



**КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ К.И.САТПАЕВА**

На правах рукописи  
УДК 628.1(043):626.2

**Калиев Сержан Муратович**

**Повышение надежности работы водорегулирующих сооружений системы  
сельхозводоснабжения**

05.23.04 – Водоснабжение, канализация и строительные системы охраны  
водных ресурсов

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Научный руководитель**  
д.т.н., доцент Шинибаев А.Д

**Алматы – 2012**



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	10
<b>ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОДРЕГУЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКАХ СЕЛХОЗВОДОСНАБЖЕНИЯ</b> .....	16
1.1 Соружения для регулирования расхода и уровня воды на водорегулирующих сооружениях.....	16
1.2 Процессы местного размыва за водорегулирующими сооружениями системы сельхозводоснабжения.....	22
1.3 Меры защиты сооружений от местных размывов.....	27
Заключения по первой главе .....	35
<b>2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИДОВ СОПРЯЖЕНИЯ ПОТОКА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ЗА ВОДРЕГУЛИРУЮЩИМИ СООРУЖЕНИЯМИ СИСТЕМЫ СЕЛХОЗВОДОСНАБЖЕНИЯ</b> .....	38
2.1 Изучение процессов сопряжения потока русла в нижнем бьефе в условиях плоской задачи .....	38
2.2 Изучение пространственных видов сопряжения бьефов за водорегулирующими сооружениями.....	44
2.2.1 Растекания бурного потока в плане ооружения.....	45
2.2.2 Рассмотрение пространственного гидравлического прыжка и расчет сопряженных глубин.....	50
2.3 Особенности образования форм сбойного течения.....	57
Заключения по второй главе.....	65
<b>3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕДОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	67
3.1 Описание моделей лабораторных установок.....	67
3.2 Методика проведения экспериментальных исследования.....	75
Заключения по третьей главе.....	79



<b>4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ.....</b>	<b>80</b>
4.1 Исследование условий эксплуатации многопролетных шлюзов-регуляторов и их влияния на размеры воронки размыва.....	80
4.2 Исследование предотвращения сооружений от местных размывов при сопряжений бьефов со сбойным течением.....	87
4.3 Подбор высоты водобойной стенки в пространственных условиях за сооружениями.....	95
4.4 Подбор расстояния от выходного сечения до гасителей за сооружениями.....	112
4.5 Меры повышения надежности работы условий растекания потока за гасителями в нижнем бьефе многопролетных шлюзов-регуляторов.....	119
4.6 Разработка конструкции крепления нижнего бьефа шлюзов-регуляторов с безнапорными трубами.....	123
4.7 Разработка классификатора конструктивных мероприятий по борьбе с местными размывами за водорегулирующими сооружениями .....	128
Заключения по четвертой главе.....	131
<b>5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ РАЗМЫВА ГРУНТА И ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ .....</b>	<b>133</b>
5.1 Расчет технико-экономических показателей .....	133
Заключения по пятой главе.....	137
<b>ВЫВОДЫ.....</b>	<b>138</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>140</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....</b>	<b>159</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....</b>	<b>160</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....</b>	<b>161</b>



## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие нормативные документы:

Отраслевая программа РК "Питьевые воды" на 2002-2010 годы. – Астана, 2002.

Водный кодекс РК от 9.07.2003 , Алматы, 2004.

ГОСТ 25151-82 - Водоснабжение. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.

ГОСТ 19185-73 - Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. – М.: 1973.

[ГОСТ 22.1.11-2002 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг состояния водопроводных гидротехнических сооружений \(плотин\) и прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий на них. Общие требования](#)

ГОСТ 12.3.006-75 - Система стандартов безопасности труда. Эксплуатация водопроводных и канализационных сооружений и сетей. Общие требования безопасности. – М.: 1986.

СНиП РК 4.01-02-2001. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Алматы, 2001. –95 с.

[СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения](#)

СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения.

СНиП 3.05.04-85 (1990) Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации.

Правила пользования системами водоснабжения и водоотведения населенных пунктов. – Постановление Правительства от 05.06.2009 N 832.

[ВСН 33-2.2.06-86 Мелиоративные системы и сооружения. Оросительные системы на просадочных грунтах. Нормы проектирования](#)

СО 34.21.307-2005. Безопасность гидротехнических сооружений. Основные понятия. Термины и определения.

[Пособие к СНиП 2.04.02-84 Пособие по проектированию сооружений для забора поверхностных вод](#)

[П 69-97 Руководство по методике оценки ресурса работоспособности и безопасности бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений](#)

[П87-2001 Рекомендации по проведению натурных наблюдений за осадками грунтовых плотин](#)



РД 153-34.2-21.342-00 Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений

РД 153-34.2-21.546-2003 Правила организации и проведения натурных наблюдений и исследований на плотинах из грунтовых материалов

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применялись следующие термины с соответствующими определениями:

**Водоснабжение** — подача поверхностных или подземных вод водопотребителям в требуемом количестве и в соответствии с целевыми показателями качества воды в водных объектах.

**Водобой** - массивная часть крепления дна водостока, расположенная за водосливом или водосбором для гашения энергии потока, сбрасываемого из



верхнего бьефа, и защищающая русло водотока и грунты основания сооружения от размыва.

**Водовод** - гидротехническое сооружение для подвода и отвода воды в заданном направлении.

**Водозабор** - отбор воды из водоема, водотока или подземного источника для хозяйственных целей.

**Водопровод** - комплекс сооружений, включающий водозабор, водопроводные насосные станции, станцию очистки воды или водоподготовки, водопроводную сеть и резервуары для обеспечения водой определенного качества потребителей.

**Водорегулирующее сооружение** - сооружение, предназначенное для регулирования уровня воды в реке, водохранилище и т.п.

**Водослив** - гидротехническое сооружение в виде препятствия или горизонтального стеснения, через которое происходит перелив воды.

**Гидравлика** - наука о законах движения и равновесия жидкостей и способах приложения этих законов к решениям задач инженерной практики.

**Гидросооружение** - сооружение, (гидроэлектростанция, плотина, канал и т.п.) предназначенное для использования воды или для защиты от нее.

**Канал** - искусственное русло, используемое в качестве судоходного пути или для перемещения воды.

**Нижний бьеф** - бьеф с низовой стороны водоподпорного сооружения.

**Поток жидкости** - движение массы жидкости, ограниченной системой поверхностей твердых тел и/или поверхностей соприкосновения жидких и газообразных тел.

**Пульповоды** - устройства (лотки, трубы), служащие для транспортировки пульпы самотеком или под напором.

**Размыв** - местное углубление русла водотока, вызванное течением воды или порогом на дне водотока.

**Размыв местный** - размыв на ограниченном пространстве в месте набега водного потока на преграду (опора, насыпь, регуляционное сооружение).



**Рисберма** - расположенный за водобоем участок крепления нижнего бьефа, предназначенный для гашения остаточной энергии потока и защиты водобоя от подмыва.

**Сельскохозяйственное водоснабжение** – это отрасль водного хозяйства, в задачи которого входит удовлетворение бытовых и производственных потребностей в виде объектов сельского хозяйства.

**Сбойное течение** - течение, возникающее при взаимодействии транзитного потока и водоворотных областей, характеризуемое резкими, иногда неустойчивыми во времени, искривлениями оси транзитного потока.

**Устойчивость основания** - способность основания сооружения сопротивляться выпору грунта из-под подошвы фундамента

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

$b_{mp}$	–	ширина работающих пролетов
$\mu$	–	коэффициент расхода сооружения
$m_c$	–	коэффициента расхода водослива
$Z$	–	относительная глубина в нижнем бьефе
$H$	–	местный напор над гасителем
$m_0$	–	коэффициент расхода гасителя



$g$	–	средняя по сечению скорость
$S$	–	шаг между гасителями в виде ребер шероховатости
$\Delta z$	–	перепад на выходе из колодца
$\lambda$	–	коэффициент сопротивления поверхности
$\Delta B$	–	ширина размыва откосов в плане
$l_{кр.отк}$	–	длина крепления боковых откосов
$Z$	–	напор на сооружении
$h_{нб}$	–	глубина в нижнем бьефе
$h_{кр}$	–	Критическая глубина в нижнем бьефе
$\beta$	–	степень сжатия потока сооружением
$B_p$	–	ширина отводящего русла
$U_k$	–	скорость при глубине равной $h_{кр}$
$K$	–	коэффициент однородности глинистых грунтов
$C_y^H$	–	Нормативная усталостная прочность на размыв в т/м <sup>2</sup>
$M$	–	коэффициент условий работы канала
$N$	–	коэффициент перегрузки (учитывает пульсационный характер скоростной нагрузки).
$\eta$	–	коэффициент характеризующий степень сжатия потока в плане сооружением
$b_c$	–	ширина потока в сооружении
$b_p$	–	ширина потока в отводящем русле
$h_1$	–	первая сопряженная глубина
$h_2$	–	вторая сопряженная глубина
$E$	–	удельная энергия в сечении потока
$q$	–	удельный расход воды
$Q$	–	расход сооружений
$\Pi(h)$	–	прыжковая функция



- $\delta$  – высота гасителя-ребра
- $h_{\text{отн}}$  – относительная глубина в нижнем бьефе
- $H_0$  – напор с учетом скорости подхода
- $\sigma_n$  – коэффициент подтопления водослива
- $b_T$  – ширина водослива (гасителя)

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** В последние годы одним из основных приоритетов Стратегия развития «Казахстан – 2030» особое внимание уделяются вопросам внедрения новых технологий при строительстве и реконструкции открытых водорегулирующих сооружений системы водоснабжения, с целью повышения



надежности и безопасности работы водохозяйственных систем водорегулирующих узлов сельхозводоснабжения.

Масштабы развития промышленности и сельского хозяйства требуют все возрастающего, интенсивного вовлечения в хозяйственный оборот водных ресурсов. Уже сейчас на значительной части территории страны ощущается нехватка воды, ухудшается ее качество, нарушаются гидрологический, биологический и солевой режимы и поэтому возникает необходимость совершенствования управления водными ресурсами с внедрением в водном хозяйстве страны эффективных водосберегающих технологий водорегулирующих сооружений системы сельхозводоснабжения.

По результатам многочисленных научно-исследовательских работ видно, что одним из основных причин повреждения крепления нижнего бьефа, а в отдельных случаях и самих водорегулирующих сооружений систем сельхозводоснабжения, является появление местного размыва русла. В связи с этим местный размыв русла происходит преимущественно из-за недостаточно полного гашения избытка кинетической энергии потока и неравномерности распределения удельных расходов по живому сечению в конце крепления водорегулирующих узлов. На открытых водорегулирующих сооружениях системы сельхозводоснабжения происходит преждевременный выход из строя ориентировочно до 38% регулирующих узлов сельхозводоснабжения, при этом создаются опасные аварийные ситуации. В связи с этим, все вопросы изучения технологических процессов по устойчивой работе водорегулирующих систем и сооружений сельхозводоснабжения, а также разработка мероприятий по повышению надежности работы водорегулирующих сооружений имеют важное научно-практическое значение и отличаются актуальностью.

Необходимо отметить, что состояние потока за водорегулирующими сооружениями зависит от формы сопряжения бьефов, определяется особенностями конструкции водорегулирующих узлов, а также их условиями эксплуатации. Все рассмотренные задачи и полученные результаты по размещению различных конструктивных устройств, обеспечивающих наиболее



благоприятные формы сопряжения бьефов при разных режимах работы сооружений по повышению надежности работы водорегулирующих узлов систем сельхозводоснабжения, были рассмотрены при выполнении научно-исследовательских работ по различным темам научно-технических программ республиканского уровня проведенные в 2004-2011 годы.

**Объект исследования диссертации.** Водорегулирующие сооружения системы сельхозводоснабжения. Бьефы за водорегулирующими сооружениями сельхозводоснабжения, многопролетные регуляторы в нижнем бьефе сооружений.

**Целью диссертационной работы** является повышение надежности работы используемых на открытых водорегулирующих сооружениях системы сельхозводоснабжения путем изучения причин, вызывающих местный размыв грунта, разработка технических мероприятий и методики расчета гасителей энергии потока.

**Для достижения указанной цели сформулированы следующие задачи:**

- анализ современного состояния и изучения способов предотвращения водорегулирующих сооружений от местных размывов;
- теоретическое исследование видов сопряжения бьефов на водорегулирующих сооружениях и выяснения особенностей причин образования сбойного течения, влияющих на повышение надежности работы сооружений;
- изучение процесса гашения избытка кинетической энергии потока за водорегулирующими сооружениями;
- экспериментальное исследование видов сопряжения бьефов за многопролетными водорегулирующими сооружениями;
- исследование влияния условий эксплуатации работы многопролетных шлюзов-регуляторов в нижнем бьефе и установление оптимальных параметров потока;
- разработка методики расчета гасителей в нижнем бьефе в условиях пространственной формы сопряжения потока;



– разработка технических мероприятий по обеспечению предотвращения сооружения от местного размыва, с целью повышения надежности работы водорегулирующих сооружений.

**Методика исследования.** Используются методика теоретических и экспериментальных исследований динамики водного потока, методика расчета водобойных стенок русла и определения надежности работы сооружений системы сельского водоснабжения.

**Научная новизна работы:**

- теоретические и экспериментальные результаты исследований формы сопряжения бьефов на открытых источниках водоснабжения;

- особенности режима работы многопролетных регуляторов потока воды и их влияние на размеры воронки местного размыва;

- способы гашения кинетической энергии потока за регулирующими сооружениями и рекомендуемые параметры для проектирования водозаборных сооружений;

- разработка рекомендаций для предотвращения местного размыва русла водозаборных сооружений поверхностных вод с целью повышения надежности работы сооружений системы сельского водоснабжения в целом.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

– теоретически и экспериментально обоснованные формы сопряжения бьефов на открытых источниках системы сельхозводоснабжения и параметры глубины прыжка в отводящем русле, позволяющие предотвратить местный размыв;

– результаты экспериментальных исследований режимов работы многопролетных регуляторов скорости потока, методика расчета гасителей избытка кинетической энергии потока, основные рекомендуемые технологические параметры при проектировании сооружений;

– результаты натурных исследований за многопролетными водорегулирующими сооружениями, позволяющие предотвратить местный



размыв и механические повреждения с целью повышения надежности разводящих водозаборных сооружений.

**Практическая значимость работы.** Разработанные технические решения позволяют реализовать мероприятия по предупреждению регулируемых сооружений на открытых источниках водоснабжения от разрушения, обеспечивать устойчивость работы водорегулирующих узлов.

Разработанная методика расчета водобойных стенок и комбинированных колодцев могут быть использованы инженерно-техническими работниками проектных и научно-исследовательских институтов и других организаций при проектировании новых, а также при реконструкции эксплуатируемых гидротехнических сооружений, а также в ВУЗах при преподавании дисциплин «Водоснабжение», «Гидравлика» и «Гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения».

**Практическая реализация результатов работы.** Результаты научно-исследовательской работы внедрены в ТОО «Эко-жобалау», а также внедрены в учебный процесс института архитектуры и строительства имени Т.К.Басенова КазНТУ имени К.И.Сатпаева.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертационной работе.**

Научные положения, выводы и рекомендации подтверждаются результатами натурных исследований за многопролетными водорегулирующими сооружениями и теоретическими предпосылками форм сопряжения бьефов на открытых источниках системы водоснабжения и параметры глубины прыжка в отводящем русле, позволяющие предотвратить местный размыв, проведенными экспериментальными исследованиями, технологическими решениями.

**Личный вклад соискателя:**

– установлены условия и формы образования сопряжения нижнего бьефа за водорегулирующими сооружениями с учетом разнообразия прыжка воды в отводящем русле;



– на основе закона об изменении количества движения жидкости разработана формула для расчета параметров гидравлического прыжка, позволяющая рассмотреть взаимодействия потоков;

– разработаны усовершенствованная методика расчета сопряженных глубин в условиях пространственной формы сопряжения бьефов и размеров водобойных стенок, колодцев, в том числе колодцев комбинированного типа.

**Апробация работы.** Основные научные и практические результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, изложены и обсуждены на международной научно-практической конференции «Архитектура и строительство в новом тысячелетии» (Алматы, 2009 г.), Miedzynarodowej naukowej-praktycznej konferencji «Perspektywizacja nauki i technikami – 2010» (Польша, 2010 г.), Mezinarodni vedecko-prakticka conference «Zpravy vedecke ideje-2010» (Чехия, 2010 г.), на международной научно-практической конференции «Интеллектуальная нация – конкурентоспособное государство» (Алматы: ЦАУ, 2011г.) и на ежегодных научно-практических конференциях КазНТУ им. К.И Сатпаева (Алматы 2008 -2011 г.г.).

**Опубликованные результаты исследований.** Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований, составляющих содержание диссертационной работы освещены в 10 научных трудах, из которых 4 изложены в материалах Международных научно-практических конференции, 2 из которых опубликованы в зарубежных изданиях, 5 трудов написаны единолично, 2 статьи опубликованы в научных журналах, 1 статья в одном издании, рекомендованном Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОиН РК и 4 статьи в 4 изданиях, рекомендованных Высшим аттестационным комитетом Кыргызской Республики.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов и списка использованной литературы из 182 наименований и 2 приложений. Работа изложена на 164 страницах компьютерного набора, иллюстрирована 53 рисунками и 9 таблицами.



**ГЛАВА 1**  
**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ**  
**ВОДРЕГУЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОТКРЫТЫХ**  
**ИСТОЧНИКАХ СЕЛЬХОЗВОДОСНАБЖЕНИЯ**



## 1.1 Сооружения для регулирования расхода и уровня воды на водорегулирующих сооружениях

Транспортировка воды из открытого источника сельхозводоснабжения (реки, озера, водохранилища) до объекта потребления, распределение ее между отдельными участками хозяйствования осуществляется при помощи систем каналов или напорных и безнапорных трубопроводов. Распределение воды при этом осуществляется с помощью специальных сооружений: шлюзов-регуляторов, водовыпусков, подпорных шлюзов и водоотделителей [1-3].

Каналы и реки являются открытыми источниками сельхозводоснабжения. По назначению каналы делятся на судоходные (искусственные водные пути), энергетические (деривационные), оросительные (иригационные), обводнительные, осушительные, водопроводные и комплексного назначения [4-8].

Сельское хозяйство является одной из ведущих отраслей народного хозяйства. В сельской местности проживает немногим меньше половины населения нашей страны.

Рост благоустройства сельских поселков, а также развитие сельскохозяйственного производства в последние годы predetermined высокие темпы развития сельскохозяйственного водоснабжения.

Вода в сельском хозяйстве расходуется в значительных количествах на хозяйственно-питьевые нужды населения, на животноводческих фермах, на предприятиях по первичной переработке сельскохозяйственной продукции, на приготовление жидких подкормок для пропашных культур, на охлаждение двигателей сельскохозяйственных машин и автомобилей, на полив растений в парниках и теплицах.

Для удовлетворения перечисленных потребностей в воде используются системы сельскохозяйственного водоснабжения, а для полива всевозможных сельскохозяйственных культур в открытом грунте — оросительные системы.



Повреждение крепления нижнего бьефа на открытых водорегулирующих сооружениях системы селхозводоснабжения, то есть гидротехнических сооружений может происходить в основном по строительным, эксплуатационным и проектным причинам [63,170]. Для предупреждения повреждения сооружений водным потоком большое значение имеет исследование эксплуатационных (неодинаковая и несимметричная работа пролетов сооружения, пропуск расходов превышающих расчетных и др.) и проектных (недостатки конструкций выходной части сооружений и крепления нижнего бьефа) причин местных размывов отводящего русла за сооружениями.

Местный размыв русла за водорегулирующими сооружениями представляют собой одно из наиболее сложных явлений, имеющих место в гидротехнической практике. Данное рассматриваемое явление можно рассматривать как следствие взаимодействия трех объектов: сооружения, потока и русла, каждый из которых может оказывать определенное влияние на динамику процесса размыва [31,27].

От конструкции водорегулирующих сооружений и узлов зависят кинематические характеристики потока, выходящего в отводящее русло. Взаимодействием же потока, выходящего из сооружения, как с потоком в отводящем русле, так и с самим руслом обуславливаются деформации последнего.

Изменение формы поверхности русла на размываемом участке (образование воронки размыва и отмытки из продуктов размыва) в свою очередь оказывает влияние на параметры потока.

Кроме того, местные деформации русла нужно рассматривать как процесс тесно связанный с общим русловым процессом [31].

Например, общие деформации, связанные с глубинной эрозией русла, увеличивают местные размывы.

Водопроводные каналы - служат для подачи воды от источника селхозводоснабжения (реки, водохранилища и т.д) к месту её потребления - промышленному району, городу, посёлку и т.п. [9,10-16]. К таким



водопроводным каналам в странах независимых государств относятся каналы Иртыш - Караганда общей протяженностью около 460 км и пропускной способностью в головной части  $75 \text{ м}^3/\text{с}$ , Кызыл-Кумский канал протяженности 120 км., Северский Донец – Донбасс – около 130 км, при головном расходе воды  $25 \text{ м}^3/\text{с}$ . Условия эксплуатации и санитарные требования иногда вызывают необходимость делать водопроводные каналы закрытыми (например, водопроводный канал длина около 30км. подающий воду из Учинского водохранилища к Москве).

Например, Канал Иртыш - Караганда, Кызыл-Кумский канал, кроме основной задачи - сельхозводоснабжения, решает и вопросы орошения земель в Центральном и Южном Казахстане.

Этими основными водопроводными сооружениями производится регулирование количества подаваемой на орошение и сельхозводоснабжение населенных пунктов, а также регулирование уровней воды в каналах. Здесь необходимо отметить, что каналы высшего порядка должны командовать над каналами низшего порядка, так как нормальный уровень воды в каналах высшего порядка должен быть на 10-20 см выше форсированного уровня воды в канале низшего порядка [17-19, 20].

На рис. 1.1 показана схема подачи воды на орошение и сельхозводоснабжение населенного пункта из Кызыл-Кумского массива (канала), где вода распределяется из открытого источника сельхозводоснабжения на поверхностное орошение и сельхозводоснабжение населенных пунктов, которые осуществляется при помощи специальными водорегулирующими сооружениями и узлами [21-23, 24].

