полученных на основе нанотехнологий синтетических материалов, и абсолютная безопасность защищаемых объектов. Тем не менее, конструкция водоналивных дамб, безусловно, будут совершенствоваться, а их стоимость – снижаться [81,38].

8. Модернизация существующих и намечаемых к строительству сквозных противоселевых сооружений, оборудование их амортизирующими элементами, снижающими динамические нагрузки и обеспечивающими их безусловную устойчивость при переливе селя через гребень сооружения, позволяет существенно уменьшить стоимость селезащитных мероприятий

Ключевой момент предлагаемой концепции – применение “временной” защиты населенных пунктов и объектов от затопления. Такой подход, хорошо зарекомендовавший себя в мировой практике защиты при ЧС, в РК не применялся. Между тем, он очень эффективен, т.к. хорошо приспособлен к особенностям возникновения ЧС в РК: внезапность появления, краткосрочность, относительная редкость (частота, вероятность) проявления, возникновение, как летом, так и в осенне-зимний период.

Особенность этой конструкции (дамбы) – она реализована в виде отдельных модулей, представляющих собой комбинацию из замкнутых, гибких, цилиндрических оболочек. Каждая из этих оболочек заполняется водой. Она имеет эластичные ребра жесткости (усиления), расположенные вдоль образующих. Эти оболочки соединены между собой внутренними ребрами в “восьмерку”. Незамкнутая гибкая мембрана жестко закреплена своей нижней кромкой к внешнему ребру “восьмерки”. Верхняя кромка мембраны соединена с поплавком, гибкие растяжки могут регулироваться по длине при помощи стропоукорачивающего устройства. Применение конструкции для временной защиты объектов чрезвычайно выгодно экономически. КазГидроПроект при составлении схем селезащиты в Заилийском и Джунгарском Алатау подчеркивал, что стоимость противоселевых сооружений, при отсутствии ЧС, каждые девять лет удваивается. Т.е. в этом случае капитальные вложения замораживаются и используются крайне неэффективно.

Потенциальные гидроресурсы Республики Казахстан оцениваются величиной 19,6 млн. квт среднегодовой мощности (182 млрд. квт.час энергии

в год), из них 4.1 млн. квт. или 35.7 млрд. квт.ч, в год приходится на малые реки. Технически возможные к использованию гидроэнергетические ресурсы оцениваются в 62 млрд. квт.ч., а экономически целесообразные - в 25 млрд. квт.ч. На юге республики имеются гидросооружения водохозяйственного назначения (ирригационные водохранилища и каналы, водоводы систем водоснабжения и т.д.), создающие условия для экономически выгодной выработки электроэнергии. Так, в Алматинской области на 35 ирригационных водохранилищах возможна установка гидроагрегатов мощностью 14,6 Мвт, в Джамбулской - на 35 водохранилищах 7,3 Мвт, в Чимкентской - на 24 водохранилищах $N = 2,7$ Мвт, Талдыкорганской - на 6 водохранилищах $N=2,1$ Мвт [64,70].

По уровню использования гидроэнергоресурсов Казахстан отстает от развитых стран: в США освоено 62,5, в Канаде 53,4, в Японии 66,6, в Швеции и Италии 74, во Франции 92%, а в Казахстане около 20%. Сдерживает развитие гидроэнергетики Казахстана стремление энергетиков к максимальному использованию гидроресурсов путем строительства высоких плотин и ГЭС с наивысшими параметрами, которые позволяют конкретные створы реки. При этом создание водохранилищ сопровождалось нежелательными побочными явлениями - затоплением земель, подтоплением территорий, обрушением берегов, изменением качества воды, пересечением путей миграции рыб, зоопланктона и др. [60,115,116,117].

Использование гидроэнергетического потенциала региона намечается с помощью каскадов традиционных и свободнопоточных малых ГЭС (МГЭС), а не путем сооружения высоконапорных ГЭС с крупными водохранилищами, как это предлагалось ранее КазНИИЭнергетики [66]. Причем суммарная установленная мощность каскадов МГЭС на семи реках – Бухтарме, Убе, Курчум, Кальжир, Ульбе, Тургусун, Громотуха, по нашим расчетам, оценивается в 1941 Мвт с выработкой 11,1 млрд. кВтч. По предложению КазНИИЭнергетики, этот потенциал можно реализовать строительством 36 крупных ГЭС установленной мощностью 2455 Мвт и выработкой 14,73 млрд.

кВтч. Мощность малых ГЭС рассчитывается, как правило, по водотоку с высокой степенью обеспеченности. Использование установленной мощности для них оценивается [12] в 6000 часов в год. Это означает, что 1 киловатт установленной мощности МГЭС вырабатывает около 6000 кВт-ч в год и способен предотвратить эмиссию CO₂ в размере: 0,77 кг*6000 кВт-ч = 4620 кг в год [58,59,61,70].

Сооружение предлагаемых МГЭС замещает электроэнергию, вырабатываемую на пылеугольных ТЭС [37,75,77,88,110,114].

Предлагаемая конструкция позволяет избежать нежелательных воздействий традиционных ГЭС на природную среду, которые, по мнению российских экологов [117,118], сводятся к следующему: ухудшение рыбохозяйственных условий, масловыбросы, промышленные стоки, переработка берегов, эвтрофирование, поступление нефтепродуктов, затопление земель, изменение флоры, подтопление участков, потеря леса, образование мелководий.

В настоящее время в странах ЕАЭС наиболее распространен новый подход к оценке воздействия водохранилищ на окружающую природную среду, основанный на анализе обмена энергией и принципах устойчивого функционирования природно-технических систем. Природно-техническая система “водохранилище – окружающая среда” рассматривается как целостная динамичная устойчиво-неравновесная система, имеющая как внутренние, так и внешние связи в пределах бассейновой системы водного объекта – реки. Уровень воздействия водохозяйственного объекта на окружающую природную среду обуславливает собой экологическую безопасность. При этом оценка эффективности водохозяйственных мероприятий осуществляется в соответствии с рейтингом экологической ответственности (в рамках проекта “Здравый смысл”), который был инициирован в 2014 г. группой CREON, Всемирным Фондом Дикой Природы

(WWF) и реализован при участии Национального Рейтингового Агентства [118,53].

Критерии рейтинга (всего их 29) сгруппированы в три раздела, оценивающие качество экологического менеджмента (управления), уровень воздействия на окружающую среду и степень доступности соответствующей информации. Так, например, критериями рейтинга являются объем затрат на природоохранные проекты, среднее удельное водопотребление, коэффициент утилизации парниковых газов и т.д. Этот рейтинг предполагается положить в основу оценки эффективности проектируемых предприятий, поскольку он содержит количественные критерии, использование которых намечено в Госпрограмме Управления Водными Ресурсами РК [53].

Летом 2015г. в пригороде г.Алматы на р.Талгар и р.Каргалинка селевые паводки, сопровождавшиеся разрушением зданий, занесением городских территорий, подчеркнули несовершенство существующей системы селезащиты и острую необходимость совершенствования как противоселевых конструкций, так и методов управления подобными системами. В связи с этим становится очевидным и понятным, почему USAID, реализующий в настоящее время проект информационно-дистанционной системы оценки рисков возникновения быстро развивающихся паводков, определил Казгидромет в качестве регионального Центрально-Азиатского центра, что свидетельствует об актуальности этой проблемы для РК.

Строительство малых ГЭС является целесообразным как с экологической, так и с экономической точки зрения.

В настоящее время в ООН разрабатываются проекты строительства малых ГЭС для более 50 слабых и развивающихся стран. Учитывая большой опыт Китая в строительстве малых ГЭС, ООН заключила с Китаем соглашение о создании в г.Хангжауе международного центра по исследованию и развитию малых ГЭС.

Целесообразность развития малой гидроэнергетики подтверждается мировым опытом гидростроительства. Широкая программа возведения ГЭС на малых реках, модернизации и восстановления действующих или заброшенных малых ГЭС реализуется в таких промышленно развитых странах, как США, Франция, Германия, Япония, Великобритания, Швейцария

В странах СНГ, в том числе в Казахстане, разрабатываются национальные программы развития малой гидроэнергетики.

Полный энергетический потенциал малых рек Казахстана оценивается величиной 38,7 млрд. кВт.ч/год. В горных хребтах Юга, Юго-востока, Востока Казахстана протекает несколько тысяч горных каньонных рек, инженерно доступный гидропотенциал которых позволяет в будущем построить каскады каньонных экологически благоприятных гидростанций суммарной мощностью около 20 000 МВт [100].

Стимулирующими факторами в строительстве малых ГЭС являются [70]:

- постоянная возобновляемость водных ресурсов;
- минимальное влияние на окружающую среду;
- низкая себестоимость электроэнергии по сравнению с тепловыми станциями;
- значительная экономия минерального топлива;
- улучшение коммунально-бытовых условий и труда людей;
- малые ГЭС не требуют длительных сроков строительства;
- низкая капиталоемкость, короткий инвестиционный цикл.

Перспективным направлением повышения эффективности использования гидроэнергоресурсов является строительство малых и мини ГЭС на небольших реках. Кроме того, можно отвести воду от арыка с помощью трубы или рукава к микро-ГЭС, установленной на 5-6 метров ниже его, и вырабатывать электроэнергию достаточную для жилого дома [30].

2.2. Новые конструкции ГТС с “плавкой” вставкой – учет экологических ограничений

Проведенный анализ катастроф и аварий на ГТС показал, что в подавляющем числе случаев причинами являются неудовлетворительная работа водосбросов и гасителей энергии в нижнем бьефе сооружений. Объекты ГТС должны оснащаться современными конструкциями независимых (возобновляемых) источников энергии (ВИЭ) для энергообеспечения приборов учета, наблюдения и реагирования в аварийных ситуациях. Поэтому чрезвычайно актуальными и востребованными являются новые современные технические решения, связанные с безаварийной работой катастрофических водосбросов и гасителей энергии [17]. Большая вероятность возникновения сейсмоселей, как это не раз было в прошлом, выдвигает в число приоритетных задач совершенствование как самих противоселевых конструкций, так и методов их динамического расчета, требует принятия нестандартных решений. Применение современных средств автоматизации и альтернативных автономных ВИЭ позволяет устранить причины возникновения чрезвычайных и аварийных ситуаций, дистанционно осуществлять мониторинг и управлять режимами работы ГТС.

Критический анализ состояния ГТС энергетического и водохозяйственного назначения показал их значительный физический и моральный износ, а выполненное в институте гидрогеологии МОН РК уточнение (увеличение) коэффициентов стока с водосборной поверхности, обусловленное антропогенным воздействием, приводит к увеличению расходов, значительно превышающих принятые при проектировании. Это несоответствие требует незамедлительной корректировки – модернизации водосбросов и гасителей действующих сооружений, обеспечения их безусловной устойчивости [11,65,67]. Проведенный анализ и натурное обследование объектов, подвергшихся воздействию паводков, позволили выявить основные причины неудовлетворительной работы ГТС [63,12]:

- недостаточная пропускная способность водосбросов, обусловленная изменениями условий формирования стока на антропогенно преобразованных водосборах, несовершенство методики расчета паводков;

- неудовлетворительная работа нижнего бьефа, что связано с несовершенством методики расчета и не учетом особенностей гидравлики нижнего бьефа;

- отсутствием надежной, обоснованной теоретически и экспериментально методики расчета противоселевых сооружений на динамические нагрузки, определяющие устойчивость как самой конструкции в момент удара, так и устойчивость нижнего бьефа при переливе селя через гребень плотины;

- отсутствие автоматизации, средств дистанционного контроля и мониторинга за состоянием сооружения.

Конструктивные особенности новой конструкции противопаводковой ГТС и МГЭС (оформлен патент на изобретение авт. П.А.Квасов, М.Б.Кошумбаев).

1) Соблюдение экологических требований – нет недопустимых затоплений В.Б. отсутствие водохранилища, паводок сбрасывается через отверстие, образуемое “плавкой вставкой” - т.е. водоналивной плотиной с клапанами впуска-выпуска воды, В.Б. регулируется автоматически контролером.

2) Новые схемы сопряжения бьефов – падающая струя соударяется водовыпуском ГЭС, образуются две вихревые зоны, струи как бы скользят по ним - её скорость описана уравнением полуограниченной струи.

Расчеты, по нашим опытам, дали хорошее совпадение, отклонение не более 10 %.

3) Новый подход к гидроагрегату – реализуется принцип не максимум локального отбора энергии, а минимум стоимости единицы энергии.

4) Полная автоматизация процесса пропуска паводка за счет использования “плавкой” вставки - водоналивной плотины из композитных материалов с клапанами впуска – выпуска воды, регулируемым контролерами.

5) Устройство МГЭС на ГТС предполагает наличие энергетической инфраструктуры (сети, трансформаторы и проч.), поэтому экономически выгодной становится установка здесь же ВЭС (новой конструкции).

6) Каскад ГЭС позволяет резко снизить максимумы паводка, срезать его пик, а автоматизация с применением дистанционных приборов учета контроля регулирования обеспечивает его безопасную работу.

Для предлагаемой новой конструкции ГТС характерны следующие элементы, которые делают ее работу экологически безопасной и выгодной (рентабельной) экономически [48]:

- соблюдение экологических требований – ограничение уровней верхнего бьефа за счет устройства “плавкой” вставки и отсутствие водохранилища;

- новая схема сопряжения потоков нижнего бьефа – отброс струи трамплином и его соударение с потоком от гидроагрегата;

- автоматизация процесса – срабатывание “плавкой” вставки при превышении уровня верхнего бьефа;

- реализуется новый принцип работы гидроагрегата – не максимум локального отбора энергии, а минимум стоимости единицы энергии. Минимальную стоимость энергии обеспечивают не те агрегаты, которые имеют максимальный КПД, а более дешевые в изготовлении и надежные в эксплуатации;

- при одинаковых строительных и эксплуатационных качествах предпочтение отдается не агрегату с максимальным КПД, а гидротурбине с максимальной среднегодовой выработкой на единицу массы или стоимости.

Ключевым элементом предлагаемой конструкции является водоналивная плотина, играющая роль “плавкой” вставки при превышении

уровня воды в верхнем бьефе - в этом случае она срабатывает, водоналивная емкость сбрасывает воду, плотина опускается и пропускает паводок при допустимых уровнях верхнего бьефа.

Защитное гидротехническое сооружение (плотина) содержит заполняемую водой гибкую цилиндрическую замкнутую оболочку 1, которая снабжена двумя эластичными боковыми ребрами 2 и 3, к эластичному боковому ребру 2 жестко закреплена незамкнутая гибкая оболочка 4, по верхней кромке которой размещен поплавок 5, заполняемый воздухом, при этом поплавок 5 снабжен эластичным боковым ребром 6, к которому закреплены гибкие связи 7, выполненные с возможностью растяжения, с противоположных боковых сторон гибкой цилиндрической замкнутой оболочки выполнены клапаны 8 для впуска и 9 для слива воды. К поплавку 5 крепится датчик уровня водяного потока 10. Во впускном 8 и сливном 9 клапанах имеются заслонки 11 и 12, соответственно. Электродвигатели 13 и 14 через редукторы 15 и 16 посредством винтовой передачи 17 и 18 производят открытие и закрытие заслонок 11 и 12. На эластичном боковом ребре поплавок 5 установлен верхний контакт 19, а на нижнем эластичном боковом ребре гибкой цилиндрической замкнутой оболочки 1 установлен нижний контакт 20. Автоматическое регулирование уровня воды осуществляется контроллером 21.

Защитное гидротехническое сооружение при установке в гидроканал работает следующим образом. Через впускной клапан 8 вода заполняет полость гибкой цилиндрической замкнутой оболочки 1. После заполнения водой гибкой цилиндрической оболочки происходит закрытие впускного клапана 8. Полость гибкой цилиндрической замкнутой оболочки 1 закачивают водой до размеров, пока вес закаченной воды перестает препятствовать сдвигу и опрокидыванию конструкции внешними нагрузками. В начальный момент подъема воды защита происходит только гибкой цилиндрической замкнутой оболочки 1. При увеличении уровня воды на поплавок 5 начинает действовать подъемная сила, заставляя всплывать

поплавков 5 вместе с незамкнутой гибкой оболочкой 4 до высоты H , обеспечиваемой гибкими связями 7 необходимой длины. При превышении уровня воды выше поплавок 5 датчик уровня воды 10 подает сигнал контроллеру 21. Контроллер 21 подает сигнал на электродвигатель 14. Электродвигатель 14, проворачивая редуктор 16 посредством винтовой передачи 18, открывает заслонку 12 для слива воды. Крайние открытое и закрытое положения заслонок 11 и 12 ограничиваются концевыми выключателями (на фигуре не показаны), которые предохраняют электродвигатели от перегрузок. Далее происходит слив воды из замкнутой оболочки 1 через клапан для слива 9. Слив воды происходит до тех пор, пока контакт 19, установленный на незамкнутой гибкой оболочке 4, не сомкнется с контактом 20. Клапан для слива 9 закрывается и одновременно происходит открытие впускного клапана 8. Происходит заполнение полости гибкой цилиндрической замкнутой оболочки 1 водой. Цикл повторяется и тем самым обеспечивается автоматическое регулирование уровня воды в гидроканале.

Предлагаемая конструкция защитного гидротехнического сооружения позволяет добиться по сравнению с прототипом повышенной надежности во время паводка и исключает за счет регулирования высоты дамбы её перегруз, а также может работать как временная преграда при паводках. Для этого данную конструкцию соединяют друг с другом в защитное гидротехническое сооружение сколь угодно большой длины.

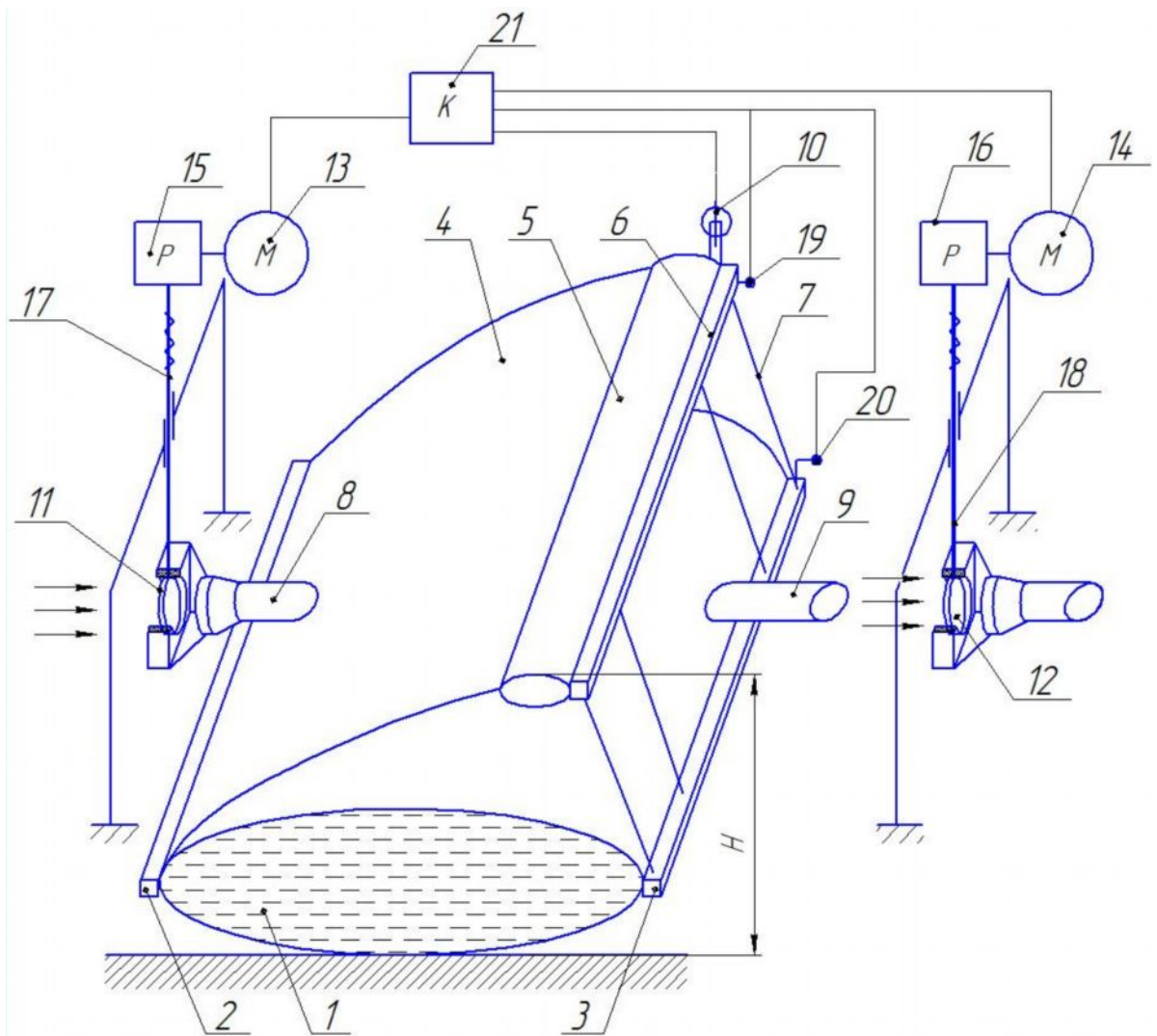


Рис. 2.1. Водоналивная плотина

Предлагаемая плотина включает береговые устои, бычок с трубой, в которой размещается свободнопоточная ГЭС, плотину – “плавкую” вставку в виде эластичной водоналивной емкости с отверстиями для заполнения емкости водой и отверстиями для выпуска воздуха и воды из емкости и флютбет. Грань водоналивной емкости со стороны нижнего бьефа снабжена несущими балками, соединенными с береговыми устоями и бычком. На рис.2.2 изображена плотина в плане, а на рис.2.3 – плотина в поперечном разрезе,

Флютбет и водоналивная емкость идут как одно целое. Емкость заполняется речной водой. Водоналивная емкость изготавливается из синтетического материала. В нее вварены клапаны для впуска-выпуска воды и воздуха. Устойчивость от возможного сдвига плотины обеспечивают

несущие балки, которые передают на береговые опоры и бычок нагрузки от давления.

Подобное оборудование пользуется большой популярностью в США, Евросоюзе и других развитых странах для защиты от паводков. Их преимущества: надежность, небольшая цена, мобильность, возможность автоматизации и дистанционного контроля, управления, мониторинга.

Устройство носка-трамплина обеспечивает сопряжение бьефов по типу отброшенной струи (рис.3.4). На конструкцию плотины с “плавкой” вставкой подана заявка на изобретение [52,62,100].

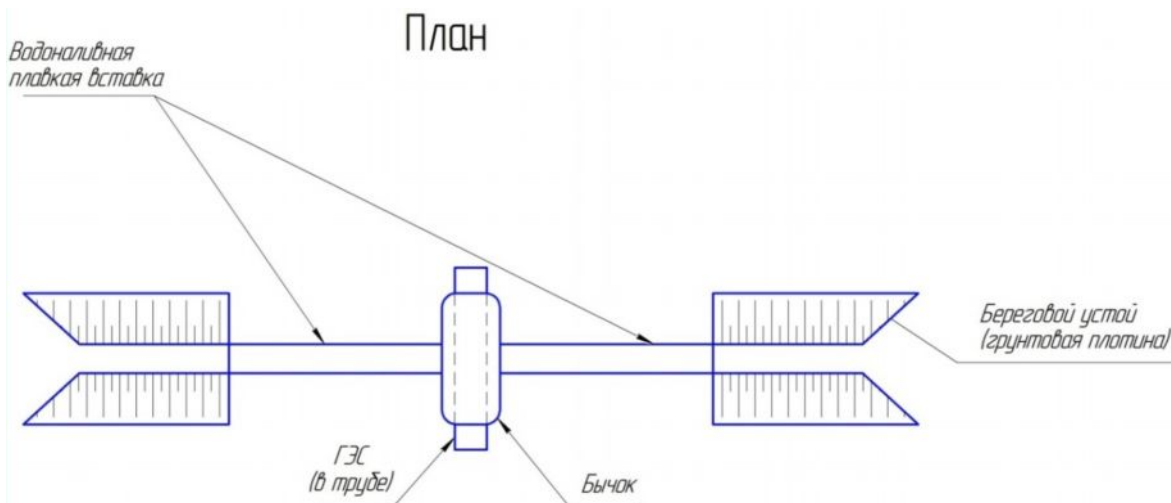


Рис.2.2

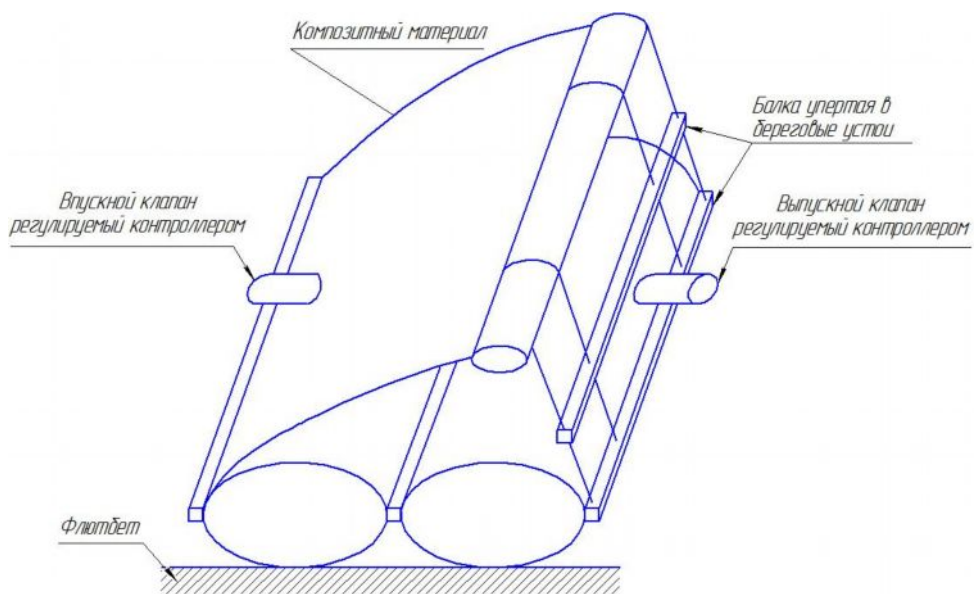


Рис.2.3

Разрез по бычку с катастрофическим водосбросом

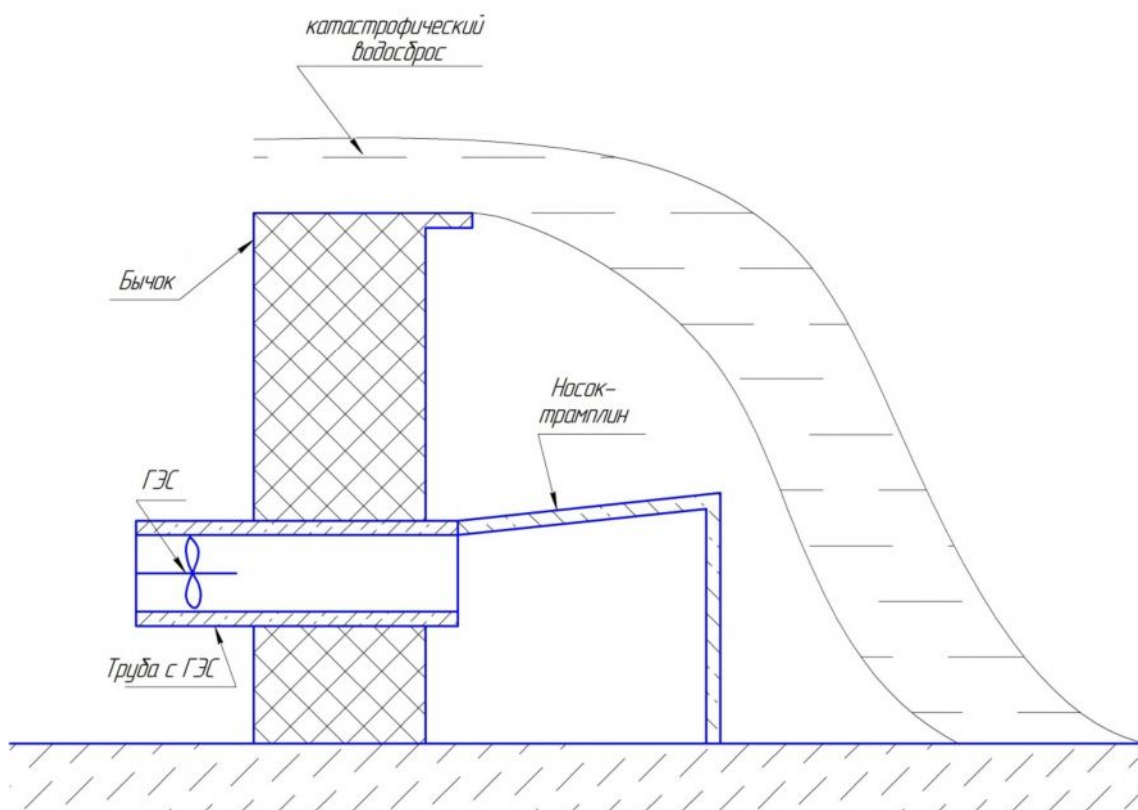


Рис.2.4

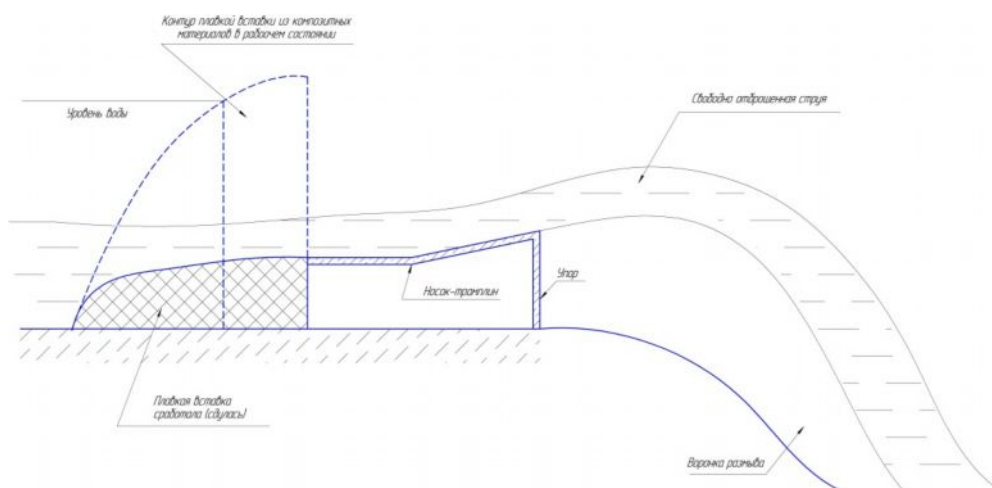


Рис.2.5

Как показали наши эксперименты, гидравлическая картина течения в нижнем бьефе плотины с плавкой вставкой и МГЭС достаточно сложна. Здесь формируются два вальца – водоворота, между которыми как бы протекает основная струя, которая и образует воронку местного размыва. Описанию потока в воронке местного размыва и расчетам параметров размыва посвящена третья глава работы.