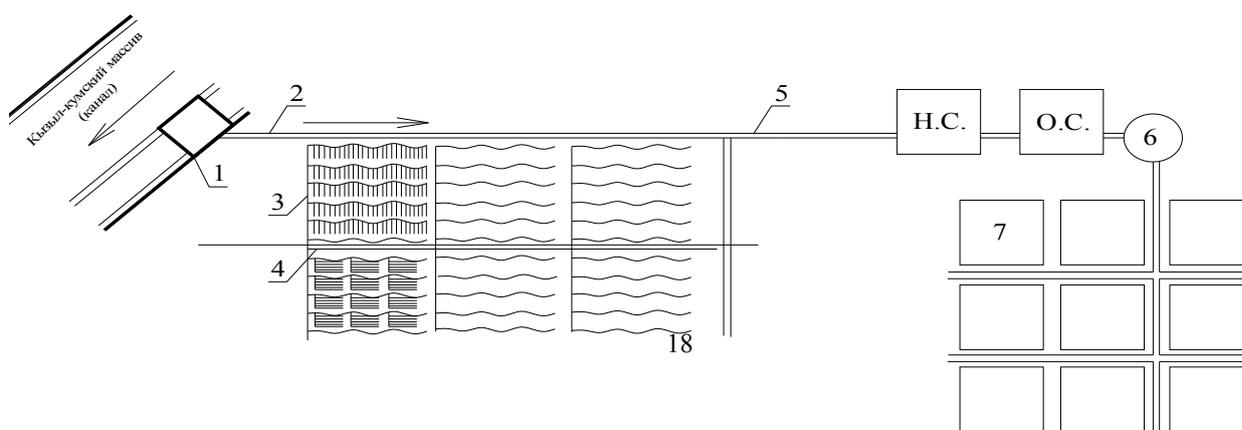




Рис. 1.1. Схема сети орошения и сельхозводоснабжение Кызыл-Кумского массива (канала):

1- водозаборное сооружение, 2 - магистральный канал, 3 - распределительный канал, 4 - хозяйственный канал, 5 - канал подачи воды к населенному пункту, 6-водонапорная башня, 7-населенный пункт

Указанные гидротехнические сооружения иногда называют "регулирующими". Среди них в свою очередь различают регуляторы уровня и регуляторы расхода [6, с.15; 7, с.58; 199].

При необходимости сброса излишней воды, опорожнения каналов в случаях аварий на водорегулирующих сооружениях систем сельхозводоснабжения, предусматриваются сбросные шлюзы и выпускные гидросооружения, обеспечивающие отвод воды в ближайшее понижение местности.

Поэтому, регулирующие гидротехнические сооружения на каналах открытых источников сельхозводоснабжения предназначены для обеспечения необходимого расхода и уровня воды в них. Необходимо отметить, что шлюзы – регуляторы могут служить в качестве дорожных сооружений и водомерных устройств.

Проанализируем результаты следующих научно-исследовательских работ посвященных для регулирования расхода и уровня воды на открытых водорегулирующих сооружениях системы сельхозводоснабжения.

В данной исследовательской работе [25] экспериментально изучено изменение пропускной способности для водосливов с пониженным порогом при наличии и отсутствии продольных регулирующих элементов. Снижение относительного перепада между бьефами по сравнению с гладким порогом может достигать до 80 % т.е. изменение конфигурации дна является как способ



повышения пропускной способности низконапорных водопропускных сооружений, при этом необходимо отметить, что в работе не рассматриваются вопросы гашения энергии потока в нижнем бьефе.

В работе [26] приводится научное обоснование проектных решений шахтного водосброса гидроузла Джедра. Здесь основательно проанализированы технические решения шахтного водосброса, заложенные в аванпроекте. Доказано, что на водосливном оголовке водоприемной воронки и проточной части шахты не должно возникнуть кавитационных явлений, в тоннеле не будет самоаэрации потока и возникновения катящихся волн. Рекомендуются изменить очертание шахты, придав ей в плане форму правильного двенадцатиугольника, а сливную поверхность выполнить эллиптического профиля. Предложена возможность снижения высоты плотины почти на 0,75 м, уменьшения максимального сбросного расхода более чем на 90-100 куб.м/с и уменьшения длины водобойного колодца до 25 м, при этом необходимо отметить, что в работе не рассматриваются вопросы гашения энергии потока и размыва сооружений в нижнем бьефе.

В работе [17, с.47-53] рассматривается методика экспериментальных исследований входной и концевой части поверхностного водосброса. Оптимизированы вопросы совершенствования существующих конструкций входных оголовков водосбросов в виде криволинейных и прямолинейных водосливов. Усовершенствованы конструкции концевой части водосброса для обеспечения более надежной и безопасной работы сооружения. В результате анализа экспериментальных исследований пропускной способности входного оголовка поверхностного водосброса и совершенствование конструкции гасителей концевой части, в данной работе не рассмотрены вопросы влияния гашения энергии потока в нижнем бьефе за регулирующими сооружениями.

В научной статье [20,с.59-62] рассмотрены результаты гидравлических исследований дополнительного берегового водосброса Саяно-Шушенского гидроузла, рассчитанного на пропуск расхода 4000 м<sup>3</sup>/с. Здесь определены идентичность обоих вариантов по эксплуатационным и технологическим



показателям. Предложен вариант с отбросом струи как более экономичный в сравнении с вариантом сопряжения бьефов с помощью многоступенчатого перепада, но в работе не исследованы вопросы касающиеся гашения энергии потока в нижнем бьефе сооружений.

В работе [27] исследованы вопросы разработки и гидравлического обоснования конструкции водосброса с отбросом струи в русло реки в нижнем бьефе Богучанской ГЭС. Проведенные теоретические исследования позволили: получить характеристики пропускной способности водосброса в режиме работы «истечение из-под затвора», определить оптимальную высоту разделительных стенок, оценить опасность кавитации и оценить возможность аэрации потока на быстротоке, необходимо отметить, что в данной работе не рассмотрены вопросы влияния гашения энергии потока в нижнем бьефе за регулирующими сооружениями.

Таким образом, результаты исследований за водорегулирующими сооружениями для регулирования расхода и уровня воды на открытых водорегулирующих сооружениях системы сельхозводоснабжения, показывают необходимость изучения гашения энергии потока и видов сопряжения в нижнем бьефе для раскрытия явления местного размыва русла, с целью повышения надежности работы сооружений.

## **1.2 Процессы местного размыва за водорегулирующими сооружениями системы сельхозводоснабжения**

По результатам анализа проведенных работ [28,29] видно, что, повреждение крепления нижнего бьефа за водорегулирующими узлами



гидротехнических сооружений может происходить в основном строительным, эксплуатационным и проектным причинам [28, 29].

Для предотвращения повреждения гидротехнических сооружений водным потоком большое значение имеет исследования эксплуатационных (несимметричная работа пролетов сооружения, пропуск больших и неравномерных расходов воды) и проектных (недостатки конструкций, крепления нижнего бьефа и т.д) причин местных размывов отводящего русла за сооружениями.

Процесс местного размыва русла за сооружениями представляют собой одно из наиболее сложных явлений, имеющих место в гидротехнической практике. Размыв русла можно рассматривать как следствие взаимодействия трех объектов: сооружения, потока и русла, каждый из которых может оказывать непосредственное влияние на гидродинамику процесса размыва [30].

От технического состояния конструкции гидротехнических сооружений зависят кинематические характеристики потока, выходящего в отводящее русло. Процесс взаимодействия потока, выходящего из сооружения, как с потоком в отводящем русле, так и с самим руслом обуславливаются его деформацией.

Как, известно изменение формы поверхности русла на размываемом участке (появление воронки размыва, отстойки из продуктов местного размыва) в свою очередь непосредственно оказывает влияние на параметры движения потока.

Явление местного размыва представляет собой результат взаимодействия сооружения, потока и русла. Этим объясняется то, что в исследованиях по защите и предупреждению сооружений от местных размывов можно выделить три основных направлений:

1. Исследования, посвященные выяснению механизма явления местного размыва русла и разработке методов моделирования явления потока.



2. Исследование кинематических характеристик потока на выходе сооружения, видов сопряжения бьефов и изучение условий возникновения способности потока к размыву.

3. Разработка конструкций крепления нижнего бьефа, позволяющих предотвратить разрушение и улучшить надежность работы водорегулирующих сооружений.

Эти направления исследований тесно взаимосвязаны друг с другом и служат одной общей цели предотвращения и защите сооружений от разрушения из-за местных размывов. На сооружениях с размываемым отводящим руслом многими авторами проведены комплексные исследования с учетом отмеченных выше факторов, влияющих на глубину воронки размыва [30,с.130-136;32].

Размыв русла за сооружением происходит вследствие того, что актуальные скорости у поверхности русла бывают больше допустимой неразмывающей скорости. Превышение актуальных скоростей может иметь место не только из-за наличия избытка кинетической энергии и по всему живому сечению потока.

Большая доля кинетической энергии турбулентного потока содержится в крупномасштабных низкочастотных пульсациях [34,35]. Масштабы возмущений и вихреобразований пропорциональны поперечным размерам потока. Доказано, что движение крупных вихреобразований неустойчиво из-за распада их на вихри меньших размеров, которые в свою очередь распадаются на еще более мелкомасштабные возмущения, в которых энергия потока переходит в тепло. На движение потока крупномасштабных вихреобразований вязкость жидкости не может оказывать большого влияния, так как длина пути перемешивания их меньше в сравнении с мелкомасштабными высокочастотными вихреобразованиями, то есть движение их не сопровождается значительной диссипацией энергии.

Распределение избытка кинетической энергии потока происходит в мелкомасштабных вихреобразованиях вследствие того, что движение потока определяется в основном влиянием сил вязкости, всвязи с отмеченным,



размывающая способность потока определяется наличием в крупномасштабных низкочастотных возмущений. Мелкомасштабные высокочастотные возмущения не представляют собой опасности для русла, они наоборот оказывают на частицы грунта многократные циклические воздействия, нарушающие их связь между собой [34,с.15-9].

Таким образом, частицы легче уносятся более мощными крупномасштабными вихреобразованиями, частота появления которых значительно меньше частоты колебания мелкомасштабных. Следовательно, при прогнозировании размеров воронки размыва, важно учитывать влияние на размыв коррективов количества движения и кинетической энергии  $\alpha'$  и  $\alpha$  [30,с.130-136.].

Рассмотрим следующие научно-исследовательские работы о процессах местного размыва за шлюзами – регуляторами системы сельхозводоснабжения.

В данной научной работе [29,с.150-154.] рассматриваются материалы полупроизводственных и натуральных исследований выполненные в течении ряда лет, которые позволили изучить динамику изменения гидравлики потока и руслового процесса на рассматриваемом участке, внести необходимые изменения и дополнения по размещению траверсных дамб в плане, ширине устойчивого зарегулированном русле, крепление оголовков дамб. Решение этих задач способствовало рациональному использованию водных ресурсов, улучшению экологической обстановки, повышению надежности и безопасности эксплуатации берегозащитных сооружений, при этом необходимо отметить, что исключается возможность блуждания потока, образования свальных течений и размыва берегов русла.

В работе [36] приведены случаи опасных примеров местных размывов русел в нижних бьефах гидроузлов, возведенных на нескальных основаниях. Приведен анализ условий их возникновения и развития. Превалирующими причинами местных размывов отводящих русел водопропускных сооружений и повреждений их креплений, как правило, являлись: сосредоточенные сбросы воды через недостроенные сооружения в пуско-наладочный период,



отступления от рекомендованных схем маневрирования затворов водопропускных сооружений. Необходимо отметить, что в данной научной работе не рассмотрены процессы местного размыва за шлюзами – регуляторами.

Данная работа [37] посвящена обобщению и анализу отечественных и зарубежных материалов о повреждениях и разрушениях гасителей энергии, плит водобоя и рисбермы, устоев, отдельных стенок. В работе приводится классификация основных причин повреждений и аварий, освещается опыт реконструкции гасителей энергии и креплений нижнего бьефа. Освещаются случаи падения потока на водобой с гребня плотины или пропуска малых расходов через носок-трамплин, когда отброса струи не происходит, а поток падает на бетонное крепление непосредственно за носком-трамплином. В работе не рассмотрены вопросы касающиеся местного размыва за носками-трамплинами.

В научных работах [38-40] рассмотрены виды сопряжения бьефов энергии потока, которые определяются недостаточным гашением энергии потока в нижнем бьефе и неравномерным распределением удельных расходов по живому сечению, в связи с этим местные размывы русла за креплением нижнего бьефа водорегулирующих сооружений могут быть обусловлены состоянием энергии потока. Для предотвращения сооружений от местных размывов важно выявить тот вид сопряжения бьефов, который является наиболее характерным (типичным) для данного сооружения в процессе эксплуатации. Водорегулирующие сооружения на каналах в нижнем бьефе, в общем случае сжимают поток, как в плане так и по глубине. Сжатие потока по глубине при значениях глубины меньше критической, как известно из теории сопряжения бьефов, приводит к образованию бурного потока в сооружении, который сопрягается со спокойным в отводящем русле гидравлическим прыжком. При степени сжатия потока в плане  $\eta = v_c/v_p \leq 0,8$  ( $v_c$  – ширина потока в сооружении,  $v_p$  – ширина нижнего бьефа) образуется пространственный поток,



который в зависимости от глубины воды в нижнем бьефе может иметь различную форму.

В работе [42] приводится, что если глубина воды в отводящем русле равна нулю (или близка к ней), поток выходящей из сооружения растекается в нижнем бьефе, такая форма движения пространственного потока была названа исследователями «свободным растеканием» потока в плане, поэтому растекание потока может и не доходить до берегов отводящего русла. В этом случае растекание называют «полусвободным». Как свободное, так и полусвободное растекание потока характеризуется углом растекания в плане, исследованию угла растекания бурного потока посвящены следующие работы [41, 42].

В работе [43] проведены исследования участка растекания бурного потока, а также на основе полученных научных результатов теоретических и экспериментальных исследований И.А.Шеренковым построен известный универсальный безразмерный график, на которые нанесены линии токов и линии равных глубин. Пользуясь этим графиком можно определять скорости и глубину потока в области растекания.

Таким образом, результаты исследований процессов местного размыва за шлюзами – регуляторами системы селхозводоснабжения показывают необходимость изучения гашения энергии потока в нижнем бьефе и предотвращения явления местного размыва русла, с целью повышения надежности работы водорегулирующих сооружений.

### **1.3 Меры защиты сооружений от местных размывов**

В научных работах [17, с.47-53] рассматриваются конструктивные меры предотвращения и защиты водорегулирующих сооружений от местных



размывов, наряду с эксплуатационными затворами по специальным конструкциям, позволяющие повысить надежность работы сооружений. В отдельных случаях предотвратить разрушение сооружения из-за местных размывов можно при помощи и других конструктивных мер, перед которыми не ставится задача гашения избытка кинетической энергии потока и перераспределения удельных расходов по ширине и глубине русла с целью уменьшения размывающей способности потока.

В работе Ш.А.Бабаджановой [57] предложена конструкция гибкого гасителя, создающего условия для удаления воронки размыва от сооружения, но удлинение крепления приводит к дороговизне и является неприемлемым решением из-за сохранения высокой кинетичности потока на значительном расстоянии от сооружения.

В работе проф. М.С.Вызго [30, с.130-136] безопасность сооружения можно обеспечить при помощи недорогого крепления, длину которого в зависимости от глубины зуба можно определить по предложенной им формуле:

$$l = C \left( \frac{t_{\max} - t}{t} \right) h = C \left( \frac{1,4h}{\Delta * y + h} - 1 \right) h, \quad (1.5)$$

где  $C$  – коэффициент Шези;

$t_{\max} = 1.4\sqrt{q\sqrt{z}}$  - глубина в месте размыва при отсутствии крепления;

$q$  – удельный расход в  $\text{м}^2/\text{сек}$ ;

$z$  – напор на сооружении;

$t$  – глубина в месте размыва за креплениям;

$h$  – глубина потока в канале;

$y$  – глубина зуба;

$\Delta$  – коэффициент, учитывающий разницу между глубиной зуба и глубиной воронки размыва.

Работа [32,с.150-154, 51,с.210-215] предлагает применить каменные наброски, плиты, шарнирно соединенных между собой и устройства типа



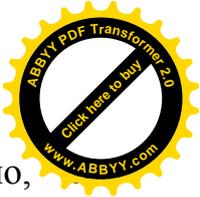
уральского пола для предотвращения прогрессирующего размыва в сторону сооружения. Под целевыми водобойными полами при работе сооружения появляется валец с горизонтальной осью вращения, который способствует перемещению продуктов размыва в сторону сооружения.

В работе [18,150с; 51,с.210-215] предлагаются струенаправляющие носки-трамплины за консольными перепадами и уступы за плотинами, наряду с диссипацией энергии для удаления воронки размыва от сооружения на безопасное расстояние.

Перечисленные меры предотвращения сооружений от местных размывов применимы не во всех случаях. Так как, при большой глубине размыва необходимо устройство глубокого низового экрана, а при сопряжении бьефов участком со сбойным течением, может происходить размыв боковых откосов русла за сооружением. Такое явление может усугубляться тем, что отмостка, образованная из продуктов размыва, располагается в русле несимметрично, и при этом, живое сечение имеет неправильную форму. Размыв боковых откосов особенно опасен, если канал за сооружением проходит в насыпи или полувыемке и полунасыпи.

В связи с этим, во многих случаях экономически выгоднее более активное воздействие на поток за сооружением при помощи специальных гасителей энергии потока и растекателей, предназначенных для предотвращения местных размывов за креплением нижнего бьефа.

В условиях плоской задачи [58], когда происходит сопряжение гидравлическим прыжком, может происходить размыв русла бурным потоком при отгоне прыжка и спокойным потоком при расположении части или всего послепрыжкового участка за креплением нижнего бьефа сооружения. В этих обоих случаях основная цель, которая ставится перед энергогасящим устройством, сводится к предотвращению отгона прыжка. Гашение основной доли избытка кинетической энергии на массообмен происходит в самом прыжке. Например, потери энергии в вполне развитом прыжке достигают 85 % начальной энергии потока.



Плоская задача сопряжения бьефов исследована более полно, пространственная и гасители энергии потока, предназначенные для затопления и предотвращения отгона прыжка–водобойная стенка и водобойный колодец стали классическими.

При сбойном течении гашение энергии потока в условиях пространственной формы сопряжения более сложно, чем при плоском. Это объясняется тем, что при сопряжении сбойным течением наряду с гашением избытка кинетической энергии необходимо расширение потока в плане.

Исследователями уделено большое внимание проблеме гашения энергии пространственных потоков за водорегулирующими сооружениями.

В научных работах А.Н.Рахманова и Е.А.Замарина [5,412с;59] была предложена конструкция криволинейной плотины с центральным углом пролетов  $6-8^{\circ}$ , создающая благоприятные условия для расширения потока в нижнем бьефе.

В работе В.А.Храповского [60] предлагается разработка балочного «Г»-образного гасителя, предназначенного для предотвращения сбойного течения за трубчатыми сопрягающими сооружениями и шахтными перепадами. Недостатком таких гасителей является работа сооружений неполным фронтом.

Л.А.Машкович в своей работе [61] предлагает очень простое и эффективное устройство, расширяющее поток за щитовыми регуляторами, представляющее собой криволинейный затвор. Данный затвор, устанавливаемый вместо обычного плоского, представляет собой часть поверхности вертикального кругового цилиндра. Применение этих затворов в щитовых регуляторах, согласно его исследованиям, обеспечивает уменьшение необходимой длины крепления нижнего бьефа в 2-3 раза, но при этом необходимо учитывать фактор увеличения местного размыва в несколько раз.

Проводились разные интересные исследования по борьбе с местными размывами за трубчатыми регуляторами с напорными трубами, которые отличаются от сооружений с безнапорными трубами и горизонтальным креплением нижнего бьефа тем, что работают при больших напорах (от 0,3м до



1,5 м) и для предупреждения местных размывов за ними, требуется расширение потока в плане, так и значительное уменьшение его скоростей на выходе их труб. В связи с этим, за такими сооружениями обычно устраивают гасители коробчатого типа подобные по конструкции и принципу действия водоразбивным колоннам. Такие гасители энергии, в которых энергия потока понижается за счет снижения горизонтов воды в нижнем бьефе, работа сооружения выполняется неполным фронтом, эти гасители не обеспечивают в достаточной степени эффективного гашения энергии потока, что сопровождается размывом и увеличением расходов на ремонт сооружения.

В работе [63] приводится подобный принцип работы гасителя–растекателя, предложенный Н.А.Канавиным и М.Б.Селяметовой, представляющий собой корытообразный корпус сечением очерченным по логарифмической спирали, в центре которого расположен цилиндр для образования водяной подушки, гасящей энергию потока.

Ниже рассматриваются работы, авторы которых предлагают прямолинейные и криволинейные в плане водобойные стенки, устройства возбуждающие поперечную циркуляцию потока, а также различные комбинированные гасители за многопролетными водорегулирующими сооружениями на каналах для перераспределения удельных расходов по ширине русла.

В своей работе [64] Н.А.Вознесенский предлагает разработку несколько видов конструкций гасителей и растекателей, работа которых основана на принципе создания искусственной поперечной циркуляции.

Н.Т.Кавешников в своей работе [53,с.137.] предлагает комбинированное гасительное устройство для двухочкового трубчатого сооружения с перепадом на выходе из труб. Данное устройство состоит из рассеивающего порога трапецеидальной формы, устанавливаемого на участке падения дна, и водобойной стенки.

Таковыми профессорами, как Н.П.Розанов, Н.Е.Лысенко, В.Д.Бедев, А.Т.Кавешников [4,с.434;53,с.137.] и др. было проведено много исследований



по установлению условий кавитационного износа гасителей, на основе которого введено понятие «суперкавитации» и предложено применение в конструкциях гасителей суперкавитирующих элементов, уменьшающих кавитационный нанос последних.

В результате проведения экспериментов в лабораториях ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева, проф. Ф.Г.Гулько [66] пришел к выводу, что за водосливными плотинами низкого и среднего напора наиболее целесообразно применение трех типов гасителей: прорезной водобойной стенки, сплошной водобойной стенки и гасителя растекателя. При которых отношение ширины пирсов к ширине прорезной водобойной стенки рекомендуется принимать равным 3,43, а отношение ширины выступа к высоте стенки равным 142,4 [66].

На основе своих исследований И.И.Науменко [67] считает, что при степени сжатия потока сооружением  $\beta = V_p/V_c$  наилучшие результаты получаются при отношении ширины пирсов к ширине прорезей равном 1,342 и отношении ширины пирса к его высоте равном 0,54-0,75. при условии, что стенка установлена на расстоянии  $l < 3h_0$  ( $h_0$  – вторая сопряженная глубина прыжка) от сжатого сечения, последнюю можно рассматривать как водослив, для которого коэффициент расхода и коэффициент подтопления можно определить по формулам:

$$m_0 = 0,45 + 0,083 \frac{H}{h} \quad , \quad (1.6)$$

$$\sigma = 0,30 + 0,68 \sqrt{1 - \left(\frac{h_n}{H}\right)^2} \quad , \quad (1.7)$$

где  $H$  – напор над водосливом;

$h_n$  – глубина подтопления водослива.

По мнению Г.А.Лилицкого [67], при сопряжении бьефов сбойным течением, возникает необходимость устройство гасителя типа водобойной

стенки, кроме этого Г.А.Лилицкий предлагает для сооружений с сопряжением бьефов участком со сбойным течением комбинированный гаситель-растекатель, состоящий из водобойной стенки и водобойного колодца (рис.1.8).

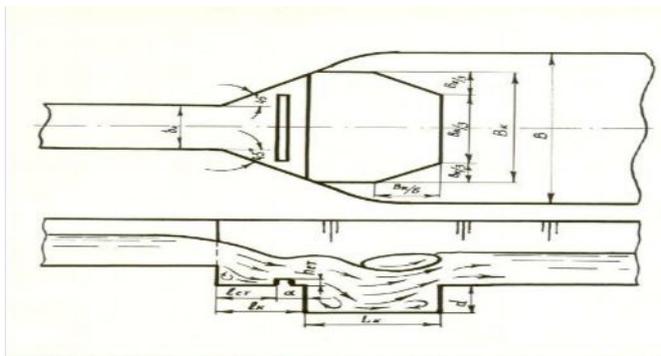


Рис. 1.8. Комбинированные гасители А.Г. Лилицкого

Расстояние от выходного сечения до стенки рекомендуется определять по формуле:

$$l_{cm} = 1,2v_0 Fr_0^{1/3}, \quad (1.8)$$

где  $v_0$  – ширина выходного сечения;

$Fr_0^{1/3}$  – критерий Фруда в выходном сечении.