2.3 Применение МГЭС на водохозяйственных и противопаводковых ГЭС

Проведенный анализ современного состояния проблемы показал, что в связи с ростом стоимости всех видов органического топлива, интерес к разработке типовых конструкций и дешевого стандартизированного гидротурбинного оборудования для безнапорных и низконапорных малых ГЭС резко возрос в США, Японии, Англии, ФРГ, Франции и др. В США разрабатываются типовые проекты ГЭС мощностью от 50 до 5000 кВт в десяти модификациях для использования в безнапорных режимах или при малых напорах. Кроме того, разработаны 4 типоразмера модульного энергоблока с диаметром рабочего колеса 200, 300, 400 и 600 мм. Энергоблок состоит из двух модулей: водоприемного и турбинного [100].

Оборудование для МГЭС изготавливается по традиционной схеме, аналогичной схемам крупных ГЭС, с возложением функции стабилизации

частоты на гидравлическую турбину. Гидротурбина комплектуется вспомогательным оборудованием электрогидравлическим регулятором, маслонапорной установкой, системой водяного охлаждения. Стоимость такого комплекта оборудования в настоящее время чрезмерно высока и его применение делает строительство МГЭС экономически нецелесообразным (нерентабельным).

Выбор типа турбины в значительной степени влияет на выбор генератора. В еще большей степени выбор генератора связан с выбором регулятора турбины. Регулятор осуществляет автоматический пуск агрегата в работу, изменение мощности турбины при колебаниях нагрузки путем изменения открытия направляющего аппарата или регулирующего затвора, быструю остановку турбины в аварийных условиях. На мини и микро ГЭС применяются те же виды генераторов переменного тока, что и на ветроэнергетических установках: синхронные генераторы, асинхронные генераторы, машинно-вентильные генераторные системы. В последнее время от генераторов постоянного тока практически отказываются.

Приведенный выше обзор свидетельствует, что готовых конструкций генераторов, отвечающих требованиям повышенной эффективности для плотин с “плавкой” вставкой, не существует, необходимы собственные разработки.

Как прототип предлагаемой конструкции рассматривается гидроагрегат, преобразующий энергию потока текучей среды в электроэнергию [34,103]. Данный гидроагрегат содержит прямоточную гидротурбину, генератор с ротором и статором, подводящий и отводящий водоводы, сальники и подшипники. Турбина представлена в виде цилиндрической трубы, которая может быть установлена на напорном участке потока текучей среды, в частности, водовода, и соединена с ним посредством подшипников и сальников. Внутри трубы расположены пластины с возможностью плавного обтекания потоком воды. Каждая из пластин продольной кромкой одного ребра прикреплена к внутренней стороне трубы, а продольной кромкой

другого ребра соединена с другими пластинами. Ротор генератора установлен на внешней стороне трубы и расположен в статоре генератора.

В экспериментах обнаружилось, что при больших оборотах гидротурбины возникает течь из сальника на входной части турбины, и вода попадает в подшипник. Наличие воды и повышенной влажности негативно влияют не только на безопасную работу подшипника, но и на состояние генератора, понижая тем самым надежность работы всего комплекса. Наиболее близким техническим решением к предлагаемому изобретению является подводный турбоагрегат, утилизирующий энергию приливов [28]. Он содержит горизонтальный цилиндрический кожух, с входящим в него корпусом диффузорно-конфузорной конфигурации с подводным и отводящим трубопроводом. Внутри самого корпуса расположена гидротурбина - рабочее колесо с лопастями, которая смонтирована с возможностью свободного перемещения вокруг оси вращения вала турбины, закрепленного посредством подшипников с сальниками внутри корпуса. Сами подшипники с сальниками расположены в защищенных устройствах, жестко закрепленных к цилиндрическому кожуху. Кроме того, турбоагрегат содержит электрогенератор с ротором и статором.

Однако следует отметить, что ротор со статором находятся внутри цилиндрического кожуха, куда подается поток воды, что будет отрицательно влиять на обмотку статора. В случае его замыкания доступ к статору осуществляется при полной остановке агрегата, выемки генератора из цилиндрического кожуха и отсоединения статора от ротора. Совместное расположение статора и ротора на одном вале оказывает дополнительную нагрузку на подшипники, хотя статор не вращается. Провода от статора из цилиндрического кожуха выводятся наружу, что также представляет риск замыкания проводки. Все эти особенности конструкции повышают эксплуатационные расходы и снижают надежность работы всего турбоагрегата.

Задачей предлагаемой конструкции (изобретения) является создание гидроагрегата для преобразования кинетической энергии потока текучей среды в электрическую энергию в магистральных каналах, малых реках, а также в напорных и безнапорных трубопроводах.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является уменьшение эксплуатационных расходов и повышение надежности работы гидроагрегата путем устранения течи из сальников подшипников и размещения обмотки статора вне текучей среды [50,52,62].

В данной конструкции гидроколесо, магниты и обмотка генератора, сальники с подшипниками располагаются внутри герметичной капсулы. Гидротурбина исключает фильтрацию, устраняет сопротивление (нет вкладок, прокладок), уменьшается диаметр подшипников в 10 раз.

Отличительные признаки предлагаемой конструкции:

- вращающаяся часть гидротурбины – гидроколесо с лопастями, жестко закрепленная внутри внутренней трубы, находится внутри внешней герметичной трубы, диаметры которых в несколько раз больше подающего водовода;

- внешняя и внутренние трубы меняют свой диаметр по длине;

- магниты расположены с внешней стороны внутренней трубы, а обмотка с внешней стороны внешней трубы;

- подшипники гидроколеса закреплены в подводящем и отводящем водоводах;

- сальники с подшипниками имеют небольшие размеры и расположены внутри устройств, предназначенных для завихрения потока в подающем водоводе и снижения кавитации в отводящем водоводе.

На рис. 2.6. приведена схема предлагаемой конструкции малонапорной гидротурбины, где 1 – подводящий водовод; 2 – завихритель; 3 – внешняя труба; 4 – труба гидроколеса; 5 – лопасти; 6, 9 – сальник с подшипником; 7 – магниты; 8 – обмотка генератора; 10 – плавный обтекатель; 11 – крепление

обтекателя; 12 – отводящий водовод; 13 – основание гидроколеса; 14 – ось вращения.

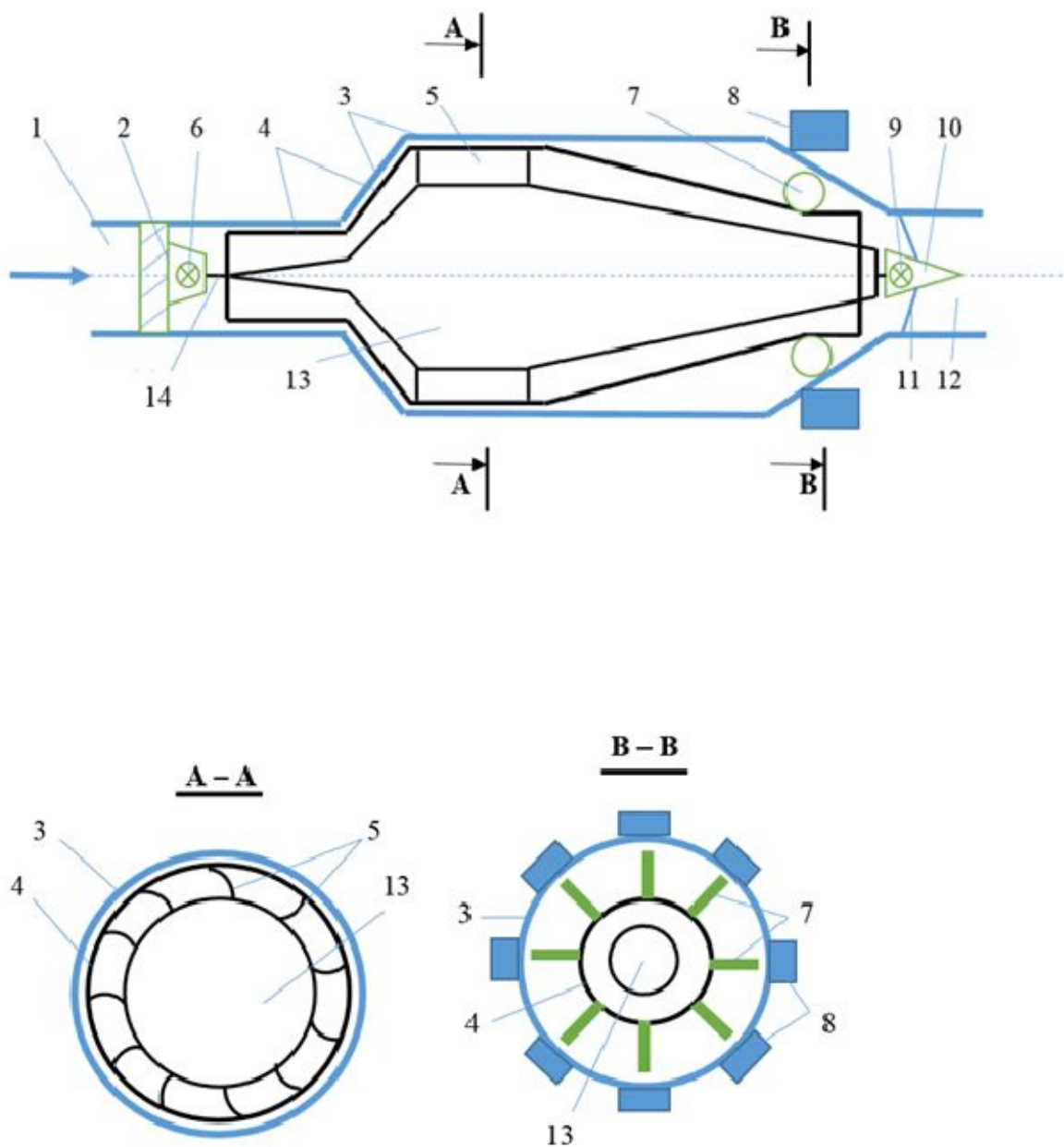


Рис. 2.6. Схема малонапорной гидротурбины

Подводящий 1 и отводящий 12 водоводы соединяются с внешней трубой 3 и представляют собой герметичную конструкцию. Завихритель 2 потока воды жестко крепится в подводящем водоводе 1. Лопасти 5 одним ребром крепятся на основании гидроколеса 13, а другим ребром жестко закреплены с внутренней стороны трубы 4 гидроколеса. Ось вращения 14 гидроколеса опирается на подшипники с сальниками 6, 9, которые находятся в завихрителе 2 и плавном обтекателе 10. На трубу гидроколеса с внешней

стороны крепятся магниты 7. Обмотка генератора 8 располагается на внешней трубе 3.

Устройство работает следующим образом. Поток, двигаясь по подводящему водоводу 1, попадает в завихритель 2, закручивается и, плавно обтекая основание гидроколеса 13, воздействует на лопасти 5, поток вращает гидроколесо вокруг своей оси 14, закрепленных в подшипниках с сальниками 6 и 9. Вращение гидроколеса приводит в движение магниты 7, которые возбуждают электрический ток в обмотке генератора 8. Из трубы гидроколеса поток поступает в отводящий водовод 12.

На рисунке 2.7. приведена экспериментальная модель малонапорной гидротурбины с количеством лопастей 9 штук.



Рис. 2.7. Общий вид лабораторной модели малонапорной гидротурбины с лопастями

Опыты проводились на экспериментальной модели малонапорной гидротурбины (рис. 2.8.), которая представляет собой подводящий и отводящий патрубки, гидротурбина совмещена с генератором, установка оборудована измерительными приборами, безнапорным баком с насосом.

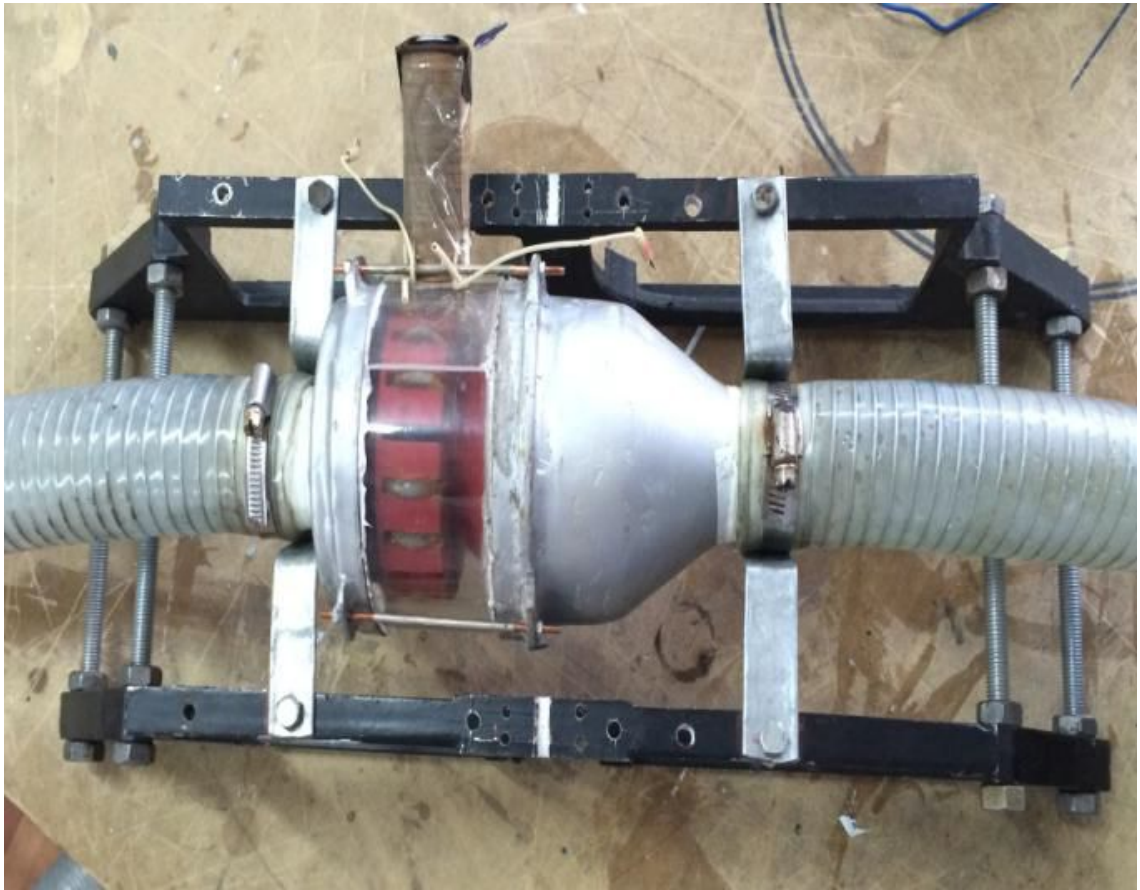


Рис. 2.8. Общий вид экспериментальной модели малонапорной гидротурбины

Экспериментальная модель состоит из малонапорной гидротурбины, напорного бака, входящей и отводящей системы трубопроводов, задвижек, соединительных фланцев, насоса и измерительных приборов.

Схема работы установки такая: насос качает воду из напорного бака по трубопроводу и подает воду через входящий водовод экспериментальной модели малонапорной гидротурбины. Под действием потока воды гидротурбина вращается, и вода из нее через отводящий водовод поступает в напорный бак. Расход воды регулировался. По полученным данным построены графики зависимости мощности гидротурбины от расхода и напора воды. Один из таких графиков приведен на рис. 2.9.

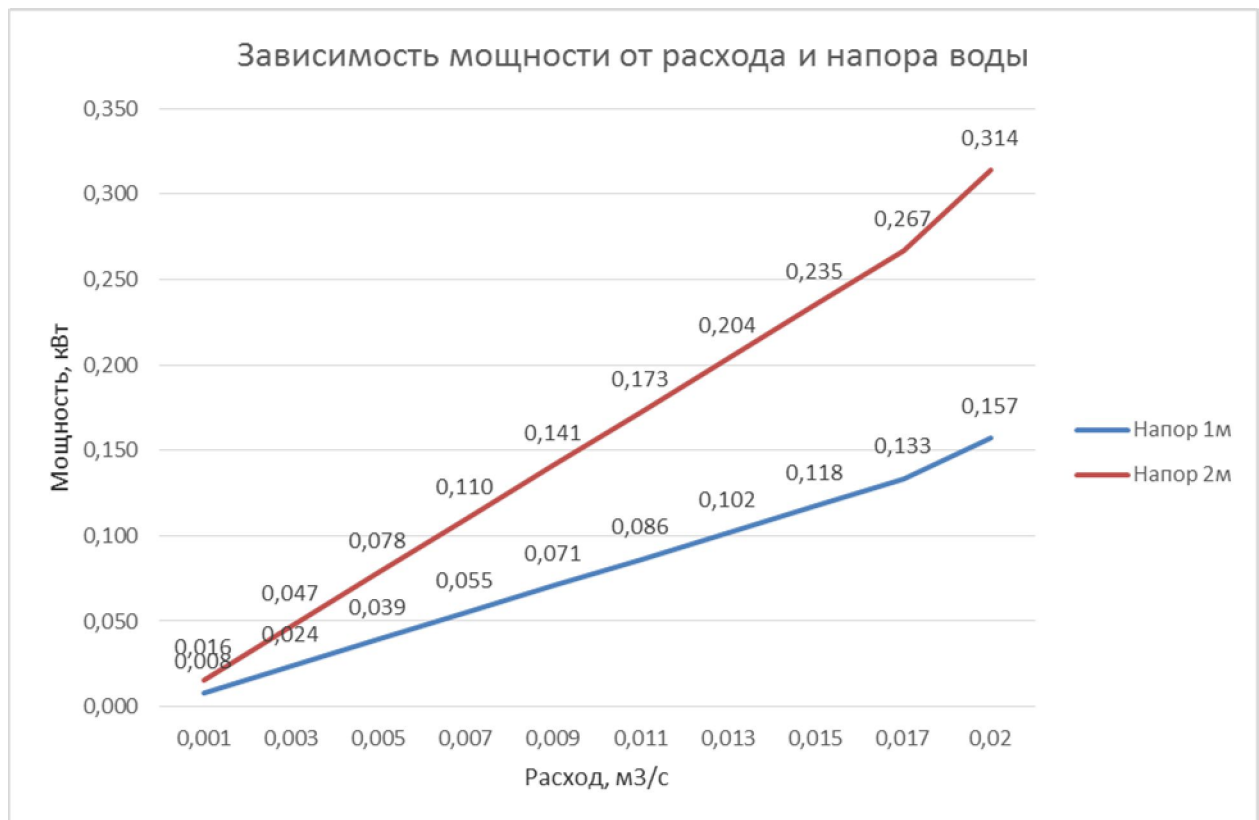


Рис. 2.9. График зависимости мощности от расхода и напора воды (при $H=1, 2$ м)

Анализируя полученные графики, при изменении расхода воды от 1 л/с до 20 л/с ($0,001 - 0,02$ м³/с) и при увеличении напора воды от 1 метра до 40 м, получили: при $H=1$ м и $Q = 0,001$ м³/с, мощность равен 0,008 кВт, и при $Q = 0,02$ м³/с, мощность равен 0,157 кВт. Увеличив напор до $H=40$ м, получили следующие данные: при $Q = 0,001$ м³/с мощность составляет 0,134 кВт, при $Q = 0,02$ м³/с мощность - 6,728 кВт.

Из полученных экспериментальных данных можно сделать тривиальный вывод: мощность гидротурбины зависит от расхода и напора воды, при увеличении расхода и напора воды увеличивается и мощность вырабатываемой электроэнергии.

Лабораторные исследования позволили подкорректировать результаты вычислительного эксперимента и усовершенствовать конструкцию. В результате изменены профили лопастей и их количество. Важным моментом

является угол атаки струи на поверхность лопасти. Струя воды направлена почти перпендикулярно к плоскости лопасти, но кривизна лопасти позволяет струе плавно сходиться с поверхности лопасти без образования вихрей. Это улучшает вращение гидроколеса, т.к. пропускная способность отводящего конфузора не уменьшается. Полученные теоретические и экспериментальные исследования при выполнении проекта «Создание опытной малонапорной гидротурбины и гидроциклонного узла для малой ГЭС» [100] позволили создать новую конструкцию малонапорной гидротурбины и оформить на нее заявку на инновационный патент.

Получен инновационный патент № 28725 от 15.07.2014 г. бюл. № 7.

Подана заявка на получение инновационного патента РК на изобретение (Гидроагрегат) от 26.02.2015 г. № 2015/0277.1

По программе COMSOL Multiphysics [4,5] был определен оптимальный вариант профиля лопастей. Для этого были проведены вычислительные эксперименты с изменением профиля лопасти и их количества. При малых уклонах лопастей обороты гидроколеса практически мало зависят от расхода воды. При больших изгибах лопастей создается дополнительное сопротивление, что снижает обороты колеса. Увеличение количества лопастей приводит к повышению оборотов, но при количестве, превышающих 9 лопастей, увеличивается сопротивление и снижаются обороты колеса. Вычислительные эксперименты также позволили определить распределение скоростей и давления, как на лопастях, так и в отводящем участке.

Новая конструкция малонапорной гидротурбины позволяет повысить надежность работы агрегата за счет устранения уплотнителей для сальников подшипников, расположенных на входной и выходной частях малонапорной гидротурбины [57,61].

2.4. Заключение по главе 2

1. Необходимость повышения эффективности водных ресурсов, предусмотренная Госпрограммой, потребовала пересмотра существующих подходов к водохозяйственному комплексу – возникла настоятельная необходимость максимального использования потенциала малых и горных рек, комплексного использования гидросооружений, как противопаводковых, энергетических, водохозяйственных. В работе предложена новая концепция водохозяйственного строительства, основанная на бассейновой системе управления водными ресурсами с акцентом на строительство объектов на притоках, а не в русле основных крупных рек; использование распределенной энергетики, внедрение системы мониторинга гидрологических и других показателей, характеризующих ситуацию, зарубежных критериев устойчивости и устойчивости ГТС; применение “временной” защиты от ЧС с использованием водоналивных дамб; модернизации существующих противоселевых конструкций путем установки амортизирующих элементов и т.д.

2. Для реализации предложенной концепции рекомендуется новая конструкция экологически безопасной ГТС с “плавкой” вставкой и МГЭС, основанной на новом подходе к гидроагрегату, когда реализуется принцип не максимум локального отбора энергии, а минимум стоимости единицы энергии при полной автоматизации всех процессов, оснащении ГТС современными КИА, дистанционными телекоммуникационными приборами и т.д.

3. Разработана новая конструкции гидроагрегата применительно к плотине с “плавкой” вставкой и МГЭС, реализующая заложенные в Концепции принципы и механизмы управления, проведены лабораторные испытания гидротурбины, получены результаты, подтверждающие ее работоспособность и хорошую эффективность.

ГЛАВА 3

МЕСТНЫЙ РАЗМЫВ ЗА НОВОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ МГЭС С ВОДОСЛИВНОЙ ПЛОТИНОЙ С “ПЛАВКОЙ” ВСТАВКОЙ

3.1 Состояние изученности местного размыва за водосбросами

Цель наших экспериментов – выяснить, как влияет на кинематику сбросного потока появление дополнительного течения от МГЭС, как в этом случае изменится расчетная схема растекания потока в воронке, каким образом в расчетах местного размыва будет учитываться сброс с МГЭС. Сбросной расход от МГЭС колеблется от 0,2 до 0,5 расхода отброшенной струи от катастрофического водосброса. Толщина (диаметр трубы МГЭС) сбросного потока МГЭС колеблется от 0,2 до 1,4 м., при ширине русла (воронки) в нижнем бьефе от 10 до 20-30 м. Таким образом, локальное поступление потока от МГЭС сказывается на распределении скоростей по глубине только вблизи этого трубчатого водосброса. Другое дело, что этот водосброс от МГЭС влияет на допустимые скорости в отводящем русле и на глубину размыва. Эти особенности конструкции учитывались нами как при проведении экспериментов, так и при обработке их результатов.

Поток, сброшенный с носка - трамплина (консоли), начальную часть пути проходит в воздухе и под углом втекает под уровень воды нижнего бьефа. Продолжая своё движение в нижнем бьефе, сбросной поток через слой воды глубиной h_6 попадает непосредственно в воронку размыва, ограниченную дном и откосами-стенками.

По мере растекания в сформировавшейся воронке скоростное поле струи деформируется, вследствие ограничивающего влияния дна и откосов воронки в струе развивается пристенный пограничный слой. Таким образом, растекание свободноотброшенной струи в нижнем бьефе гидроузла по

характеру движения можно отнести к сложному струйному течению. Упрощенная схема этого течения приведена на рис. 3.1.

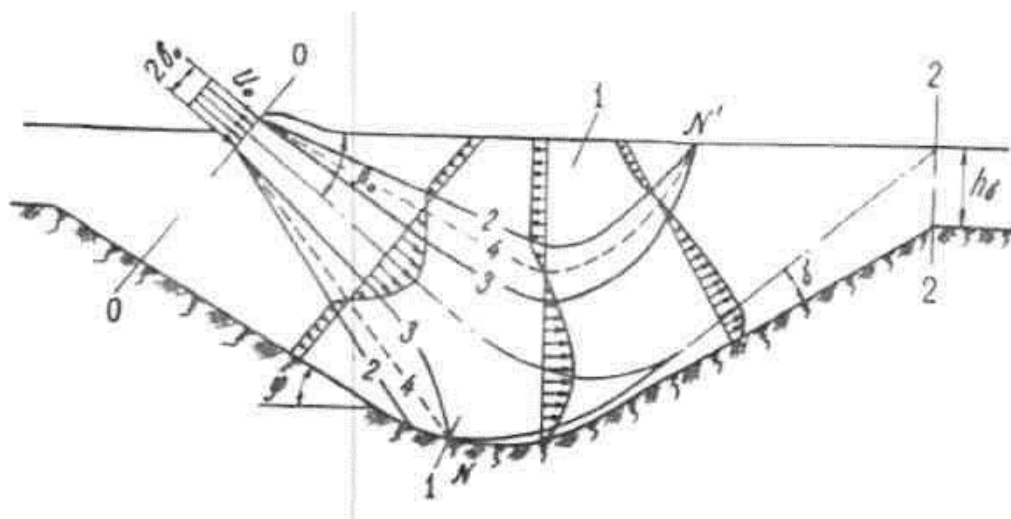


Рис. 3.1. Растекание свободноотброшенной струи в сформировавшейся воронке размыва.

На этом рисунке линии 02-04 подразделяют всю область течения на ряд характерных составных частей. Линия 04 - граница нулевых скоростей отделяет область прямого тока, прилегающую к оси струи, от областей обратных токов. В точке N линия 03 - граница транзитной струи пересекается с откосами воронки размыва; все линии тока, лежащие ниже границ 03N, являются замкнутыми кривыми и образуют нижнюю циркуляционную зону. Границей верхней циркуляционной зоны является линия 03N'. Точка N' получена как место пересечения линий 03 со свободной поверхностью воды.

Характерная особенность как верхней, так и нижней циркуляционных зон состоит в том, что скорости обратного течения в них изменяются с удалением от входного сечения. Это вызвано подсосыванием жидкости через поверхность 04 из области обратных токов в область прямых токов и, наоборот, выделением (отсосыванием) жидкости через поверхности 4N и 4N' из областей обратных токов. Наблюдается, так называемое, «поперечное» перетекание жидкости.

Кинематическая структура потока при донном режиме сопряжения бьефов изучалась Е.В. Плетневой, М.А. Михалевым, Ц.Е. Мирцхуладзе, Т.Х. Ахмедовым, А.А. Пичугиной и др. [6,40,90,91,89].

Е.В. Плетнева, обобщая собственные экспериментальные данные по размыву несвязных грунтов, установила, что падение осевой скорости вертикально падающей аэрированной струи хорошо описывается эмпирической зависимостью:

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{0.6}{0.055 \frac{x}{2B_0} + 0.32}; \quad (3.1)$$

где U_0 и U_m – соответственно скорость во входном сечении и максимальная скорость в сечении, отстоящем от входного на расстояние x ; 0,055 – экспериментальная величина.

Формула 3.1 по структуре идентична формуле для осевой скорости плоской свободной турбулентной струи и отличается от неё лишь численными значениями коэффициентов. Такой подход к решению задачи о местном размыве представляется нам несколько упрощенным.

М.А. Михалёв отмечает два фактора, определяющие, по его мнению, структуру движения струи в воронке размыва.

1. Небольшое увеличение (по сравнению с гидростатическим) давления вблизи дна воронки размыва.

2. Наличие у струи двух водоворотных зон.

М.А. Михалёвым предложено несколько расчётных формул для осевых скоростей потока. Последняя из этих формул имеет вид [91]:

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{1}{\sqrt{1+0.208 x/B_0}} \quad (3.2)$$

Здесь B_0 – ширина (толщина) струи в точке входа.

Ц.Е. Мирцхулава приводит полученные экспериментальным путём зависимости изменения осевой скорости струи:

а) ниспадающей

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{1}{0.9 + \frac{0.09x1}{B_0} + \frac{0.12x2}{B_0}}; \quad (3.3.)$$

б) восходящей

$$\frac{Uv}{Um} = \frac{1}{0,9 + 0,4 \left(\frac{z}{B}\right)^2}; \quad (3.4)$$

Обозначения x_1 и x_2 – соответственно расстояние по оси струи от входного сечения струи до основания нижнего бьефа и от основания до дна воронки размыва; z – расстояние по оси восходящей струи от точки соприкосновения ниспадающей струи с дном; B – ширина струи на расстоянии x от входного сечения $B = B_0 + 0,43x$.

Т.Х.Ахмедовым и А.А.Пичугиной теоретическим путём получены зависимости, описывающие изменение осевой скорости вертикально падающей струи, растекающейся в схематизированной воронке размыва [6].

В основу работ М.А.Михалёва, Е.В.Плетнёвой, Ц.Е.Мирцхулава, Т.Х.Ахмедова и А.А.Пичугиной положена предложенная ещё Е.А.Замариным гипотеза о растекании потока в нижнем бьефе по закономерностям движения турбулентных струй. Анализ этих и других работ показывает, что такой путь является наиболее плодотворным.

При движении водяной струи в воде можно отметить, что по мере растекания внешние зоны струи испытывают значительное торможение, струя расширяется, профили скоростей выравниваются. Между транзитной струей и окружающей массой жидкости появляется турбулентный пограничный слой, который может быть описан уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial y} \\ \frac{\partial U}{\partial x} \Big|_{\frac{\partial U}{\partial y}} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

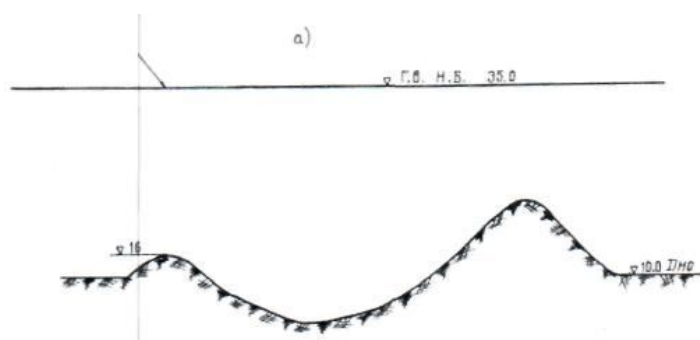
В основу настоящей работы положена гипотеза, что местный размыв прекращается, когда скорости течения на выходе из воронки размыва достигнут неразмывающих значений, т.е. в пределах воронки размыва гасится вся избыточная энергия сбросного потока. Идея связать избыточную

энергию с глубиной местного размыва не нова и впервые использовалась в работах С.В.Избаша [123].

Принятая нами гипотеза позволяет рассматривать местный размыв в несвязных, связных и скальных грунтах с одних позиций, т.к. допускаемая скорость является величиной, нормированной для всех видов грунта и способы ее определения общеизвестны.

Здесь же мы отметим некоторые особенности процесса местного размыва отброшенной струей несвязных грунтов.

1. Очертания воронки местного размыва формируются не только транзитной струей, но и нижней областью обратных токов. На рис. 3.2. приведены полученные в наших опытах стабилизировавшиеся воронки местного размыва, сформированные отброшенной струей в несвязном грунте. Здесь же приводятся и опытные данные М.А.Михалева [91]. На этих графиках отчетливо виден, как бар, сформированный транзитной струей при выносе частиц в направлении течения сбросного потока, так и бар за верховым откосом воронки, образованный областью обратных токов.



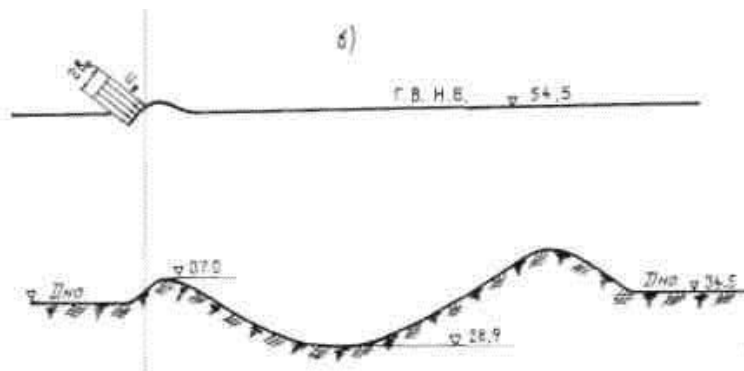


Рис 3.2. Стабилизировавшиеся воронки размыва в несвязных грунтах.

Отчётливо виден бар за верховым откосом, образованный областью обратных токов. а) опыт М.А.Михалева; б) опыт автора.

2. В процессе размыва некоторое число частиц размываемого грунта переносится потоком во взвешенном состоянии и либо выносится за пределы воронки, либо выпадает на низовой откос и дно воронки. Процесс местного размыва считается стабилизировавшимся, когда прекращается вынос частиц за пределы воронки, а между потоком и грунтом, слагающим воронку, устанавливается динамическое равновесие: количество поднимаемых потоком частиц равно количеству частиц выпадающих.

3. В стабилизировавшейся воронке местного размыва постоянно небольшое число частиц размываемого грунта находится во взвешенном состоянии. Если в процессе опыта эти взвешенные частицы изымались, то нарушалось динамическое равновесие потока с грунтом ложа, струя подхватывала новые частицы и максимальная глубина размыва при этом несколько увеличивалась. Если в процессе опыта в стабилизировавшуюся (динамически устойчивую) воронку размыва подсыпался тот же грунт, что и размываемый, то глубина размыва не менялась, а весь вновь поступивший материал выносился за пределы воронки размыва.

Эти характерные особенности размыва грунтов наклонной струей были учтены при составлении расчётной схемы растекания сбросного потока в сформированной им воронке местного размыва.

Обзор и критический анализ исследований местного размыва отброшенной и падающей струей приведены в публикациях Т.Х.Ахмедова, М.А.Михалева, Ц.Е.Мирцхулава, М.Б.Кошумбаева и А.И.Квасова, А.М.Васильева [6,17,40,89,90,91].

Течение струи после соприкосновения с дном рассматривается как движение вдоль ограниченной поверхности, т.е. полуограниченное течение [40,6]. Схема течения, образованного полуограниченной струей, растекающейся вдоль плоской стенки (движение потока на втором участке после перестройки эпюры скоростей) приведена на рис. 3.3.

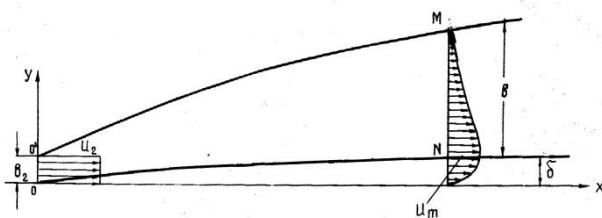


Рис. 3.3. Схема полуограниченного течения

Для определения падения по длине участка осевой скорости потока составим уравнение количества движения для контура 00'MN

$$u_2^2 b_2 - \int_0^x u_m \frac{\partial}{\partial x} \left(\int_0^{\delta} u dy \right) dx = \int_{\delta}^{\delta+\delta} u^2 dy. \quad (3.6)$$

Разделим уравнение (3.6) на u_2^2 :

$$b_2 - \int_0^x \tilde{u}_m \frac{\partial}{\partial x} \left(\int_0^{\delta} \tilde{u} dy \right) dx = \int_{\delta}^{\delta+\delta} \tilde{u}^2 dy. \quad (3.7)$$

Здесь: $\tilde{u} = \frac{u}{u_2}; \quad \tilde{u}_m = \frac{u_m}{u_2};$

Дифференцируя уравнение (3.7) по x , после несложных преобразований получим:

$$\delta \int_0^1 \frac{\partial(\bar{u}^2)}{\partial x} d\bar{y} + \bar{u}_m \delta \int_0^1 \frac{\partial(\bar{u})}{\partial x} d\bar{y} = 0 \quad (3.8)$$

Ход решения уравнения (3.8) применительно к рассматриваемому случаю подробно изложен в монографии Г.Н.Абрамовича [1]. В результате Г.Н.Абрамовичем получено соотношение, связывающее безразмерную скорость \bar{u}_m с безразмерной толщиной струи $\bar{\delta} = \frac{\delta}{b_n}$ и безразмерной координатой \bar{x} , в виде:

$$\bar{x} - \bar{x}_n = \frac{\bar{b}_n}{0,22} \left[\frac{1}{\bar{u}_m^{1,8}} - 1 \right]. \quad (3.9)$$

Здесь: \bar{x}_n - относительная абсцисса переходного сечения.

$\bar{b}_n = \frac{b_n}{b_2}$ - относительная толщина переходного сечения.

$$\bar{x} = \frac{x}{b_2};$$

По Г.Н.Абрамовичу

$$\bar{x}_n = 13,5; \quad \bar{b}_n = 2,48$$

Подставляя значения \bar{x}_n и \bar{b}_n в уравнение (3.9), получим зависимость изменения максимальной скорости затопленной полуограниченной струи в виде:

$$\frac{u_m}{u_2} = \sqrt[1,8]{\frac{11,27}{\frac{x}{b_2} - 2,23}} \quad (3.10)$$

Из решения для переходного участка следует, что в сечении ХК имеет место основной участок течения полуограниченной струи (это подтверждается и нашими опытами) с характерным для него отсутствием ядра течения и постепенным падением осевой скорости. Поэтому мы совмещаем переходное сечение полуограниченной струи (начало нового участка) с сечением ХК.

Такого рода конструктивные решения нередко встречаются в теории турбулентных струй. М.А. Михалев также прибегает к этому приему.

Формула изменения максимальной скорости для основного участка затопленной полуограниченной струи может быть получена из (3.10) путём переноса начала координат в конец начального участка струи

$$\frac{U_m}{U_2} = \sqrt[1,8]{\frac{11,27}{\frac{x}{b_2} + 11,27}} \quad (3.11)$$

3.2 Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Растекание плоской наклонной струи в ограниченном пространстве изучалось в условиях плоской задачи на двух специально построенных экспериментальных установках – малой и большой.

Малая установка представляет собой лоток из органического стекла длиной 200 см и шириной 120 мм. Коноидальный насадок, через который из напорного бака подается вода, закреплён на координатнике, и может перемещаться строго вертикально или под любым требуемым углом. На малой установке проводились опыты при напорах от 0,5 до 3,0 м, расходах от 0,5 до 7,0 л/сек и толщине струи от 1,0 до 30 мм.

Большая экспериментальная установка состоит из напорного бака, отводящего лотка длиной 10 м, шириной 50 см и 5 съёмных коноидальных насадков.

При работе с насадками большая установка позволяет проводить опыты при напорах от 0,6 до 5,0 м, и расходах от 15 до 100 л/сек, толщине струи 10 мм и углах наклона 15°, 25°, 35°, 45°, 60°.

Стенки лотка в зоне растекания струи выполнены из оргстекла, причем одна из них снабжена пьезометрами и отверстиями (закрытыми при проведении эксперимента) для установки пьезодатчиков. Общий вид экспериментальных установок приведен на рис. 3.4 и 3.5. На этих установках изучалось растекание потока в размываемом грунте и в схематизированных жестких (неразмываемых) воронках.

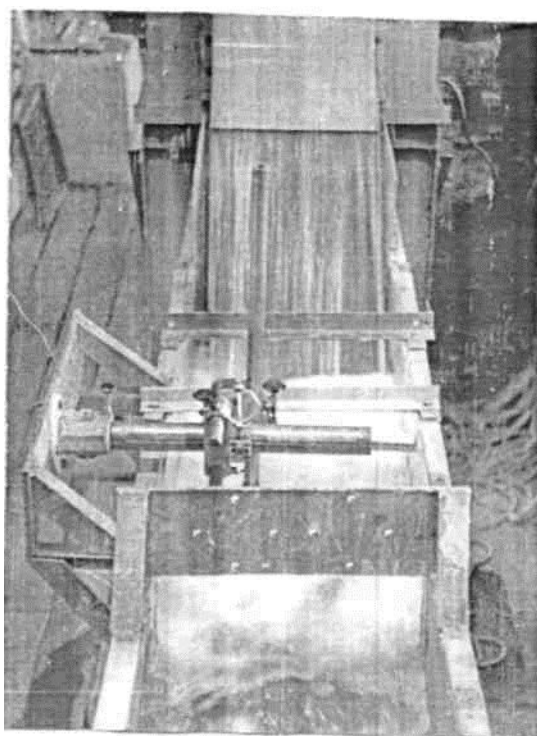


Рис. 3.4. Общий вид большой экспериментальной установки

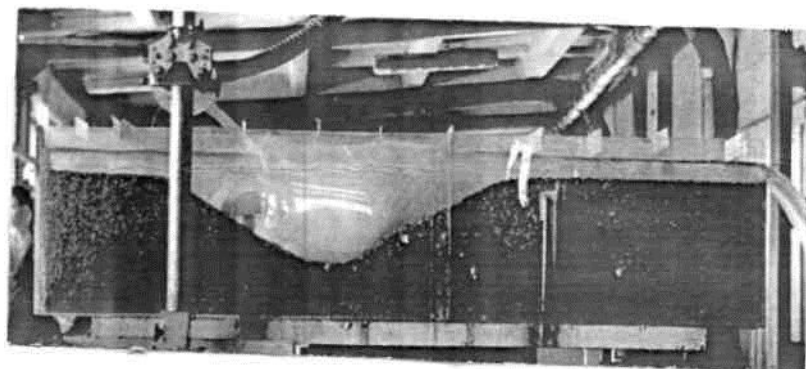


Рис. 3.5. Общий вид малой установки

В процессе опытов измерялись скорости течения, давление на дно воронки и стенки лотка.

Для измерения скоростей течения сбросного потока в воронке размыва применялись цилиндрические гидродинамические трубки, микровертушка.

Принцип действия микровертушки основан на зависимости скорости вращения крыльчатки ротора от скорости обтекающей её жидкости. Частота и амплитуда возбуждаемого электрического сигнала зависят в свою очередь от скорости вращения ротора. Таким образом, в микровертушке преобразуется кинетическая энергия потока в электрический сигнал. Схема микровертушки приведена рис. 3.6.

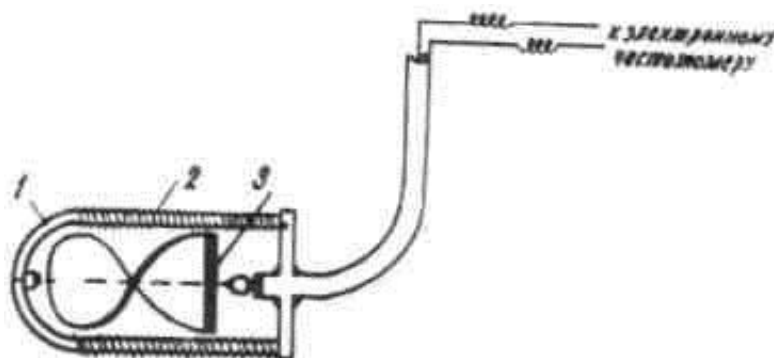


Рис. 3.6. Схема микровертушки. 1 – обод; 2 – обмотка; 3 – магнитный стержень.

На обод микровертушки намотана обмотка из провода ПЭВ-2 диаметром 0,08 мм. Концы обмотки подсоединяются к электронному частотомеру. В пластмассовую крыльчатку-ротор впрессовывается постоянный магнит-стержень диаметром 0,5 мм и длиной 8 мм. Частота возбуждаемого сигнала фиксируется вторичным прибором - частотомером, шкала которого проградуирована в единицах скорости и имеет три диапазона: 0-30, 0-90 и 0-270 см/сек. Тарировка гидродинамических трубок и микровертушек производилась на специальном стенде, обеспечивающем равномерное распределение скоростей в мерном сечении.

Методика проведения экспериментов и основные приемы обработки результатов измерений:

а) скорости течения

Осредненные скорости течения измерялись цилиндрической гидродинамической трубкой, жестко закрепленной в специальном координатнике. В процессе опытов заметная погрешность в измерении скоростей трубкой отмечалась лишь в области нулевых скоростей и в зоне искривления динамической оси струи при входе под уровень воды. По-видимому, здесь на точность измерения скоростей гидродинамической трубкой оказывает влияние повышенная начальная турбулентность потока. Чтобы исключить это влияние, измерение скоростей производилось и микровертушкой, которая также крепилась на координатнике.

Результаты измерения скоростей в толще потока и в пристенном слое представлены в относительных координатах (безразмерных параметрах), для удобства их сопоставления с расчетами по зависимостям, теории турбулентных струй.

Кинематические и динамические характеристики плоской струи

б) распределение скоростей по глубине потока.

В теоретических выкладках на первом участке растекания в зоне интенсивного турбулентного перемешивания и на втором участке для внешней зоны полуограниченного течения вдоль плоской стенки, было принято распределение скоростей в сечении по универсальной зависимости Шлихтинга. Для проверки этого положения опытные точки, полученные в пределах рассматриваемых зон, нанесены, как это принято в теории струй, на график, по оси ординат которого отложены безразмерные значения

избыточной скорости $\frac{\Delta U}{\Delta U_m} = \frac{U - U_H}{U_m - U_H}$; по оси абсцисс – безразмерные ординаты, каждая из которых представляет собой отношение расстояния от оси до данной точки к расстоянию от оси до такой точки, в которой скорость равна полусумме крайних значений. На рис. 3.7. теоретическая зависимость

сопоставляется с опытными данными автора, относящимися к зоне смешения на первом участке растекания струи. Эти опытные данные свидетельствуют, что безразмерные профили скорости в плоской струе, растекающейся в воронке и граничащей на первом участке с обратными токами жидкости, универсальны и удовлетворительно описываются зависимостью Шлихтина. На рис. 3.8. наши опытные точки, относящиеся к внешней зоне полуограниченного течения на втором участке, нанесены на график

$$\frac{U - U_H}{U_m - U_H} = f\left(\frac{y - \delta}{y_c - \delta}\right)$$

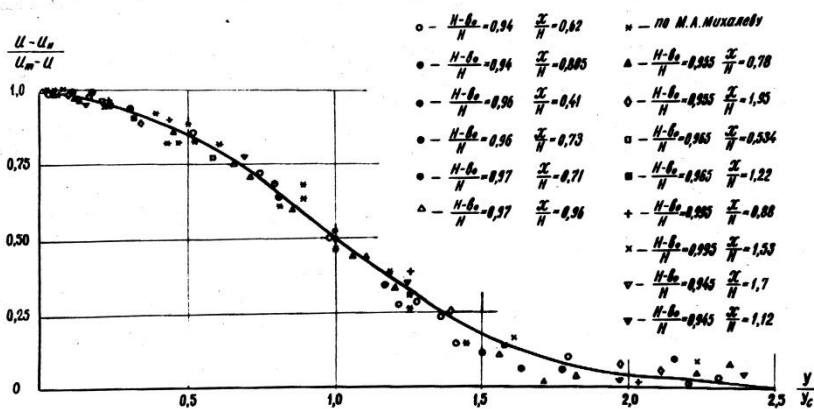


Рис. 3.7. Сопоставление теоретической зависимости с опытными данными $\frac{\Delta U}{\Delta U_m} = f\left(\frac{Y}{Y_c}\right)$ (1 участок).

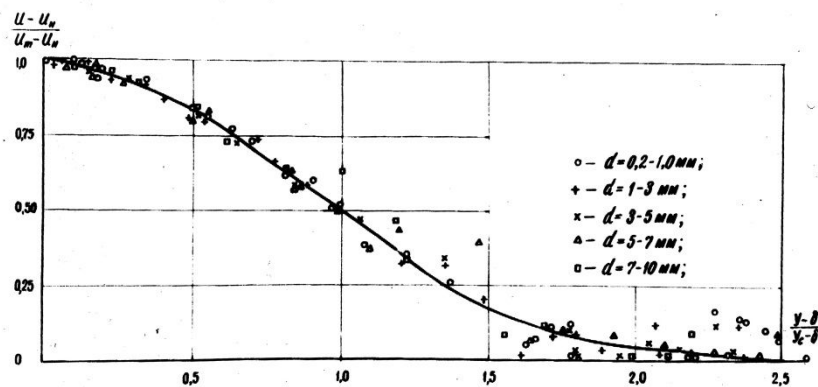


Рис. 3.8. График $\frac{\Delta U}{\Delta U_m} = f\left(\frac{Y - \delta}{Y_c - \delta}\right)$ (2 участок, внешняя зона)

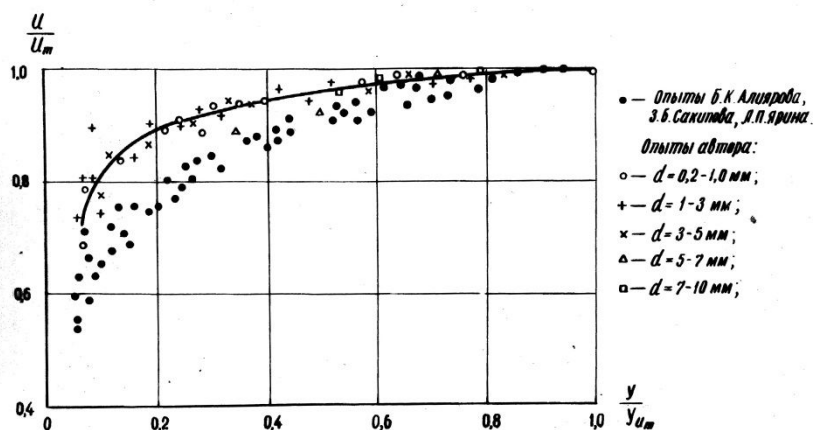


Рис. 3.9. Зависимость $\frac{U}{U_m} = f\left(\frac{y}{y_{Um}}\right)$ (2 участок пристенный слой)

Здесь же для сравнения нанесен теоретический профиль, соответствующий формуле Г.Шлихтинга. Как видно из рис. 3.7. экспериментальные точки удовлетворительно аппроксимируются зависимостью Г.Шлихтинга.

Приведённые выше результаты экспериментального изучения растекания наклонных струй в сформированных ими воронках размыва подтверждают правильность исходных теоретических положений.

Влияние потока от МГЭС на кинематику 1-го участка сводится к локальному увеличению “подсасывания” из зоны обратных токов к основному течению, как бы усиливая “поперечное” перетекание и увеличивая размеры нижней циркуляционной зоны. При этом незначительно смещается ось основного “прямого” течения. Характер распределения скоростей, их соответствие зависимостям Шлихтинга не меняется (рис. 3.7, 3.8, 3.9).

Полученные нами экспериментальные результаты довольно тесно аппроксимируются зависимостями теории пограничного слоя. Это дает основание использовать для расчёта растекания сбросного потока в воронке местного размыва эти зависимости.

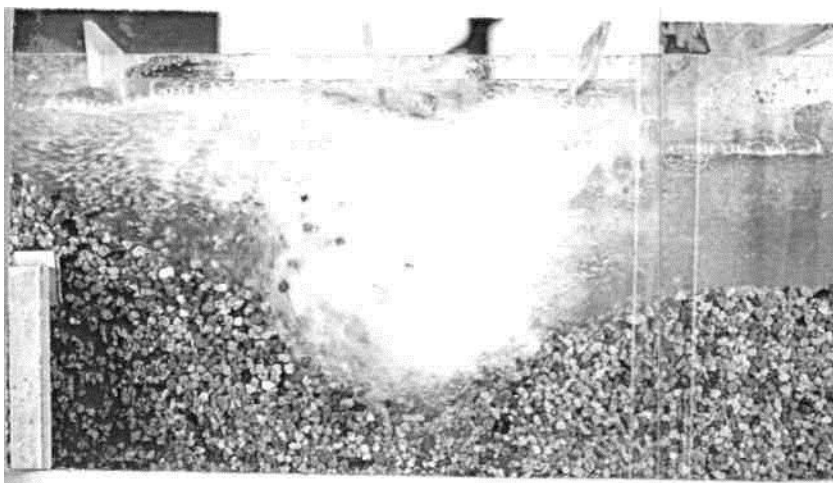
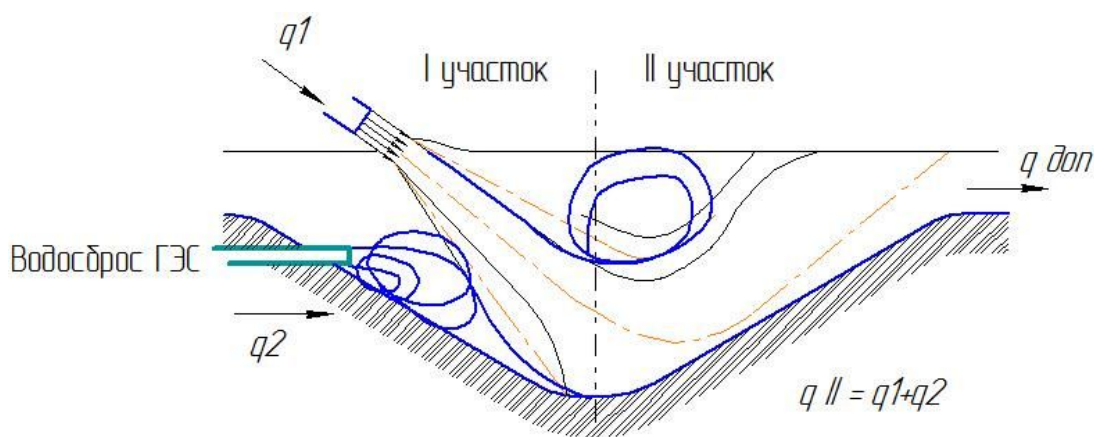


Рис. 3.10. Фотография процесса размыва.

3.3 Основные результаты экспериментов: картина течения в нижнем бьефе, расчетная схема

Как показали наши эксперименты, гидравлическая картина течения в нижнем бьефе плотины с плавкой вставкой и МГЭС достаточно сложна. Здесь формируются два вальца – водоворота, между которыми как бы протекает основная струя, которая и образует воронку местного размыва (рис. 3.11).



I участок – растекание за уступом
 II участок – полуограниченная струя

*Расчетная схема растекания
 струи в воронке*

Рис. 3.11.

Мы наблюдаем как бы два участка протекания струи. Первый – между вальцами – водоворотами, второй – полуограниченное течение вдоль низового откоса воронки размыва. Нами предлагается методика расчета местного размыва отброшенной струей, учитывающая особенности предлагаемой конструкции и наличие МГЭС и модернизирующая разработанную ранее в КазНИИЭ под руководством Т.Х.Ахмедова методологию.

Схема решения (математического описания) сложного струйного течения в воронке местного размыва выглядит следующим образом.

1. Используя найденные из экспериментов распределения скоростей потока по глубине, составляем уравнения количества движения и расхода для нижней половины струи. Решение этих уравнений позволяет найти длину первого участка – растекание за уступом. Изменение осевой скорости прямого потока, протекающего между двух циркуляционных (водоворотных) зон находим из решения уравнения количества движения для верхней половины струи на первом участке.

2. Описание струйного течения на втором участке получено из решения уравнений полуограниченной струи.

3. Полученные в экспериментах универсальные эпюры распределения скоростей позволяют путем введения “фиктивного” потока и решения для него уравнений количества движения и неразрывности осуществить стыковку полученных решений для первого и второго участков.

4. Полученные в экспериментах данные – асимметричность водоворотных зон за счет притока от МГЭС, изменение оси растекающего потока – смещение его от откоса воронки в центр, учет “подсасывания” жидкости из сбросного потока от МГЭС в циркуляционную зону приводит к усложнениям достаточно громоздкой расчетной схемы, её “навороченностями” дополнительными элементами. Выход - или дальнейшее усложнение расчетной схемы, что делает её мало пригодной для практических инженерных расчетов, или упрощение схемы при сохранении

точности, удовлетворительной для инженерных расчетов. Второй путь представляется нам единственно верным. В упрощенной расчетной схеме, следуя М.С.Вызго, рассматриваем протекание сбросного потока между двумя вальцами (циркуляционными зонами) – нижней, состоящей из растекания за уступом и потока МГЭС, верхней – верхняя половина течения за уступом и внешняя часть полуограниченного течения.