Высоту стенки можно определять по формуле:

$$h_{cr} = h_{c0} - t - \Delta z, \quad (1.9)$$

где  $h_{c0}$  – вторая сопряженная глубина прыжка в колодце;

$t$  – бытовая глубина в канале;

$\Delta z$  – перепад на выходе из колодца.

Для предотвращения местных размывов и сокращения длины крепления наряду с гашением избытка кинетической энергии потока и перераспределением удельных расходов по ширине русла, большое значение как в условиях плоской задачи, так и при пространственном сопряжении потоков имеет перераспределение удельных расходов по глубине потока, т.е.



уменьшение скоростей у дна русла. При этом, если за гасителем энергии по скорости у дна русла и у боковых откосов больше, чем в центре потока или на поверхности его, то могут происходить местные размывы, несмотря на распределение удельных расходов по ширине и глубине русла близкое к равномерному.

Професср М.С.Вызго предложил зависимость для определения длины крепления нижнего бьефа, при которой не происходит размыв русла [30,с.130-136.]:

$$l_{\max} = \frac{0,4}{n_{кр}} h_2^{1,2}, \quad (1.10)$$

где  $h_2$  – глубина потока;

$0,4/n_{кр}$  – величина, зависящая от шероховатости поверхности крепления.

Исследования, проведенные под руководством проф. М.С.Вызго, Ю.М.Кузминовым, К.А.Сулейменовым, Б.Г.Маллаевым [30,с.130-136;69] показывают, что с увеличением шероховатости поверхности крепления длина прыжка уменьшается, при котором установлено, что при  $\delta/h_{0_{гл}} \approx 0,00540,01$  ( $\delta$  – высота гасителя-ребра,  $h_{0_{гл}}$  – вторая сопряженная глубина в гладком русла) длину прыжка можно принимать равной  $l_{ш}=(0,5540,56)l_{сл}$  ( $l_{сл}$  – длина прыжка в гладком русле). Шаг между гасителями в виде ребер шероховатости рекомендуется принимать равным  $S=(648)\delta$ .

Н.Н.Сурова в своих исследованиях [30,с.130-136;44,с.201-204] предлагает применить ребра шероховатости высотой  $0,1h_2$ , расстояние между которыми равняется глубине в отводящем русле  $h_2$  для перераспределения скоростей по глубине за гасителями.

Научные работы Е.А.Замарина [5,с.412], М.Б.Селяметова [45,с.85-89] и др. посвящены исследованию искусственной шероховатости в лотках-быстротоках, которые показывают, что искусственная шероховатость обеспечивает рассеивание энергии потока и увеличение его глубины.



Рассмотрим следующие научно-исследовательские работы посвященные конструктивным мерам защиты водорегулирующих сооружений от местных размывов.

Процесс гашения энергии за низконапорными многопролётными сооружениями рассматривается в научных исследованиях [70], где производились исследования конструкций гасящих устройств на экспериментальной установке, обеспечивающей значения чисел Рейнольдса в нижнем бьефе от 4000 до 31000 и числах Фруда в сжатом сечении 50-140. Модель низконапорного многопролётного водосбросного сооружения исследовалась со следующими параметрами: масштаб модели 1:36, максимальный расход при трёх полностью открытых пролётах 13 л/с (в натуре 101,1 м<sup>3</sup>/с); глубина в отводящем канале 2-6 м. Удельные расходы изменялись от 0,01 до 0,03 м<sup>2</sup>/с. Проводимые опыты сопровождалось определением высоты гидравлического прыжка и оценкой его расположения в плане. Результаты исследования показали, что даже при всех полностью открытых пролётах водосброса на гладком водобое наблюдался сбой потока независимо от глубины нижнего бьефа. Недостатком работы является взаимосвязь полученных данных на экспериментальной установке и натурной модели низконапорного многопролётного водосбросного сооружения по вопросу влияния потока на многопролётный регулятор приводящий к размыву нижнего крепления сооружений.

В научном патенте [71] Российской Федерации №2016164 приведено устройство для гашения энергии потока воды в нижнем бьефе водопропускных сооружений. В конструкции для активного гашения энергии потока в нижнем бьефе водопропускных сооружений, основанные на введении в поток различных механических препятствий и состоящие из расположенных в определенном порядке водобойных стенок, сплошных и прорезанных пирсов, свай, шашек и т.п. Все эти энергогасящие устройства обладают реактивным диссипативным и распределительным воздействием на поток. Использование



этих гасителей позволяет сократить длину участка сопряжения и длину крепления в нижнем бьефе, а также стоимость сооружения в целом.

К недостаткам этих гасителей следует отнести следующее: при изменении условий работы ГТС, а именно, увеличение расхода сверх проектного, снижение горизонтов воды в нижнем бьефе, работа сооружения неполным фронтом, эти устройства не обеспечивают в достаточной степени эффективного гашения энергии потока, что сопровождается размывом и увеличением расходов на ремонт сооружения.

Таким образом, полученные результаты исследований конструктивных мер предотвращения сооружений от местных размывов позволят более полно раскрыть особенности местного размыва за многопролетными шлюзами-регуляторами, правильно выбирать длину крепления нижнего бьефа и разрабатывать специальные конструктивные устройства для повышения надежности работы водорегулирующих сооружений сельхозводоснабжения.

### **Заключения по первой главе**

1. При отсутствии правильно выбранных гасителей и растекателей, в нижнем бьефе водорегулирующих сооружений наблюдаются местные размывы русла, являющиеся основной причиной ежегодных значительных затрат средств на ремонтные и восстановительные работы.

2. За шлюзами-регуляторами, наряду с такими видами сопряжения бьефов как свободное или полусвободное растекание и гидравлический прыжок, имеет место сопряжение бьефов участков сбойного течения. При этом, диапазон изменения глубин в нижнем бьефе этих сооружений, соответствующий сбойному течению приблизительно в пять-семь раз больше диапазона изменения глубин, соответствующего сопряжениях потоков гидравлическим прыжков.

3. Явление сбойного течения за регулирующими сооружениями изучено недостаточно полно. Нет исчерпывающих данных о длине участка сопряжения



со сбойным течением. Слабо изучено как само явление местного размыва русла при сбойном течении, так и влияние глубины потока в отводящем русле на размеры воронки размыва. Очень мало данных о сбойном течении, так и влияние глубины потока в отводящем русле на размеры воронки размыва. Очень мало данных о сбойном течении в нижнем бьефе низконапорных сооружений с перепадом до 0,5м, а также сооружений не оказывающих сжатие потока по глубине на выходе.

4. За низконапорными многопролетными регулирующими сооружениями с переездом и без перепада на выходе, т.е. с горизонтальным креплением, нет условий для образования гидравлического прыжка при значениях глубины в нижнем бьефе больших критической глубины в сооружении. Наиболее характерным видом сопряжения бьефов для таких сооружений является сопряжение сбойным течением спокойного потока. Этим обуславливается то, что от гасителей энергии потока в таких случаях требуется главным образом равномерное распределение удельных расходов по живому сечению, что особенно трудно осуществить за многопролетными сооружениями, работающими несимметрично.

5. На специфику сопряжения бьефов, а вместе с тем и конструкцию назначаемого энергогасящего устройства, существенное влияние оказывают конструкции выходной части сооружения, такие как обратные стенки, ныряющие стенки, косые плоскости, перепады на дне и пр. Поэтому возможность распространения рекомендаций, имеющихся в литературе, без специальных исследований на указанные выше сооружения представляются сомнительным.

6. Не установлен расчетный режим работы, указанных сооружений, для которого можно выбрать гасители энергии потока, предотвращающие размыв русла при всех режимах работы сооружения, т.е. не установлена расчетная схема для выбора энергогасящих устройств за сооружениями с безнапорными трубами и горизонтальными креплением.



7. Не разработана приемлемая методика выбора размеров и мест расположения гасителей энергии потока в нижнем бьефе низконапорных многопролетных регулирующих сооружений с горизонтальными срезами, предотвращающих появление сбойных течений.

В соответствии с описанным выше состоянием изученности вопросов, о местном размыве в нижнем бьефе шлюзов-регуляторов, и мерах защиты последних от разрушений из-за местных размывов, автору представляется необходимым:

а) исследование режимов работы и видов сопряжения бьефов за регулируемыми сооружениями и водопропускными безнапорными трубами прямоугольного поперечного сечения, работающими при напорах до 0,5м.

б) выявление наиболее приемлемых типов гасителей энергии потока и растекателей, обеспечивающих бессбойное течение, при различных режимах работы указанных сооружений в нижнем бьефе.

в) разработка конструкций, выбора размеров и места расположения гасителей энергии потока в нижнем бьефе многопролетных регуляторов.

г) разработка классификатора мер для предотвращения сооружений от местных размывов.

## **ГЛАВА 2**

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИДОВ СОПРЯЖЕНИЯ ПОТОКА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ЗА ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИМИ СООРУЖЕНИЯМИ СИСТЕМ СЕЛЬХОЗВОДОСНАБЖЕНИЯ**

#### **2.1 Изучение процессов сопряжения потока русла в нижнем бьефе в условиях плоской задачи**



Разработка мероприятий по предотвращению повреждения потоком русла и крепления нижнего бьефа требует изучение и всестороннее исследование условий возникновения различных форм сопряжения бьефов, которые могут наблюдаться за водорегулирующими сооружениями.

Из опыта эксплуатации [11,с.283-287;13,с.107-108] водорегулирующих сооружений показывает, что на каналах систем сельхозводоснабжения в зависимости от величины исследования кинематических характеристик потока, а именно пропускаемого расхода, напора и глубины в отводящем русле могут иметь место все основные формы сопряжения бьефов, такие как растекание бурного потока в плане и по глубине, гидравлический прыжок, сбойное течение и др.

В первую очередь рассмотрим условие плоской задачи сопряжение бьефов, которое характеризуется отсутствием сжатия потока сооружением в плане, вследствие чего удельные расходы (расходы, приходящиеся на единицу ширины узла) одинаковы по всей ширине потока.

Установлено, что поток в нижнем бьефе можно называть «плоским», если удовлетворяется следующее требование:

$$\eta = \frac{b_c}{b_p} > 0,8, \quad (2.1)$$

где  $\eta$  – коэффициент характеризующий степень сжатия потока в плане сооружением;

$b_c$  – ширина потока в сооружении;

$b_p$  – ширина потока в отводящем русле.

Поток за сооружением считают «пространственным», если указанное соотношение несправедливо.

Формула (2.1) обычно не удовлетворяется на сооружениях большинства систем. Но, при работе крупных многопролетных сооружений на



магистральных каналах всеми пролетами, например подпорных шлюзов, ширина сооружения равна ширине канала по дну, в нижнем бьефе могут иметь место явления достаточно близкие к тем, которые наблюдаются в случае плоского сопряжения бьефов.

Удельную энергию потока, т.е. энергию приходящуюся на единицу веса жидкости при движении в призматических руслах потока можно выразить зависимостью:

$$E = h + \frac{\alpha \vartheta^2}{2g}, \quad (2.2)$$

где  $h$  – глубина потока (удельная потенциальная энергия);

$\alpha$  – корректив кинетической энергии;

$\vartheta$  – средняя по сечению скорость;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\frac{\alpha \vartheta^2}{2g}$  – удельная кинетическая энергия.

Данная зависимость для прямоугольного русла запишем в следующем виде:

$$E = h + \frac{\alpha q^2}{2gh^2}, \quad (2.3)$$

где  $q = \frac{Q}{b_p}$  – удельный расход;

$Q$  – расход пропускаемой сооружением м<sup>3</sup>/сек.

Образование бурного потока происходит в результате сжатия потока на входе в сооружение щитом, который сопрягается со спокойным в отводящем русле посредством гидравлического прыжка (рис.2.1). Процесс гидравлического прыжка представляет собой основной вид сопряжения бьефов в условиях плоской задачи.

Согласно закону об изменении количества движения, относительно от жидкости между сечениями 1–1 и 2–2 (рис. 2.1, а) можно получить уравнение прыжка, представляющее собой равенство, так например прыжковых функций для двух указанных сечений:

$$\Pi(h) = \frac{b_p h_1^2}{2} = \frac{\alpha Q^2}{g h_1 b_p} = \frac{b_p h_2^2}{2} = \frac{\alpha Q^2}{g h_2 b_p}. \quad (2.4)$$

Тогда графическая зависимость  $E=f(h)$  выражается кривой, имеющей точку перегиба, для которой  $E=E_{\min}$  и  $h=h_{кр}$  (рис. 2.1, б).

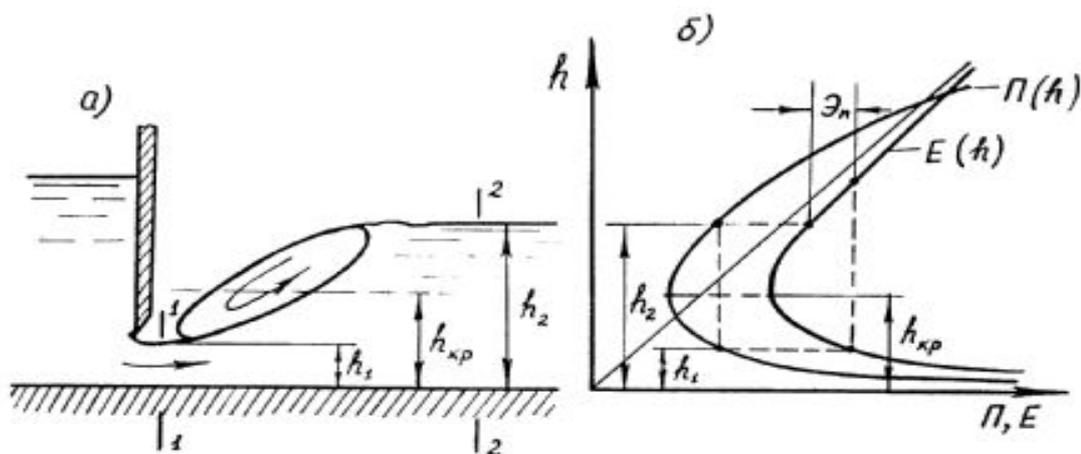


Рис. 2.1. Сжатие потока на входе в сооружение щитом:

а) гидравлический прыжок, б) графики функций  $\Pi(h)$  и  $E(h)$

График изменения прыжковой функции  $\Pi(h)$  (см. рис. 2.1, б) показывает, что каждой глубине бурного потока соответствует сопряженная с ней глубина спокойного потока.

Критическую глубину в руслах прямоугольного сечения определим по следующей формуле:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}}, \quad (2.5)$$



Далее критическую глубину нетрудно получить из формулы (2.3), удовлетворении условию экстремума  $de[dh]=0$ .

Вычисленное уравнение прыжка относительно сопряженных глубин получим:

$$h_1 = \frac{h_2}{2} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{2h_{кр}}{h_2} \right)^3} - 1 \right], \quad (2.6)$$

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{2h_{кр}}{h_1} \right)^3} - 1 \right], \quad (2.7)$$

$$l_{nn} = (2,5 \div 3,0)l_n. \quad (2.8)$$

На месторасположение гидравлического прыжка влияет соотношение глубины потока в отводящем русле и второй сопряженной глубиной прыжка.

При глубине в отводящем русле меньшей расчетной глубины гидравлического прыжка, сопряженной со сжатой глубиной за щитом, то прыжок отгоняется на некоторое расстояние потока русла  $L$  (рис. 2.2, а). На таком расстоянии потока русла кинетическая энергия бурного потока перед прыжком уменьшается, что сопровождается согласно графику  $E=f(h)$  с увеличением его глубины потока сооружений.

При этом можно считать, согласно зависимости  $\Pi(h)$  (см. рис. 2.1, б) большим значениям первой сопряженной глубины прыжка  $h_1$  соответствуют меньшие значения второй сопряженной  $h_2$ . В связи с этим, гидравлический прыжок располагается на том участке, где непрерывно увеличивающаяся по длине русла глубина бурного потока становится равной расчетному значению первой сопряженной величине потока, которой отвечающей глубине спокойного потока в отводящем русле  $h_{нб}$ . Следовательно, чем больше  $h_{нб}$  при

прочих равных условиях, тем ближе располагается прыжок к щиту. Если  $h_{нб}$  тем самым происходит затопление прыжка (рис.2.2,б).

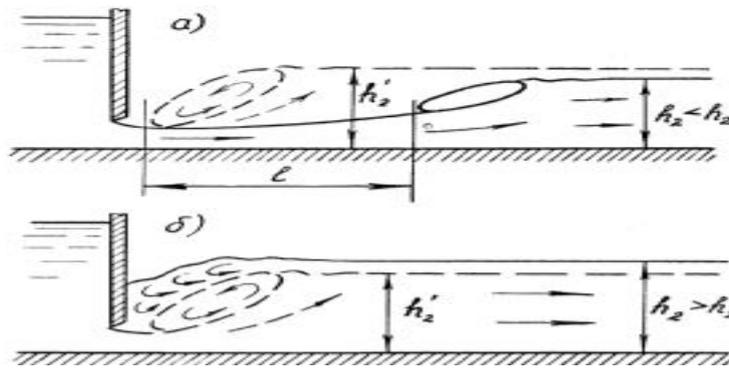


Рис. 2.2. Глубина гидравлического прыжка:

а) отогнанный гидравлический прыжок, б) затопленный прыжок

Из практики научных исследований [72, 73, 74] известно, что в этих работах имеется много случаев полезного использования гидравлического прыжка, например, для гашения энергии потока, удаления воздушных карманов из водопроводных линий, увеличения расхода затворов за счет отга прыжка в ижнем бьефе и т.д. При удовлетворении условию  $h_1 \leq 0,65h_{кр}$  или  $h_2/h_1 \geq 2$ , в совершенном прыжке происходит значительное гашение избытка кинетической энергии.

Для правильного назначения длины крепления нижнего бьефа, немаловажное значение имеет вопрос о длине прыжка и послепрыжкового участка. В расчетной практике пользуются эмпирическими зависимостями (всего их предложено около 65). Из рассмотренных работ, можно сказать, что одна из наиболее простых формул длины прыжка имеет следующий вид [30,с.130-136; 72,с.155-159]:

$$l_n = m \cdot a , \tag{2.9}$$

где  $m$  – коэффициент, равный 5...7;  $a$  – высота прыжка.

Получилось, что в формулах для определения длины гидравлического прыжка обычно не учитывается влияние шероховатости поверхности русла на



длину прыжка, хотя шероховатость поверхности может оказывать значительное влияние и на длину прыжка, и на длину послепрыжкового участка. Наглядным примером влияния шероховатости боковых ограничивающих поверхностей может служить тот факт, что в широких лотках длина прыжка при прочих равных условиях больше, чем в узких лотках. Необходимо отметить, что с увеличением шероховатости дна лотка можно существенно уменьшить длину прыжка и его вторую сопряженную глубину. Подобное влияние оказывает увеличение шероховатости поверхности русла и на длину послепрыжкового участка.

В условиях плоской задачи в зависимости от соотношения между второй сопряженной глубиной прыжка и глубиной воды в отводящем русле могут иметь место следующие формы сопряжения потоков прыжком [75,76]:

- а) при  $h_2 > h_{нб}$  – сопряжение отогнанным прыжком;
- б)  $h_2 = h_{нб}$  – прыжком надвинутым на сжатое сечение за щитом;
- в)  $h_2 < h_{нб}$  – затопленным прыжком.

Из трех указанных случаев наиболее неблагоприятным является сопряжение бьефов отогнанным прыжком, так как при этом для защиты сооружения от местных размывов требовалось бы устройство крепления нижнего бьефа неприемлемо большой длины.

Таким образом, гидравлический прыжок и послепрыжковой участок представляют собой область, в которой часть энергии потока рассеивается из-за интенсивного турбулентного перемешивания жидкости. Такие потери энергии потока можно представить как разность энергии в сечениях перед прыжком при глубине  $h_1$  и конце после прыжкового участка при глубине потока  $h_2$ .

## **2.2 Изучение пространственных видов сопряжения бьефов за водорегулирующими сооружениями**



Выше было отмечено, что поток в нижнем бьефе называется пространственным, если ширина потока в сооружении составляет менее 80% от ширины отводящего русла, поэтому в таких условиях постоянного расхода, с изменением глубины воды в отводящем русле потока можно наблюдать разные виды сопряжения бьефов, такие как растекание бурного потока в плане и по глубине, косые прыжки, пространственный прыжок с криволинейным в плане вальцем, устойчивые и неустойчивые виды сбойного течения.

Далее, мы рассмотрим порядок смены видов сопряжения бьефов при пропуске в сухое широкое русло прямоугольного сечения за сооружением, представляющем собой безнапорную трубу прямоугольного сечения с нулевым уклоном, без порога на входе и работающую без сжатия потока по глубине за щитом.

Отношение величин ширины потока сооружений к потокам в отводящем русле, т.е. степень сжатия потока в плане примем близким к граничному значению:

$$\eta = \frac{b_c}{b_p} = 0,5.$$

В работах [205, 213] степень сжатия потока –  $\eta = 0,5$  многие ученые называют граничным стеснением потока, так как при этом становятся резко выраженными характерные особенности пространственных форм сопряжения. Это можно объяснить тем, что на входе в такое сооружение линии токов плавно огибающие кромку отжимаются от стенок сужения. При величине, когда  $\eta \leq 0,5$  крайние струйки сходящие с кромок входа переплетаются между собой и здесь же образуются косые волны в пределах сужения.

### **2.2.1 Растекание бурного потока в плане сооружений**

Растекание бурного потока в плане происходит при выходе потока из сооружения в широкий нижний бьеф с очень малой глубиной воды (рис. 2.3). Как правило, растекание получается симметричным в том случае, если оси симметрии русла и сооружения совпадают и глубина воды достаточно мала. При этом в выходном сечении сооружения потоку внезапно представляется возможность расширяться, и поэтому граничные поверхности АВ и СД (рис.2.4), изгибаются в плане под действием весового давления потока.

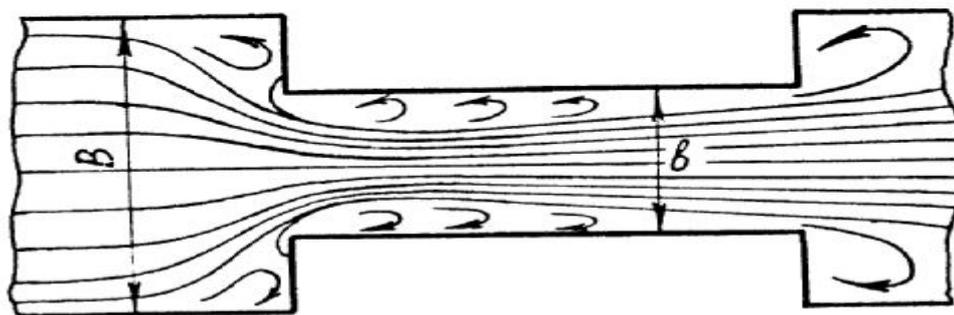


Рис. 2.3. Сжатие потока в плане

В результате непрерывного планового расширения потока на этом участке происходит уменьшение глубины и увеличение скорости. Свободная поверхность получается криволинейной, выпуклой.