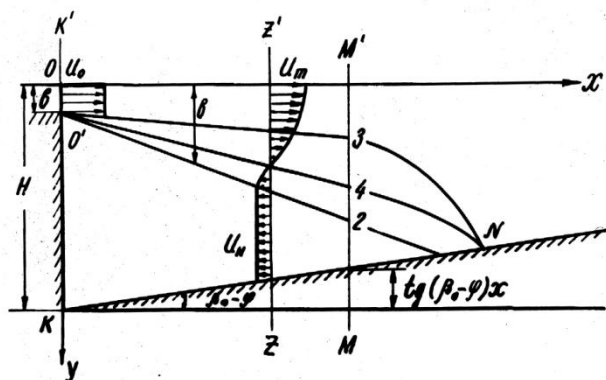


Рис. 3.12. Кинематическая схема движения на первом участке (нижняя половина струи)

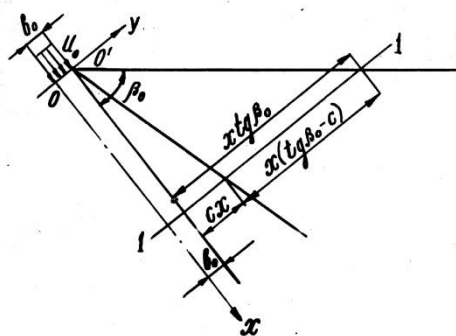


Рис. 3.13. Кинематическая схема движения на первом участке (верхняя половина струи)

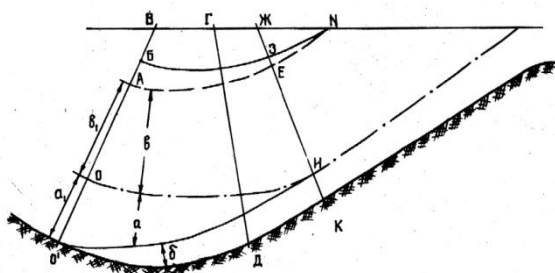


Рис. 3.14. Схема течения на втором участке (полуограниченная струя)

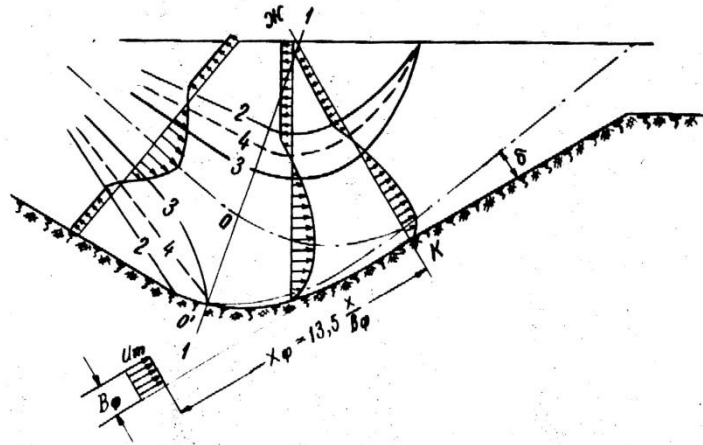


Рис. 3.15. Схема стыковки независимых решений путем введения фиктивного потока

Реализация изложенного подхода к описанию гидравлики потока в воронке размыва приводится ниже.

Решая совместно первые два уравнения системы (3.5), получим зависимость безразмерной толщины пограничного слоя b^* от безразмерной скорости m_n :

$$m_n^2 \left\{ u_m \left[1 - 0,584b^* - \frac{xtg(\beta_0 - \varphi)}{H} \right] \right\} + m_n \left[b^* (0,268u_m + 0,45) - 1 + \frac{xtg(\beta_0 - \varphi)}{H} \right] + b^* (0,316u_m - 0,45) = 0 \quad (3.12)$$

где $b^* = \frac{b}{H}$; $m_n = \frac{u_n}{u_m}$; $u_m = \frac{u_m}{u_0}$; u_0 — скорость во входном сечении.

Для решения уравнения (3.12) необходимо знать относительную осевую скорость u_m . Выражение для u_m получим из уравнения количества движения для верхней половины струи на первом участке.

$$u_m = \frac{1}{\sqrt{\frac{b}{b_0} \left\{ m_b^2 \left[0,416 + \frac{xtg(\beta_0 - c)}{b} \right] + 0,268m_b + 0,316 \right\}}} \quad (3.13)$$

где $m_b = \frac{u_b}{u_m}$; u_b – скорость обратного тока в верхней циркуляционной зоне, направленная навстречу вектору продольной составляющей скорости в струе; C — “константа турбулентности”.

Значения m_b в функции от x находятся при совместном рассмотрении уравнений, количества движения и расхода для верхней половины струи. Подставляя найденное из (3.13) значение \bar{u}_m в (3.12), решаем это квадратное относительно m_b уравнение. Один из действительных корней этого уравнения при значениях x близких к входному сечению струи стремится к нулю, второй - к бесконечности. Физический смысл имеет только первый корень, используя который можно построить график функции $m_n = \varphi(x)$. Безразмерные координаты границ циркуляционной зоны (нижняя половина струи) $\frac{y_3}{b}$ и $\frac{y_4}{b}$ в зависимости от m_n определяются соответственно из уравнения расхода циркуляционной зоны и зависимости Шлихтинга.

$$-m_n = \frac{b^* [(m_n - 1)(0,25\xi_3^4 - 0,8\xi_3^{2,5}) + 0,55m_n - \xi_3 + 0,45]}{1 - b^* - \frac{\text{tg}(\beta_0 - \varphi)x}{H}} \quad (3.14)$$

$$\xi_4 = \left(1 - \sqrt{\frac{-m_n}{1 - m_n}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.15)$$

где $\xi_3 = \frac{y_3}{b}$; $\xi_4 = \frac{y_4}{b}$ – относительные ординаты.

В теории турбулентных струй, длина циркуляционной зоны определяется как сумма длин двух частей. Концом первой части считается сечение MM' , в котором расход циркулирующей жидкости достигает максимальной величины. Для определения длины первой части циркуляционной зоны Г.Н.Абрамович предложил три гипотезы, основанные на равенстве в сечении

MM' в прямом и обратной токах циркуляционной зоны соответственно 1) средних скоростей течения; 2) количества движения; 3) кинетической энергии.

Отмечается, что предпочтение одной из гипотез может быть отдано лишь после сопоставления теоретических расчетов с экспериментом.

Проведенные нами эксперименты показали, что наилучшее совпадение с опытами даёт гипотеза о равенстве количества движения прямого и обратного тока циркуляционной зоны. Эта гипотеза и используется в дальнейших построениях.

Длина второй части циркуляционной зоны, где происходит поворот струйного течения от прямого тока к обратному, определяется методом конформных отображений. Получено, в частности, что с изменением безразмерной толщины циркуляционной зоны в диапазоне от 3,0 до 10,0 безразмерная длина l_2/h колеблется от 1,05 до 0,71.

$$H_1 = H - x \operatorname{tg}(\beta_0 - \varphi); h = H_1 - y_4$$

Движение потока в воронке местного размыва на втором участке, ограниченном сечениями 1-1-2-2 на рис.3.14, рассматривается как растекание полуограниченной струи. В теории струй полуограниченным называется струйное течение в пространстве, ограниченном с одной стороны какой-либо поверхностью. В нашем случае этой поверхностью будут дно и откосы воронки размыва. Профиль скорости в поперечном сечении такой струи несимметричен, условно всю струю можно разделить по линии проходящей через точки, в которых скорость в сечения максимальна, на две области; пристенную и внешнюю по отношению к линии раздела. По мере продвижения струи толщина пристенного пограничного слоя растет. В области, являющейся внешней по отношению к границе раздела струи, г.е. вдали от стенки, влияние твердой поверхности сказывается очень незначительно, поэтому свойства течения здесь приближаются к свойствам свободной струи.

В начале второго участка происходит перестройка поля скоростей - от эпюры, характерной для растекания струи при внезапном расширении потока, описываемой в зоне смешения универсальной зависимостью Шлихтинга, к эпюре, характерной для полуограниченного течения вдоль плоской стенки. Проведенными нами экспериментами обнаружена некоторая аналогия между полями скорости в поперечных сечениях по длине второго участка и в сечениях свободной струи. Установлено: протекание потока происходит таким образом, что поле скорости в поперечном сечении представляет собой как бы центральную, ограниченную пристенным пограничным слоем часть универсальной кривой, выражающей безразмерное поле в соответствующем сечении свободной струи. Эпюра скоростей в пристенном пограничном слое толщиной δ удовлетворительно описывается степенной зависимостью. Наличие универсальности полей скорости в различных сечениях потока дает возможность составить интегральные зависимости сохранения количества движения и неразрывности и определить параметры потока в любом поперечном сечении.

Для определения характеристик потока на втором участке в зоне перестройки эпюры скоростей используются уравнения количества движения и расхода, а также уравнение оси струи и законы нарастания толщины струйного и пристенного пограничных слоев.

В результате получено однородное дифференциальное уравнение в виде

$$k_1 n dx + k_2 n dx + k_3 n dx = 0 \quad (3.16)$$

где $n = \frac{1}{m_b} = \frac{u_m}{u_b}$; k_1, k_2, k_3 - некоторые известные функции параметра n_1 и x

величина n_1 относится к сечению I-I и находится из решения для первого участка.

Уравнение (3.16) с помощью интегрирующего множителя сводится к уравнению в полных (точных) дифференциалах. Его решение имеет вид

$$\ln \frac{k_1 h + x(k_2 + k_3)}{k_1 h_1 + x(k_2 + k_3)} + \frac{k_2}{k_2 + k_3} \ln \frac{h}{h_1} \left[\frac{k_1 h_1 + x(k_2 + k_3)}{k_1 h + x(k_2 + k_3)} \right] + \frac{k_3}{k_2 + k_3} \ln \frac{k_1 h_1 + x(k_2 + k_3)}{k_1 h} = 0 \quad (3.17)$$

Уравнение (3.17) решается подбором: для заданного значения x (в пределах зоны перестройки эпюры скоростей) находится соответствующее ему значение h_1

Практически наибольший интерес представляют сечения в конце зоны перестройки эпюры скоростей. Для этого случая решение можно существенно упростить, заменяя функции k_1, k_2, k_3 их приближёнными значениями. Решением этого уравнения будет функция следующего вида:

$$h = \sqrt{\frac{k_4 h_1^2 + k_5 x^2}{k_4}} \quad (3.18)$$

Здесь: k_4 и k_5 - известные приближенные функции h_1 и x .

Изменение осевой скорости потока по длине второго участка после перестройки эпюры скоростей получено из совместного рассмотрения уравнения количества движения и зависимостей изменения толщины струйного и пристенного пограничных слоев в виде:

$$\frac{u_m}{u_{m_1}} = \sqrt[1.8]{\frac{11,27}{\frac{x}{b} + 11,27}} \quad (3.19)$$

Здесь: u_m — осевая скорость на втором участке после перестройки эпюры скоростей; u_{m_1} — осевая скорость в сечении, где заканчивается перестройка эпюры скоростей.

Анализируя возможности совместного использования полученных независимых решений для первого и второго участков течения струи в воронке, отметим, что решение для зоны перестройке эпюры скоростей (начальная часть второго участка) органически связано с решением предшествующего первого участка. Стыковка независимых решений для зоны перестройки и основного участка полуограниченного течения

выполняется с помощью «фиктивного» потока. В рассмотрение вводится фиктивное сопло с прямоугольным профилем скорости на срезе. Течение, образованное струей жидкости, вытекающей из фиктивного сопла, называется фиктивным.

Скорость на срезе сопла принята равной максимальной (осевой) скорости в сечении а-а, где заканчивается переформирование поля скоростей. Эта скорость находится расчетом из рассмотрения предыдущего участка (зоны перестройки эпюры скоростей). Расстояние, на которое удален срез фиктивного сопла от сечения а-а, равно длине начального участка полуограниченного течения. Высота фиктивного сопла $2b_{\phi}$ находится из условия равенства действительного расхода прямого тока в сечении а-а расходу фиктивного течения. Приведенное решение позволяет рассчитать поле скоростей в любом поперечном сечении по длине траектории сбросного потока от входа под уровень воды до выхода в отводящее русло.

При анализе растекания потока в воронке размыва возникает вопрос о целесообразности отдельного рассмотрения полуограниченного течения на криволинейном и прямолинейном участках. Длина криволинейного отрезка траектории (зоны переформирования эпюры скоростей) составляет $1/6 - 1/15$ часть общей длины второго участка. В то же время параметры течения на этом участке находятся подбором, что делает расчет громоздким и трудоемким. Одним из возможных путей упрощения решения является предположение о пренебрежимо малом влиянии особенностей течения на криволинейном участке на окончательные результаты расчета. В соответствии с этим допущением криволинейный отрезок траектории заменяется равным по длине отрезком течения вдоль плоской стенки. В этом случае сечение, в котором "стыкуется" решения для первого и второго участков совмещается с концом первого участка, а "сращивание" полученных решений выполняется в следующем порядке. Определяется длина первого участка и соответствующая конечному сечению (I-I на рис.3.14) осевая

скорость u_{m_1} , которая одновременно является и максимальной осевой скоростью в начальном сечении основного участка полуограниченного течения. Как и в предыдущем случае, в рассмотрение вводятся фиктивное сопло. Высота этого сопла находится из равенства расхода фиктивного потока расходу прямого тока в сечении I-I. Расход прямого тока жидкости в сечении I-I состоит из расхода нижней половины струи, равного половине транзитного расхода и расхода верхней половины струи, включающего, кроме транзитного, присоединенный из области верхней водоворотной зоны циркулирующий расход

$$b_\phi = \frac{u_0 b_0 + 0,7 u_{m_1} \xi_4 b_1}{2 u_{m_1}} \quad (3.20)$$

где

$$\xi_4 = \left(1 - \sqrt{\frac{-m_b}{1 - m_b}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.21)$$

Подставляя найденное значение b_ϕ в уравнение (3.19), определяем осевую скорость в любом сечении в пределах второго участка и, в частности, в конце его - на выходе в отводящее русло. В сочетании с принятыми зависимостями распределения скоростей в поперечном сечении (универсальная зависимость Шлихтинга для внешней зоны и степенная зависимость для пристенного слоя) полученное упрощенное решение полностью описывает картину течения на втором участке растекания струи.

Отметим, что приведенный метод расчета кинематических характеристик свободноотброшенной струи, растекающейся в созданной ею воронке размыва, основан на полуэмпирической теории свободной турбулентности Л.Прандтля. В окончательные расчетные зависимости входит одна постоянная "с" - "константа" турбулентности. Величина этой постоянной обычно находится из опытов. Для случая циркуляционной зоны в соответствии с рекомендациями Г.Н.Абрамовича и нашими опытами принято $c = 0,3$. На втором участке для внешней зоны полуограниченного течения $c =$

0,22, т.е. равна той величине, которая обычно принимается в теории турбулентных струй жидкости и газа.

Приведенная выше “точная” схема описания гидравлики потока в воронке и соответствующая ей строгость решения приводит к его чрезмерной перегруженности расчетными формулами. В то же время полученная на основе экспериментов физическая картина (модель) протекания струи может быть описана упрощенно, выделяя главные особенности этого сложного течения – протекание потока между двух водоворотных зон с различными граничными условиями: гладкая поверхность на первом участке и шероховатая на втором. Избегая сложных теоретических построений, связанных с переходом от первого ко второму участку, введение фиктивного сопла и т.п. рекомендуется упрощенный инженерный метод расчета местного размыва (рис. 3.16).

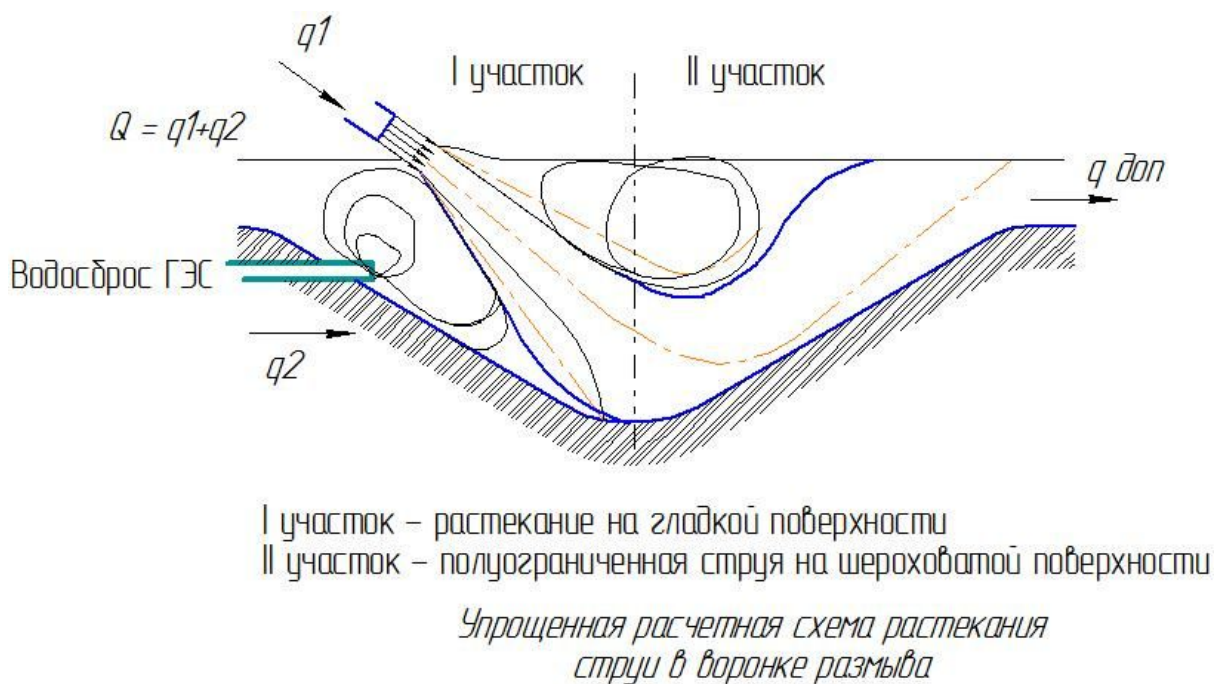


Рис. 3.16.

В упрощенном варианте имеем растекание потока на двух участках: первом – движение полуограниченной струи вдоль гладкой поверхности, сформированной верхней границей циркуляционной зоны, втором – движение полуограниченной струи вдоль шероховатой поверхности, сформированной откосом воронки размыва. В упрощенном варианте

расчетная формула изменения осевой скорости потока соответствует формуле полуограниченного течения (3.19). Поскольку результаты расчетов по размыву опытных данных автора (других нет) по упрощенной схеме хорошо описывают процесс (расхождение не превышает 10-12%) эта методика и рекомендуется для практического использования.

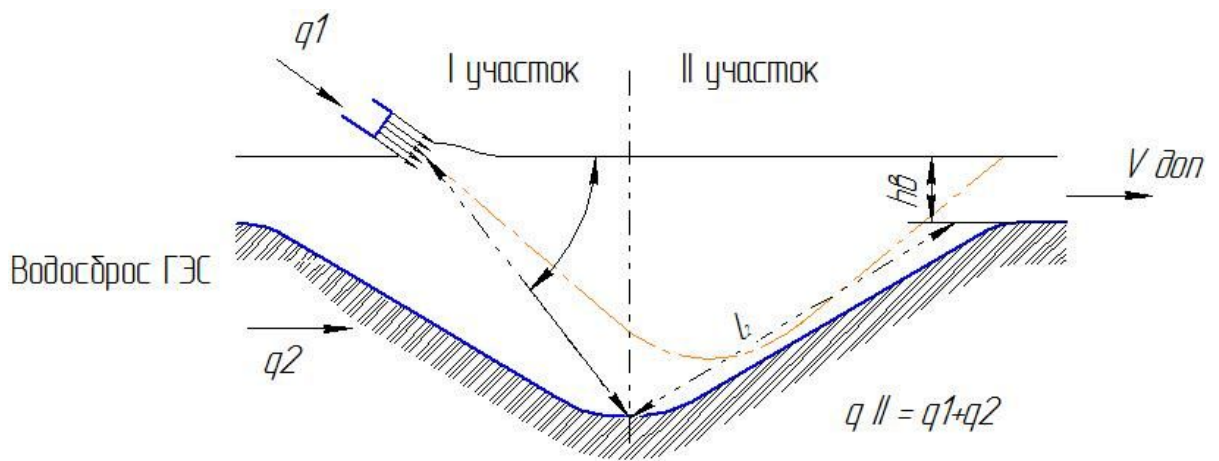
3.4 Методика расчета местного размыва

Влияние физико-механических характеристик размываемого грунта на конфигурацию размыва.

Наиболее интересные данные, отмеченные нами в процессе опытов по размыву грунтов наклонной струей воды, сводятся к следующему:

1. Стабилизировавшиеся воронки местного размыва, образованные в одном и том же размываемом грунте, геометрически подобны.
2. При отсутствии бара воронки симметричны относительно фокуса размыва – точки максимального размыва. Симметричность воронки подтверждается также и экспериментальными данными Rui Bastos Fernandes Martins.
3. Уклон как низового, так и верхового откосов сформировавшейся воронки местного размыва определяется физико-механическими характеристиками размываемого грунта и прежде всего углом внутреннего трения Ψ и сцеплением C .

Для определения фокуса воронки размыва были обработаны наши собственные эксперименты и опыты М.А.Михалева. Угол, определяющий положение фокуса размыва (рис. 3.17) был получен нами из геометрических построений, как угол между горизонталью и прямой, соединяющей точку пересечения оси струи со свободной поверхностью воды с точкой максимального размыва. Для расчетов параметров свободноотброшенной струи рекомендуется методика, изложенная в монографии Д.В.Штеренлихта [123].



*Схема расчета траектории
сброшенного потока*

Рис. 3.17.

Угол внутреннего трения Ψ и расчётное сцепление C являются важнейшими характеристиками физико-механических свойств грунтов и методы их определения общеизвестны. Для предварительных расчётов при отсутствии инженерно-геологических изысканий расчетное сцепление C и угол внутреннего трения Ψ для несвязных и связных (глинистых) грунтов можно принять по рекомендации Н.Н. Маслова.

Максимальную глубину воронки местного размыва определяем подбором, используя гипотезу о том, что размыв прекращается, когда скорости на выходе из воронки размыва достигнут допустимых для грунта основания нижнего бьефа. Сопоставление расчетов с нашими опытами дало удовлетворительные результаты – расхождение не превышало 10%. Размыву подвергались в лабораторных условиях, главным образом, песчаные, супесчаные грунты, суглинки (рис. 3.18).

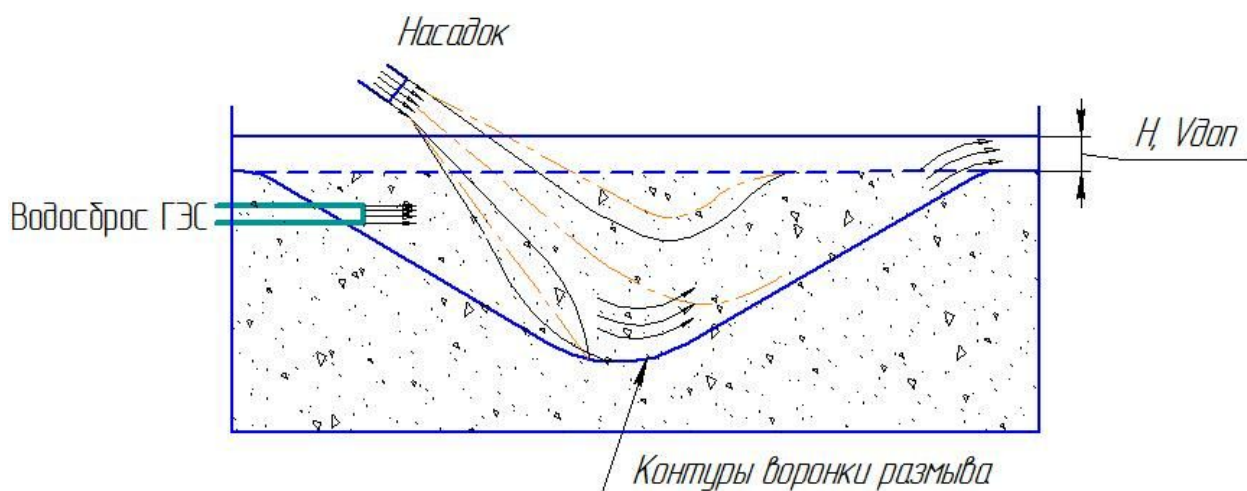


Рис. 3.18. Экспериментальная установка по размыву грунтов

Определение глубины местного размыва входит составной частью в расчет устойчивости сооружений. Глубина размыва и его местоположение нередко определяют выбор конструкции (тип) водосливной плотины и обуславливают величину заглубления водосброса или меры по его защите от подмыва. Поэтому достоверное прогнозирование параметров местного размыва имеет важное значение для рационального, наиболее эффективного проектирования.

Определение глубины местного размыва можно выполнить методом подбора в следующем порядке.

1. Общепринятыми приемами рассчитываются параметры сбросного потока (U_0 , b_0 , ξ) на входе по уровень воды нижнего бьефа. Если известна неравномерность начального поля скоростей, то положение переходного сечения (начала основного участка струи) можно уточнить введением коэффициентов неравномерности.

2. На основе инженерно-геологических изысканий или по справочным данным определяется угол внутреннего трения для грунтов, слагающих дно и допускаемая скорость $U_{\text{доп}}$, а также соответствующая $U_{\text{доп}}$ глубина воды h_6 в нижнем бьефе.

3. Задаваясь максимальной глубиной воды в воронке размыва, определяем, используя схему рис.3.17, длину участка растекания.

4. По формуле (3.19) определяем максимальную осредненную скорость в конце участка растекания и сопоставляем её со средней по сечению допускаемой скоростью $U_{\text{доп}}$, пользуясь соотношением

$$0,7U_m = U_{\text{доп}} \quad (3.20)$$

5. Если соотношение (3.20) не выполняется, то изменяя максимальную глубину воды в воронке размыва, повторяем расчет вновь, добиваясь равенства $0,7U_m = U_{\text{доп}}$.

Здесь отметим, что определение глубины местного размыва входит составной частью в расчет устойчивости сооружений.

При сопряжении бьефов отброшенной струей удаление размыва от сооружений, а не только его глубины определяют выбор конструкции (тип) водосливной плотины. Нередко большие расходы, при которых величина размыва не велика, но размыв находится вблизи сооружений, обуславливают величину заглубления водосброса или меры по его защите от подмыва.

Для определения очертаний воронки размыва и её положения относительно водосбросного сооружения можно воспользоваться следующим приемом. По известным рекомендациям определяются длина отлета струи (точка пересечения оси струи и свободной поверхности воды) и величины ξ , β , U_0 , b_0 , $U_{\text{доп}}$, Ψ , h_0 , t_{max} . От уровня свободной поверхности воды откладываются величины $t_{\text{max-T}}$, h_0 , t_{max} . Через точку пересечения оси струи со свободной поверхностью воды под углом β проводится прямая до пересечения с горизонталью, проходящей через точку максимального размыва. Точка пересечения этих прямых и определяет фокус размыва. Затем из фокуса размыва восстанавливается перпендикуляр к горизонтали и на нем откладывается расстояние R , равное

$$R = 0,44 \frac{t_{\text{max}}}{\sin \beta} + 2 b_0 \quad (3.21).$$

Радиусом R проводится окружность. По касательной к этой окружности слева и справа проводится под углом внутреннего трения Ψ прямо до их пересечения с горизонталями, соответствующими первоначальной отметке дна и положению дна при глубине h_0 .

Если угол $\Psi > \beta$, то верховой откос воронки определяется углом β , т.е. касательная к окружности, определяющая положение верхового откоса, проводится под углом β (рис. 3.19).

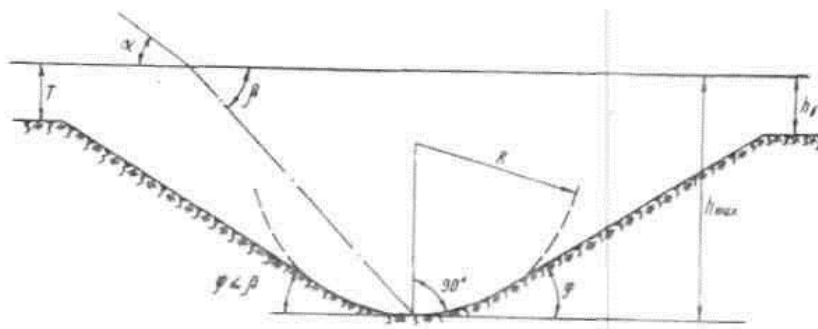


Рис. 3.19. Схема построения профиля воронки размыва

Чтобы найти окончательную конфигурацию верхового откоса, необходимо выполнить аналогичные построения не только для размывов, образованных максимальным расчетным расходом, но и для размывов, вызванных расходами меньшими, чем максимальный.

Сопоставление наших опытных материалов с расчетами по предлагаемой методике дает достаточно удовлетворительную сходимость.

Проведенное сопоставление показывает, что предлагаемый способ расчета учитывает как характеристики активного воздействия потока (скорость при входе в воду, толщину струи, угол входа в воду, глубину нижнего бьефа) так и пассивное сопротивление материала (допускаемую скорость, угол внутреннего трения, сцепление и особенности геологического строения дна). Учет основных факторов, определяющих размыв, в единой системе уравнений позволяет достаточно надежно прогнозировать величину размыва в несвязных, связных и скальных грунтах. Расчетные приемы

полностью отвечают физической сущности явления и свободны от каких-либо экспериментальных поправочных коэффициентов.

3.5 Заключение по главе 3

Определение глубины местного размыва входит составной частью в расчет устойчивости сооружений. Глубина размыва и его местоположение нередко определяют выбор конструкции (тип) водосливной плотины и обуславливают величину заглубления водосброса или меры по его защите от подмыва. Поэтому достоверное прогнозирование параметров местного размыва имеет важное значение для рационального, наиболее эффективного проектирования.

В результате проведенного теоретического и экспериментального исследования местного размыва, образованного МГЭС и свободноотброшенной струей, а также обобщения материалов других авторов, можно отметить следующее.

1. На основании анализа известных работ, посвященных изучению местного размыва, и выполненных нами экспериментов, установлено, что для описания течения свободноотброшенной струи в нижнем бьефе водосливных плотин, можно использовать уравнения теории турбулентных струй. Это облегчает постановку и решение задачи местного размыва, поскольку растекание тесно связано с размывающей способностью потока.

2. Изучение кинематической структуры сбросного потока показало, что сложное течение в воронке размыва можно подразделить на два вида: 1 - растекание потока при внезапном расширении, 2 - полуограниченное течение вдоль шероховатой, частично криволинейной поверхности. В этом случае вопрос сводится к рассмотрению уравнений движения на каждом из выделенных участков и последующему "сшиванию" полученных независимых решений. Итоговые расчетные зависимости достаточно полно

описывают растекание отброшенной струи в сформированной ею воронке размыва, а введение “фиктивного” потока позволяет учесть расход от МГЭС.

Отметим, что в этом случае решение носит “точный”, но громоздкий характер, перегружено расчетными формулами и мало пригодно для инженерных расчетов.

3. Для инженерных расчетов предлагается упрощенная схема течения, учитывающая основные характерные особенности течения между двух валцов. Изменение осевой скорости течения подчиняется зависимостям теории турбулентных струй и хорошо аппроксимируется формулой полуограниченного течения.

4. Экспериментальными исследованиями, проведенными на двух установках в широком диапазоне изменения удельных расходов, напоров, характеристик размываемого грунта, подтверждена правомерность принятого подхода и проверены полученные теоретические зависимости. Экспериментально установлено, что профиль воронки размыва симметричен, а уклон откосов воронки определяется углом внутреннего трения Ψ размываемого грунта. Приведена схема построения продольного профиля размыва.

5. В работе показано как применяются полученные результаты к решению задачи местного размыва. Расчет ведется методом подбора. Задаваясь глубиной воронки размыва и рассчитывая для этой глубины скорость на выходе в отводящее русло, сравниваем ее с допускаемой. При несовпадении этих скоростей, меняем глубину воронки и повторяем расчет вновь, добиваясь равенства рассчитанной и допускаемой скоростей. Проверка предложенной методики расчета проведена на опытных данных автора. Материалы этого сопоставительного анализа показывают, что предлагаемый метод расчета позволяет достаточно надежно определять глубину размыва при сопряжении бьефов свободноотброшенной струей и МГЭС.

ГЛАВА 4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ И УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ПРОТИВОСЕЛЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

4.1 Состояние проблемы инженерной противоселевой защиты на Юго-Востоке РК

Анализу работы противоселевых инженерных защитных сооружений в последнее время уделяется большое внимание [8,10,45,71,74,41,43,44,93,94,95,121], что связано в значительной степени с увеличением риска возникновения селей и масштабами затрат на ликвидацию последствий их прохождения. Поиску новых способов борьбы с селями обычно предшествует анализ существующих методов селезащиты с оценкой их положительных и отрицательных сторон. Как правило, в этом перечне упоминается как сами противоселевые мероприятия (сооружения), так и ошибки, допущенные при их проектировании и строительстве [3,79,125]. Обычно рассматривается:

- устройство котлованных селеуловителей в руслах рек, предотвращение возникновения селя путем лесомелиоративных работ на водосборах;

- устройство селеуловителей путем взрыва бортов ущелей и образования каменно-набросной плотины-завала с осадением твердой составляющей грязекаменного селя в верхнем бьефе завала и сбросом жидкой составляющей селя по каналам – водотокам в обход защищаемых объектов. Здесь в основу положена гипотеза о распаде грязекаменного селя на две составляющие – твердые частицы и жидкая водная суспензия, что неверно для рассматриваемого региона и связано с недостаточной изученностью селевых явлений;

- неудачное расположение селеуловителя в русле реки – удар селя не фронтальный, а отчасти боковой (сооружение в Горельнике, алматинский сель 1973 г.);

- не расчетная схема работы сооружения, перелив через гребень плотины и разрушение напорного фронта (габионная плотина в ур.Мынжилки, сель 1973 г.);

- не учтены динамические нагрузки на сквозное сооружение – разрушение элементов напорного фронта (селеуловитель на р.Акжар);

- разрушение нижнего бьефа плотины при переливе селя через гребень сооружения не учтено в расчетной схеме (селеуловитель на р.Акжар);

- закупорка водоприемников глухой земляной плотиной – не расчетный случай (сель 1973 г., плотина Медео);

- возникновение катастрофических водных паводков вследствие прорыва моренных (завальных) озер, дождевых ливней, осадков – не расчетные случаи вследствие неучета антропогенных изменений на водосборах, недостаточной пропускной способности сбросных каналов (р.Хоргос, сель 1973 г. и др.) [18];

- не расчетный перелив паводка, селя через гребень земляной (каменнонабросной) плотины (оз.Иссык, сель 1963 г., п.Кызыл-Агаш, прорыв плотины);

- не расчетные объемы паводков, селей, вызванные землетрясением, катастрофическим ливнем, разрушение объектов, населенных пунктов вследствие недостаточной пропускной способности водо-селепропускных трактов (Алма-Ата, 1921 г., 1887 г.);

- зимние паводки, приводящие к подтоплению территорий, домов, разрушению мостов, автодорог, отсутствие защитных сооружений, водоотводящих трактов;

- подмыв и обрушение берегов, мостов и автодорог под воздействием весенних и ливневых паводков и половодий с расходами, превышающими расчетные – отсутствие мониторинга ситуации, неудовлетворительная методика расчетов.

К настоящему времени предложено огромное количество противоселевых конструкций, не прошедших проверку ни в натурных, ни в

лабораторных условиях. Эти конструкции обосновывались какими-то гипотетическими соображениями целесообразности их применения, но не привязанные ни к типу задерживаемого селя, ни к какому-то селеопасному бассейну. Исследования, проведенные в КазНИИЭнергетики после катастрофического селя 1973 г. в урочище Медео, показали, что главную опасность для селевых конструкций представляет грязекаменный поток и возникающие при его ударе о сооружение импульсные динамические, в десятки раз превышающие нагрузки, связанные с обтеканием сооружения селем и обычно учитываемые в расчетах сооружений на устойчивость и прочность. Исследования в КазНИИЭ на селевых стендах позволили выявить природу и механизм формирования этого импульсного динамического воздействия, и для его устранения была предложена “подвижная” конструкция противоселевого сооружения.

Идея заключалась в том, что сооружение в момент удара было пригружено селем и могло двигаться, при этом величина этой подвижки предполагалась равной высоте сооружения (или высоте ударяющегося селя) и зависела от степени загрузки понура конструкции селем. Т.о. сель попадал на понур, жестко связанный с конструкцией, загружал его и потом ударял о сооружение, которое начинало двигаться до тех пор, пока составляющая силы тяжести от понура и сила трения при движении сооружения не уравновешивали давление селя. Лабораторные опыты подтвердили работоспособность этой конструкции, и она была построена на р. Малая Алматинка у дома отдыха Совета Министров (два сквозных металлических селеуловителя) [40].

Стремление отказаться от дорогостоящих металлических конструкций, необходимых в случае подвижных сооружений, наличие большой производственной базы Казселезащиты для строительства железобетонных сквозных сооружений типа И.И.Херхеулидзе, потребовали и научного обоснования этой конструкции, предназначенной для борьбы с грязекаменными потоками. Идеи, заложенные в основу наших

экспериментов на селевом стенде, заключались в замене “подвижности” (она исключена для бетонных сооружений) “амортизационной” прокладкой, резко снижающей импульсное динамическое давление селя за счет “податливости”. Возникла необходимость усовершенствовать уже построенные конструкции типа И.И.Херхеулидзе и за счет каких-то нововведений снизить импульсные динамические нагрузки [63,49].

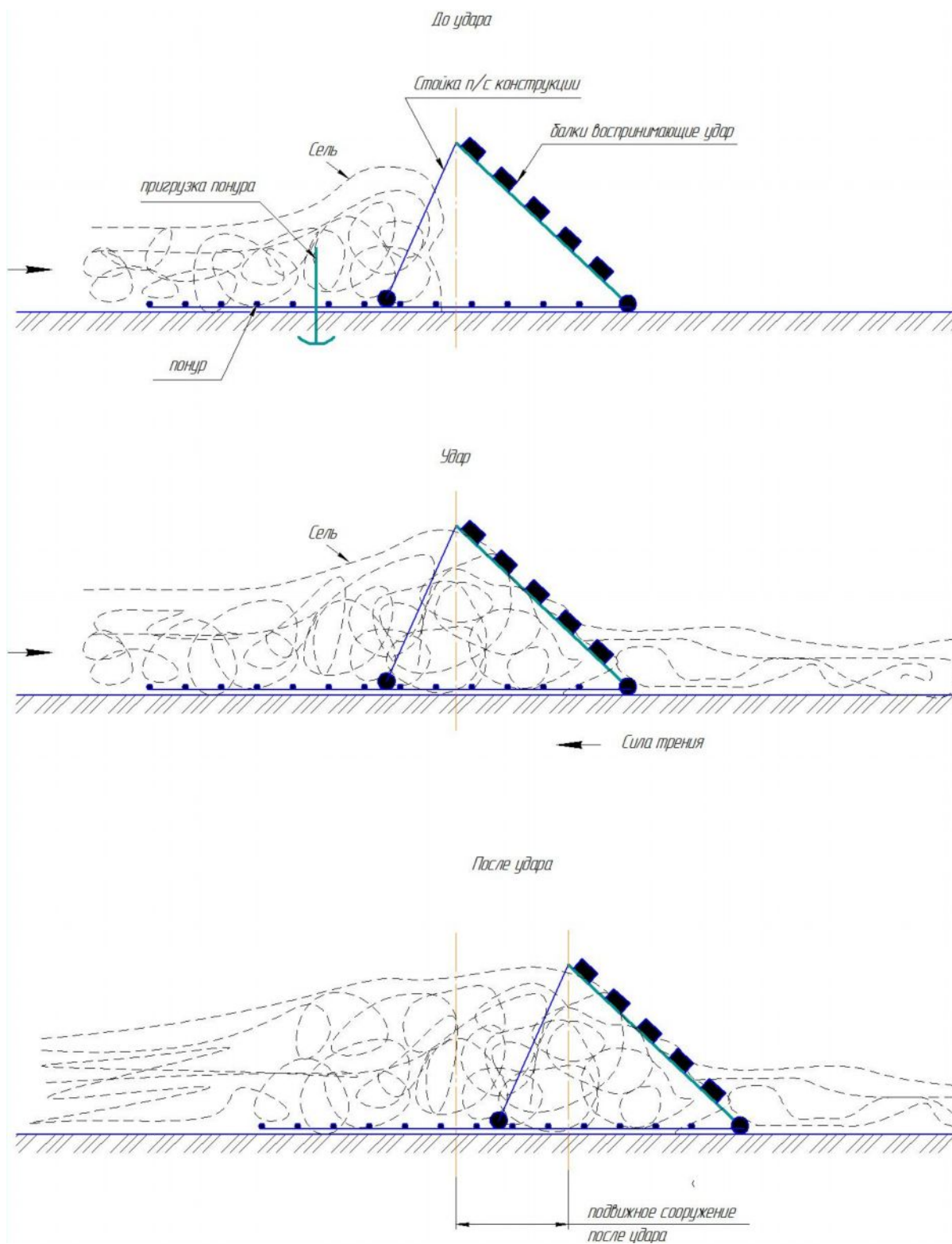


Рис.4.1. Эксперименты по воздействию селя на подвижную преграду

В Казахстане построено огромное количество железобетонных противоселевых сквозных сооружений конструкции И.И.Херхеулидзе.

Первое построенное такое сооружение на р.Акжар показало свою работоспособность, поэтому была создана база для тиражирования таких конструкций, и они строились в бассейнах рек Заилийского и Джунгарского Алатау и др. Привлекала возможность очистки селехранилищ при таких конструкциях не механическим способом, а путем гидравлических промывок. Однако эксплуатация этих сооружений, в частности, на р.Акжар показала, что им присущ ряд недостатков: 1) вертикальная грань, воспринимающая удар селя, не выдерживает импульсных динамических нагрузок; 2) постоянная сквозность по длине сооружения не является оптимальным решением, вопрос требует экспериментального обоснования; 3) неудовлетворительная работа нижнего бьефа – на селеуловителе на р.Акжар образовалась воронка местного размыва глубиной, сопоставимой с высотой сооружения – более 12 метров.

Все эти дефекты, выявленные в процессе эксплуатации сооружений, потребовали их устранения при модернизации как построенных, так и вновь проектируемых сооружений, т.е. необходимо экспериментальное обоснование выдаваемых рекомендаций.

4.2 Описание экспериментальной установки, контрольно-измерительной аппаратуры и методики экспериментальных исследований

Эксперименты проводились на селевом стенде. Он оборудован разгонным лотком, в пределах которого селевой поток приобретает необходимую скорость движения, а селевая масса - соответствующую структуру. После разгонного лотка поток поступает в рабочий лоток с переменным уклоном, где и производятся необходимые измерения.

Схема селевого стенда приведена на рис. 4.2. Здесь: 1 - подвижная опора; 2 - неподвижная опора; 3 - разгонный лоток; 4 - рабочий лоток; 5 - приемный бак; 6 - смотровая площадка; 7 - лестница.

В процессе опытов фиксировались:

– нагрузки на сооружения;

- скорость и высота фронта селевой волны;
- осредненное и пульсационное давление от селей на дно лотка;
- нагрузки на дно нижнего бьефа при переливе селей через гребень сооружения;
- изменения уровней свободной поверхности потока в отдельных створах.

Для измерения давления селевого потока на преграду, дно русла, основание нижнего бьефа сооружений использовались датчики деформации (тензодатчики) и датчики относительных перемещений (механотроны). Метод измерений и регистрирующую аппаратуру выбирали в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями - линейность, стабильность, отсутствие динамических искажений, взаимная увязка частот изучаемого процесса с частотными характеристиками элементов измерительной цепи.

Схемы измерения деформации в отдельной точке представлены на рис. 4.3 – 4.5. Как рабочие (R_6), так и компенсационные (R_k) тензорезисторы типа 2ПКБ-Г или полупроводниковые тензорезисторы типа КТД-2 наклеивались в одинаковых условиях согласно требований технических условий. В качестве вторичного преобразователя использовались тензометрические усилители типа ТА-5 и ПА-1, причем, в зависимости от типа применяемых вторичных приборов, тензометры сопротивления наклеивались на чувствительные элементы по схеме полного моста с четырьмя активными тензорезисторами (для ПА-1) или полумоста с двумя тензорезисторами (для ТА-5). Регистрирующей аппаратурой служили шлейфные осциллографы Н-700 и К 12-22.

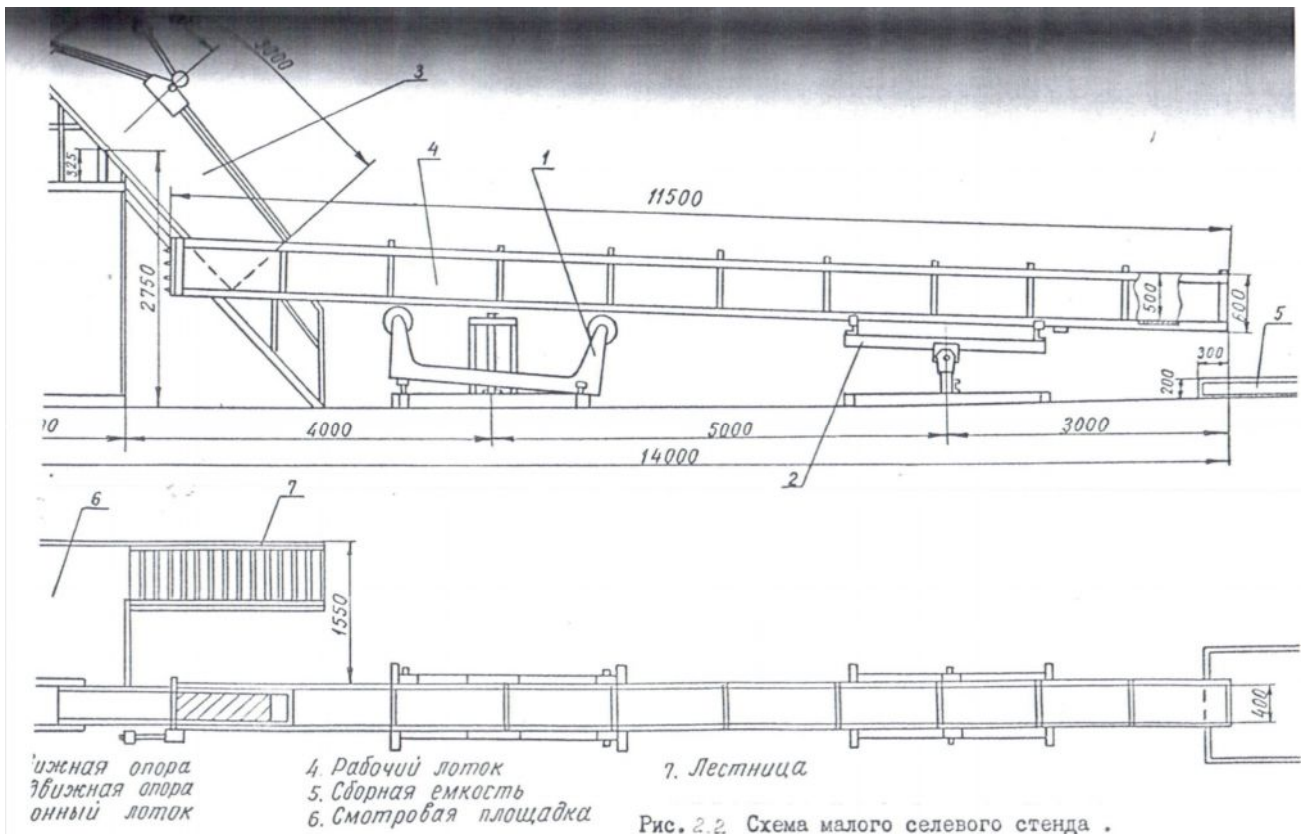


Рис. 4.2. Схема селевого стенда

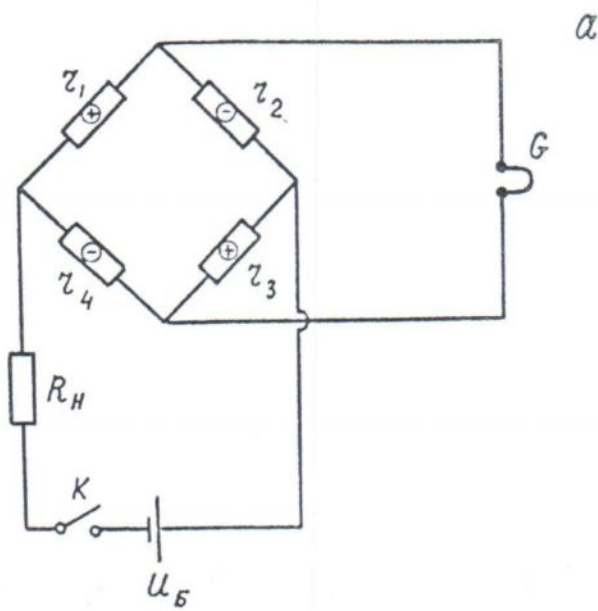


Рис. 4.3. Схема измерения давления селевой массы (без тензоусилителей)

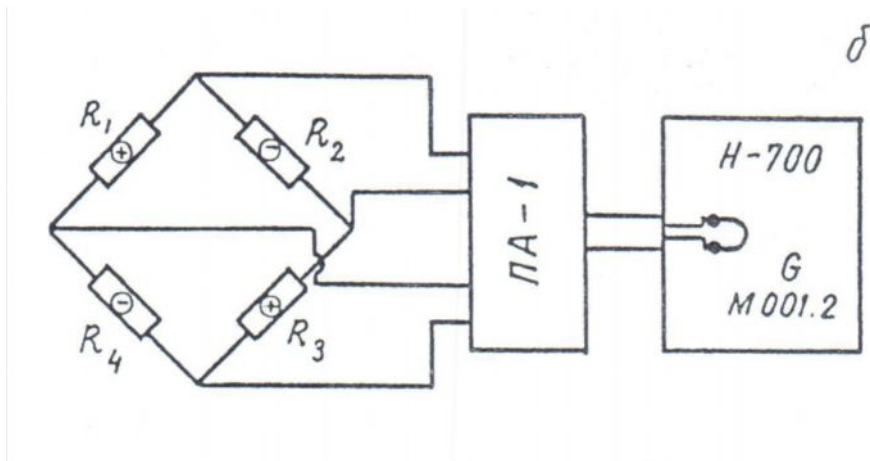


Рис. 4.4. Схема измерения давления с тензоусилителем ПА-1

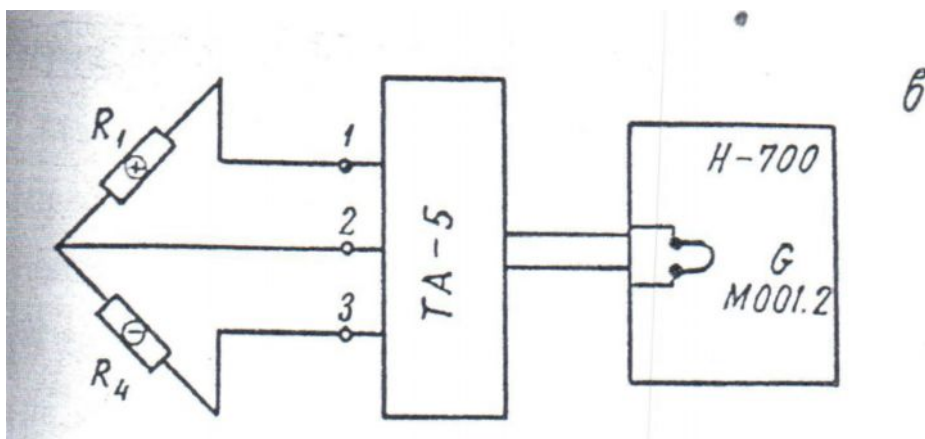


Рис. 4.5. Схема измерения давления с тензоусилителем ТА-5

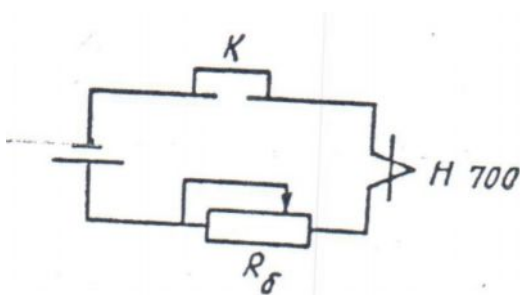


Рис. 4.6. Принципиальная схема измерения времени

В качестве датчика при измерении давления селевой массы на дно русла использовался также диодный механотрон типа 6МДХІБ, имеющий резонансную частоту не менее 600 гц. При этом применялась мостовая измерительная схема, состоящая из двух сопротивлений $2,4\text{к}\Omega$, включенных в анодные цепи механотрона, источника анодного питания, включенного в одну из диагоналей моста и регистрирующего вальванометра НУ-84-Шлейфного осциллографа К12-22, включенного в другую диагональ моста.

В качестве датчика относительных линейных перемещений при изучении давления селя использовался электронновакуумный преобразователь типа 6МХ2Б - сверхминиатюрный механотрон. Механотрон включался в измерительную схему, причем, сопротивления этой схемы подбирались экспериментально для обеспечения линейности выходной характеристики. Источником питания анодных цепей служили батареи 3336, а накала - элементы У-145.

Высота селевой волны и изменение уровней селевого потока при прохождении селя по лотку или обтекании сооружений фиксировались струнным волнографом в десяти створах одновременно. Толщина нихромовой нити волнографа в экспериментах была различной - от 0,3 мм до 1,3 мм.

В экспериментах использовался также ультразвуковой измеритель уровня жидкости - прибор, основанный на измерении отраженного ультразвукового импульса от поверхности селевого потока. Принципиальная схема прибора приведена на рис. 4.6. Тактовый генератор, выполненный на элементах Д₁-Д₃ вырабатывает прямоугольные импульсы частотой 100 гц, управляющие работой всего устройства. Тактовые импульсы поступают на управляющий электрод тиристора, который управляет работой импульсного ультразвукового излучателя. Энергия, накопленная между периодами излучения на конденсаторе С₂, поступает через трансформатор Т₂ на пьезопреобразователь ПП₁, который совместно с трансформатором образует контур ударного возбуждения. Ультразвуковой импульс излучается в направлении исследуемого объекта. После отражения он поступает на приемный пьезопреобразователь и усиливается трехкаскадным усилителем, собранном на транзисторах VT₃ – VT₅. Транзистор VT₆ выполняет роль детектора-ограничителя. С него сигнал подается на регистрирующий триггер, собранный на VT₈ – VT₉. На этот же триггер подаются импульсы с тактового генератора, причем, импульс тактового генератора переводит триггер в состояние 0, а импульс с приемного тракта в состояние I. Время нахождения

триггера в 0 состоянии и определяет время прохождения ультразвука до объекта и обратно. После интегрирования прямоугольных импульсов, вырабатываемых триггером, цепью $R_{25}S_{18}$ сигнал подается на регистрирующий прибор или на специально разработанное устройство записи токовых сигналов.

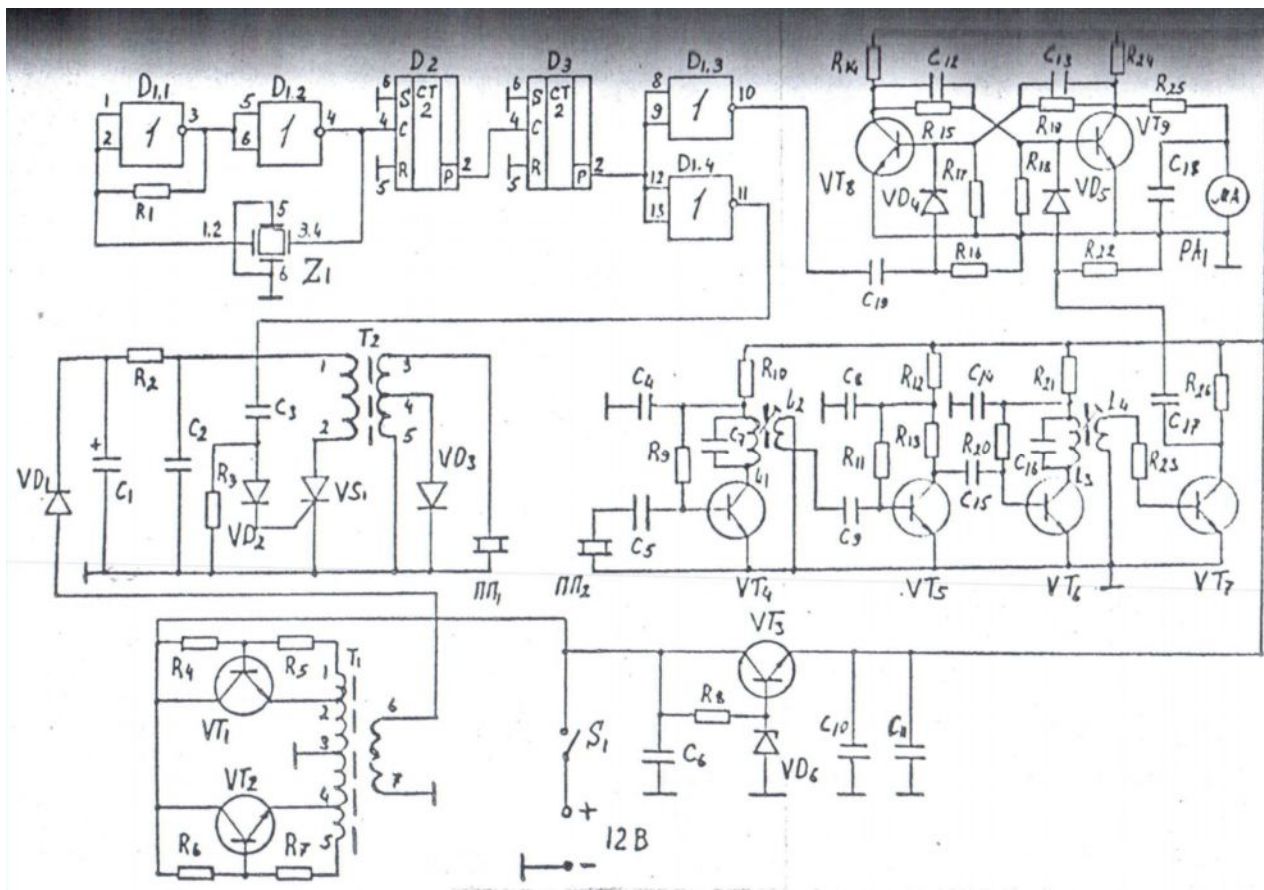


Рис. 4.7. Принципиальная схема ультразвукового измерителя уровня потока

Скорость движения селя определялась по времени прохождения фронтом селевой волны фиксированного расстояния. Схема измерения времени (рис. 4.5) работала по принципу прерывающихся контактов. На фиксированном расстоянии (0,1-0,2 м) устанавливались два идентичных датчика. В момент прохождения селем фиксированного сечения размыкался контакт (к) соответствующего датчика и ток в цепи прекращался. Каждый из этих моментов последовательно регистрировался осциллографом.