В работах [52,с.19-21; 77] указано, что обоснование растекания бурного потока рассматривает два случая бурного потока в плане: свободное и полусвободное. Свободное растекание, при котором области водоворотов  $B_1$  и  $B_2$  (рис. 2.4 и 2.6), охватывающие расширяющийся поток с боков оказываются сухими.

В этих работах [50,с.180-184;78,79] полусвободное растекание отличается тем, что крайние струйки бурного потока не достигают берегов русла, а боковые водоворотные области соединяются со спокойным потоком в русле (рис. 2.5). При этом, в зоне растекания бурного потока образуется характерный лист, ограниченный со всех сторон, за исключением выходного сечения, спокойным потоком или криволинейными поверхностями косых гидравлических прыжков.

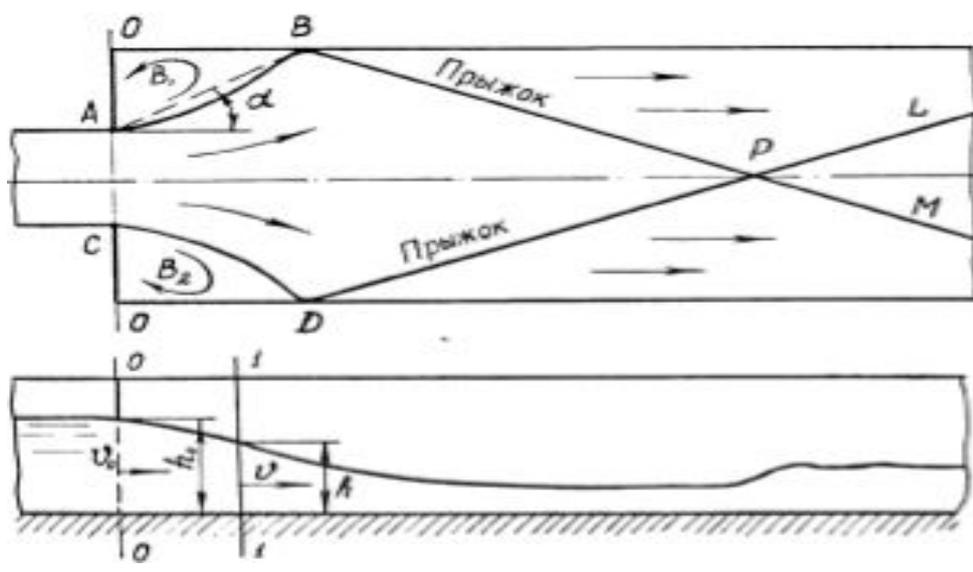


Рис. 2.4. Растекание бурного потока с образованием косых гидравлических прыжков

Как известно, одним из характерных параметров участка растекания бурного потока в плане является угол растекания  $\alpha$  (рис. 2.4).

Угол растекания  $\alpha$  можно определять по зависимости И.А.Шеренкова [209]:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{gh_0}}{g} = \frac{1}{\sqrt{F_{20}}}, \quad (2.10)$$

где  $\sqrt{gh_0}$  – составляющая скорости нормальная к оси потока на выходе из сооружения;

$h_0$  - глубина потока в выходном сечении О-О;

$g_0$  - средняя скорость в сечении О-О;

$F_{20}$  - критерий Фруда на выходе из сооружения.

Здесь видно, что с удалением от выходного сечения, как продольная, так и поперечная составляющие скорости изменяются, а в соответствии с этим меняется и угол растекания потока.

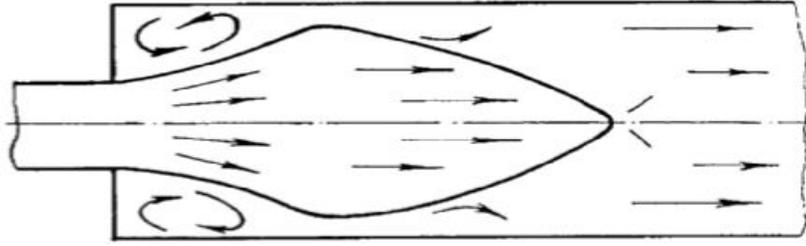


Рис. 2.5. Полусвободное растекание потока

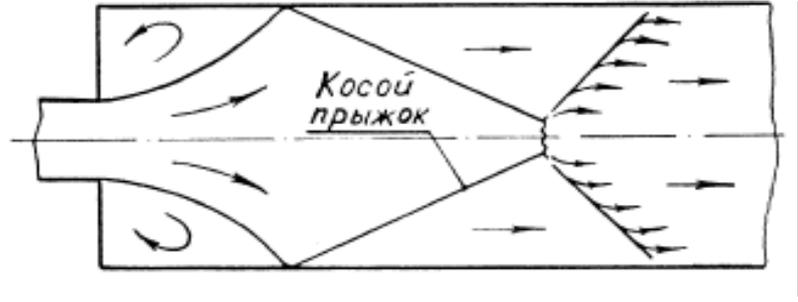


Рис. 2.6. Свободное растекание потока с образованием мостообразного прыжка

Основополагающими положениями обоснования растекания потока могут служить следующие аналитические выкладки предыдущих авторов. В качестве примера, И.А.Шеренков показывает, что формула (2.10) дает заниженные результаты и предложено ввести в нее поправку равную 1,41.

По опытам А.Ф.Киенчука [80] на рис. 2.7 приведено сравнение опытных данных с результатами расчетов по формуле:

$$tg\alpha = \frac{1,41}{\sqrt{F_{20}}} . \tag{2.11}$$

Теоретические и экспериментальные исследования Н.Т.Мелещенко, Г.И.Сухомела, И.А.Шеренкова [81] и др. посвящены таким вопросам, как определение скоростей, удельных расходов и глубин в любой точке участка растекания, которые имеют решения в задаче расчета растекания бурного потока наряду с установлением значения угла растекания  $\alpha$ .

И.А.Шеренков предложил для удобства определения указанных выше параметров потока в области растекания построить универсальный график в



безразмерных координатах  $\frac{y}{b}$  и  $x/b\sqrt{Fr_{20}}$ , на который нанесены линии равных глубин и линии тока (рис. 2.8).

По графику для определения глубин и скоростей, предварительно определяют глубину в выходном сечении  $h_0$  и среднюю скорость потока в этом сечении  $g_0$ , а затем значение числа Фруда  $F_{20}$ . Ширину выходного сечения  $b_0$  и число Фруда умножают на величину безразмерной координаты, взятой из графика на рис. 2.8 по оси  $x/bFr_{20}$ , что дает действительную координату точки по горизонтальной оси для рассчитываемого потока. Вторую координату точки определяют умножением  $b_0$  на вторую размерную координату взятую из графика по оси равной величине  $\frac{y}{b}$ . Построенный по таким расчетным координатам график будет соответствовать рассматриваемому потоку. Из этого графика можно определить глубину и скорость в любой точке потока на участке растекания. Например, вдоль линии равной глубины  $h/h_0 = 0,5$  глубина потока везде равна  $h=0,5h_0$ . Для определения скорости можно воспользоваться следующей формулой:

$$g = \sqrt{2g\left(1 - \frac{h}{h_0}\right)h_0 + g_0^2}, \quad (2.12)$$

Данную формулу нетрудно получить из уравнения Бернулли написанного для выходного сечения сооружения и произвольного сечения на участке угла растекания.

При свободном растекании бурного потока расчет граничной струйки приближенно можно определить по эмпирической формуле:

$$\frac{y}{b_0} = \frac{1}{8} \left( \frac{x}{b_0\sqrt{F_{20}}} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{2}, \quad (2.13)$$

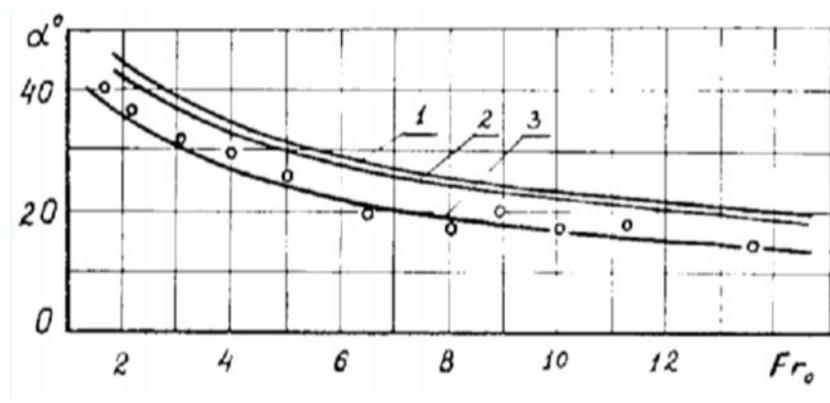


Рис. 2.7. Графики зависимости угла растекания потока от числа Фруда:  
 1 – по формуле С.К.Кузнецова, 2 – по опытным данным А.Ф.Киенчука, 3–по  
 формуле Ф.И.Пикалова

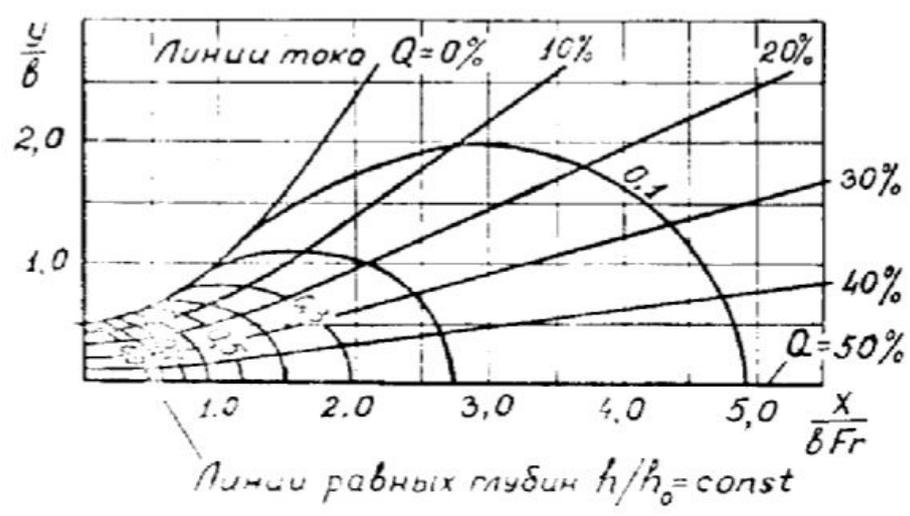


Рис. 2.8. Универсальный график зависимости И.А.Шеренкова

### 2.2.2 Рассмотрение пространственного гидравлического прыжка и расчет сопряженных глубин

За участком растекания бурного потока в плане образуется прямой прыжок, который назван так вследствие того, что валец его располагается нормально к оси потока. При увеличении глубины в отводящем русле прямой прыжок перемещается в сторону верхнего бьефа, сохраняя вначале

прямолинейную форму вальца. С продвижением прямого прыжка к участку полного растекания бурного потока валец его искривляется в плане и очерчивается по кривой выпуклой в сторону нижнего бьефа.

Причиной искривления вальца в плане является то, что скорости и глубины на участке растекания бурного потока не одинаковы по его ширине, а свободная поверхность криволинейна.

Данный гидравлический прыжок с криволинейным в плане вальцом, образующийся непосредственно за участком растекания бурного потока в плане, представляет собой так называемый пространственный гидравлический прыжок (рис. 2.9).

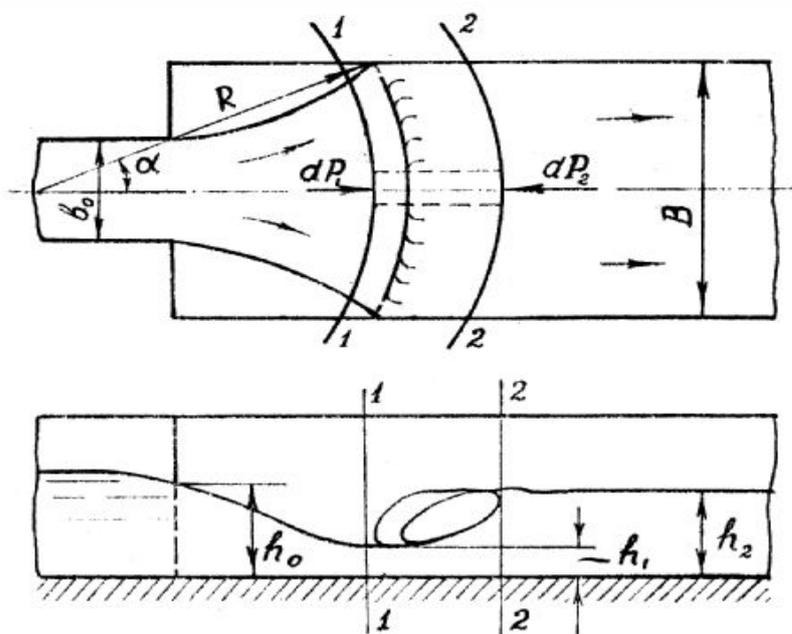


Рис. 2.9. Пространственный прыжок

Для дальнейшего планового расширения потока в случаях несвободного растекания до прыжка за вальцом прыжка струйки везде по ширине русла направлены нормально к линии вальца. Следовательно, в условиях пространственной задачи сопряжения бьефов прыжок играет роль не только гасителя энергии потока, но и растекателя, т.е. области, в пределах которой происходит растекание потока.

Задача по определению сопряженных глубин прыжка с криволинейным в плане вальцом до настоящего времени не имеет окончательного решения.



Возможность точно определять вторую сопряженную глубину такого прыжка расчетным путем позволяло бы точно устанавливать условие возникновения других пространственных форм сопряжения бьефов, имеющих место после затопления прыжка.

Б.А.Мацманом принят валец прыжка надвинутого на сечение с полным растеканием бурного потока в плане прямолинейным, также он предполагал, что в сечении перед прыжком средняя скорость потока равна скорости на выходе из сооружения. Опираясь на такие допущения, им была получена формула для определения второй сопряженной глубины прыжка, который имеет следующий вид:

$$h_2 = 0,5h_0\eta \left( \sqrt{1 + \frac{8\alpha Q^2 B}{gb_0^3 h^3}} - 1 \right), \quad (2.14)$$

где все обозначения понятны из предыдущего.

Глубина по ширине русла в прямолинейном сечении, выбранном перед прыжком не везде одинакова, а в центральной части потока больше чем на удалении от оси сечения. Поэтому скорость в таком сечении отличается и от скорости на выходе из сооружения и от скорости в криволинейном сжатом сечении перед прыжком. Данные условия привели к значительным погрешностям при расчете по формуле (2.14).

В дальнейшем О.В.Андреев [25,с.47-53.] предложил скорость в плоском сечении перед прыжком выражать через скорость на выходе из водорегулирующих сооружений, вводя специальный поправочный коэффициент  $K = \mathcal{G}_1 / \mathcal{G}_0$ .

По данному вопросу С.К.Кузнецовым было предложено ввести в формулу Б.А.Мацмана эмпирическую поправку, определяемую по следующей формуле:

$$K = 0,8 - 0,15(0,9 - \eta). \quad (2.15)$$



Чтобы теоретически рассмотреть пространственный прыжок выбора отсек жидкости между двумя цилиндрическими сечениями 1-1 и II-II (рис. 2.9). Основываясь на закон об изменении количества движения, запишем следующим образом:

$$\Delta K = \sum P, \quad (2.16)$$

где  $\Delta K$  - приращение количества движения за единицу времени;

$\sum P$  - сумма проекций импульсов всех действующих сил на ось симметрии.

Не учитывая силы трения на участке между рассматриваемыми сечениями, получим:

$$\sum P = dP_1 + dP_2, \quad (2.17)$$

где  $dP_1 = \frac{\gamma h_1^2}{2} R d\theta,$

$$dP_2 = \frac{\gamma h_2^2}{2} R d\theta,$$

$\gamma$  - удельный вес жидкости;

$\theta = \frac{\alpha\pi}{90}$  - угол в радианах.

Преобразование количества движения энергии представим в следующем виде:

$$\Delta K = (\alpha_{02} \rho \vartheta_2^2 h_2 - \alpha_{01} \rho \vartheta_1^2 h_1) R d\theta, \quad (2.18)$$

где  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  - средние скорости в сечениях 1-1 и II-II;

$\rho$  - плотность жидкости;

$\alpha_{01}$  и  $\alpha_{02}$  - коэффициенты количества движения в сечениях 1-1 и II.

В этих формулах  $R\theta$  представляет собой длину дуги.



Так как значение  $\rho = \frac{\gamma}{g}$ , и подставив значение средних скоростей, перепишем равенство (3.18) в следующем виде:

$$\Delta K = \frac{\gamma}{gR} \left( \frac{Q}{\theta} \right)^2 \left( \frac{\alpha_{01}}{h_1} - \frac{\alpha_{02}}{h_2} \right) d\theta. \quad (2.19)$$

Подставим значения  $\Delta K$  и  $\sum P$  из равенств (2.19) и (2.17) в формулу (2.16), и после преобразований, допуская  $\alpha_{01} = \alpha_{02} = \alpha_0$ , получим уравнение пространственного прыжка:

$$\frac{h_1^2}{2} + \left( \frac{Q}{R\theta} \right)^2 \frac{\alpha_0}{gh_1} = \frac{h_2}{2} + \left( \frac{Q}{R\theta} \right)^2 \frac{\alpha_0}{gh_2}. \quad (2.20)$$

Решение уравнения (2.20) относительно сопряженных глубин дает формулы:

$$h_1 = \frac{h_2}{2} \left[ \sqrt{1 + \frac{8\alpha_0}{h_2^3 g} \left( \frac{Q}{R\theta} \right)^2} - 1 \right], \quad (2.21)$$

$$h_{21} = \frac{h_2}{2} \left[ \sqrt{1 + \frac{8\alpha_0}{h^3 g} \left( \frac{Q}{R\theta} \right)^2} - 1 \right]. \quad (2.22)$$

В данных формулах приведена критическая глубина в криволинейных расчетных сечениях, определяемая как:

$$h_{KP.n} = \sqrt[3]{\frac{\alpha_0}{g} \left( \frac{Q}{R\theta} \right)^2}. \quad (2.23)$$



Из формулы (2.23) видно, что с уменьшением степени сжатия потока сооружением в плане, угол расширения бурного потока перед прыжком уменьшается, криволинейные расчетные сечения перед прыжком и за ним приближаются по своей форме к плоским, и при полном отсутствии планового сжатия потока имеет место равенство  $R\theta = B$ .

Если глубина воды в отводящем русле больше второй сопряженной глубины пространственного прыжка в критическом положении, определяемой по формуле (2.22), происходит затопление прыжка, что сопровождается появлением других форм сопряжения бьефов. В формулу (2.22) вводим сжатую глубину перед прыжком  $h_1$ , которую можно с достаточной степенью точности подсчитать на основе закона неразрывности, если известно значение средней скорости в сжатом сечении  $g_1$ , т.е.:

$$h_1 = \frac{Q}{R\theta g_1}. \quad (2.24)$$

Учитывая данное равенство, перепишем формулу (2.24) можно преобразовать в следующем виде:

$$h_1 = \frac{Q}{R\theta \sqrt{2g \left(1 - \frac{h_1}{h_0}\right) h_0 + g_0^2}}. \quad (2.25)$$

Приращение равенства (2.25) относительно  $h_1$  приводит к кубическому уравнению:

$$h_1^3 - \left(h_0 + \frac{g_0^2}{2g}\right) h_1^2 + \frac{Q^2}{2g(R\theta)^2} = 0,$$

или

$$h_1^3 - H_0 h_1^2 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{R\theta}\right)^2 = 0, \quad (2.26)$$



где  $H_0 = h_0 + \frac{g_0^2}{2g}$  - глубина на выходе из сооружения с учетом скорости подхода.

Чтобы решить последнее уравнение, преобразуем его к «неполному» виду, используя подстановку:

$$h_1 = x + \frac{H_0}{3}. \quad (2.27)$$

Кубическое уравнение с новой переменной будет иметь следующий вид:

$$x^3 - 3\left(\frac{H_0}{3}\right)^2 x - 2\left[\left(\frac{H_0}{3}\right)^2 - \frac{1}{4g}\left(\frac{Q}{R\theta}\right)^2\right] = 0. \quad (2.28)$$

По формуле Кардана, корнем уравнения (2.28), отвечающим условиям данной задачи будет являться:

$$x = -2\frac{H_0}{3}\cos\left(60^\circ + \frac{\beta}{3}\right), \quad (2.29)$$

где  $\beta$  определяется по формуле:

$$\cos \beta = 1 - \frac{27}{4gH_0^3}\left(\frac{Q}{R\theta}\right)^2 = 1 - \frac{6,75}{\alpha_0}\left(\frac{h_{KP.n}}{H_0}\right)^3.$$

Учитывая равенства (2.27) и (2.28), окончательно формулу для определения глубины перед прыжком запишем в следующем виде:

$$h_1 = \frac{H_0}{3}\left[1 - 2\cos\left(60^\circ + \frac{\beta}{3}\right)\right]. \quad (2.30)$$



Предлагается и другой вариант, обоснование, позволяющее избежать многократные повторные вычисления, необходимые при определении  $h_1$  методом подбора.

Отношение глубин  $h_1/h_0$  в подкоренном выражении в формуле (2.25) согласно закону неразрывности энергии можно представить в следующем виде:

$$\frac{h_1}{h_0} = \frac{g_0}{g_1} \cdot \frac{b}{R\theta},$$

или

$$\frac{h_1}{h_0} = \frac{g_0}{\sqrt{2g\left(1 - \frac{g_0}{g_1} \cdot \frac{b}{R\theta}\right)h_0 + g_0^2}} \cdot \frac{b}{R\theta}. \quad (2.31)$$

В правую часть последнего равенства входит скорость в сжатом сечении  $g_1$ , которую определим приближенно по формуле

$$g_1 = g_{np.1} = \sqrt{2g\left(1 - \frac{b}{R\theta}\right)h_0 + g_0^2}, \quad (2.32)$$

где  $g_{np.1}$  - приближенное значение скорости в сжатом сечении.

В формуле (2.32) отношение глубин  $h_1/h_0$  выражено равенством:

$$\frac{h_1}{h_0} = \frac{b}{R\theta}, \quad (2.33)$$

далее в отличие от формулы (2.31) принято, что  $g_0 = g_1$ .

Поэтому с учетом равенств (2.31) и (2.32) придадим формуле (2.25) следующий вид:



$$h_1 = \frac{Q}{R\theta \sqrt{2g \left[ 1 - \frac{b g_0}{R\theta \sqrt{2g \left( 1 - \frac{g_0}{g_{np.1}} \cdot \frac{b}{R\theta} \right) h_0 + g_0^2}} \right] h_0 + g_0^2}} \quad (2.34)$$

Определение  $h_1$  по формуле (2.33) должно приводить к значительным погрешностям, а формула (2.34) является более точной, так как погрешность обуславливаемая допущением  $g_0 = g_1$  оказывается под тройным квадратным корнем.

Таким образом, по формулам (2.22), 2.30) или (2.34) можно определить предельное значение глубины в отводящем русле превышение которой сопровождается затоплением пространственного прыжка и образованием новых видов сопряжения бьефов.