В большинстве опытов скорости селя фиксировались электронным цифровым таймером, принципиальная схема которого приведена на рис. 4.7.

Таймер состоит из кварцевого генератора 10 кГц $D_{1.1} - D_{1.2}$ ключевого устройства $D_{1.3} - D_{1.4}$, D_2 счетчика $D_3 - D_8$ и цифрового табло $HL_1 - HL_5$. Кварцевый генератор вырабатывает импульсы частотой 10 кГц. Частота стабилизирована кварцевым резонатором Z_1 . Ключевое устройство разрешает или запрещает проход импульсов с генератора на счетчик, в зависимости от состояния триггеров $D_{2.1}$ и $D_{2.2}$. Состояние этих триггеров определяется моментом прихода импульсов со входов Vx_1 и Vx_2 от герконовых датчиков. Так, импульс с Vx_1 разрешает проход импульсов с генератора на счетчик, а импульс с Vx_2 прекращает этот проход.

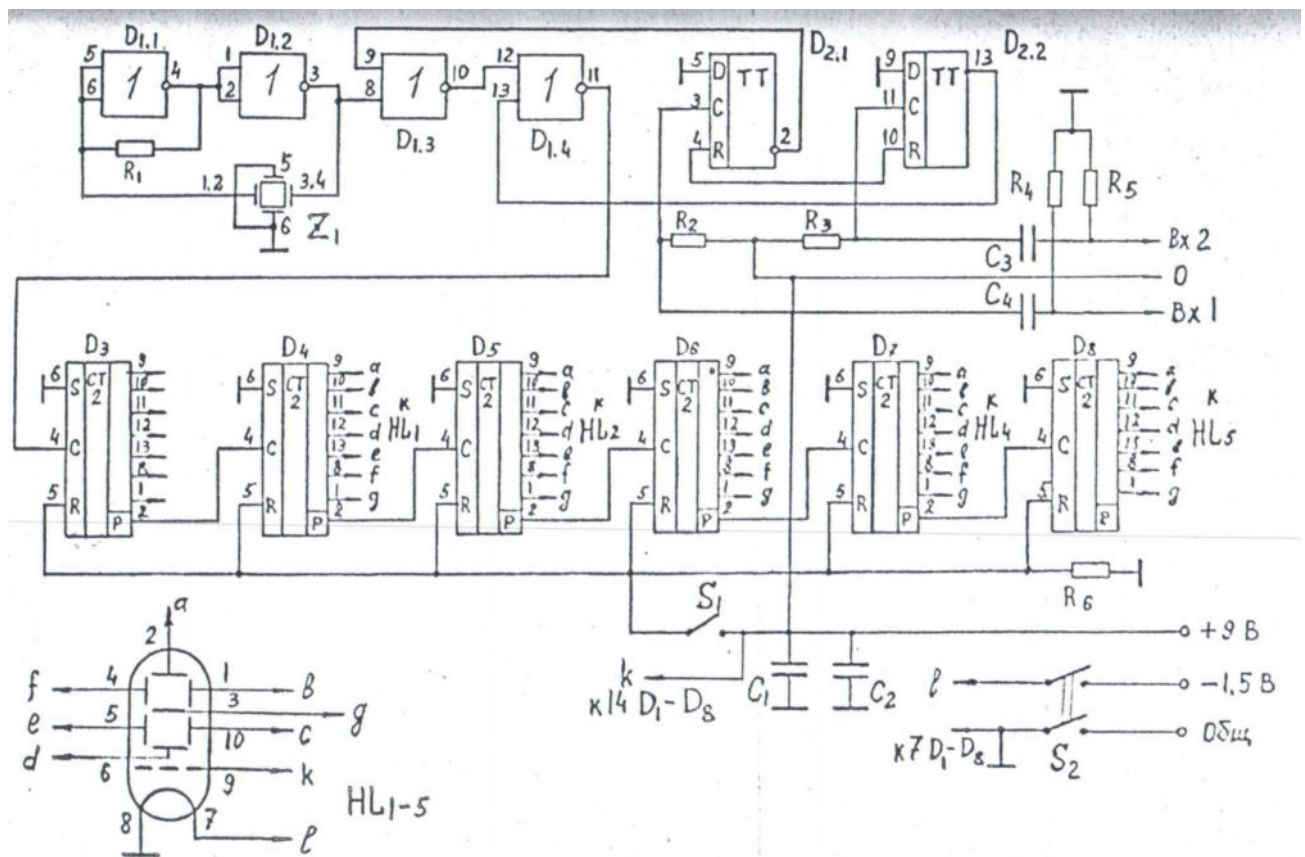


Рис. 4.8. Принципиальная схема цифрового таймера

Счетчик собран на элементах $D_3 - D_8$, представляющих собой делители на 10 с непосредственным выходом на сегментные индикаторы типа ИВ-6. Таким образом, пять индикаторов отображают информацию непосредственно в секундах в десятичном виде с младшим разрядом 0,001. В качестве датчиков начала и конца счета используются герконы и миниатюрные магниты, наклеенные на картонные флажки. Флажки с магнитами в исходном

состоянии устанавливаются на герконах и при прохождении селя смываются с герконов, которые размыкают сигнальные цепи и изменяют состояния триггеров $D_{2.1}$ и $D_{2.2}$. Нажатием кнопки S_1 производится обнуление цифровых индикаторов и установка триггеров в исходное состояние.

В некоторых сериях экспериментов в качестве датчиков для измерения скорости потока использовались фотодиоды, которые крепились в дно лотка и фиксировали прохождение селем контрольных сечений.

На экспериментальной установке селевая масса разгонялась до определенной скорости и контактировалась с преградой, снабженной датчиками усилий и перемещений. Преграда представляла собой стенку из стального листа толщиной 30 мм, в которой имелось 10 отверстий (по числу установленных датчиков давления), с наружной стороны к стенке приварены направляющие для установки в них толкателей датчиков давления, снабженных сменными дисками, воспринимающими удар. С обратной стороны преграды приварены для каждого из датчиков по два уголка, к которым крепилась упругая пластинка из углеродистой стали У8А с наклеенным на нее рабочими тензорезисторами. В пластинку упирался толкатель. Толщина пластинки варьировалась в зависимости от величины воспринимаемого усилия и площади сменного диска толкателя.

Все датчики устанавливались в соответствии с указаниями по их эксплуатации. Так, механотрон располагался горизонтально или вертикально цоколем вниз, а запись сигнала производилась на шлейфовый осциллограф или специальный самописец.

Хорошо известно, что полоса частот записываемого сигнала должна укладываться в частотный диапазон регистрирующей аппаратуры, обеспечивающей минимальные погрешности измерения:

$$\nu_0 \gg \nu' \quad (4.1.)$$

где, ν_0 - частота собственных колебаний регистрирующего прибора, Гц;
 ν' - частота регистрируемого сигнала, Гц.

Натурные измерения японских исследователей и наши лабораторные эксперименты показали, что время соударения селя с жесткой преградой оценивается в 0,01-0,3 с. Это соответствует частотам измеряемого импульса в полосе 1,5-50 Гц. С учетом этих данных корректировались собственные частоты датчиков и регулировались осциллографы, что обеспечило выполнение условия (4.1) и уверенную запись импульсов с частотой до 200 Гц. Диапазон уверенного измерения сил не превышал 100 кг, глубин потока - 100 см, а скорости - 30 м/с. Амплитудные характеристики, снятые при статической калибровке приборов в этом интервале, были практически линейными.

Амплитудная динамическая погрешность у датчиков давления оценивалась по формуле:

$$Y = \frac{1}{\sqrt{(\lambda^2 - 1)^2 + 4\beta^2 \lambda^2}} - 1 \quad (4.2.)$$

где λ - отношение частот записывающего сигнала к частоте собственных колебаний датчиков, β - степень успокоения датчиков давлений.

Усилители ТА-5 и ПА-1 имели основную приведенную погрешность не более 3,5% и 1%, соответственно. Высокая тензочувствительность полупроводниковых тензодатчиков сопротивления позволила в ряде случаев обойтись без использования вторичных приборов, что существенно повышало точность измерения давления, при этом удавалось снизить среднеквадратичную погрешность измерения до 1%.

Тарировка схем измерения силы (давления селевой массы) осуществлялась весовым способом перед каждой серией экспериментов, состоящей, как правило, из 6-8 опытов. Среднеквадратичная погрешность измерения давления тензодатчиками не превышала 3,7%.

Погрешность измерения давления механотроном равна 2,8% и складывалась из погрешности на изменение температуры (1,4%), погрешности на временно дрейф (0,4%), погрешности вторичного прибора (1%).

Общая погрешность в определении времени при оценке скоростей движения селя составляет

$$\Delta T = T_{\text{изм}} * 0,1 + 0,001 \text{ (сек)} \quad (4.3.)$$

Плотность селевой массы измерялась дважды - до эксперимента и после него.

Ординаты процессов считывались вручную, причем, квантование по амплитуде выполнялось с шагом в 1 мм независимо от размаха записи. Шаг по времени определялся скоростью записи и был не более 0,008 сек.

4.3. Результаты экспериментов по воздействию селя на жесткую и амортизирующую преграду

Эксперименты показали, что характер динамической нагрузки и её изменение во времени предопределяются свойствами ударяющейся грязевой массы, скоростью и высотой перемещения фронта селевой волны, геометрическими и физико-механическими (прочностными, упругими) характеристиками преграды.

В экспериментах на селевых стендах скорости соударения достигали 9,2 м/с, нагрузки - 60 кг, высота фронта селевой волны - 70 см, плотность колебалась от 1,7 до 2,21 г/см³, диаметр датчика, воспринимающего удар, изменялся от 10 до 50 мм. Опыты проводились с образцами селевой массы различного гранулометрического состава, но какой-либо связи ударных нагрузок с реологическими свойствами грунтов не было обнаружено.

Исследование сил, развивающихся при ударе, позволило выявить две стадии взаимодействия высокоскоростного потока с сооружением:

1. удар переднего фронта селевой волны;
2. воздействие основного тела селевого потока (обтекание сооружения).

Некоторые эпюры воздействия грязекаменного селя на жесткую преграду приведены на рис. 4.9. Их можно классифицировать как одно-сторонние импульсы силы с приращением скорости, для них характерны

фронт нарастания и фронт спада (срез) с длительностями соответственно τ_1 и τ_3 .

Эпюры давления, полученные на гидравлических лотках и на стендах с тележкой (опыты в КазНИИЭ в 1980-х годах, идентичны. Наиболее характерен, свойственный подавляющему большинству опытов, вид эпюры, показанный на рис. 4.9а. Встречаются в опытах на стенде с тележкой эпюры с несколькими скачкообразными подъемами и падениями давления (рис.4.9б,в,г). Эти пилообразные нагрузки появились, видимо, вследствие неплоско-параллельного удара, обусловленного конфигурацией искусственно сформированного фронта ударяющегося образца. Осцилляциями давления, возникавшими в редких случаях на фронте нарастания импульса, можно пренебречь ввиду их кратковременности. Наблюдались также эпюры с фронтом нарастания импульса τ_1 не более 0,02 с (рис. 4.9д). Типичная эпюра удара камня, движущегося в селевом потоке, приведена на рис. 4.9ж.

Все экспериментальные эпюры можно условно подразделить на 9 типов (рис. 4.9). Эти схематизированные эпюры различаются длительностью фронта нарастания и спада импульса τ_1 и τ_3 продолжительностью действия максимальных нагрузок τ_2 , наличием одного или нескольких пиков давления.

По форме импульса эти эпюры можно характеризовать следующим образом. Тип а: однопиковый импульс с относительно медленным нарастанием давления и постепенным его затуханием; тип б: двухпиковый импульс, первый пик больше второго; тип в: двухпиковый импульс с приблизительно равными по величине пиками давления; тип г: двухпиковый импульс, второй пик больше первого; тип д: однопиковый импульс с относительно продолжительным (продолженным) максимумом давления, по форме импульс напоминает трапецию; тип ж: однопиковый асимметричный импульс с относительно быстрым нарастанием пика давления, продолженным максимумами постепенным спадом давления; тип з: однопиковый симметричный импульс, по форме близок к параболе; тип и:

резко асимметричный импульс с быстрым возрастанием давления, коротким пиком и относительно быстрым спадом давления; тип к: однопиковый импульс с резким скачкообразным нарастанием давления, переходящим в плавный подъем, сменяющийся резким спадом, по форме напоминает трапецию неправильной формы.

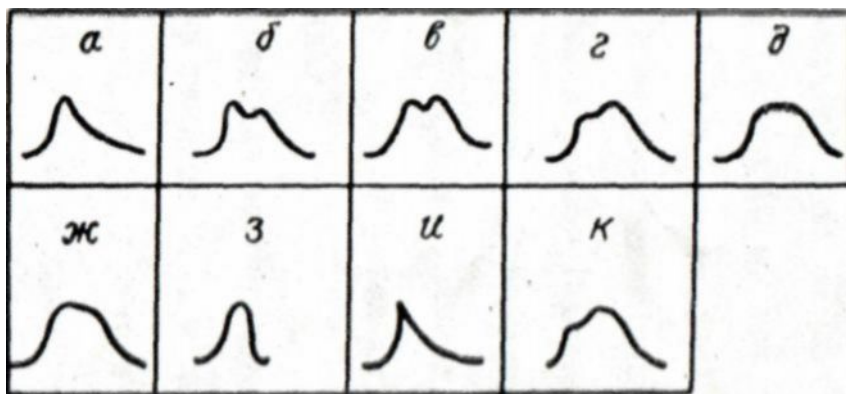


Рис.4.9. Характерные типы экспериментальных эпюр удара селя о неподвижную преграду

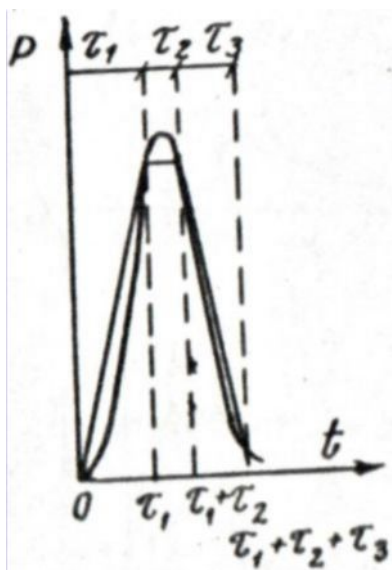


Рис.4.10. Схема расчленения эпюры на составляющие

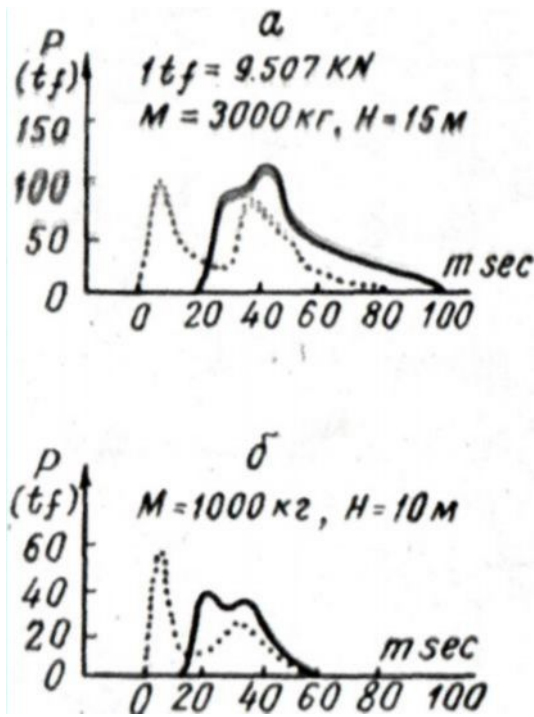


Рис.4.11. Экспериментальные графики импульсных нагрузок, полученные Х.Июшида с соавторами при сбрасывании грузов

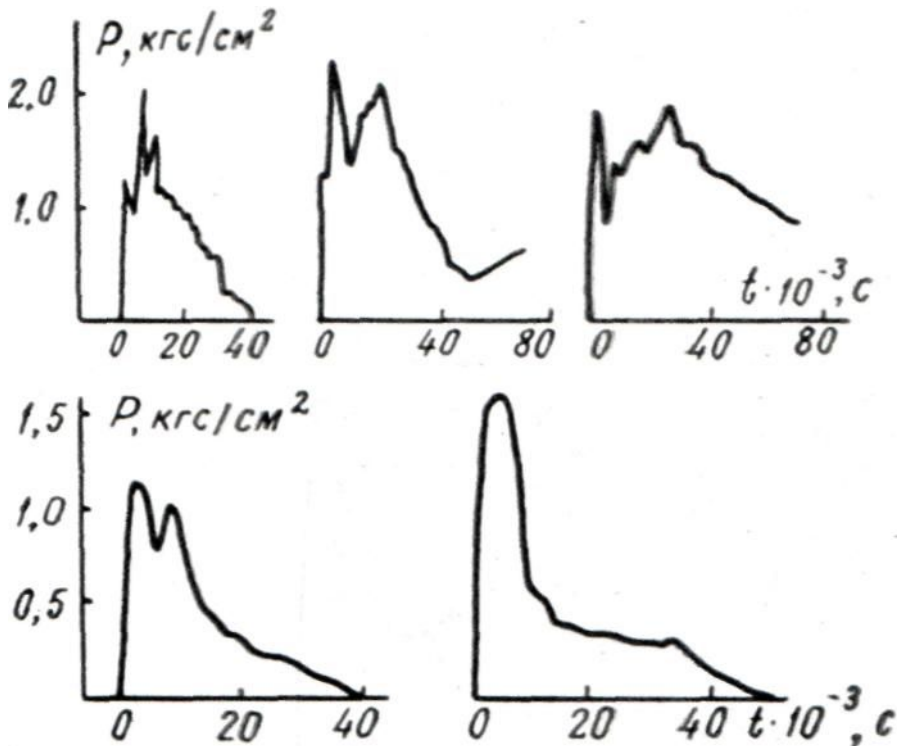


Рис.4.12. Эпюры динамических нагрузок на преграду при ударе снежных образцов

Схема расчленения эпюры на составляющие - фронт нарастания импульса τ_1 , продолжительность максимальных нагрузок τ_2 , фронт спада τ_3 ,

приведена на рис. 4.10. Аналогичная схема используется и в работе Х.Иошида с соавторами. В этой же работе [128] приводятся графики импульсных нагрузок (1) и суммарного давления земли (2), полученные при сбрасывании грузов: а) массой 3000 кг с высоты 15 м; б) массой 1000 кг с высоты 10 м. Эти графики приведены для сопоставления на рис. 4.11, соответственно, а) и б). Для качественного сравнения на рис. 4.12 помещены эпюры динамических нагрузок на препятствие при ударе снежных образцов (имитировавших удар снежной лавины), полученные в экспериментах А.Ф.Липатовым и В.И.Салицкой [76]. Вид эпюр, приведенных Х.Иошида и Х.Мазийя, М.Ока, А.Ф.Липатовым и В.И.Салицкой [76] практически не отличается от полученных нами в экспериментах на селевом стенде.

Приведенные эпюры ударных нагрузок от снежных лавин и камнепада показывают, что полученные в наших лабораторных экспериментах эпюры идентичны другим лавинным нагрузкам, т.е. хорошо описывают изучаемое явление. Обработка наших экспериментов с привлечением лабораторных экспериментов ГрузНИИГиМ, материалов других исследователей [9,83,111,120] позволила получить расчетную зависимость импульсного воздействия селя на преграду (первый этап удара) в виде

$$Y = 0,5798 x^{1,6394} \quad (4.4)$$

здесь $Y = P \cdot 10^5$ Па; $x = p \cdot V \cdot 10^3$ кг/м² с.

Совпадение расчетной зависимости с экспериментами удовлетворительное, расхождение не превышает 12%.

Некоторые типичные эпюры воздействия грязекаменного селя на жесткую преграду приведены на рис. 4.9. Их можно классифицировать как односторонние импульсы силы с приращением скорости, для них характерны дронт нарастания и фронт спада (срез) с длительностями, соответственно, τ_1 и τ_3 (рис.4.10).

Анализ эпюр давления показывает, что ударные нагрузки изменяются во времени в соответствии с предложенной гипотезой - максимальные давления формируются ударной волной. За ударной волной (волной сжатия) следуют

волны разгрузки и разуплотнения, после чего начинается обтекание преграды селем. Когда обтекание преграды прекратится, нагрузки на нее определяются гидростатическим давлением остановившейся селевой массы.

Давление обтекания (2 этап удара) можно оценить по известной зависимости:

$$P(z) = \rho g Z \cos \psi + \frac{\rho V^2}{2} \quad (4.5)$$

где V - скорость натекания селя на преграду;

P_z - давление на глубине z от свободной поверхности;

ψ - угол, характеризующий уклон русла.

Приведенные выше материалы и графики свидетельствуют, что полученные расчетным путем зависимости $\overline{P} = f(\rho_0, V_0)$ согласуются с экспериментами, проведенными в ГрузНИИГиМ и ААСИ, натурными данными японских авторов, нашими опытами и данными о нагрузках от снежных лавин. Это говорит о том, что принятые допущения обоснованы, а модель в целом удовлетворительно описывает динамику удара селя о преграду.

Оценка динамического воздействия селя на дно нижнего бьефа

На рис. 4.13. приведена полученная нами в экспериментах на селевых стендах типичная осциллограмма давления на дно нижнего бьефа грязекаменного селевого потока, переливающегося через селесброс с вертикальной низовой гранью. Обработка этих экспериментов показала, что осредненное и актуальное давление селя на дно обусловлено удельной энергией сбросного потока. Максимум давления и интенсивности пульсации давления расположен в центре падения струи. При отсутствии затопления максимум интенсивности пульсации равен ориентировочно 0,20 от удельной энергии сбросного потока.

При затоплении (устройстве в нижнем бьефе селеуспокоительного колодца, по аналогии с водобойным колодцем) интенсивность пульсации давления заметно снижается.

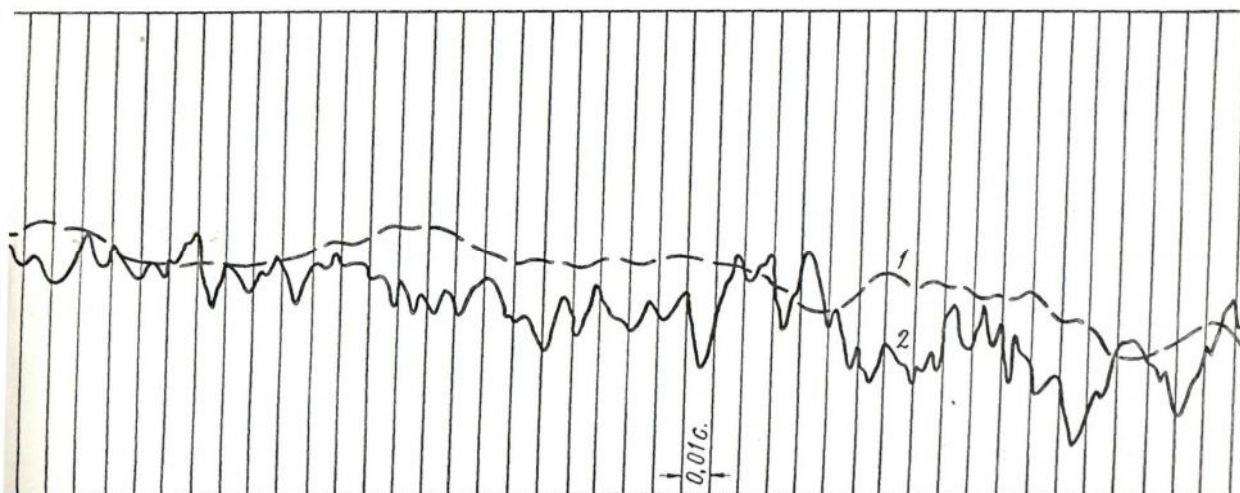


Рис. 4.13. Типичные осциллограммы давления селя на дно нижнего бьефа при переливе через гребень сооружения с селесбросом с вертикальной низовой гранью

Местоположение контрзапруды в нижнем бьефе обусловлено условиями обтекания занесенного селехранилища и определяется скоростью сбросного потока на гребне селесброса. Это положение наглядно иллюстрируется рис. 4.14, где приведены результаты одного из наших экспериментов по обтеканию грядекаменным селем занесенного селехранилища.

Наносоудерживающий эффект конструкции.

Объем задержанных сквозным селеуловителем наносов, при воздействии на сооружение наносоводного селя, представляет определенный интерес. Поэтому цель этого раздела работы - проверить существующие рекомендации применительно к типичному селеуловителю (на р.Талгар, р.Иссык, р.Акжар, р.Хоргос и др.).

Наносоудерживающий эффект сквозной конструкции обусловлен её гидравлическим сопротивлением, вследствие чего перед преградой резко повышаются уровни воды, снижаются скорости течения, что и приводит к выпадению наносов из несвязного наносоводного селевого потока.

Для конструкции типичного селеуловителя сквозность оценивается по среднему просвету конструкции в пределах правильного шестиугольника на плане (рис.4.15). Коэффициент сквозности, по рекомендации [86],

определялся отношением площади просвета к полной площади на вертикальной проекции в пределах правильного шестиугольника

$$C_k = S_{\text{пр}} / S_{\text{пол}} \quad (4.6)$$

где $S_{\text{пол}} = \Delta \cdot n \cdot a \cdot m$; $S_{\text{пр}} = (\Delta - 4\delta) n \cdot a \cdot m$.

Дальность отлета по оси струи $\ell_{\text{от}} = V_c \sqrt{\frac{2(P_{\text{пл}} + 0,5h_{\text{кр}})}{g}}$; $h_{\text{кр}} = 0,67H_0$

Наносоводный сель $Q_c = 200 \text{ м}^3/\text{с}$, $q = 2,5 \text{ м}^3/\text{с}$ на 1п.м., $V_c = 3,41 \text{ м}/\text{с}$,
 $\ell_{\text{от}} = 8,1 \text{ м}$.

Грязекаменный сель $Q = 6000 \text{ м}^3/\text{с}$, $q = 3204 \text{ м}^3/\text{с}$ на 1п.м. $V_c = 10 \text{ м}/\text{с}$,
 $\ell_{\text{от}} = 24,8 \text{ м}$.

Грязекаменный сель $Q = 15000 \text{ м}^3/\text{с}$, $q = 92,59 \text{ м}^3/\text{с}$ на 1п.м. $V_c = 12 \text{ м}/\text{с}$,
 $\ell_{\text{от}} = 30,0 \text{ м}$

Наносоводный сель $Q_c = 200 \text{ м}^3/\text{с}$, $\rho = 1,15 \text{ т}/\text{м}^3$, $q = 2,5 \text{ м}^2/\text{с}$

$\ell_{\text{колодца}} = \ell_{\text{от}} + \ell_n = 8,1 \text{ м} + 11,5 \text{ м} = 19,6 \text{ м} = 20 \text{ м}$, $h_{\text{вод ст}} = 3,2 \text{ м}$.

Длина водобойного колодца в Н.Б. должна быть не менее 20 м при высоте глухой водобойной стенки не менее 3,2 м.