### 2.3 Особенности образования форм сбойного течения

Сбойное течение наиболее часто встречается на практике и вместе с тем представляет собой сравнительно малоизученный пространственный вид сопряжения бьефов.

Особенность сбойного течения заключается в искривлении динамической оси потока в плане и в движении его вдоль одного из берегов, что обуславливает резко выраженную неравномерность распределения удельных расходов по ширине русла. Также, в противоположность явлению растекания бурного потока в плане, для которого характерно уменьшение удельных расходов по течению вдоль динамической оси, при сбойном течении происходит наоборот увеличение удельных расходов в транзитной части потока в первой половине участка сопряжения бьефов.

Внимание исследователей на процесс сбойного течения было обращено сравнительно недавно. В начале развития плотиностроения исследователи рассматривали в качестве расчетной схемы сопряжения бьефов, схему сопряжения потоков посредством гидравлического прыжка в условиях плоской задачи. Далее практика эксплуатации, как крупных так средних и малых гидротехнических сооружений все чаще выдвигала новые задачи, связанные с необходимостью учета возможного большего количества реальных факторов, влияющих на гидравлику нижнего бьефа и в первую очередь пространственности явлений.

Плановое сжатие потока сооружением в общем случае может быть односторонним, двухсторонним, несимметричным и двусторонним симметричным (рис. 2.10).

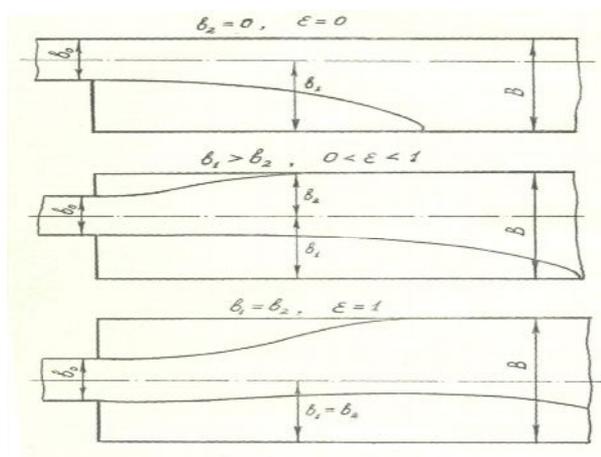


Рис. 2.10. Схемы планового сжатия потока сооружением:

- а) одностороннее сжатие  $\epsilon = 0$ , б) двухстороннее несимметричное сжатие  $0 < \epsilon < 1$ , в) двухстороннее симметричное сжатие  $\epsilon = 1$

Формы планового сжатия потока сооружением можно характеризовать специальным коэффициентом симметричности сжатия:

$$\epsilon = \frac{b_1 - 0,5b_0}{b_2 - 0,5b_0} = \frac{2b_1 - b_0}{2b_2 - b_0} = \frac{b_1 - b_0^I}{b_2 - b_0^I}, \quad (2.36)$$



где  $b_1$  – расстояние от оси суженной части русла до ближнего берега в нижнем бьефе;

$b_2$  – расстояние от оси суженной части русла до дальнего берега в нижнем бьефе (рис. 2.10, б).

Рис. 2.10 показывает, что при одностороннем сжатии потока сооружением  $v_1 = v_0$  и  $\mathcal{E} = 0$ , при двухстороннем несимметричном сжатии  $0 < \mathcal{E} < 1$  и при двухстороннем симметричном сжатии  $\mathcal{E} = 1$ .

Медленное одностороннее расширение в плане происходит за участком одностороннего сжатия потока после затопления пространственного прыжка.

При двухстороннем несимметричном сжатии потока сооружением, после затопления прыжка, как правило он отклоняется к ближнему берегу и за сечением, в котором крайние струи достигают берега, двигается вдоль берега претерпевая одностороннее движение.

Двухстороннее симметричное сжатие является наиболее интересным случаем, когда поток отклоняется произвольно к одному из берегов, что заранее невозможно предугадать к которому произойдет отклонение.

Сжатие потока по глубине на входе в сооружение щитом (при глубине перед щитом  $3h_{кр.с}$ ) происходит значительно к тому, что линии равных глубин на участке растекания бурного потока вытягиваются в сторону нижнего бьефа, т.е. участок растекания удлиняется с возрастанием скорости в выходном сечении. Поэтому скорости в области косых прыжков возрастает настолько, что нарушение устойчивости динамической оси потока в плане может произойти до надвигания прямого прыжка на сечение с полным растеканием бурного потока.

Уменьшение ширины прыжка при этом сопровождается уменьшением доли кинетической энергии рассеиваемой в прыжке и соответственным удлинением участка сопряжения, на котором происходит успокоение потока.

Неравномерный характер движения и возмущение на свободной поверхности волны наблюдается на значительном расстоянии от выходного сечения. Прыжок сбивается к одному из берегов, положение оси потока становится неустойчивым, а у противоположного берега образуется большой

водоворотный валец с медленным вращением масс воды. Иногда происходит затопление прыжка полностью и при этом расширение транзитного потока приходится на единицу длины участка сопряжения незначительно. Участок сопряжения потока по длине становится еще больше. При достаточно большой глубине в нижнем бьефе, положение сбитого к одному из берегов устойчиво и гидравлический прыжок вновь не возникает.

Рис. 2.11 показывает, что участок сопряжения со сбойным течением образуется после полного затопления пространственного прыжка. Главными параметрами, характеризующими такую форму сопряжения являются угол сбоя транзитного потока  $\alpha$  и длина большого водоворотного вальца  $l_b$ .

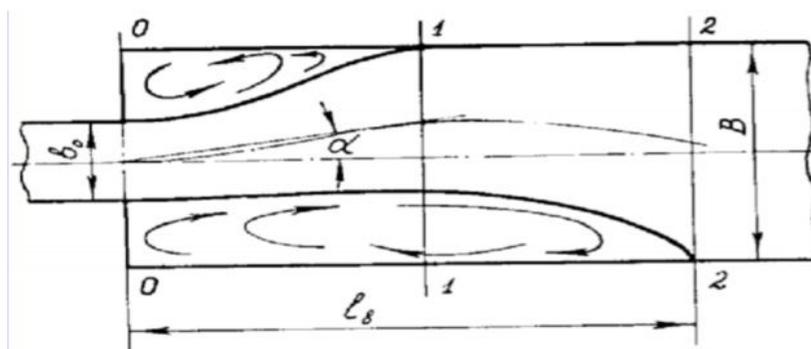


Рис. 2.11. Сопряжение потоков участков сбойного течения

На рис. 2.11 угол сбоя потока можно принимать равным углу между осью русла и прямой соединяющей точки на динамической оси потока в сечении 0-0 на выходе из сооружения и в сечении 1-1, в котором поток достигает берега.

Поток за сечением 1-1 движется вдоль берега и картина мало отличается от таковой, имеющей место за односторонним плановым сжатием потока сооружением. Транзитный поток со сбойным течением полностью расширяется в сечении, расположенном в конце большого водоворотного вальца. Но, по ширине русла распределение удельных расходов остается здесь еще неравномерным, и только на последующем участке происходит окончательное перераспределение скоростей в плане, что видно по эпюрам, показанными на рис. 2.12. Следовательно, при сбойном течении длина участка сопряжения

потоков может быть принята равномерной длине большого водопроводного вальца только приближенно.

Если происходит, что глубина потока в отводящем канале достаточно большая, например, порядка  $2h_{кр.с}$ , разница отметок свободной поверхности в области водоворотных вальцов и транзитной части потока, а также в начале участка сопряжения и в конце его незначительна.

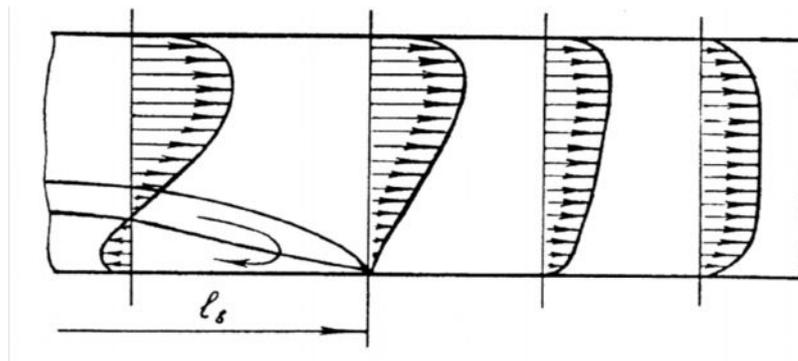


Рис. 2.12. Перераспределение скоростей по ширине русла за участком одностороннего планового расширения потока

Эта разница с уменьшением глубины в отводящем русле возрастает, на свободной поверхности возникают возмущения. Рис. 2.13 схематически показывает характерные особенности участка сопряжения при сбойном течении. Как правило, глубина транзитного потока в начале участка меньше, чем в конце, т.е. свободная поверхность имеет обратный уклон.

Свободная поверхность в области водоворотных вальцов (правого и левого) имеет значительно меньший уклон. Следовательно, в начале участка (сечение 1-1) глубина вальцов больше, чем глубина транзитного потока, а в конце (сечения 2-2) наоборот. Образование поперечного уклона свободной поверхности объясняется указанной разницей глубин, который можно схематически представить в виде сосредоточенного перепада  $\Delta h$  на линии ABC, по которой продольные скорости равны нулю. Как принято считать, возникновение поперечного уклона свободной поверхности обусловлена циркуляцией масс воды, образующей вальцы. Некоторое количество воды в транзитный поток из вальцов в областях АВ и А\*В\*, и затем во второй

половине вальцов в областях ВС и В\*С\* выходит из потока, образуются обратные потоки у берегов.

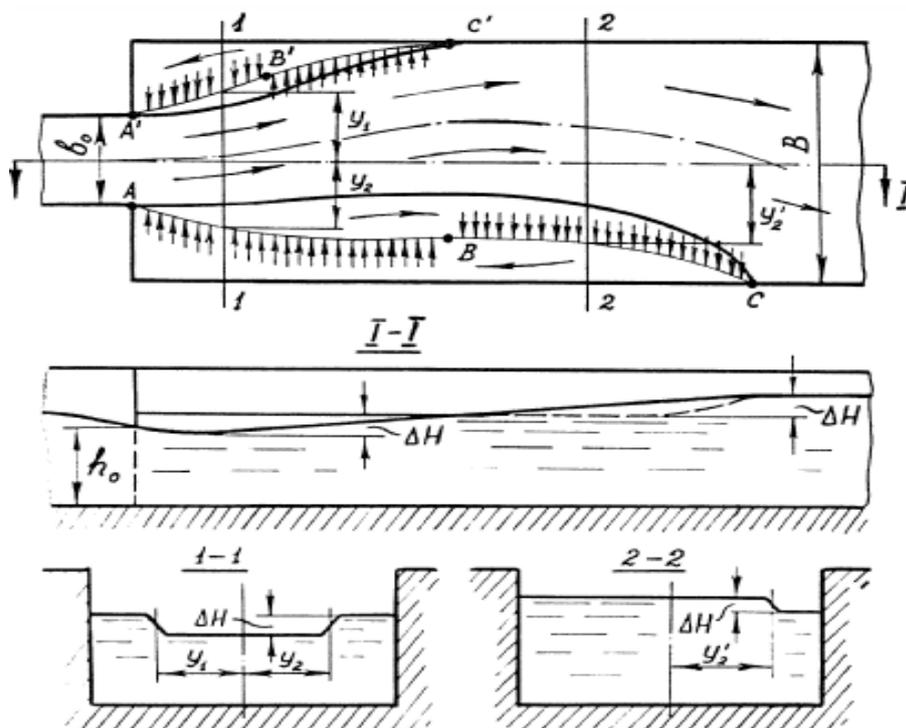


Рис. 2.13. Изменение отметок поверхности потока при сбойном течении

С учетом непрерывного массообмена между областями поступательного и возвратного движения расход в потоке со сбойным течением вначале увеличивается, а затем уменьшается и конце участка сопряжения становится равным расходу в выходном сечении сооружения.

Хотелось бы отметить, что приведенная выше схематизация участка сопряжения не всегда отражает действительную картину. Так например, если глубина потока в нижнем бьефе большая, как было отмечено выше, разница глубин в вальцах и транзитном потоке становится незначительной, а при глубине за участком сопряжения близкой к  $h_{кр.с}$  глубина в начале большого вальца может оказаться даже меньше, чем в транзитном потоке. Следовательно, циркуляция масс воды при сбойном течении объясняется не только наличием поперечного уклона свободной поверхности, но и эжекцией, т.е. отсасыванием



некоторого количества воды транзитной частью потока из области вальца в начале участка сопряжения.

Эжекция может настолько значительно влиять, что уменьшение глубины в области вальца вызывает растекание бурного потока и возникновение прыжка, который впоследствии вновь затопливается вследствие того, что глубина за участком сопряжения остается больше, чем вторая сопряженная глубина последнего. Такое явление, называется неустойчивым сбойным течением или «раскачкой бьефа».

Таким образом, массообмен между потоком и вальцовыми данными, значительные возмущения на свободной поверхности, пульсация скорости и давления, а также недостаточная изученность особенностей взаимодействия потока с поверхностью русла необходимо учитывать для теоретического определения длины участка сопряжения крайне затруднительным, даже для относительно простого симметричного сжатия потока сооружением в плане.

По сравнению с растеканием бурного потока в плане и пространственным прыжком с криволинейном вальцом явление сбойного течения можно описать как форму сопряжения бьефов, который соответствует наиболее широкий диапазон изменения глубины в нижнем бьефе. С уменьшением глубины в канале за сооружением участок сопряжения затопливается и скорость в выходном сечении сооружения уменьшается. Если величина  $Fr_0 < 1$ , то имеет место сбойное течение спокойного потока. С дальнейшим увеличением глубины в нижнем бьефе, внешне движение на участке сопряжения мало отличается от равномерного движения в отводящем канале на большом удалении от сооружения. При этом значительно уменьшается длина участка сопряжения, границы между транзитным потоком и вальцами становятся нечетными, хотя распределение скоростей по ширине русла остается неравномерным. Изменение такого явления, как движение от обычного сбойного течения с резко выделяющимися боковыми водоворотными вальцами происходит плавно по мере затопления участка сопряжения.

М.М. Селеметова в своей работе [45,с.85-89] между сбойным течением и равномерным течением в зависимости от формы сопряжения вводит условную границу, которую называют «равномерным движением» (рис. 2.14).

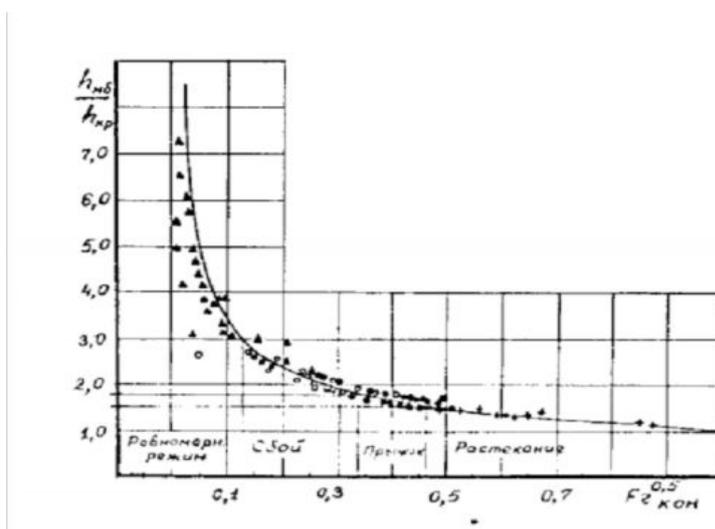


Рис. 2.14. График зависимости  $h_{нб} / h_{кр} = f(\sqrt{Fr_{кон}})$

Как правило, такая граница расплывчата и отличается от случаев возникновения прямого прыжка за участком растекания бурного потока и последующего затопления пространственного прыжка с образованием сбойного течения, когда происходит резкое скачкообразное изменение параметров потока. Опираясь на такие исследования, автор приходит к выводу, что с увеличением заложения откосов «m», предельная глубина, при которой наблюдается переход от сбойного течения к равномерному режиму, уменьшается.

Вместе с указанным выше выводом, нам в этой работе представляется важным то, что по результатам опытов можно сопоставлять пределы изменения глубины за участком сопряжения, соответствующие растеканию бурного потока, пространственному прыжку и сбойному течению. Растекание бурного потока за трубчатыми регулятором происходит если глубина  $h_{нб} < 1,5 * h_{кр}$ , гидравлический прыжок имеет место если  $h_{нб} = 1,5 \div 1,75 * h_{кр}$ , сбойное течение - при  $h_{нб} = 1,75 \div 3,0 * h_{кр}$  и равномерный режим наблюдается при  $h_{нб} > 3,0 * h_{кр}$ . При уменьшении заложения откосов русла переход от сбойного течения к



равномерному происходит при большой глубине приблизительно рав  
 $h_{нб}=4,0 \cdot h_{кр}$  [83].

При введении условной предельной глубины, ограничивающей область существования сбойного течения, этой форме сопряжения соответствует более широкий диапазон измерения глубины в отводящем канале, чем другим. Также, необходимо отметить, что в большинстве случаев условия эксплуатации оросительных систем исключает возможность работы необлицованных каналов при глубине наполнения меньшей  $1,5h_{кр}$ , во избежание недопустимых деформаций русла. В итоге сбойное течение за большинством сооружений на каналах является наиболее часто встречающейся формой сопряжения бьефов.

### **Заключения по второй главе**

1) В условиях плоской задачи могут иметь место следующие формы сопряжения потоков прыжком в зависимости от соотношения между второй сопряженной глубиной прыжка и глубиной воды в отводящем русле:

- а) при  $h_2 > h_{нб}$  – сопряжение отогнанным прыжком;
- б)  $h_2 = h_{нб}$  – сопряжение прыжком надвинутым на сжатое сечение за щитом;
- в)  $h_2 < h_{нб}$  – сопряжение затопленным прыжком.

2) Энергия потока рассеивается из-за интенсивного турбулентного перемешивания жидкости, так как прыжок и после прыжковой участок представляют собой область, в которой происходит данный процесс. Поэтому, потери энергии можно представить как разность энергии в сечениях перед прыжком при глубине  $h_1$  и конце после прыжкового участка при глубине потока  $h_2$ .

3) Угол растекания  $\alpha$  является одним из характерных параметров участка растекания бурного потока в плане. Значение угла  $\alpha$  соответствует состоянию сечения потока непосредственно на выходе из сооружения. С возрастанием расстояния от выходного сечения, как продольная, так и поперечная



составляющие скорости изменяются, а в соответствии с этим меняется и растекания потока.

4) С уменьшением степени сжатия потока сооружением в плане, угол расширения бурного потока перед прыжком уменьшается, криволинейные расчетные сечения перед прыжком и за ним приближаются по своей форме к плоскому состоянию потока.

5) Учет массообмена между потоком и вальцовыми данными, возмущения на свободной поверхности потока, пульсация скорости и давления, и недостаточная изученность особенностей взаимодействия потока с поверхностью русла делает теоретическое определение длины участка сопряжения крайне затруднительным.

### ГЛАВА 3

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

## 3.1 Описание моделей лабораторных установок

В лабораторных условиях Казахского национального технического университета имени К.И.Сатпаева и Казахского НИИ Водного хозяйства для проведения исследований было собрано два гидравлических лотка – большой (железный) с постоянным нулевым уклоном и малый (стеклянный) с переменным уклоном.

Модель с размываемым отводящим руслом была построена в большом лотке (рис. 3.1) прямоугольного поперечного сечения шириной  $b_l=1\text{м}$ , глубиной  $h_l=0,6\text{м}$  и длиной  $l_l=9\text{м}$ . Данная модель в начале была собрана трехпролетным, а затем четырехпролетным водорегулирующим сооружением (рис. 3.2 и 3.3).

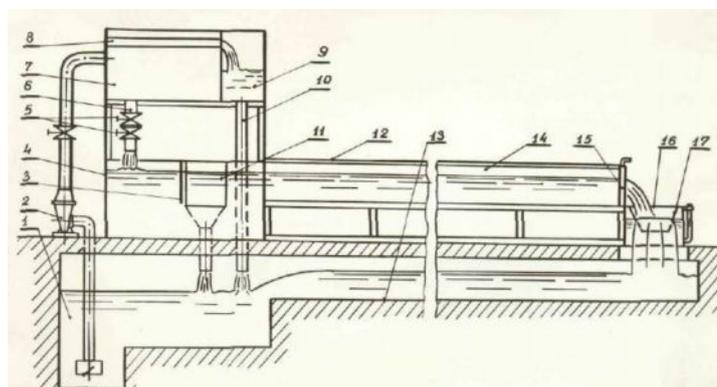


Рис. 3.1. Схема установки с большим лотком:

1-приемный резервуар, 2-центробежный насос, 3-экрaн, 4-успокоитель, 5-зaдвигки, 6-сливная труба, 7-сборный отсек, 8-сливной желоб, 9- рабочий отсек, 10-соединительный трубопровод с бассейном, 11-воронка для перелива, 12-направляющий уголок, 13-обратный сливной лоток, 14-верхний уровень воды в лотке, 15-щелевой затвор, 16-концевой успокоитель, 17-мерный

ВОДОСЛИВ



Рис. 3.2. Модель трехпролетного сооружения



Рис. 3.3. Модель четырехпролетного сооружения

Принцип работы установки заключается в следующем. Из бассейна емкостью  $5 \text{ м}^3$ , расположенного под полом, вода подавалась с помощью центробежного насоса 2 в напорный бак, который установлен на опорах над успокоителем 4, устроенным в начале лотка.

Напорный бак в виде призматического сосуда емкостью  $2 \text{ м}^3$ , был разделен перегородкой на два отсека сбросный 7 и рабочий 9. Сбросной отсек для водослива емкостью  $0,5 \text{ м}^3$ , соединен с бассейном через трубу 10.

Сливные желобы 8 прямоугольного поперечного сечения расположены в верхней части рабочего отсека напорного бака. Сливные желобы предназначены для поддержания постоянного напора и отвода лишнего расхода в сбросной отсек.

По сливной трубе 6 вода подается из рабочего отсека в успокоитель лотка 4. Сливная труба состоит из двух задвижек 5. Одна из них измеряет расход, а другая после каждого опыта полностью перекрывает сливную трубу.

Конструкция успокоителя представляет собой емкость шириной  $b_y = 1,5 \text{ м}$ , глубиной  $h_y = 1,2 \text{ м}$  и длиной  $l_y = 2 \text{ м}$ . Успокоитель внутри имеет (на расстоянии  $1 \text{ м}$  от начала лотка) экран 3, который опущен до уровня дна лотка 14, расположенного на  $0,5 \text{ м}$  выше дна успокоителя. В боковой стенке успокоитель имеет прорезь шириной  $0,5 \text{ м}$ , который перекрывается специальным щитом,



позволяющим регулировать уровень воды в успокоителе изменен положения верхней сливной кромки щита.

На борту лотка обозначены деления через каждые 5см, к верхней кромке которого прикреплены направляющие 12 из уголка, для тележки с измерительными приборами и координатника со штангами для микровертушек.

Лоток на конце имеет щелевой затвор 15 для недопущения появления кривого спада и влияния слива на работу лотка. Конструкция щелевого затвора состоит из десяти поворотных пластин с ручками, позволяющих регулировать уровень воды в лотке (см. рис. 3.3).

В концевой успокоитель 16 из лотка сливается вода. Концевой успокоитель представляет собой емкость шириной и глубиной 0,5м, длиной 3 м, которая установлена продольной осью перпендикулярно к оси лотка. На выходном сечении концевого успокоителя имеется трапецеидальный мерный водослив 17 из органического стекла (см. рис. 3.3). Успокоитель внутри себя имеет три решетки для предотвращения колебания свободной поверхности потока на подходе к мерному водосливу, а в стенке успокоителя имеется патрубок, к которому присоединен пьезометр для измерения напора на водосливе.

В процессе проведения опытов, на съемной опоре над успокоителем был установлен шпигельмасштаб с мерной иглой для удобства измерения напора на водосливе. По дну ширина водослива составляло  $B = 35$  см, угол наклона боковых ребер был равен  $\alpha = 14^\circ$ .

Вода вновь поступает по сбросному лотку 13 в бассейн с водослива.

Отличие второй экспериментальной установки с малым стеклянным лотком заключается в том, что лоток шириной  $b_n = 42$  см, глубиной  $h_n = 46$  см и длиной  $l_n = 7$  м, жестко соединенный с успокоителем, вместе с каркасом в виде формы из уголков в двутавровых балок установлен на шарнирной опоре, расположенной на расстоянии 1,5м от начала лотка.

На конце лоток через винт подъемник соединен с перекладиной «П» образной опоры. Такого типа конструкция дает возможность изменять уклон



лотка. Стенки лотка выполнены из органического стекла толщиной 2 см. выходе из лотка устроен щелевой затвор, который обеспечивает равномерное распределение удельных расходов по сечению и недопущение появления кривого спада в конце лотка.

При помощи мерного бака расход, пропускаемый лотком, измеряется объемным способом. Лоток на конце имеет прикрепленный перекидной желоб, при помощи которого поток сливающейся в бассейн можно направить в мерный бак.

Для исследования влияния степени сжатия потока сооружением в плане на длину участка сопряжения со сбойным течением, а также на работу гасителей в виде водобойной стенки выполнено симметричное сужение в стеклянном лотке. Суженный участок образован двумя деревянными пластинами длиной 0,5 м и шириной 0,4 м, устанавливаемыми вдоль лотка.

Деревянные пластины на концевых частях имеют прикрепленные железные поперечные пластины, перекрывающие щели между стенками лотка и продольными пластинами. В результате полученные «П» образные элементы закреплялись в лотке специальными деревянными распорками. Выбирая поперечные пластины различной ширины, можно было получать разную степень сжатия потока в плане.

Большой лоток был использован для исследования в нем работы двух моделей водорегулирующих сооружений с размываемым отводящим руслом трапецеидального поперечного сечения.

Конструкция проезжей части сооружения выполнена в виде труб прямоугольного поперечного сечения, обеспечивающих безнапорный режим движения.

Первая модель (см.рис.3.3) собрана по натурному трехпролетному сооружению с переездом горизонтальным креплением.

Модель была выполнена в геометрическом масштабе, равным  $\alpha_l=25$ . В табл.3.1 сведены параметры, которые характеризуют натурное сооружение и модель (при моделировании по критерию Фруда).



Таблица 3.1 – Параметры характеризующие натурное сооружение и модель

Параметры	Натурного сооружения	Модели при $\alpha_l=25$
Расход	30 м <sup>3</sup> /сек	9,6 л/сек
Глубина в нижнем бьефе при пропуске максимального расхода	2,60 м	10,4 см
Ширина русла по дну	10,50 м	42 см
Ширина и высота труб	3,00 м	12 см
Длина труб (проезжей части)	12,90 м	51,8 см
Длина крепления нижнего бьефа	15,00 м	60 см
Коэффициент заложения откосов	1,75	1,75
Гидравлический радиус	1,87 м	7,48 см
Площадь живого сечения потока в нижнем бьефе	39,13 м <sup>2</sup>	626 см <sup>2</sup>

Как в натурном сооружении, так и на модели обеспечивается турбулентный режим движения, т.е.

$$Re_{кр} = 580 < \frac{Q_H R_H}{V_{W_H} d_l^{3/2}} = \frac{30 \cdot 1,87}{1,01 \cdot 10^{-6} 25^{3/2} 39,13} = 1200, \quad (3.1)$$

где  $Q_H, R_H, W_H$  - расход, гидравлический радиус и площадь живого сечения для натуральных условий;

$V$  - коэффициент кинематической вязкости воды при температуре  $t=20^{\circ}0$ .

Геометрический масштаб модели значительно превышает минимальный допустимый его масштаб, который определяется по зависимости [20]:



$$\alpha_l \min = (30 \div 50) \sqrt{\left(\frac{Q_H}{W_H}\right)^2} R_H^2 = (30 \div 50) \sqrt{\left(\frac{30}{39,13}\right)^2} 1,87^2 = 68 \div 113. \quad (3.2)$$

На основе сведений гидрогеологических изысканий института «Союзгипрорис» русло натурального канала местами сложено из супесчаных и суглинистых грунтов. Отдельные места имеют мелкозернистые глинизированные пески следующего состава: фракций с диаметром частиц  $\alpha = 0,5 \dots 0,25$  мм – 10%, с  $\alpha = 0,25 \dots 0,1$  мм – 71,4%, с  $\alpha = 0,1 \dots 0,005$  мм – 15% и глинистых частиц с  $\alpha = 0,005 \dots 0,001$  мм – 3,5%. Удельный вес такого грунта составляет  $\gamma_4 = 2,69 \dots 2,73$  т/м<sup>3</sup>.

На моделях был использован натуральный песок, выше указанного состава, который был взят в качестве размываемого материала.

Н.Н.Сурова в своей разработанной методике использует на моделях натурные пески. При этом глубина размыва пересчитывалась не линейно, а с учетом специальной поправки по формуле:

$$t_{\text{нат}} = \alpha_l^\varphi t_{\text{мод}}, \quad (3.3)$$

где  $t_{\text{нат}}$  - глубина размыва в натуре;

$t_{\text{мод}}$  - глубина размыва на модели;

$\alpha_l$  - геометрический масштаб модели;

$\varphi$  - величина зависящая от диаметра частиц размываемого грунта.

Данную величину поправки  $\varphi$  можно определить по графику  $\varphi = f(\alpha_{cp})$ , построенному Н.Н.Суровой [44, с.201-204], который показан на рис. 3.5.

Натурный песок по фракциям имеет следующие среднеарифметические значения диаметра:  $d_1 = 0,375$  мм,  $d_2 = 0,175$  мм,  $d_3 = 0,53$  мм и  $d_4 = 0,003$  мм, из которых средневзвешенное значение диаметра определим по формуле:



$$d_{cp} = \frac{\sum d_i P_i}{\sum P_i}, \quad (3.4)$$

где  $d_i$  - среднеарифметический диаметр частиц по фракциям;

$P_i$  - процентное содержание фракции.

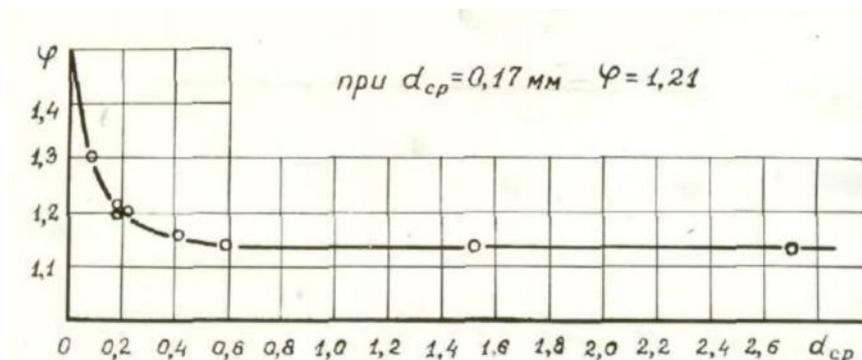


Рис. 3.4. График зависимости  $\varphi = f(d_{cp})$  по методике Н.Н.Суровой

$$d_{cp} = \frac{0,375 \cdot 10,1 + 0,175 \cdot 71,4 + 0,053 \cdot 15,0 + 0,003 \cdot 3,5}{100} = 0,171 \text{ мм}$$

Величина, зависящая от диаметра частиц размываемого грунта составляет по графику на рис. 3.4  $\varphi = 1,21$  для значения диаметра частиц натурального песка  $d_{cp} = 0,171$  мм. В этом случае масштабный множитель для пересчета глубины воронки размыва в натуру, где русло сложено из песков, равен:

$$d_h = d_l^\varphi = 25^{1,21} = 49$$

По составу песка, примененного на модели, видно, что он не является однородным, так как не удовлетворяет условию, предложенному Ц.Е.Мирцхулава [28,с.150].

$$\varepsilon = \frac{d_{95}}{d_5} \leq 5, \quad (3.5)$$



где  $d_{95}$  и  $d_5$  – диаметра частиц, мельче которых содержится соответственно 95 % и 5 %.

Следовательно, величину средней допускаемой (неразмывающей) скорости необходимо принимать равной 75 % от величины допускаемой скорости для крупных частиц, которых в грунте содержится более 10 %. Песок, использованный на модели, имеет расчетный диаметр частиц, равный  $d_p=0,5...0,25$ мм или  $d_{ср.р.} = 0,375$  мм, поскольку таких частиц содержится 10,1%.

По формуле (1.1) определим среднюю допустимую (неразмывающую) величину скорости для грунта модели:

$$\begin{aligned} g_{н.доп.} &= 0,75 \left( \lg \frac{8,8 \cdot 0,104}{0,375 \cdot 10^{-3}} \right) \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 1,4}{0,44 \cdot 1 \cdot 2,31}} = [(2,7 - 1) \cdot 0,375 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,47 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5] \\ &= 0,28 \text{ м/с.} \end{aligned}$$

На основе гравитационного подобия, с учетом того, что  $\alpha_V = \sqrt{\alpha_l}$ , при линейном пересчете в натуру, получим  $g_{н.доп.} = 1,4$  м/с, который показывает, что глубину размыва на модели можно ориентировочно линейно пересчитывать в натуру для уплотненных тощих суглинков. Допускаемая (неразмывающая) скорость для такого грунта, при глубине  $h_{н.б.} = 2$ м, составляет  $g_{н.доп.} \approx 1,4$  м/с.

Ширина сооружения равняется ширине канала по дну. Вход и выход из шлюза-регулятора выполнен в виде ныряющих стенок с заложением  $m=1,5$ . Трубы и крепление верхнего и нижнего бьефов модели сооружения выполнены из бетона, а затворы из листовой стали.

Для исследования режимов работы и изыскания рациональных конструкций крепления четырехпролетных шлюзов - регуляторов указанного выше типа, впоследствии была построена модель четырехпролетного сооружения. В конструктивном исполнении (за исключением количества пролетов) данное сооружение не отличается от предыдущего трехпролетного.



Таблица 3.2 – Параметры, характеризующие натурное сооружение и модель

Параметры	Натурного сооружения	Модели при $\alpha_l=35$
Максимальный расход пропускаемый сооружением	40м <sup>3</sup> /с	5,52л/с
Глубина в нижнем бьефе при максимальном расходе	2,6м	7,41см
Ширин русла по дну	14,7м	42см
Длина труб	12,25м	35см
Длина крепления нижнего бьефа	20м	54,14см
Ширина и высота труб	3,00м	8,57см
Коэффициент заложения откосов	1,75	1,75

Модель выполнена в линейном масштабе, равным  $\alpha_l=35$ . Табл. 3.2 показывает параметры, характеризующие натурное сооружение и модель.

Размываемый материал русла для данной модели тот же, что и для первой. Для пересчета глубины воронки размыва в натуру линейный масштаб равен  $\alpha_h = \alpha_l^\varphi = 35^{1,21} = 73,8$ .

### 3.2 Методика проведения экспериментальных исследований

Оценка состояния потока в нижнем бьефе предварительно производилась визуально по картине движения опилок и крошек белого пенопласта (диаметр зерен  $\alpha=2-3$  мм) на свободной поверхности потока, а также по подвижке частиц песка на поверхности размываемого русла. В исследуемой точке потока



направление движения и длина водоворотных валцов при сбойном тече предварительно определялись специальными вспомогательными устройствами типа флюгеров (см. рис. 3.3).

Впоследствии сведения, полученные при помощи таких простейших приспособлений, уточнялись по эпюрам (средних по глубине) скоростей в плане. На модели трехпролетного сооружения скорость потока измеряли трубками Реббока с диаметром наконечника (приемной части),  $\alpha=4$  мм, а также микровертушками типа X-6, установленными на тележках (см. рис. 3.3). На модели с размываемым руслом тележка была изготовлена из оргстекла толщиной 2 см. В раму тележки была встроена перекладина, на которой прикреплен шпиценмасштаб (подъемник) с пятью штангами для микровертушек диаметром 0,5 см. В поперечном направлении можно перемещать перекладину со штангами. При помощи шлейфового осциллографа Н-700 производили измерения скоростей микровертушками с записью осциллограмм. Измеренную скорость протяжки ленты (осциллографной бумаги) принимали равной 4,0 см/с, длительность записи скоростей в одной точке в среднем принята равной 1,0–1,5 мин. Картину измерения скорости за время измерения устанавливали по числу контактов микровертушки (пиков на осциллограмме) в секунду при обработке осциллограмм. На модели четырехпролетного сооружения скорость потока измеряли трубками Пито с диаметром приемной части  $\alpha=3,5$  мм и микровертушками X-6.

Предварительно проводились поисковые опыты перед каждой серией опытов, с целью приближенной оценки форм сопряжения бьефов и распределения удельных расходов по ширине русла за гасителями энергии потока и растекателями.

Множество вариантов конструкций устройств для гашения энергии потока и расширения его в плане проходили предварительную проверку. По таким вариантам выбирались наиболее приемлемые, отличающиеся удовлетворительной работой и простотой исполнения, с которыми впоследствии проводились длительные опыты при различных расходах,

напорах на сооружении и глубине в нижнем бьефе. На моделях с размыва руслом эти опытные работы проводились до полного прекращения размыва за креплением нижнего бьефа (6–7 часов).

По подвижке частиц на поверхности русла время прекращения размыва устанавливалось визуально.

С помощью шпигенмасштаба с мерной иглой (с точностью до десятых долей мм), установленного на перекладине из уголков, определяли глубину потока и воронки размыва. Перекладина была изготовлена из равнобокого уголка 75x76 для избежания прогиба перекладины на большом лотке. По перекладине шпигенмасштаб можно было свободно перемещать (см. рис. 3.2).

Во время опытов, в лаборатории были изготовлены железные и свинцовые призмы, пирамиды и пластины различных размеров, показанные на рис. 3.5, предназначенные для облегчения изменения конструкции исследуемого гасителя. Гасители и растекатели разных размеров и конструкций (с отверстиями, прорезями, прямолинейные и ломаные в плане и т.д.) можно было собирать из таких элементов. Их месторасположение нетрудно изменять, поскольку они не требуют прикрепления их к поверхности бетона.



Рис. 3.5. Основные элементы использованных гасителей и растекателей



Оценка эффективности применения энергогасящих устройств в нижнем бьефе сооружения производилась по глубине и размерам в плане воронок, размыва, а также по кинематической структуре потока за ними.

За трубчатыми сооружениями на открытых водорегулирующих сооружениях систем сельхозводоснабжения для изучения явления размыва русла и форм сопряжения бьефов был произведен осмотр сооружений в натуральных условиях, измерение напоров (перепадов), глубины воронок размыва и скорости на участках крепления нижнего бьефа и за ними.

В различных створах измерение глубины воронки размыва производили с помощью нивелировки и гидрометрического лета.

Измерение скоростей производились гидрометрической вертушкой Ж-3 на расстоянии от дна, равном  $0,4h$ ,  $0,6h$  и  $0,8h$ . В результате таких измерений полученные данные можно приближенно определить скорости с помощью известных экстраполяционных методов [60,с.32]. Изменения показателей скоростей происходили из-за наличия в отдельных местах водорослей, а также возможности местных размывов из-за влияния вертушки на структуру потока. В каждой точке время измерения скорости принимали более 2 мин., т.е. больше общепринятого времени осреднения скорости равного  $t_o = 100с$  [60,с.32].

Измерения производились с помощью специально изготовленного переносного моста, представляющего собой два стальных троса диаметром  $\alpha = 1$  см, соединенных между собой деревянными планками шириной  $\epsilon = 10$  см и длиной  $l=1$ м, расстояние между которыми равно  $S = 15-20$ см. Тросы на концах были прикреплены на берегу к железным колам. Тросы с одного из берегов натягивали с помощью ручной тали грузоподъемностью в 500 кг. Измерения скоростей и глубин на каналах шириной до десяти метров производились с такого моста. Из-за значительного провисания тросов при большей ширине канала, подобные измерения были проведены с резиновой надувной лодки, положение которой фиксировалось при помощи четырех растяжек из веревки, так же прикрепляемых к берегам.



Во время измерений скорости, длины участка с неравномерным распределением удельных расходов по живому сечению угла сбоя потока и глубины размыва, каждый отсчет производили 7–10 раз и вычисляли среднее значение. Опыты показывали погрешность около 5–7 %.

По показателю оценки погрешности задавались надежностью  $\alpha = 0,95$ , для которой определяли коэффициент Стьюдента  $t_{\alpha}(n)$ .

### **Заключения по третьей главе**

- 1) Разработаны и смонтированы модели лабораторных установок.
- 2) Разработана методика проведения экспериментальных исследований.



## ГЛАВА 4

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ

#### 4.1 Исследование условий эксплуатации многопролетных шлюзов-регуляторов и их влияния на размеры воронки размыва

На распределение скоростей по ширине отводящего русла, а также на глубину и размеры в плане воронки местного размыва значительное влияние оказывают режимы работы сооружения, которые встречаются в практике их эксплуатации.

Симметричная работа сооружения будет наиболее благоприятной, при всех одинаково открытых пролетах и наибольшем наполнении отводящего канала. Но, при этом по некоторым причинам, таких как неисправность или ремонт отдельных затворов, пропуск мусора и плавника через отдельные пролеты, падение уровня воды в отводящем канале и т.д., может вызвать размыв русла за сооружением.

Проводились исследования на различные варианты симметричной и несимметричной работы трехпролетного сооружения [106,с.56-59] чтобы определить влияния режимов работы сооружений на размеры воронки размыва, на модели с размываемым отводящим руслом.

Опытные работы проводились при всех полностью открытых щитах, при работе одним из крайних пролетов, работе центральным пролетом, работе двумя пролетами с закрытым крайним пролетом и работе двумя крайними пролетами при закрытом центральном. При пропуске максимального расхода сооружением и его работе всеми пролетами, расход на единицу ширины открытого пролета был принят равным удельному расходу в сооружении, т.е.  $q=0,27$  л/сек. Во всех проводимых опытных работах глубина потока в нижнем бьефе была принята равной  $h_{нб} = 9,5$  см, а глубина в верхнем бьефе  $h_{вб} = 11$  см,



что соответствует напору на сооружении в натуре  $Z=37,5$  см. Длина крепления модели  $l_{кр}=60$  см. Каждый опыт длился 6–7 часов.

На основе полученных результатов опытных работ построены эпюры распределения скоростей в плане на глубине  $0,4 h_{нб}$  и поперечные профили русла за креплением в створах с наибольшим размывом дна (круглые точки) и боковых откосов (треугольные точки), показанные на рис. 4.1–4.3.

Проведенные опыты показывают, что при работе сооружения всеми пролетами в указанных выше условиях удельные расходы в конце крепления нижнего бьефа распределены равномерно и глубина размыва, как по дну, так и на откосах не больше 2 см, что в пересчете в натуру составляет около 98 см. (см. рис. 4.1,а).

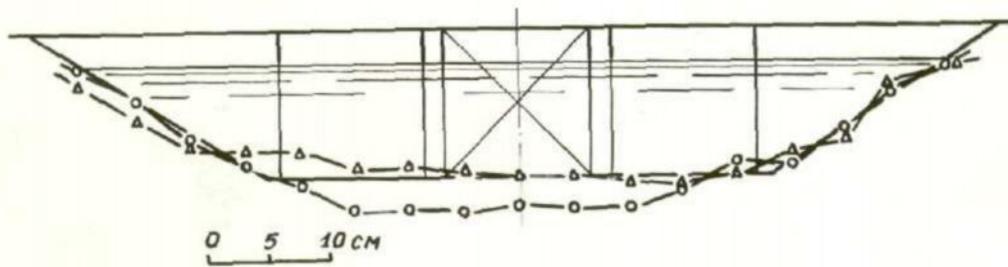
Симметричное сжатие потока сооружением в плане (при перекрытии центрального пролета и работе крайними) увеличивает глубину размыва по дну, а на боковых откосах уменьшает (см. рис. 4.1,б). В створе с наибольшим размывом по дну глубина воронки составляет около 3 см, а ширина воронки в створе с наибольшим размывом боковых откосов равна 2,5 см.

Расширение потока за креплением нижнего бьефа, так же как и до указанного выше сечения происходит медленно. Расширение потока на всю ширину русла, что характеризует распределение удельных расходов близкое к равномерному, наблюдается на расстоянии 180-185 см от конца крепления.

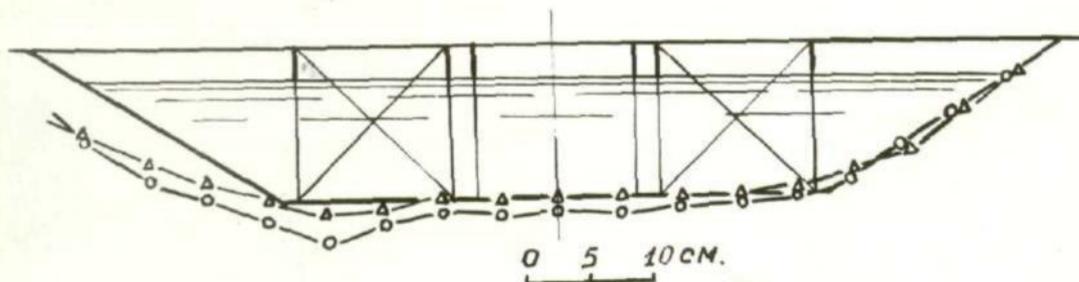
В конце крепления у левого берега при сосредоточении удельных расходов происходит увеличение воронки размыва до 3,2 см на дне и до 4,5 см (по вертикали) на откосе отводящего русла, а ширина планового размыва доходит до 8 см. На рис. 4.1,в показаны поперечные профили русла на расстоянии 10 см (круглые точки) и 46 см (треугольные точки) от конца крепления нижнего бьефа.

Таким образом, при симметричном сжатии потока сооружением с боков наряду с сопряжением бьефов участком сбойного течения происходит размыв преимущественно берегов отводящего русла [108,109].