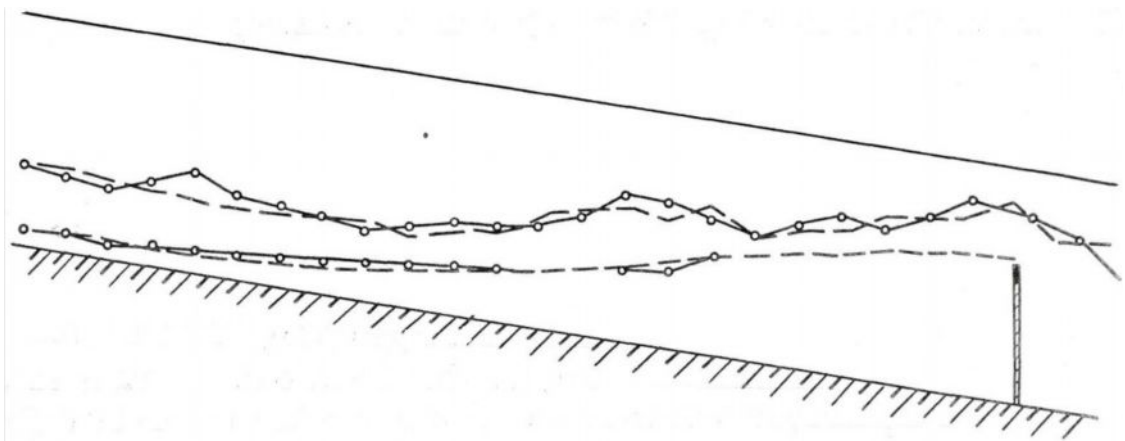


Рис.4.14. Максимальные уровни свободной поверхности селя при переливе потока после занесения селехранилища

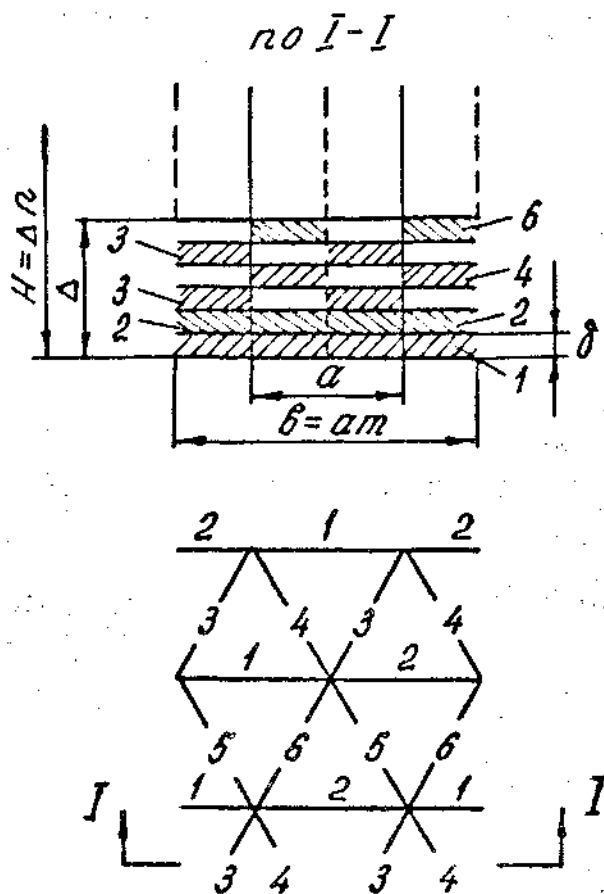


Рис. 4.15. Схема сборки селеуловителя. 1,2,3,4,5,6 – очередность сборки элементов сооружения.

Δ_n - высота сквозной конструкции, м; $b = at$ - ширина конструкции,

Δ - расстояние между горизонтальными элементами того же порядкового номера или шаг сборки, м; n - число шага; a - длина каждого элемента, м; t - число элементов по ширине конструкции; δ - толщина элемента, м.

$$C_k = 1 - \frac{4\delta}{\Delta}; \quad C_k = 0,33$$

При установке дополнительных шайб между горизонтальными балками

$$C_k = 1 - \frac{2}{3(1+N)} \quad (4.7),$$

где N - число дополнительных шайб при $N=1$, $C_k = 0,67$. Гидравлическое сопротивление сквозного сооружения на р.Иссык состоит из двух слагаемых - местных потерь и потерь по длине:

$$h = h_m + h_e \quad \text{где}$$

$$h_m = \zeta_M \frac{LV02}{2g}; \quad h_e = \xi \frac{e}{d} \frac{LV02}{2g} = \xi_1 \ell \frac{LV02}{2g};$$

$$h = \zeta_M \frac{LV02}{2g} + \xi_1 \ell \frac{LV02}{2g} = (\zeta_M + \xi_1 \ell) \frac{LV02}{2g} = \zeta \frac{LV02}{2g} \quad (4.8)$$

Т.е. коэффициент гидравлического сопротивления типичной конструкции селеуловителя (например, на р.Иссык и др.) не является величиной постоянной. Конструкция селеуловителя выполнена в виде ступеней, т.е. величина ℓ переменная, поэтому коэффициент гидравлического сопротивления уменьшается при переходе от нижних ярусов к верхним, соответственно, уменьшается и наносодерживающая способность селеуловителя. Наши эксперименты, выполненные для нижнего яруса селеуловителя, сквозность которого менялась путем установки дополнительных шайб и балок, показали, что при сквозности $C_k = 0,2$, $\zeta = 8,0$; при $C_k = 0,3$, $\zeta = 7,0$; при $C_k = 0,4$, $\zeta = 6,1$; при $C_k = 0,67$, $\zeta = 4,0$. Опыты на модели показали, что наносодерживающий эффект конструкции зависит от её сквозности, величины расхода и мутности потока, уклона русла, грансостава наносов. С увеличением уклона русла процент задержания наносов уменьшается; при постоянной мутности, но с увеличением расхода потока наносодерживающий эффект снижается, а при увеличении мутности и увеличении соотношения d_{cp}/Δ перехват наносов резко увеличивается.

По данным Н.П.Павленко, изучавшего грансостав влекомых наносов р.Иссык у выхода из ущелья и его изменение в течение летнего периода времени, диаметр наносов изменяется от 23 мм в мае до 46,5 мм в июле, при среднем диаметре 32,45 мм. Данные Н.П.Павленко по грансоставу влекомых наносов р.Иссык у выхода из ущелья приведены в нижеследующей табл. 4.1.

При соотношении $d_{cp}/\Delta = 3,2/30 = 0,1066$. по данным Л.И.Цанава, задерживается 39% наносов, по рекомендациям ГрузНИИГиМ - 5%, по нашим опытам для нижнего яруса селеуловителя при плотности селевого паводка $1,3 \text{ т/м}^3$ - 18%; при $d_{cp}/\Delta = 3,2/60 = 0,05$, по данным Л.И.Цанава, задерживается 20% наносов, по рекомендациям ГрузНИИГиМ - 2%; по нашим экспериментам - 11%.

Табл. 4.1

		Процентное содержание влекомых наносов, по весу				
		до 10мм	от 10 до 40 мм	от 40 до 80 мм	более 80 мм	Средн ий диаметр, мм
май, декада	3	55, 8	27,8	12,1	4,3	23,02
июнь, декада	1	39, 5	38,1 33,9	13,6 13,1	8,8 7,4	31,98 28,975
-/-/ декада	2	45, 6	33,3	9,1	6,3	25,165
-/-/ декада	3	51, 3				
июль, декада	1	31, 3	27,8 37,0	25,4 30,1	15,5 4,0	46,455 34,355
-/-/ декада	2	28, 9	30,6	27,4	12,5	43,065
-/-/ декада	3	29, 5				
август, декада	1	42, 9	33,3 32,5	15,2 15,0	8,6 5,7	31,63 27,44
-/-/ декада	2	46, 8				
		средний за лето – 32,45				

4.4 Новые усовершенствованные противоселевые конструкции

Для типичного селеуловителя (на р.Иссык) при высоте сооружения 27,5 м расчетная высота ударяющейся селевой волны составляет 29,0 м, т.е. сооружение с вертикальной напорной гранью воспринимает одновременную

нагрузку по всей высоте. В этом случае для обеспечения прочности отдельных элементов - вертикальных стоек и горизонтальных ригелей - требуется усиленное армирование и увеличение площади поперечных сечений этих элементов.

Снизить материалоемкость конструкции можно за счет учета динамики и кратковременности действия импульсных селевых нагрузок. При рациональном выборе формы напорного фронта - в виде ступеней, выдвинутых в верхний бьеф, - уменьшается площадь селеуловителя, одновременно подверженная ударной импульсной нагрузке. Предлагаемая конфигурация селеуловителя - это как бы повернутый ступенями к направлению воздействующего потока селеуловитель И.И.Херхеулидзе, при этом все размеры ячеек, составляющих сооружение, или одинаковые, или убывают вниз по течению.

Напорная грань выполняется ступенчатой, причем первая воспринимающая удар селея ступень по высоте самая маленькая, вторая - выше, третья - еще выше: получается своеобразная лестница. При таком очертании противоселевого устройства удар фронта селевой волны как бы размывается во времени, площадь первой ступени напорной грани, воспринимающей удар, меньше высоты головки расчетного селея.

При установке предлагаемого противоселевого устройства, состоящего из 7 ярусов-ступеней, одновременно воспринимаемые сооружением нагрузки резко уменьшаются. Эти уменьшенные нагрузки в свою очередь перераспределяются на все элементы рамной конструкции, что и приводит к резкому уменьшению расчетных нагрузок на отдельные элементы, по сравнению с сооружением конструкции И.И.Херхеулидзе. Эксперименты и расчеты показали, что нагрузки, воспринимаемые одной ступенью-ярусом, перераспределяются на все элементы устройства, при этом за счет уменьшения величины самой нагрузки удается уменьшить площади поперечного сечения отдельных элементов-вертикальных стоек и горизонтальных ригелей и снизить процент их армирования.

Работает предлагаемое устройство следующим образом. При ударе селя об устройство, первой селевые нагрузки воспринимает первая (нижняя) ступень сооружения на площади, равной площади ее напорной грани. Расчетная схема первого этапа удара показана на рис. 4.16.а. Затем по мере продвижения селя ударную динамическую нагрузку $P_{дин}$ воспринимает вторая ступень (II этап удара, рис. 4.16.б), но в этот момент на первую ступень действует уже не динамическая импульсная (она уже прошла), а статическая нагрузка $P_{стат}$. На третьем этапе в работу вступает третья снизу ступень сооружения, которая подвергается импульсному удару селя, при этом первая и вторая снизу ступени воспринимают статическое давление остановившейся селевой массы (рис. 4.16.в).

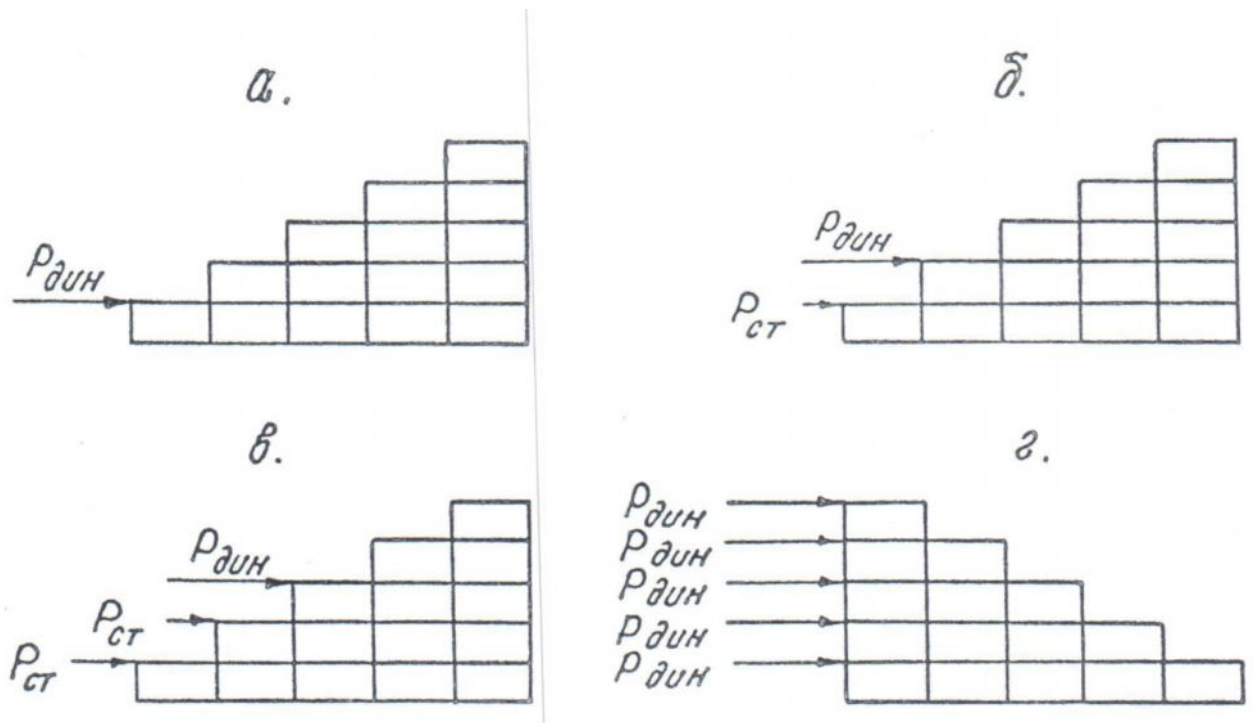


Рис. 4.16. Расчетные схемы воздействия селя на сооружение

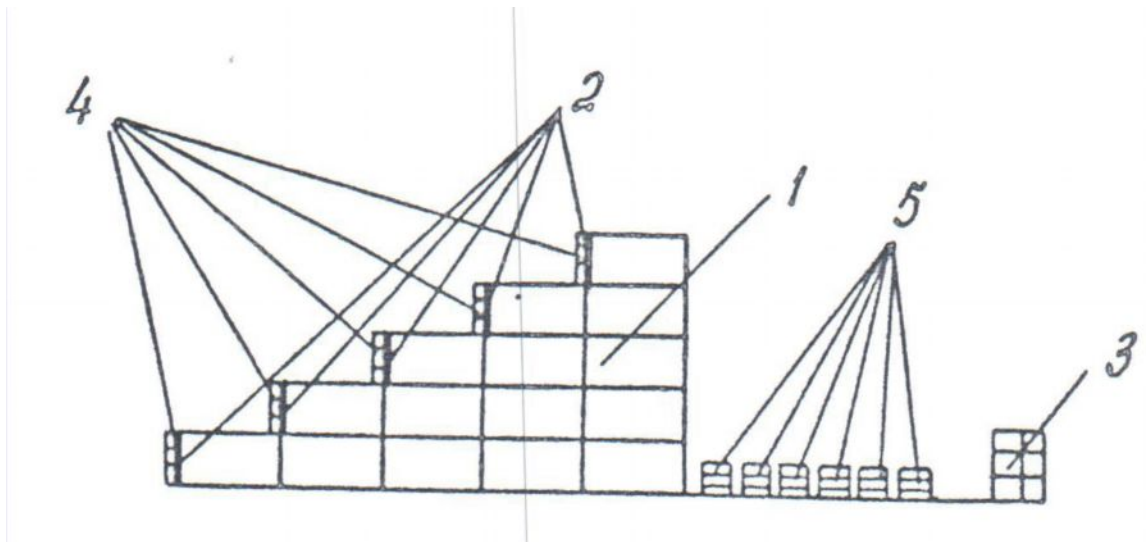


Рис. 4.17. Схема предлагаемой инструкции

В дальнейшем последовательно в работу вступает четвертая, пятая и т.д. ступени (ярусы) сооружения (в зависимости от высоты ударяющейся селевой волны). Динамические импульсные нагрузки $P_{дин}$ в десятки раз превышают статические нагрузки $P_{стат}$ от воздействия остановившейся селевой массы. Применительно к сооружению конструкции И.И.Херхеулидзе расчетная схема удара селя о сооружение приведена на (рис. 4.16). Из приведенных на рис. 4.16 расчетных схем отчетливо видно, что суммарная нагрузка от воздействующего селя на конструкцию И.И.Херхеулидзе существенно больше, чем при использовании предлагаемого устройства. При описании работы сооружения в динамике предполагалось, что высота селя, воздействующего на сооружения, больше или равна высоте сооружения.

Для расчета на прочность элементов сквозного селеуловителя применялась модифицированная программа «Лира», при этом использовались полученные из эксперимента величины импульсных динамических нагрузок, а также вычисленные на ЭВМ форма, величина и продолжительность импульса удара селевой волны. Реальная продолжительность удара селевой волны для селеуловителя на р.Талгар составила $t=3,97с \approx 4,0$ сек., а максимальная величина импульса при скорости соударения 10м/с и плотности селя $2,4 \text{ т/м}^3$ $P=1637 \cdot 10^3 \text{ Па}$ ($P=163,7 \text{ тнс/м}^2$).

Расчеты по формуле ГрузНИИГиМ для этих же условий дали следующие результаты: при коэффициенте $k=4,5$ $P=108 \text{ т/м}^2$; при $k=9,0$ $P=216 \text{ т/м}^2$.

Как показали результаты расчетов, для селеуловителя на р.Иссык при размерах вертикальных стоек диаметром 50 см и сечении горизонтальных ригелей-балок 30x30 см, нагрузки чрезмерно велики, и некоторые из указанных элементов будут разрушены.

Сопоставительные расчеты для сооружения высотой 27,5 м с 8-ю ступенями или со ступенями большей длины показали, что такое решение кардинально не решает проблемы - необходимо существенно снизить сами величины импульсных нагрузок.

Рассмотрены три варианта решения этой задачи:

1. Величину импульсной нагрузки, действующей на элементы сооружения и определяющей его размеры и прочность, можно уменьшить путем установки специальных амортизаторов (кольцевых блоков из упругого материала), поглощающих часть ударной энергии. Как показали наши лабораторные эксперименты, амортизаторы в виде кольцевых блоков из гибкого упругого материала особенно эффективно срезают пики импульсных нагрузок от удара селевой волны и от воздействия отдельного камня. Поэтому рекомендуется устанавливать их на горизонтальных и вертикальных стержнях напорной грани предлагаемого устройства в зоне контакта селя с сооружением, а также в зоне воздействия на дно нижнего бьефа переливающегося через гребень сооружения селя.

Схема предлагаемой конструкции представлена на рис. 4.17. Здесь: 1 - предлагаемое устройство; 2 - напорная грань предлагаемого устройства; 3 - контрзапруда; 4 - амортизаторы из гибкого упругого материала в виде кольцевых блоков (использованных автопокрышек); 5 - крепление дна селеуспокоительного колодца в зоне падения переливающегося селя кольцевыми блоками-амортизаторами, соединенными между собой, а также с противоселевым устройством и контрзапрудой, гибкими связями.

Наши опыты по сбрасыванию грузов массой 200 г: 500 г с высоты 95-100 см на жестко закрепленную балку показали, что одна резиновая прокладка толщиной 7:9 мм уменьшает величину импульсной нагрузки на 20-27%, две прокладки снижают максимум импульса до 40%, три - до 5 %.

Лабораторные опыты с резиновыми прокладками-амортизаторами не могут быть пересчитаны на натуру и дают чисто качественные результаты. Для количественной оценки амортизирующей способности блоков из использованных автопокрышек необходимы натурные эксперименты.

Идея постепенного поглощения энергии удара селевой волны реализуется лишь частично за счет придания напорной грани ступенчатой формы. Эффект снижения одновременно действующих нагрузок можно значительно усилить, если сквозность сооружения будет изменяться (уменьшаться) вниз по течению. Т.е. первые, воспринимающие вначале удар селя ячейки будут больших размеров, а вниз по течению размеры ячеек убывают, сквозность конструкции уменьшается, тем самым по мере продвижения селя площадь контакта селя с сооружением увеличивается, а удар размазывается во времени. Реализовать этот вариант можно путем установки дополнительных шайб на вертикальные стойки и введения нового (дополнительного) типоразмера горизонтальной балки-ригеля.

2. Эксперименты на гидравлических моделях показали, что удар селевой волны состоит из двух этапов:

а) импульсные нагрузки на сооружение, величина этих нагрузок определяется жесткостью сооружения и сжимаемостью селевой массы, и оцениваются по полученной нами экспериментально формуле (4.4)

б) нагрузки, обусловленные обтеканием преграды (элементов сооружения) селевой массой, эти нагрузки пропорциональны скорости обтекания, и определяются по формуле:

$$P(z) = \rho g z * \cos\psi + \frac{\rho v^2}{2} \quad (4.9)$$

здесь, $P(z)$ - давление на глубине от свободной поверхности;

v - скорость натекания селя на преграду;

ψ - угол, характеризующий уклон русла.

Уменьшить суммарную нагрузку от селевой волны на селеуловитель можно путем придания хорошо обтекаемой формы как самому селеуловителю, так и составляющим его элементам – стойкам и ригелям-балкам.

Реализовать этот вариант можно следующим образом. Сооружение выполняется с напорной гранью в виде ступеней (в поперечном разрезе), а в плане каждая ступень представляет собой не прямую линию, перпендикулярную фронту потока, а ломанную, состоящую из нескольких треугольников, при остром угле навстречу потоку (рис. 4.18).

Каждый из элементов, формирующих напорную грань сооружения, выполняется хорошо обтекаемой формы (сечения) - треугольной, эллиптической, каплевидной. Коэффициент лобового сопротивления C_x вертикальных стоек и горизонтальных ригелей, в зависимости от числа Re и формы сечения, приведены в таблице 4.2.

Табл. 4.2

Форма сечения	Отношение ширины к длине вдоль	$Re >$	C_x
Круглая	1:1	10^3	1,00
	1:1	$6 \cdot 10^5$	0,50
Эллиптическая	2:1	10^3	1,60
	2:1	$6 \cdot 10^5$	0,70
Прямоугольная	2:1	10^3	2,2
	1:1	10^3	2,0
Треугольная при остром угле навстречу потоку	1:2	10^3	1,0
	1:1	10^3	1,50
	2:1	10^3	1,90
Каплевидная	1:2	10^3	0,50

Расчетная нагрузка на каждый элемент сквозного сооружения в этом случае складывается из давления обтекания и удара отдельного камня или группы камней расчетного диаметра.

3. Комбинированный вариант типичного селеуловителя (например, на р.Талгар) представляет собой:

а) конструкцию с напорной гранью, выполненной в виде ступеней-ярусов, поочередно воспринимающих удар селя (рис. 4.17);

б) в плане очертания каждой ступени-яруса представляют собой ломаную линию, состоящую из ряда треугольников, ориентированных острым углом навстречу селевому потоку (рис. 4.18);

в) размеры ячеек, составляющих сквозное сооружение. убывают вниз по течению от верхнего бьефа к нижнему, сквозность сооружения также уменьшается вниз по течению;

г) напорная грань сооружения в зоне контакта с селом оборудована упругими блоками-амортизаторами из использованных автопокрышек (рис. 4.17);

д) селеуловитель снабжен контрзапрудой, установленной в нижнем бьефе сооружения и формирующей селеуспокоительный колодец, дно которого в зоне падения переливающегося селевого потока снабжено кольцевыми блоками из автопокрышек, соединенными между собой, с селеуловителем и контрзапрудой гибкими связями и (или) посаженными на сваи.

В предлагаемой конструкции сквозного селеуловителя особое внимание нужно уделить обеспечению [104,105,106]:

а) прочности и жесткости треугольных выступов-селерезов;

б) безусловной устойчивости нижнего бьефа при переливе селя через гребень сооружения.

Устройство селереза может быть осуществлено с помощью специальных ригелей-балок хорошо обтекаемой формы и сечения (рис.4.19), либо путем применения обычных ригелей-балок, снабженных обтекателями.

Выбор одного из трех рассмотренных вариантов конструкции типичного селеуловителя может быть осуществлен на основе технико-экономических расчетов, но, с точки зрения гидравлики сооружения, предпочтение может быть отдано третьему "комбинированному" варианту.

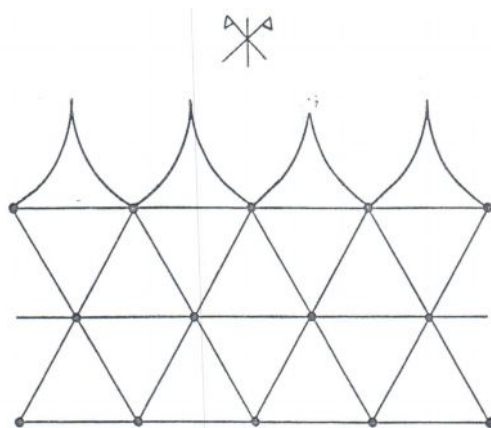


Рис. 4.18. План обтекаемой формы

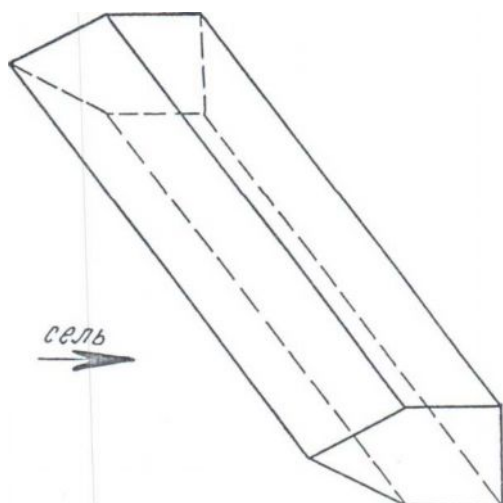


Рис. 4.19. Ригеля и стойки обтекаемой формы
Пропуск селя в нижний бьеф сооружения

При сбросе через гребень занесенного селехранилища наносоводного селя дальность отлета струи при коэффициенте скорости $\varphi=1,0$ может быть рассчитана по зависимости

$$l_{от} = V_c \sqrt{\frac{2}{g} (P_{пл} + 0,5h_{кр})} \quad (4.10)$$

По американским нормативам длина крепления в нижнем бьефе для наносоводного селя составляет $L_{водобоя} = H_{пл} + 15 = 27,0\text{м} + 15\text{м} = 42\text{ м}$

Пропуск в нижний бьеф селеуловителя на р.Талгар наносоводного селя с расходом $Q=200\text{ м}^3/\text{с}$ приведет к формированию в русле реки вторичного селя и катастрофическим переформированиям русла ниже контрзапруды. Чтобы ограничить и стабилизировать размывку русла необходимо укрепить русло ниже контрзапруды поперечными углубленными заподлицо с дном русла поясами-стенками. Рекомендуется расстояние между поясами-стенками принять равным 20:30 м.

При полном гашении энергии сбросного потока в селеуспокоительном колодце, образованном контрзапрудой, и при поступлении сбросного потока в нижний бьеф шириной ориентировочно $\sim 50\text{ м}$ и с расходом $4,0\text{ м}^2/\text{с}$ на 1 погонный метр, за донными порогами образуется размыв с максимальной глубиной 1,5 и на расстоянии от порога 2,5 м. Расчет при $i = 0,03$ $d_{ср.отлож.} = 123,9\text{ мм}$ (по Н.П.Павленко).

Но определяющим в креплении нижнего бьефа является перелив через гребень сооружения грязекаменного потока. Именно поэтому в данном случае неэффективны обычно используемые для защиты от наносоводных селей специальные крепления водобоя железобетонными плитами и т.п., как бы отодвигающими образующиеся размывы русла от сооружения.

При динамическом воздействии падающего с высоты 27 м грязекаменного селя грунты основания нижнего бьефа как бы «разжижаются», переходят в запредельное текучее состояние. В этом случае цель установленной в нижнем бьефе контрзапруды состоит в том, чтобы предотвратить течение перешедшего в разжиженное состояние грунта. Поэтому

контрзапруда жестко связывается продольными балками или по основанию с основным селеуловителем, образуя единую жесткую конструкцию.

Поэтому рекомендуемое крепление нижнего бьефа должно:

1) за счет установки в нижнем бьефе амортизаторов-блоков из использованных автопокрышек снизить динамические нагрузки на основание нижнего бьефа, существенно уменьшить зону (глубину) полного разжижения грунта;

2) связав продольными балками и по основанию контрзапруды с основным селеуловителем, образовав тем самым единую жесткую конструкцию, предотвратить возможность течения разжиженного грунта.

Поскольку при недостаточном заглублении контрзапруды и селеуловителя они могут оказаться в зоне полного разжижения грунта, возникает необходимость соответствующего заглубления этих сооружений или установки их на буронабивные сваи или выполнение их более массивными.

Конструктивно эту идею можно осуществить следующим образом:

1) самый крайний со стороны нижнего бьефа (последний) ряд стоек селеуловителя устанавливается на фундаментную плиту, которая в свою очередь устанавливается на буронабивные сваи;

2) контрзапруда, выполненная в виде сквозного сооружения, нагруженного грунтом, устанавливается на фундаментную плиту, которая в свою очередь, устанавливается на буронабивные сваи;

3) фундаментные плиты основного сооружения и контрзапруды жестко соединяются продольными железобетонными балками, конструктивно эти продольные балки могут быть соединены поперечными балками, образуя совместно решетчатую (несплошную) водобойную плиту;

4) в промежутках между продольными и поперечными балками водобойной плиты устанавливаются амортизаторы (на буронабивных сваях, закрепленные гибкими связями между собой, селеуловителем и контрзапрудой); продольные и поперечные балки нижнего бьефа также

снабжены амортизаторами для предохранения их от разрушения перебивающимся через гребень плотины грязекаменным селем;

5) напорная грань и нижний бьеф контрзапруды снабжены амортизаторами для снижения динамических нагрузок на сооружение;

6) устройство контрзапруды в виде сквозного сооружения позволит в будущем осуществлять промывку селехранилища.

4.5 Заключение по главе 4

В 4-ой главе получены следующие основные результаты.

1. Проведен анализ современного состояния изученности селевых нагрузок и конструкций сквозных противоселевых сооружений. Отмечена необходимость учета динамики удара при расчете конструкций сквозных сооружений и огромное, определяющее значение исходных параметров ($Q_{\text{селя}}$, $W_{\text{селя}}$, $V_{\text{селя}}$, $h_{\text{селя}}$, ρ) на конструкцию селеуловителя, прочность составляющих его элементов и недопустимость экстраполяции эмпирических расчетных формул за границу тех данных, на основе которых они были получены. В связи с этим отмечена необходимость при проектировании на стадии рабочих чертежей уточнить объемы, расходы, плотности, скорости и глубины течения расчетных селей, соответственно, будут корректироваться и расчетные нагрузки на элементы сквозного селеуловителя.

2. Обоснована необходимость усовершенствования и модернизации сквозных сооружений типа И.И.Херхеулидзе, как наиболее распространенных, для которых создана Казселезащитой база производства, но имеющих существенные недостатки, которые необходимо устранить, при этом при модернизации могут быть использованы существующие работоспособные элементы.

3. Приведены описания экспериментальной установки измерительных приборов и КИА, основные результаты экспериментов по изучению динамического воздействия селя на сооружение и дно нижнего бьефа.