а)



б)



в)

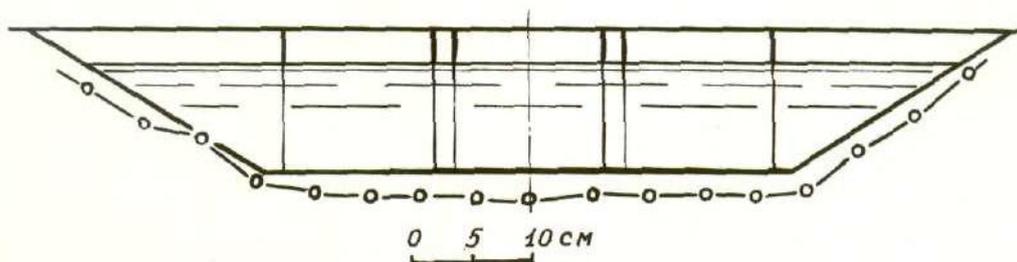


Рис. 4.1. Поперечные профили русла в сечении потока с наибольшим размывом дна (круглые точки) и откосов (треугольные точки):

а – при работе двумя крайними пролетами; б – центральным пролетом; в – при работе сооружения всеми пролетами;

Распределение удельных расходов по ширине русла близкое к равномерному и полное расширение потока в плане наблюдается в створе расположенном на расстоянии 200-205 см от конца крепления нижнего бьефа.

На дне русла наибольшая глубина размыва равна 3,5 см и на откосе (по вертикали) 4,5см. С наибольшим размывом в плане ширина воронки размыва по зеркалу в створе равна 7,9 см. На рис. 4.2,а показаны поперечные профили русла на расстоянии 5см (круглые точки) и 31 см (треугольные точки) от конца крепления.

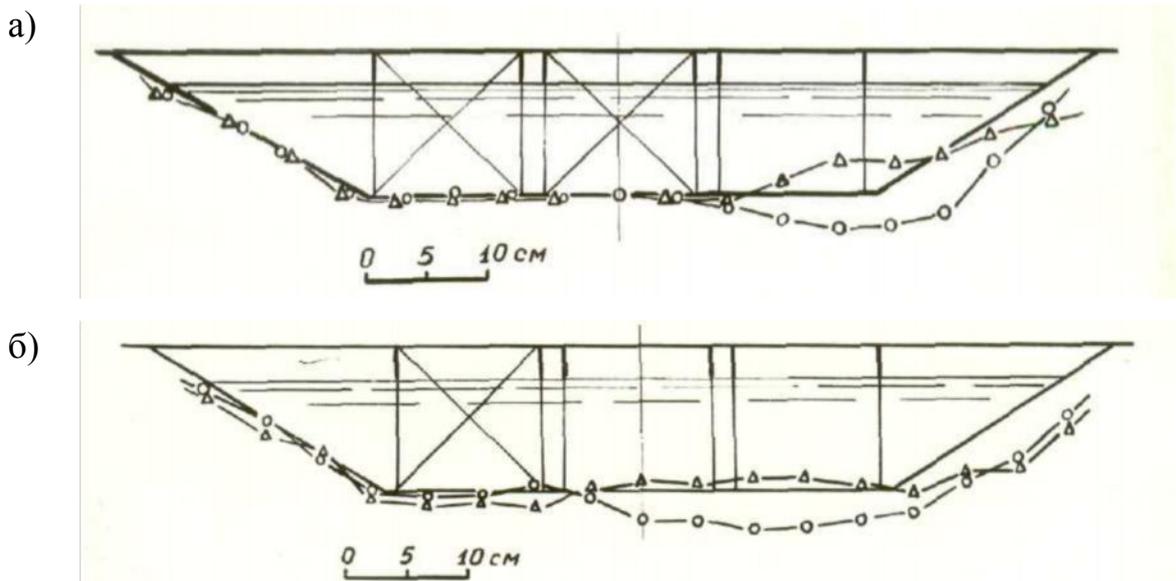


Рис. 4.2. Поперечные профили русла за креплением сооружения:

- а) при работе сооружения одним крайним пролетом;
- б) при работе двумя крайними пролетами.

Как видно из рис.4.2, работа сооружения крайним пролетом, при равной глубине в отводящем канале, расходе в ширине потока на выходе из сооружения, приводит к большему размыву боковых откосов, чем при работе сооружения центральным пролетом.

Ниже приведен рис. 4.3, на котором показаны графики зависимости  $\vartheta_{\partial} / \vartheta_{cp} = f(l_x / h_{kp})$ , где  $\vartheta_{\partial}$  - данная (на расстоянии 4мм от дна) осредненная скорость на динамической оси потока,  $\vartheta_{cp}$  - средняя по сечению скорость,  $l_x$  - расстояние от выходного сечения до точки,  $h_{kp}$  - критическая глубина в отводящем русле. Опыты проведены в стеклянном лотке при одностороннем и симметричном двухстороннем сжатии потока в плане и пропуске расхода  $Q = 10$  л/сек.

Опыты показывают, что симметричная работа сооружения делает степень расширения струи в конце крепления несколько больше, а длина участка сопряжения и значения донных осредненных скоростей меньше, чем в случае несимметричной работы. Это можно объяснить тем, что поток, выходящий из центрального пролета, до сечения в котором набегают на боковой откос

обменивается массами с окружающей средой по обеим боковым границам, а поток выходящий из крайнего пролета односторонне взаимодействует с окружающей средой по всей длине.

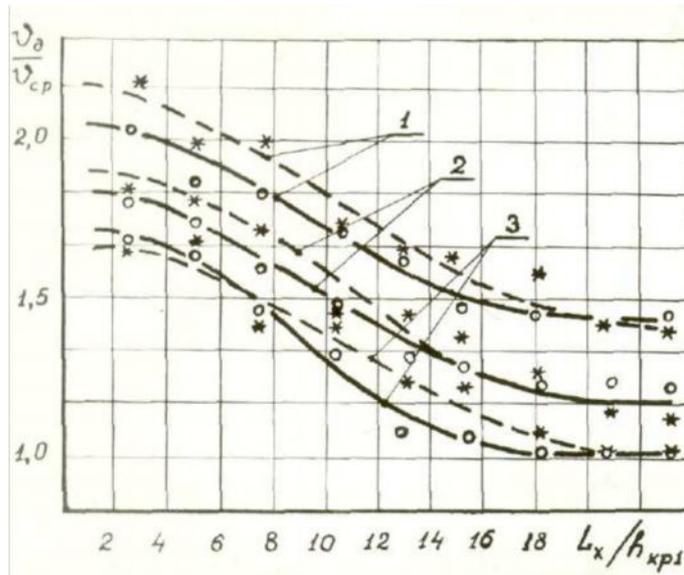


Рис. 4.3. Графики зависимости  $v_d/v_{cp} = f(l_x/h_{kp1})$ :

1 – при  $\eta=1,68$ ; 2 – при  $\eta=2,00$ ; 3–при  $\eta=2,47$

\* - одностороннее сжатие; ° – двустороннее симметричное сжатие

При этом наибольшая глубина воронки размыва по дну равна 3,5 см, а на откосе 4,0 см. По зеркалу ширина воронки доходит до 75 см (см. рис. 4.2, б). По сечению сооружения равномерное распределение удельных расходов наблюдается на расстоянии 185 см от конца крепления.

По дну наибольший размыв имеет место на расстоянии 12 см, наибольший плановый размыв на расстоянии 50см от конца крепления нижнего бьефа.

Выше отмеченные опыты показывают, что симметричная работа сооружений и отсутствие сбойного течения в нижнем бьефе вызывает размыв дна русла. При образовании сбойного течения в нижнем бьефе симметричная работа сооружения и несимметричная работа трехпролетного сооружения (одним или двумя пролетами) сопровождается размывом одного из берегов и дна русла, где глубина размыва боковых откосов больше глубины размыва дна русла.

Эпюры скоростей (рис. 4.4) показывают, что в конце крепления удельные расходы концентрируются в центральной части русла, и распределяются равномерно по сечению на расстоянии 70-80 см от конца крепления. Искривление динамической оси потока, что характеризует сбойное течение, при этом не наблюдается.

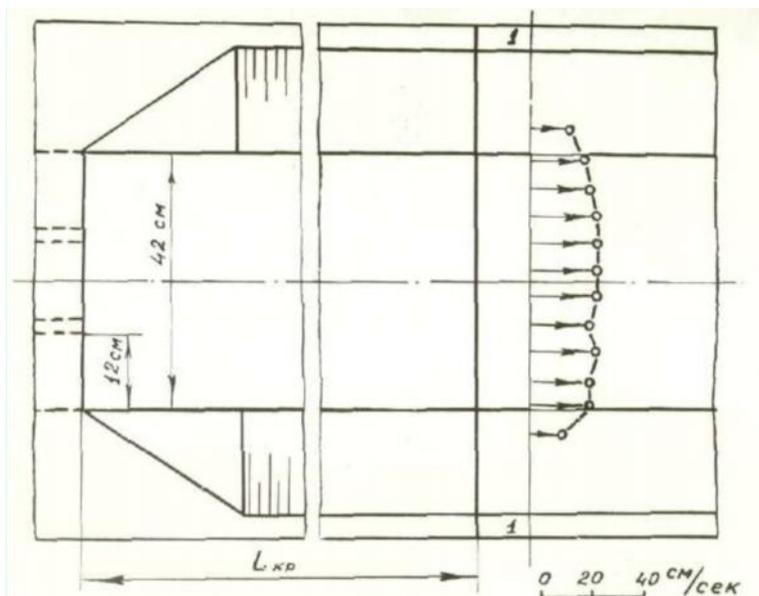


Рис. 4.4. Эпюры средних по глубине скоростей в плане (при всех пролетах)

Одним из наиболее сложных русловых явлений является местный размыв берегов русла. Для установления возможности повреждения и прорыва дамб канала за сооружением прогноз образования ширины воронки размыва имеет большое значение.

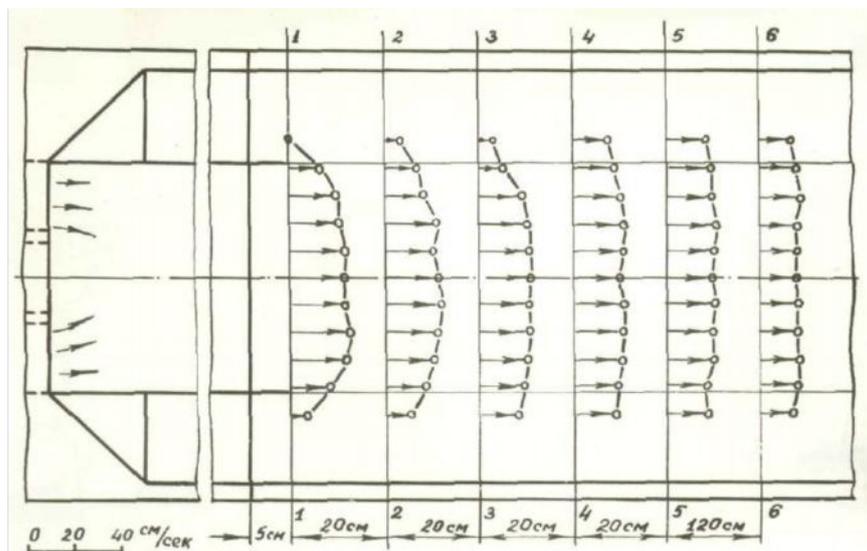


Рис. 4.5. Эпюра скоростей в плане за креплением (при двух крайних пролетах)



Из рис.4.5 на график нанесены так же точки полученные нами в лаборатории (звездочки) и при обследовании сооружений Кзыл-Кумского массива орошения в натуре (четырёхугольные точки).

По опытным работам точки получены нами при пропуске центральным пролетом модели трехочкового сооружения расхода равного 3,6 л/сек, длине крепления нижнего бьефа  $l_{кр} = 60; 70; 75$  см и глубине в отводящем русле  $h_{нб} = 7,5$  см. Полученные результаты данных опытов хорошо сходятся с данными Н.Н.Суровой.

При работе сооружения центральным пролетом появляется сбойное течение, при котором происходит отклонение потока к одному из берегов. На дне русла для створа 1-1 (рис. 4.6) расположенного на расстоянии 5 см от конца крепления степень расширения потока составляет  $\eta = b/b_{mp} = 30/12 = 2,5$ .

Аналогичная картина встречается и при несимметричном сжатии потока в плане, т.е. при работе сооружения одним крайним пролетом (рис. 4.7). В конце крепления (створ I-I, см. рис. 4.7) степень расширения потока равна  $\eta = v/v_{mp} = 2,25$ .

Согласно рис. 4.8 несимметричная работа четырехпролетного сооружения двумя крайними пролетами делает степень расширения потока в конце крепления приблизительно равным степени сжатия потока сооружением по дну  $\eta = v/v_{mp} = 1,7$ .

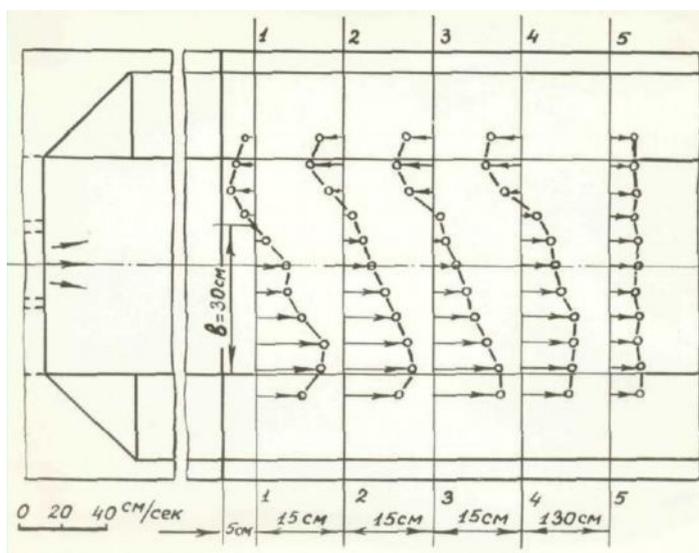


Рис. 4.6. Эпюры распределения скоростей в плане (при центральном пролете)

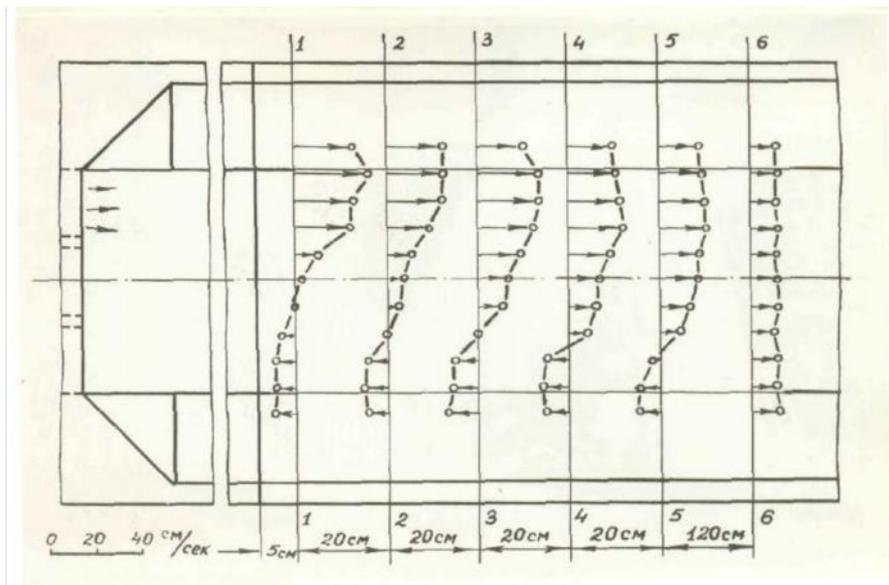


Рис. 4.7. Эпюры распределения скоростей в плане (при одном крайнем пролете)

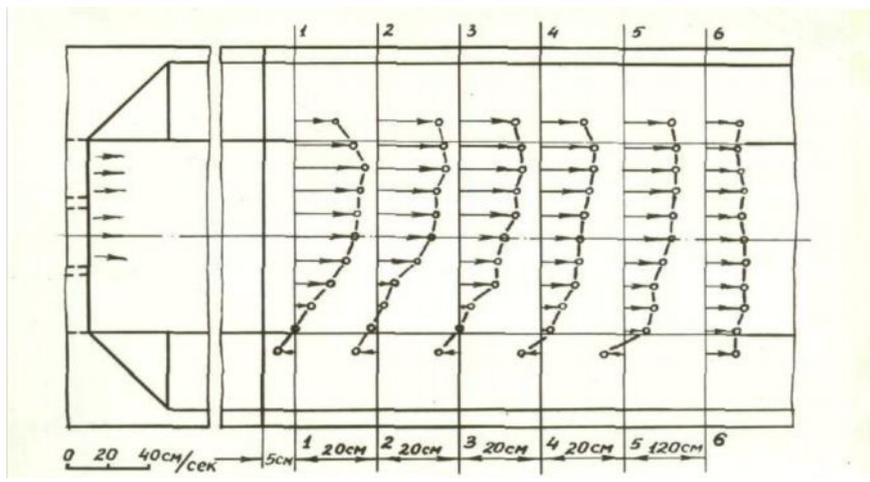


Рис. 4.8. Эпюры распределения скоростей в плане (при двух крайних пролетах)

#### 4.2 Исследование предотвращения сооружений от местных размывов при сопряжении бьефов со сбойным течением

Результаты исследований, описанные выше показывают, что сопряжение потоков участком со сбойным течением является наиболее часто встречающейся формой сопряжения бьефов, поскольку этой форме сопряжения



соответствует наиболее широкий диапазон изменения глубин в нижнем бьефе

$$h_{\text{нб}} = (0,84 \div 2,0) h_{\text{кр}}$$

Отличие потока со сбойным течением заключается в значительной неравномерности распределения удельных расходов по ширине русла и сохраняет из-за медленного расширения в плане высокую кинетичность на большом удалении от сооружения. Следовательно, мероприятия по защите от местных размывов, при сбойном течении имеет свои особенности. Чтобы предупреждать местные размывы за такими сооружениями, первостепенная задача заключается в принудительном расширении потока в плане при помощи специальных конструктивных устройств-растекателей. Второстепенная задачей является гашение избытка кинетической энергии, поскольку за исследуемыми водорегулирующими сооружениями наблюдается преимущественно сбойное течение спокойного потока, при расширении которого в плане достигается рассеивание в основном всего избытка кинетической энергии.

Для расширения потока за сооружениями можно применить различные устройства, рассмотренные в обзоре литературы, а именно универсальные гасители, учитывающие все особенности конструкции. В качестве примера можно применить за однопролетными сооружениями растекатели в виде криволинейных в плане стенок. Если возможно сопряжение бьефов участком бурного сбойного течения за двухпролетными сооружениями, то можно успешно применять комбинированные устройства, состоящие из растекателей и гасителей шашечного типа. Для применения таких устройств за сооружениями с тремя и большим количеством труб, за которыми происходит сопряжение сбойным течением спокойного потока, требуется их видоизменение на основе специальных исследований.

Расширение потока в плане в общем случае можно достичь двумя путями: использованием направляющих стенок-растекателей и сжатием потока по глубине. Но, при этом направляющие стенки-растекатели криволинейные в плане нельзя применить за многопролетными сооружениями, так как работа их может быть несимметричной.



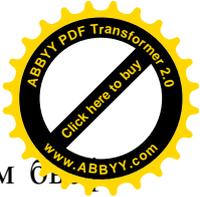
С целью расширения потока в плане сжатие его по глубине можно осуществить по следующим схемам: 1) по схеме истечения через водослив; 2) по схеме истечения из-под щита; 3) деления потока на струи по глубине.

Криволинейный затвор Л.А.Машковича, балочные гасители А.М.Сенкова и «Г» – образные гасители В.А.Храпковского [60,с32;61.с.110-113] могут служить в качестве примеров устройств расширяющих поток по схеме истечения из-под щита и деления его на струи по глубине.

Но, применение криволинейных затворов за многопролетными сооружениями, за которыми необходимо значительное расширение потока при работе отдельными трубами, малоэффективно. К тому же, затворы в таком случае понадобилось бы устраивать в конце труб на выходе в нижний бьеф. Также трудноосуществимо устройство гасителей балочного типа за многопролетными сооружениями из-за значительной ширины нижнего бьефа, где пришлось бы гасители устанавливать на специальных опорах.

Следовательно, наиболее оптимальным вариантом расширения потока в плане для многопролетных сооружений является расширение его по схеме истечения через водослив. Нами была проверена работа различных энергогасящих устройств на моделях с размываемым отводящим руслом трех и четырехпролетных сооружений.

В значительной степени расширить потока в плане с помощью отдельных выступов высотой равной глубине потока в нижнем бьефе не представляется возможным, так как при набегании на такой гаситель поток несколько расширяется, разделяясь на две струи. Однако, непосредственно за гасителем образуется зона с пониженным давлением, которая заставляет струи вновь сомкнуться. Сходящие с боковых кромок гасителя, струи соединяются, изгибаясь в плане по линии подобной кардиоиду, т.е. в центре потока наблюдается обратное движение. При увеличении ширины гасителя происходит большее расширение потока в плане. Но, за такой областью поток сжимается и отклоняется к одному из берегов русла. Проводились опытные работы с такими гасителями при пропуске центральной



трубой трехпролетной модели расхода 3,6 л/сек, при глубине в нижнем бьефе  $h_{нб}=7,5$  см и глубине в верхнем бьефе  $h_{вб}=9,0$  см. Устройства гасителей изготовлены из стального равнобокового уголка 75x75.

Такой характер движения происходит и за гасителями, представляющими собой ряд выступов, расстояние между которыми равно ширине выступа (2,5см). Данные опыты проводились при пропуске двумя центральными трубами модели четырехпролетного сооружения расхода 6 л/сек. В нижнем бьефе глубина составляет  $h_{нб}=7,5$  см, в верхнем бьефе  $h_{вб}=10,0$  см. Величина напора на сооружении принят больше положенного по проекту натурального сооружения для получения больших размывов и облегчения сравнения работы гасителей. Высота конструкций гасителей принята равной  $h_r=0,7h_{кр}$ . От конца труб до гасителя расстояние составляет  $l_r=3h_{кр}$  ( $h_{кр}$  – критическая глубина в трубе сооружения).

Получилось, что за гасителями происходит сбойное течение. В месте наибольшего размыва глубина воронки равняется  $h_p=3,7$  см (табл. 4.1, створы 1 и 2).

Расстановка второго ряда таких гасителей в шахматном порядке (выступы второго ряда установлены против прорезей первого) на расстоянии 3,5 см от первого наглядно уменьшает глубину воронки в месте наибольшего размыва  $h_p=3,3$  см (см.табл. 4.1, створы 3 и 4).

Выполнение гасителя с прорезями глубиной равной половине высоты выступа, т.е. в виде гребенки с шириной прорези равной высоте выступа приводит к подобному уменьшению глубины воронки размыва. За таким гасителем глубина воронки размыва составляет  $h_p=3,1$  см (см.табл. 4.1, створы 5 и 6). В нижеприведенной таблице 4.1 представлены значения разницы поверхности бетонного крепления и участка размыва в створах с наибольшим размывом боковых откосов (№№ створов 2,4 и 6) и с небольшим размывом дна (№№ створов 1,3 и 5)[104,с.125-129;130,131].

Образование заметного местного подпора перед гасителями происходит из-за уменьшения расстояния между выступами. При этом, большая часть



потока, переливается через гаситель, а меньшая проходит прорези.