Экспериментально изучен удар селя о жесткое противоселевое сооружение.

Установлено, что определяющими здесь являются импульсные нагрузки, которые для типового сквозного селеуловителя являются разрушающими.

Разработанная расчетная модель учитывает динамику процесса взаимодействия селя с сооружением (фронтальный удар и последующее обтекание) и конструктивные особенности сооружения (жесткость, период собственных колебаний и т.д.).

Предложена расчетная формула, полученная на основе экспериментов, для оценки импульсного динамического воздействия грязекаменного селя.

4. Даны практические рекомендации по совершенствованию и модернизации типовых конструкций И.И.Херхеулидзе, которые позволяют снизить динамическое воздействие селя на элементы сооружения и, тем самым, уменьшить стоимость селезащитных мероприятий. В том числе:

- оценен наносодерживающий эффект сквозного сооружения конструкции И.И.Херхеулидзе применительно к типичному селеуловителю;

- рассмотрены три варианта конструкции сквозного селеуловителя: а) с применением амортизаторов; б) с применением обтекателей комбинированного типа. Проанализированы их достоинства и недостатки, отмечается, что предпочтение одному из вариантов может быть отдано только на основе технико-экономических расчетов, но с гидравлической точки зрения предпочтителен комбинированный вариант;

- разработана новая конструкция сквозного селеуловителя с хорошо обтекаемой напорной гранью ступенчатой формы и амортизаторами из блоков использованных автопокрышек. Применение амортизаторов позволило существенно снизить динамическую нагрузку на сооружение и дно нижнего бьефа. На предложенную конструкцию селеуловителя оформлена заявка на изобретение;

- рассмотрены варианты крепления нижнего бьефа, даны рекомендации по конструктивному решению нижнего бьефа селеуловителя и контрзапруды;

- отмечается, что для заданных параметров грязекаменных селей (например, для селеуловителя на р.Талгар $Q=6000 \text{ м}^3/\text{с}$, $\rho=2,4 \text{ т}/\text{м}^3$, $V=10 \text{ м}/\text{с}$, $H_{\text{ср}}=20 \text{ м}$, $W=8,86 \text{ млн.м}^3$, $Q=15000 \text{ м}^3/\text{с}$, $\rho=2,4 \text{ т}/\text{м}^3$, $V=12 \text{ м}/\text{с}$, $H_{\text{ср}}=29 \text{ м}$, $W=30 \text{ млн.м}^3$) при расчете на прочность нагрузки на отдельные элементы чрезмерно велики и некоторые элементы будут разрушены.

ВЫВОДЫ

В работе получены следующие основные результаты:

Критический анализ состояния ГТС энергетического и водохозяйственного назначения показал их значительный физический и моральный износ, а выполненное в институте гидрогеологии МОН РК уточнение (увеличение) коэффициентов стока с водосборной поверхности, обусловленное антропогенным воздействием, приводит к увеличению расходов, значительно превышающих принятые при проектировании. Это несоответствие требует незамедлительной корректировки – модернизации водосбросов и гасителей действующих сооружений, обеспечения их безусловной устойчивости.

Предложена новая экологически обоснованная концепция строительства новых ГТС и противопаводковых конструкций, исключающая негативное воздействие строительства на окружающую среду за счет применения новых конструкций, средств автоматизации, дистанционного мониторинга, контроля, сигнализации и управления.

Разработаны практические рекомендации для действующих ГТС и противоселевых сооружений, обеспечивающие их надежность, работоспособность и безусловную устойчивость за счет конструктивных изменений, использования ВИЭ и средств автоматизации.

Разработаны новые запатентованные конструкции водоподъемных плотин с “плавкой” вставкой, оборудованные ВИЭ и средствами автоматизации, автоматически обеспечивающие безаварийный пропуск паводковых расходов расчетной обеспеченности.

Предложены новые запатентованные конструкции гасителей энергии для плотин с “плавкой” вставкой, которые обеспечивают надежную и безаварийную работу нижнего бьефа.

Экспериментально обосновано применение “податливых” противоселевых конструкций, позволяющих резко снизить импульсные ударные селевые нагрузки. Полученный эффект снижения импульсных

ударных нагрузок позволил разработать новые более экономически и технически обоснованные конструкции сооружений.

Предложены новые запатентованные противоселевые конструкции, учитывающие эффект уменьшения импульсных ударных нагрузок и удешевляющие за счет этого стоимость сооружений, которые позволяют, в случае их применения, резко снизить общую стоимость схем и систем противоселевой защиты территорий и населенных мест.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Предложенная концепция использования водоподъемных плотин с плавкой вставкой, по сути, меняет региональную стратегию противоселевого и водохозяйственного строительства, существенно удешевляя его и обеспечивая экологическую устойчивость и безопасность территории, а предлагаемые новые запатентованные конструкции противоселевых сооружений и водоподъемных плотин позволяют реализовать как предлагаемую концепцию, так и региональную стратегию водохозяйственного и противоселевого строительства, экономически обосновывая существенное снижение стоимости рекомендуемых мероприятий при безусловном выполнении требований Департамента экологии и ЧС.

Разработаны практические рекомендации по:

- повышению работоспособности, устойчивости и надежности действующих ГТС и противоселевых конструкций;

- использованию новых конструкций ГТС с “плавкой” вставкой и “амортизирующих” противоселевых конструкций, снижающих импульсное воздействие селея;

- применению средств автоматизации для дистанционного мониторинга, контроля, управления с использованием автономных МГЭС.

Внедрение разработанных рекомендаций на каскаде ГЭС на р.Курчум позволяет по сравнению с разработками ТОО “Казгидро” (2007г.) "Технико-экономические исследования вариантов покрытия перспективных электрических нагрузок с рассмотрением альтернативных видов станций и оптимальных площадок их размещения" (Том 4 "Развитие генерирующих источников в ЕЭС Казахстана на период до 2030 года. Книга 4. Развитие гидроэлектростанций. № 3883-09-Т.4)

- увеличить на 6,5% объем выработки электроэнергии с 692 ГВтч до 696,5 ГВтч;

- снизить удельные капитальные затраты на 1 кВт установленной мощности на 9,2% с 213,20 тыс.тг до 193,59 тыс.тг.

- уменьшить себестоимость выработки электроэнергии на 2,1% с 32,70 тг/квт.ч. до 32,01 тг/квт.ч.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. М-Л, Физматгиз, 1960. 715с.
2. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Книга 6 /Под редакцией Октябрьского Р.Д., Сеницына И.Е. – М.:АСВ, 2003. – 405с.
3. Акимов В.А. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике.// МЧС России. – М.: "Деловой экспресс", 2004. – 352 с.
4. Aerothermodynamics of turbo machinery, analysis and design, Naixing Chen, Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, China, 2010. – 461 p.
5. Automated observation for the safety control of dams. Bulletin 41, Paris: ICOLD, 1982.
6. Ахмедов Т.Х. Местный размыв скальных грунтов. Автореф.дисс...докт.техн.наук: ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, Ленинград, 1980, 36 с.
7. Ахмедов Т.Х., Квасов А.И., Джартаева Д.К. Водосбросы противоселевых плотин, Алма-Ата, Наука КазССР, 1989. 148 с.
8. Баймолдаев Т., Виноходов В. Казселезащита – оперативные меры до и после стихии. – Алматы: Бастау, 2007. 283 с.
9. Байнатов Ж. Б. Характер распределения ударного воздействия селевого потока на преграду. – Селевые потоки, 1988. Сб.10, с.118-122.
10. Baimagambetov B., Yafyazova R. 2008. Landslide and mud flow hazard on the northern slope of the Zailiysky Alatau. Proceedings of the international Conference on Management of Landslide Hazard in the Asia-Pacific Region, Sendai, Miyagi Prefecture, Japan, 11-12 November 2008, pp.292-296.
11. Барабанова Е.А. Причины повреждения плотин гидроузлов как фактор риска и их последствия для населения // Известия АН. Серия географическая. – 1994. № 6. – С. 61–67.

12. Беллендир Е.Н., Никитина Н.Я. Управление риском аварий гидротехнических сооружений - проблемы, подходы, опыт, перспективы // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 2003. Вып. 3.С. 124-135.
13. Беручашвили Г.М. Некоторые вопросы динамики селевого потока и его взаимодействие с сооружениями. – В кн.: Материалы IV Всесоюзной конференции по селевым потокам. Алма-Ата: Изд.АН КазССР, 1959, с.132-141.
14. Бик И., Лаунс П. Планирование и управления водохозяйственными системами. – М.: Юстицинформ, 2009, – 659 с.
15. Бичиашвили Д.В. Определение расчетных давлений селевого потока на сооружение // Гидротехническое строительство, 1971, № 11, с.33-35.
16. Вагапов Р.И, Ибраев Т.Т., Карлыханов О.К. Современное состояние и перспективы использования водных ресурсов бассейна реки Сырдарья. Тараз, 2008 - 244 с.
17. Васильев А.М. Усовершенствование конструкции консольной части водосбросного сооружения для условий крепления нижнего бьефа каменной наброской. Автореф.дисс...канд.техн.наук: НИМИ. Новочеркасск, 2005, 22 с.
18. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. – М.: "Academia", 2007, – 368 с.
19. Власов А.Ю. Селевые явления и противоселевые мероприятия в США. Обзорная информация № 15, М.: 1976, ЦБНТИ Минводхоза СССР, 44 с.
20. Власов А.Ю., Перов В.Ф. Селевые явления в Австрии и борьба с ними. XV Всесоюзн.научно-техн.конф. по противоселевым мероприятиям. Тезисы докладов, вып.3, ЦБНТИ Минводхоза СССР. М.; 1978, с.165-171.
21. Водоналивные дамбы. – М.: Политехника. 2010. – 4 с.
22. Вызго М.С. Эксплуатационные мероприятия, прогнозы и способы уменьшения размывов за гидротехническими сооружениями. Ташкент, Уз.ССР, 1966 г. 292 с.

23. Гельфан А.Н. Расчеты и прогнозы максимального речного стока: современное состояние и направление модернизации. // Материалы шестой общероссийской конференции изыскательских организаций. Москва: 2010 г. – С. 171–175.
24. Григорян С.С. Механика снежных лавин. – В сб.: Механика ледников, снежных лавин и грунтов. Научные труды ин-та механики МГУ, № 42, М.: МГУ, 1975, с.134-158.
25. ГОСТ Р 22.0.02-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий.
26. ГОСТ Р 22.0.03-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.
27. ГОСТ Р 22.0.05-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.
28. Государственная программа управления водными ресурсами Казахстана // Утверждена Указом Президента РК № 786 от 4.04.2014.
29. Григорьев А.А., Кондратьев К.Я. Экодинамика и геополитика. Т. 2. Экологические катастрофы. – С-Пб, 2001. – 216 с.
30. Заявка на инновационный патент № 2015/0277.1. Гидроагрегат. Кошумбаев М.Б.
31. Золотов Л.А., Иващенко И.Н., Радкевич Д.Б. Оперативная количественная оценка уровня безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 1997. № 2. С. 40-43.
32. Иващенко И.Н., Иващенко К.И. Оценка и регулирование риска аварий плотин // Гидротехническое строительство, - 2013, № 3, с.14-20.
33. Иващенко И.Н., Радкевич Д.Б., Иващенко К.И. Вероятностная оценка риска аварий плотин по результатам их мониторинга и обследований // Гидротехническое строительство, - 2012, № 7, с.22-28.
34. Инновационный патент № 28725. Гидроагрегат. Кошумбаев М.Б, Боканов Б.Б., Квасов П.А., Мырзакулов Б.К., Ержан А.А. Опубл. 15.07.2014, бюл. №7.

35. Иорданишвили З.С., Сохадзе Л.Д. Некоторые вопросы ударного воздействия структурного (связного) селевого потока на поперечные сооружения. Тр.ГПИ им.В.И.Ленина, 1975, № 2(175), с.104-109.
36. Калиев С.М., Ордабаев М.К., Квасов П.А. Особенности образования сбойного течения. Материалы международной НПК КРСУ «Техносферная безопасность, наука и практика». Март 2015г. – Бишкек: Айт, 2015, с.86-90.
37. Кашарин Д.В. Исследование для мобильных деривационных гидроэлектростанций трубопроводов из композитных материалов // Гидротехническое строительство, - 2014, № 10, с.32-37.
38. Кашарина Т.П. Разработка облегченных русловых сооружений для малых рек. Автореф. дисс.... канд. техн. наук. — Новочеркасск, НИМИ, 1994. 22с.
39. Квасов А.И. Селевые потоки и их воз действие на сооружения. Алма-Ата: Наука, 1987, 131 с.
40. Квасов А.И., Кошумбаев М.Б. Гидравлические исследования в КазНИИЭнергетики // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, 2012, № 11, с.74-76.
41. Kvasov A.I. Akhmedov T. Kh. Mathematical modeling of debris flow impact against stationary construction The Soviet-China-Japan Symposium and field workshop on natural Shanhai, Lanchzou, Urumgi, Alma-Ata, Dushanbe, 1991
42. Kvasov A.I. Kozminykh E. R. Main Features of Debris Flow Control Construction in Kazakstan The Soviet-China-Japan Symposium and field workshop on natural Shanhai, Lanchzou, Urumgi, Alma-Ata, Dushanbe, 1991
43. Kvasov A.I. The Impact Interaction between Mud-Stone Flow and Obstacle The Soviet-China-Japan Symposium and field workshop on natural Shanhai, Lanchzou, Urumgi, Alma-Ata, Dushanbe, 1991.
44. Kvasov A.I., Baimoldaev B. K. Models of Forming and Movement of Debris Flows (Transport and transport-displace processes) Abstract Intern. Symposium on Water Ressources and Enviroment in Central Asia Region, Oct. 4 – 15. Urumgi, China, 1994.

45. Квасов А.И. Ахмедов Т.Х. Модели движения грязекаменных и наносоводных селей. Труды международной конференции по эрозионно-селевым явлениям и некоторым смежным проблемам, Тбилиси, 2001.
46. Квасов П.А. Новые конструкции ГТС с малыми ГЭС, реализующие Концепцию бассейнового управления водными ресурсами // Вестник НАН РК, 2016, (в печати).
47. Квасов П.А. Критический анализ работы сооружений при селепроявлениях на р.Хоргоз 18-22 июня 2010 года. Наука и новая технология, № 7. – Бишкек: Изд-во НЖ и ДХЛ, 2013.- С. 3-5.
48. Квасов П.А. Местный размыв за новой конструкцией ГЭС, оборудованной плотиной в виде плавкой вставки. Международный центр инновационных исследований “Омега сайнс” Символ науки, №12, ч.1. –Уфа. “Омега сайнс”, 2015. – С.45-48. http://os-russia.com/SBORNIKI/SN_12_1_2015.pdf
49. Квасов П.А. Новые подходы к стратегии строительства противопаводковых сооружений. Международный центр инновационных исследований “Омега сайнс” Символ науки, № 12, ч.1.-Уфа: “Омега сайнс” 2015. С.49-52. http://os-russia.com/SBORNIKI/SN_12_1_2015.pdf
50. Квасов П.А. Новая модульная конструкция генератора на магнитах. Материалы МНПК на тему “Качественное образование, передовая наука, зеленая экономика – будущее планеты”- Алматы: КГЖПУ 2014. – С.254-255.
51. Квасов П.А. Новый способ гашения энергии потока. Наука и новая технология, № 7. – Бишкек: Изд-во НЖ и ДХЛ, 2013.-С. 10-12.
52. Квасов П.А., Кошумбаев М.Б. Патент Гидротехническое защитное сооружение. Заявка на изобретение с приоритетом от 08.02.2016.
53. Книжников А., Кильзие Ф., Пахалов А. Карт-Бланш. Цена на нефть экологии не помеха. Независимая газета, 18.01.2016.
54. Кононенко О. “Казгидромет” станет региональным центром по предупреждению паводков в ЦА. Панорама, 24.09.2015.

55. Коронкевич Н.И. и др. Прогноз последствий разрушения гидроузлов // Известия РАН. Серия географическая. – 1995. № 2. – С. 58–66.
56. Кофф Г.Л. и др. Оценка последствий чрезвычайных ситуаций. – М.: РЭФИА, 1997. – 364 с.
57. Кошумбаев М.Б., Квасов П.А. Новая конструкция гидротурбины для низконапорной малой ГЭС. Вестник НАН РК, том 1, № 359 (2016), с.69-74.
58. Кошумбаев М. Б. Абдурасулов И.А., Квасов П.А. Энергосбережение и возобновляемые источники энергии. Материалы международной НПК КРСУ «Техносферная безопасность, наука и практика». Март 2015г. – Бишкек: Айат, 2015.- С.98-103.
59. Кошумбаев М., Ержан А., Мырзакулов Б., Квасов П. 2-nd International Conference on ITMAR «Theoretical and Experimental Researches on Development of New Construction of Wind-Driven Generator with Flux Concentrator» 20-21октябрь 2015 с. 58. Стамбул. Турция (с Имракт-фактором, в печати).
60. Кошумбаев М.Б. Квасов П.А. Абдурасулов И.А. Материалы международной научно-практической конференции “Техносферная Безопасность”; Наука и практика. «EnergySavingandRenewableEnergy». Бишкек 2015 с.98.
61. Кошумбаев М.Б., Квасов П.А., Боканов Б.Б., Мырзакулов Б.К., Ержан А.А. Гидроагрегат. Инновационный патент РК № 28725. Зарегистрировано 19.06.2014, бюл.№7.
62. Кошумбаев М.Б., Квасов П.А., Шишкин А.А., Шишкин А.А., Зейфман В.М., Ержан А.А. Гидроагрегат. Инновационный патент РК №30365 Зарегистрировано 15.09.2015, бюл.№9.
63. Кошумбаев М.Б. Квасов П.А., Мырзакулов Б.К., Ержан А.А. Гидротехнические сооружения ГЭС: Противоселевые и противопаводковые мероприятия // Энергетика и топливные ресурсы

- Казахстана, № 11 – Алматы: КазНИИЭнергетики им.академика Чокина Ш.Ч., Алматы: 2012.- С.62-65.
64. Кошумбаев М.Б. Квасов П.А. Энергосбережение и водные источники энергии. Наука и новая технология, № 2. – Бишкек: Изд-во НЖ и ДХЛ, 2015.- С. 21-26.
65. Кошумбаев М.Б. Повышение безопасности гидротехнических сооружений при чрезвычайных ситуациях путем усовершенствования конструкции водосбросов. Автореф.дисс...докт.техн.наук: 30.06.2008. – Алматы: КазНТУим.К.И.Сатпаева, 2008. 37 с.
66. Кошумбаев М.Б. Проблема экологии при возведении и эксплуатации гидротехнических сооружений //Гидрометеорология и экология. – Алматы, 2006. - № 4(43), - С.118-127.
67. Кошумбаев М.Б., Жакашбаева М.Б. Повышение безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) за счет оптимизации работы водосбросных сооружений и гасителей избыточной энергии, снижение рисков аварий и устранение размыва нижнего бьефа // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, 2011, № 7, с.82-87.
68. Кошумбаев М.Б., Квасов А.И. Чрезвычайные ситуации на гидротехнических сооружениях. Часть 1. Современное состояние вопроса // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, 2010, № 2, с.82-86.
69. Кошумбаев М.Б., Квасов А.И. Чрезвычайные ситуации на гидротехнических сооружениях. Часть 2. Анализ чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, 2010, № 3, с.96-102.
70. Кошумбаев М.Б., Мырзакулов Б.К. Анализ применения бесплотинных ГЭС // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, № 9-10, март-июнь 2012 г., с. 123-128.
71. Круподеров В.С., Мальцева И.В., Кононова Н.К., Крестин Б.М. Особенности опасности селей в эпоху аномальных климатических изменений. Конф. ГеоРиск, 2007. – С. 36-40.

72. Кушнарева И.А. Совершенствование методики оценки воздействия на окружающую среду и обоснования экологических инвестиций // Экономика природопользования: обзор.информ. / ВИНТИ / . 2010. № 2. – С. 68–74.
73. Лаверов Н.П. Природные и техногенные катастрофы – новые вызовы и угрозы устойчивому развитию // Право и безопасность. 2010. № 4 (37). – С. 16–20.
74. Лапшенков В.С. Противоселевые заграждения // Гидротехническое строительство, - 2007, № 3, с.35-36.
75. Лятхер В.М. Гидроэлектростанции без плотин // Гидротехническое строительство, - 2010, № 7, с.32-38.
76. Липатов А.Ф., Салицкая В.И. Экспериментальное исследование эквивалентных нагрузок при ударе образцов снега по упругим системам. В сб.:Снег и лавины Хибин. Сб.научных трудов, МГУ, М.,1967, с.335-348.
77. Лятхер В.М. Ортогональные гидротурбины малой мощности // Гидротехническое строительство, - 2011, № 4, с.33-39.
78. Малик Л.К. Мониторинг сохранности гидроузлов и водохранилищ // Изв. РАН. Сер.геогр. 1999. №2 С.77-79.
79. Малик Л.К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности. – М.: Наука, 2003, – 354 с.
80. Малышев Б.Н. Научное обоснование параметров быстровозводимых гибких дамб для защиты территорий от затопления и подтопления. - Новочеркасск, НГМА, 2002. 46 с.
81. Малышев Б.Н. Научное обоснование параметров ограждающих дамб из композитных материалов. Новочеркасск, НГМА, 2001. - 28 с.
82. Малышев Б.Н. Руководство по расчету, проектированию, монтажу и эксплуатации ограждающих дамб из композитных материалов. - Новочеркасск, НГМА, 2003. 24 с.

83. Мамедов Н.М., Верин Н.Н., Ахундова Г.А. Воздействие селевых и паводковых потоков на регулиционные и берегозащитные сооружения.– В кн.: Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата:1986, с.12-20.
84. Методика оперативного прогнозирования инженерных последствий прорыва гидроузлов М.: ВНИИ ГОЧС, 1997.
85. Методика оценки комплексного риска для населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, разработанная ВНИИ ГОЧС, ООО «ЦИЭКС», СЦ ИГЭ РАН и аттестованная Межведомственной комиссией по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций в 2002 г.
86. Методические рекомендации по гидравлическому расчету селеудерживающих и селепропускных сооружений. Тбилиси: ГрузНИИГиМ, 1978, 56 с.
87. Методические рекомендации по оценке риска аварий на ГТС водохранилищ и накопителей промышленных отходов (ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО, 2000 г.)
88. Миронов В.В., Миронов Д.В., Иванюшин Ю.А. Сравнение эффективности вариантов отбора мощности с низконапорных маловодных потоков // Гидротехническое строительство, - 2013, № 11, с.27-29.
89. Мирцхулава Ц.Е. Подходы к оценке старения длительно эксплуатируемых плотин // Гидротехническое строительство, - 2008, № 6, с.41-49.
90. Мирцхулава Ц.Е., Мухамедов А.М. Современные исследования в области местных размывов русел за гидротехническими сооружениями // Гидротехническое строительство, - 1968, № 12, с.22-35.
91. Михалев М.А. Гидравлический расчет потоков с водоворотом. Л., “Энергия”, 1971. 184 с.
92. Мустафаев Ж.С., Балгерей М.А., Карлыханов О.К. Кто развяжет узел проблем // Современные проблемы Арало-Сырдарьинского бассейна / Инф.бюллетень ПРООН. - № 5. - 2006, С.130 - 134.

93. Натишвили О.Г. Потери кинетической энергии при смешении селевых потоков // Гидротехническое строительство, - 2014, № 5, с.52-54.
94. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Оценка глубин безградиентного и градиентного слоев гиперконцентрированного селевого потока // Гидротехническое строительство, - 2011, № 12, с.57-59.
95. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Расчет селесбросных каналов с переломом уклона дна // Гидротехническое строительство, - 2009, № 11, с.33-35.
96. Натишвили О.Г., Тевзадзе В.И. Одномерные наносонесущие русловые потоки, Ин-т вод.хоз-ва Груз.техн.ун-та – Москва, Научтехлитиздат. 2012. – 191 с.
97. Непорожний П.С. Защита гидроэлектростанций от селевых потоков. – М.-Л.:Госэнергоиздат, 1947, - 163с.
98. Новиков В. Надежный щит Алматы // Казахстанская правда, 20.11.2015.
99. Осипов В.И. Оценка и управление природными рисками // Материалы конференции "Управление рисками чрезвычайных ситуаций". - М.: 2001, – с. 34-35.
100. Отчет НИР АО «КазНИИЭнергетика им. академика Ш.Ч. Чокина» “Теоретические и экспериментальные исследования малонапорных гидротурбин для малых ГЭС”. Исполнители Кошумбаев М.Б., Квасов П.А., Ержан А.А. 2015г.,145 с.
101. Оценочный доклад по срочным вопросам в Центральной Азии. Проблема: «Атмосферное коричневое облако». // Национальный доклад по Казахстану. Министерство охраны окружающей среды РК, 2006. – 27с.
102. Петров Г.Н. Водные ресурсы Центральной Азии и их исследование в интересах гидроэнергетики и ирригации // Гидротехническое строительство, - 2012, № 6, с.39-45.
103. Предварительный патент № 13064 KZ. Гидротурбина. Кошумбаев М.Б. Оpubл. 15.05.2003, бюл. № 5.
104. РД 153-34.2-21.342-00. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений. Москва, 2000

105. Рекомендации по оценке надежности гидротехнических сооружений. П 842-86. М.: Гидропроект. 1986.
106. Руководство по классификации сооружений в зависимости от степени их опасности для нижнего бьефа. Технический меморандум «АСЕР» № 11, Бюро мелиорации США. 1996.
107. Синявский Г.К. Математические модели в расчетах русловых сооружений. Автореф. дисс... докт. техн. наук. Тбилиси: 1965, 36 с.
108. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территории от затопления и подтопления. – М.: Госстрой СССР. 1986. – 25 с.
109. СТП ВНИИГ 210.02.НТ – 04 «Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений»
110. Тарасов А.В., Топаж Г.И. Обоснование оптимальных параметров гидроагрегатов малых ГЭС // Гидротехническое строительство, - 2010, № 1, с.27-30.
111. Тевзадзе В.И. Гидравлика селевых потоков и их воздействие на сооружения. Автореф. дисс... докт. техн. наук. МГМИ, Москва. 1986, 38 с.
112. Тевзадзе В.И. Методика расчета параметров селевых потоков и конструкция противоселевых сооружений, применяемые в Японии. Обзорная информация № 12, 1977, ЦБНТИ Минводхоза СССР, М.: 1977, 48 с.
113. Тенденция роста катастрофических наводнений на территории Российской Федерации / Г.М. Нигметов и др. // Технология гражданской безопасности. – 2003, № 1-2, с.37-44.
114. Трещалов Г.В. Применение свободнопоточных гидравлических турбин и возможности повышения их энергоэффективности // Гидротехническое строительство, - 2013, № 9, с.36-39.
115. Федоров М. П. и др. Исследования эмиссии парниковых газов с водохранилищ ГЭС России // Гидротехническое строительство, - 2014, № 11, с.52-58.

116. Федоров М.П., Елистратов В.В., Акентьева Е.М. Гидроэнергетика в условиях вероятных климатических изменений // Гидротехническое строительство, - 2014, № 6, с.17-23.
117. Федоров М.П., Суздалева А.Л. Экологическая оптимизация гидроэнергетики как альтернативная стратегия охраны окружающей среды // Гидротехническое строительство, - 2014, № 3, с.10-15.
118. Федорян А.В. А Совершенствование методов оценки влияния водохранилищ на окружающую среду прилегающих территорий Автореф.дисс...канд.техн.наук: НГМА, Новочеркасск, 2010г. 31 с.
119. Фолькер Куашинг. Системы возобновляемых источников энергии. Технология-Расчеты-Моделирование. – Астана, 2013. – 429 с.
120. Херхеулидзе Г.И. Селевые нагрузки и способы их определения. – Тр.ЗакНИГМИ, 1984, вып. 83(90), с.71-72.
121. Черноморец С.С., Носков К.Н., Запорожченко Э.В. Селевое сообщество на современном этапе // Гидротехническое строительство, - 2006, № 4, с.54-56.
122. Шахраманьян М.А. Научные проблемы снижения рисков, смягчения последствий и оперативного реагирования на последствия наводнений в Российской Федерации / М.А.Шахраманьян, А.И.Запорожец, А.Г.Одинцов // Технология гражданской безопасности. – 2003, №1-2, с.28-29.
123. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. Учебник, Изд. Лань, 2015г, 656 с.
124. Эзимов С.Э. Селевые явления в Туркменской ССР и меры борьбы с ними. Ашхабад, 1980, 60 с.
125. Яйми Е.А., Мурзалевский А.А. – Риск: анализ, оценка и управление. – СПб: РГГМУ. 2005. – 226 с.
126. Яфязова Р.К. Генезис селей и селевая активность в историческом прошлом и в современный период. Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, 2010, № 3, с.103-108.
127. Mecota T. III Conceptii si lucrari noi in tehnica corectarii torentilor. – Revista podurilor, 1956, V.71, № 12, p.803-808.

128. Yoshida H., Masuya H, Oka M. Impulsive loading properties by falling stanes on rock-sheds. – Добоку гаккай ромбунсю, Proc. Jap. Soc. Civ. Eng., 1985, № 362, p. 461-470.
129. Worldcrisis.ru www.finam.ru/news /headline 00010/eksperty-vef-nazvali-klimaticheskie-izmeneniya-v-krizis-migrantov-glavnym