При этом значительно уменьшается глубина воронки размыва. В табл. 4.2 приведены полученные результаты проведенных опытов при ширине прорезей 0,8 см (поперечные профили русла в створах 1 и 2), при глубине равной высоте выступа, при той же ширине прорезей, но глубиной равной половине высоте выступа (створы 3 и 4) и со сплошным гасителем в виде водобойной стенки (створы 5 и 6).

Таблица 4.1 – Результаты опытов с гасителями в виде прямолинейной стенки

№ створов	№№ точек															Расстояние от конца крепления, (см)
	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Глубина размыва /см/															
1	1,0	0,6	-	-	0,2	0,2	0,7	0,7	1,5	1,9	1,8	1,1	1,7	1,4	1,8	5
2	1,0	0,4	-	0,2	0,4	0,2	0,3	0,7	1,7	2,0	1,8	0,7	1,1	1,1	1,8	7
3	1,0	0,4	0,1	0,0	0,2	0,3	1,5	1,9	0,7	1,3	1,4	1,1	1,9	1,4	1,8	3
4	1,1	0,4	0,1	-	-	-	1,1	0,4	-	0,6	1,0	0,9	1,8	1,9	1,7	6
5	1,0	0,3	-	-	-	0,2	0,6	2,7	2,8	2,5	2,2	2,7	2,9	2,3	2,4	3
6	1,1	0,8	-	-	0,1	0,1	0,8	3,5	3,8	3,4	2,1	1,1	2,4	2,5	2,5	7

Из нижеприведенной таблицы 4.2 видно, что глубина воронки размыва при ширине прорези 0,8 уменьшается до  $h_p=2,6$  см. Уменьшение глубины размыва до  $h_p=2,4$  см обеспечивается при помощи гасителей с глубиной прорези равной половине высоты выступов и сплошной стенки.



Полученные результаты данных опытов показывают, что наибольшей распределительной способностью обладают гасители в виде сплошной водобойной стенки и прорезной стенки при ширине прорези более чем в три раза меньше ширине выступов.

Таблица 4.2 – Результаты опытов с гасителями по вертикали

№ створов	№№ точек															Расстояние от конца крепления, (см)
	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Глубина размыва (см)															
1	1,0	2,2	1,4	0,8	1,8	0,6	1,2	1,2	1,4	0,8	0,7	1,4	3,0	3,1	2,9	2
2	1,2	2,2	2,1	0,5	0,8	-	0,6	1,0	0,8	0,8	1,1	0,1	1,9	3,0	2,5	6
3	2,1	2,2	2,0	0,6	1,3	1,6	1,7	1,9	2,0	1,4	1,3	0,7	0,4	0,1	0,1	2
4	1,8	2,1	1,4	-	1,0	2,7	2,8	2,9	3,0	1,6	0,5	0,7	0,2	-	0,3	5
5	1,0	1,1	0,3	0,7	1,1	0,3	0,7	1,2	1,3	1,1	1,2	0,8	0,4	0,4	0,3	3
6	0,7	-	-	-	0,2	0,1	-	-	1,0	1,3	0,8	-	-	0,2	0,3	5
7	0,6	0,2	-	-	0,2	0,1	-	0,1	-	-	-	-	-	0,7	0,6	7

Расширение потока в плане по схеме истечения через водослив обеспечивают такие гасители.

Проведенные опыты на моделях трех и четырехпролетного сооружения, показывают, что при уменьшении глубины в отводящем русле гаситель в виде водобойной стенки обеспечивает большее расширение потока в плане. Такое можно объяснить тем, что при уменьшении глубины в нижнем бьефе поток больше сжимается, истекая через водослив.



Образование сжатой глубины и прыжка за гасителем может возможность достичь наибольшего расширения потока в плане. В том случае, когда сооружение работает одним пролетом (в наиболее тяжелых условиях работы) поток набегаёт на гаситель не по всему фронту. Следовательно, он заметно расширяется и перед гасителем. К тому же, напор над гасителем не одинаков по ширине русла.

Подпор в центре набегающего потока больше, а на удалении от центра меньше, при котором непосредственно за гасителем происходит явление, напоминающее растекание бурного потока за сооружением. В этой области линии равных глубин представляют собой кривые выпуклые в сторону нижнего бьефа. На линии равных глубин и криволинейно в плане располагается сжатое сечение такого потока. Следовательно, и валец гидравлического прыжка, образованного за таким гасителем, располагается по кривой выпуклой в сторону нижнего бьефа. Расположение за вальцом прыжка нормально к линии вальца в каждой отдельной единице её длины обуславливает ещё большее растекание потока в плане за прыжком (рис. 4.10).

Таким образом, расширение потока, происходящее при образовании прыжка за водобойной стенкой в условиях пространственной задачи сопряжения бьефов, можно разделить на три этапа. Первичное расширение происходит перед гасителем при набегании потока на преграду.

Расширение потока продолжает развиваться на участке слива с гасителя и образования сжатого сечения. Последний этап расширения потока происходит за криволинейным в плане вальцом прыжка.

Гидравлический прыжок в условиях плоской задачи сопряжения бьефов играет роль гасителя энергии потока. В условиях же пространственной задачи сопряжения бьефов гидравлический прыжок с криволинейным в плане вальцов является и гасителем и растекателем.

Образованный за водобойной стенкой в условиях пространственной задачи гидравлический прыжок затопляется наряду с появлением за гасителем донного

сопряжения, при котором все характерные особенности расширения потока в плане, описанные выше, в основном еще сохраняется.

При дальнейшем увеличении глубины потока в нижнем бьефе происходит постепенная смена донного сопряжения поверхностным. Напор над гасителем по ширине русла становится приблизительно одинаковым при поверхностном сопряжении за гасителем. Следовательно, расширение потока за гасителем происходит незначительно и сбойное течение спокойного потока не предотвращается.

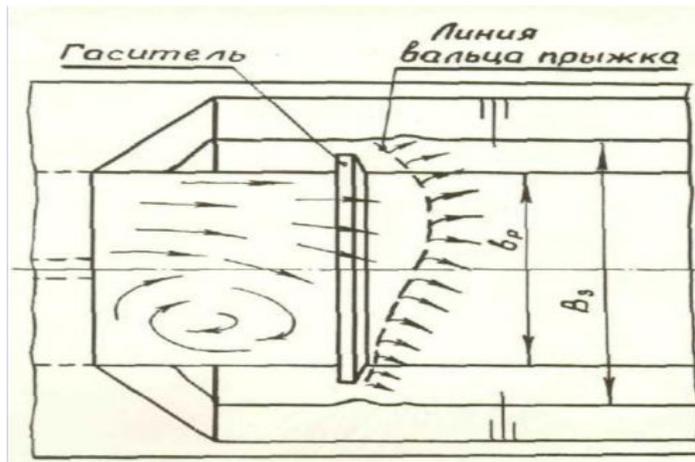


Рис. 4.10. Расширение потока в плане за водобойной стенкой

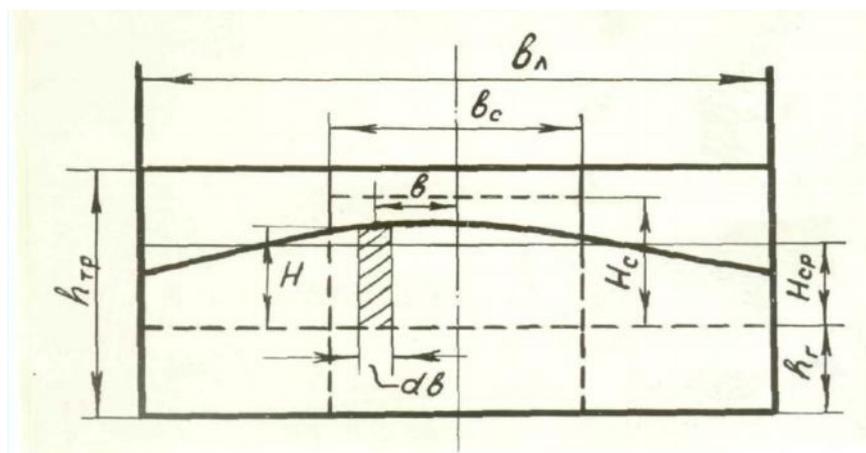


Рис. 4.11. Свободная поверхность потока перед водобойной стенкой при пространственном сопряжении бьефов

При непрерывном изменении глубины в нижнем бьефе, процесс перехода от донного сопряжения за гасителем к поверхностному будет являться



так же непрерывным и плавным процессом подобно тому, как при уменьшении способности потока со сбойным течением к размыву при увеличении глубины в отводящем русле.

Таким образом, с увеличением глубины потока в нижнем бьефе водорегулирующих сооружений происходит два подобных явления: уменьшение способности потока со сбойным течением к размыву без гасителя, и уменьшение способности водобойной стенки к расширению потока в плане. Эти явления можно положить в основу расчета высоты водобойной стенки применяемой в условиях пространственной задачи сопряжения бьефов, когда в процессе эксплуатации глубина потока в нижнем бьефе может быть различной.

#### **4.3 Подбор высоты водобойной стенки в пространственных условиях за сооружениями**

Необходимо правильно выбрать расчетную схему сопряжения бьефов, типы конструктивных устройств, основные размеры их и места расположения на участке крепления нижнего бьефа, чтобы предохранить сооружение от разрушения из-за местных размывов. Из всех возможных в практике эксплуатации данная расчетная схема должна соответствовать наиболее тяжелым условиям работы сооружения, при котором энергогасящее устройство должно удовлетворительно работать и при всех других режимах работы сопряжения.

Относительно регулирующим сооружениям с переездом можно рассмотреть две расчетные схемы сопряжения бьефов, т.е. высоту водобойной стенки можно выбирать исходя из условия предотвращения отгона гидравлического прыжка, образующегося за участком растекания бурного потока, а так же из условия наибольшего расширения потока в плане при сбойном течении. Но, первая расчетная



схема неприменима, так как растекание бурного потока происходит при значениях глубины в нижнем бьефе  $h_{нб} < 0,84h_{кр}$ , а сбойное течение при  $h_{нб} > 0,84h_{кр}$  и высота водобойной стенки, рассчитанная на предотвращение отгона прыжка за участком растекания, не недостаточна для расширения потока в плане при сбойном течении.

Следовательно, в условиях пространственной формы сопряжения потоков за шлюзами-регуляторами с переездом расчетная схема для выбора высоты водобойной стенки должна соответствовать сбойному течению в нижнем бьефе.

Проведенные эксперименты показывают, что при высоте водобойной стенки, за которой в условиях наиболее активного сбойного течения, имеет место донное сопряжение потоков, местные размывы русла предотвращаются при всех режимах работы сооружений. При уменьшении глубины в отводящем русле за таким гасителем происходит образование прыжка в котором гасится энергия потока, а увеличение глубины в нижнем бьефе сопровождается постепенным переходом от донного сопряжения потоков к поверхностному. Поверхностное сопряжение за гасителем может вызвать сбойное течение, но размывающая способность потока, при этом, уменьшается из-за большой глубины в нижнем бьефе.

Учитывая работу водобойной стенки подобной работе водослива, можно считать, что на участок стенки шириной  $db$  приходится расход равный:

$$dQ = m_0 \sqrt{2gH}^{3/2} db, \quad (4.1)$$

где  $m_0$  – коэффициент расхода, учитывающий скорость подхода;

$g$  – ускорение свободного падения;

$H$  – местный напор над гасителем.

Отсюда весь расход пропускаемый водобойной стенкой будет равен:



$$Q = \int_b m_0 \sqrt{2gH}^{3/2} db, \quad (4.2)$$

Данный расход с другой стороны можно выразить через средний над гасителем напор:

$$Q = m_0 b_r \sqrt{2gH_{cp}}^{3/2}, \quad (4.3)$$

где  $b_r$  – ширина гасителя (стенки) равная ширина русла.

Некоторый постоянный по ширине стенки напор над гасителем, характеризуется как средний напор, обеспечивающий пропуск всего действительного расхода.

Поэтому

$$H_{cp} = \left( \frac{\int_b m_0 \sqrt{2gH}^{3/2} db}{m_0 \sqrt{2gb_r}} \right)^{2/3}, \quad (4.4)$$

$$H_{cp} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{(m_0 \sqrt{2gb_r})^2}}, \quad (4.5)$$

Запишем  $H_{cp}$  через критическую глубину в сооружении:

$$H_{cp} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{b_{mp}^2 g}} \cdot \frac{0,5}{\alpha m_0^2 \eta^2} = \sqrt[3]{\frac{0,5}{\alpha m_0^2 \eta^2}} \cdot h_{кр}, \quad (4.6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса равный  $1,05 \div 1,10$ ;

$\eta b_r / b_{mp}$  - степень сжатия потока сооружением в плане;

$b_{mp}$  - общая ширина, работающих труб (пролетов) сооружения.



В соответствии с расчетной схемой, показанной на рис. 4.11, можно написать следующее равенство:

$$Z = h_r + H_{cp} - h_{нб} \quad (4.7)$$

где  $Z$  - разность уровней воды перед гасителем и в отводящем русле;  
 $h_r$  - высота гасителя.

Преобразуем равенство (4.7) в следующем виде

$$\xi h_r = h_r + \sqrt[3]{\frac{0,5}{\alpha m_0^2 \eta^2} \cdot h_{кр}^3} - \xi h_r \quad (4.8)$$

где  $\xi = Z/h_r$  - критерий для оценки формы сопряжения за гасителем (водосливом) [57];

$\zeta = h_{нб}/h_{кр}$  - относительная глубина в нижнем бьефе.

Вычислим высоту гасителя

$$h_r = \frac{\zeta \sqrt[3]{2m_0^2 \eta^2 \alpha - 1}}{(1 - \xi) \sqrt[3]{2m_0^2 \eta^2 \alpha}} \cdot h_{кр} \quad (4.9)$$

Согласно данной работе [70, с.301-304], для того, чтобы за водосливами (гасителем) имело место устойчивое донное сопряжение потоков, необходимо соблюдение следующего условия:

$$\xi = Z/h_r \geq 0,3 \quad (4.10)$$

К тому же, высоту гасителя нужно выбрать такой, чтобы окончательный переход от донного сопряжения к поверхностному происходил при такой глубине в отводящем русле, при которой поток со сбойным течением не

представляет собой большой опасности для русла, т.е. приблизительно рав  
 $h_{нб} = 2h_{кр}$ , (рис. 4.10).

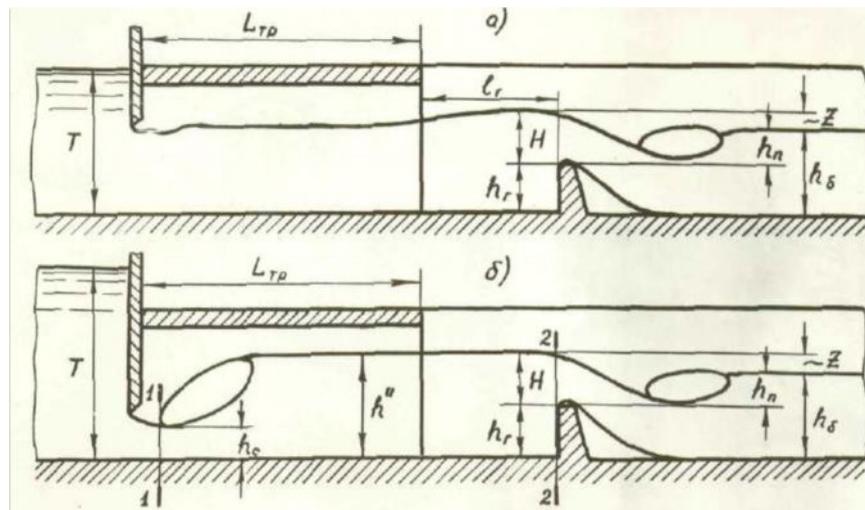


Рис. 4.12. Расчетная схема для определения высоты гасителя:

- а) при сопряжении бьефов участком со сбойным течением спокойного потока;
- б) при образовании гидравлического прыжка на входе в сооружение

Проводимые опыты по данным О.В. Андреева /8/ показывают, что такое условие удовлетворяется, если за гасителем наблюдается устойчивое донное сопряжение потоков в начале затопления сооружения, которое характеризуется равенством:

$$\zeta = h_{нб} / h_{кр} \approx 1,3 \tag{4.11}$$

учитывая равенства (4.8), (4.10) и (4.11) для определения высоты гасителя получим:

$$h_r = \left( 186 - \frac{1,43}{\sqrt[3]{\alpha m_0^2 \eta^2}} \right) h_{кр} \tag{4.12}$$

Коэффициент расхода гасителя, который учитывает скорость подхода потока и подтопление  $m_0$ , можно определить из формулы (4.3)



$$m_0 = \frac{Q}{b_r \sqrt{2gH_{cp}^{3/2}}} \quad (4.13)$$

Для определения  $H_{cp}$  нужно знать значения действительных напоров по сечению над гасителем.

Как влияет степень сжатия потока сооружением на форму свободной поверхности над гасителем, было проверено в стеклянном лотке при пропуске расходов 5; 7 и 10 л/сек через участок симметричного сжатия потока с боков, за которым устанавливалась водобойная стенка. При этом, степень сжатия выбиралась в пределах  $\eta = 1,45 \div 3,82$ . Высота конструкции гасителей была выбрана таким образом, чтобы за ними имело место устойчивое донное сопряжение при глубине в отводящем русле  $h_{но} = 1,3h_{кр}$ . От конца участка сужения до гасителя расстояние принималось равной  $l_r = 3h_{кр}$ . Опытные работы проводились при десяти различных значениях ширины участка сужения  $b_c = 2 = b_{mp} = 11, 13, 15, 17, 5, 19, 21, 23, 25, 27$  и 29 см.

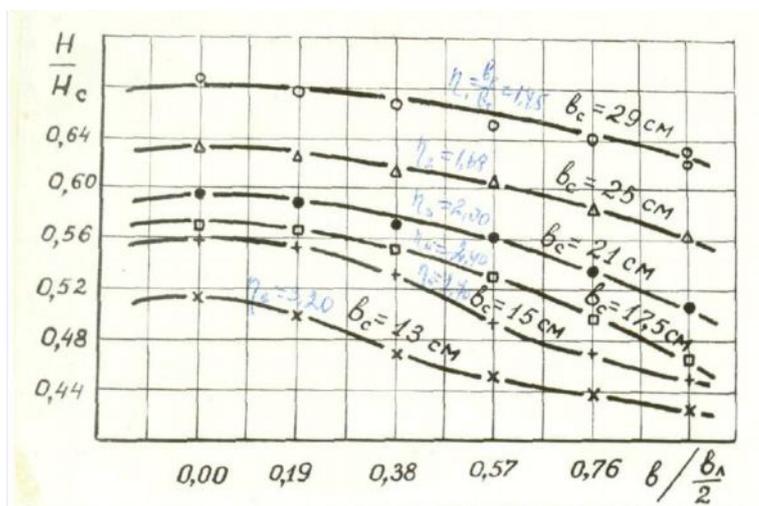


Рис 4.13. Графики зависимости  $H/H_c = f(b/b_L/2)$

Рис. 4.13 показывает графики зависимости значения  $H/H_c = f(b/b_L/2)$  при различных значениях  $\eta = b_L/b_c$ , где  $H$  – местный напор гасителем,  $H_c$  – напор над гасителем при ширине русла равной ширине работающей трубы



сооружения (сужения),  $v$  – расстояние от центра лотка до рассматриваемых вертикали,  $v_l$  – ширина русла (лотка).

Вышеприведенный рис. 4.13 показывает, что для случаев с  $\eta > 2,4$  поперечный профиль свободной поверхности перед гасителем (в сечении с  $H = H_{max}$ ) очерчивается кривой с двумя точками перегиба, похожей на кривую Гаусса. Объясняется это тем, что при  $\eta > 2,4$  поток перед гасителем растекается не по всей ширине русла. Поперечные профили свободной поверхности очерчиваются параболической кривой с точкой перегиба на оси русла при величине  $\eta < 2,4$ .

Такие графики наглядно описываются формулами вида:

$$\frac{H}{H_c} = \alpha - \beta \left( \frac{b}{b_l / 2} \right)^2, \quad (4.15)$$

где  $\alpha, \beta$  - величины зависящие от степени сжатия потока в плане  $\eta$ .

Рис. 4.14 показывает графические зависимости  $\alpha = f(\eta)$  и  $\beta = f(\eta)$ , полученные на основе предыдущих графиков. Проанализировав эти зависимости, выявлено, что  $\alpha$  и  $\beta$  можно определить по формулам:

$$\alpha = \frac{\eta}{2,25\eta - 1,13}, \quad (4.16)$$

$$\beta = 0,06\eta - 0,027 \quad (4.17)$$

Криволинейное сечение над гасителем заменив равновеликим прямоугольным, можно записать:

$$H_{ср} v_l = 2 - \int_0^{v_l/2} H db, \quad (4.18)$$



С учетом равенств (4.12) и (4.15) получим:

$$H_{cp} = \frac{2 \int_0^{b_l/2} H_c \left[ \alpha - \beta \left( \frac{b}{b_l/2} \right)^2 \right] \alpha v}{b_l} \quad (4.19)$$

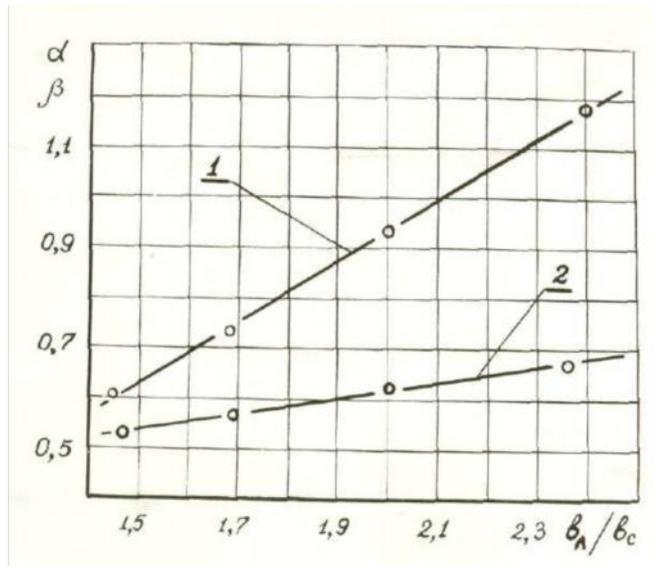


Рис. 4.14. Графические зависимости  $\alpha=f(\eta)$  и  $\beta=f(\eta)$ :

1 – График зависимости  $\alpha = j(b_l/b_c)$ ; 2 – График зависимости  $\beta = j(b_l/b_c)$

Отсюда после интегрирования и преобразований, будем иметь:

$$H_{cp} = \frac{(1,043\eta - 0,045\eta^2 - 0,01)}{2,245\eta - 1,133} \cdot H_c \quad (4.20)$$

Можно достаточно точно определять значения коэффициентов расхода при величине  $\eta = 1,45 \div 2,50$  по формулам (4.13) и (4.20).

Рис. 4.13 показывает график зависимости  $m_0 = j(b_l/b_c)$  соответствующий этим формулам, величины коэффициентов расхода, подсчитанные с использованием опытных значений среднего над гасителей напора  $H_{cp}$ .

Чтобы провести сравнение с полученными результатами расчета по формуле (4.20) для указанных на рис. 4.15 значений  $\eta$  были построены

криволинейные сечения над гасителем по опытным данным, площадь кото- определяли при помощи планиметра.

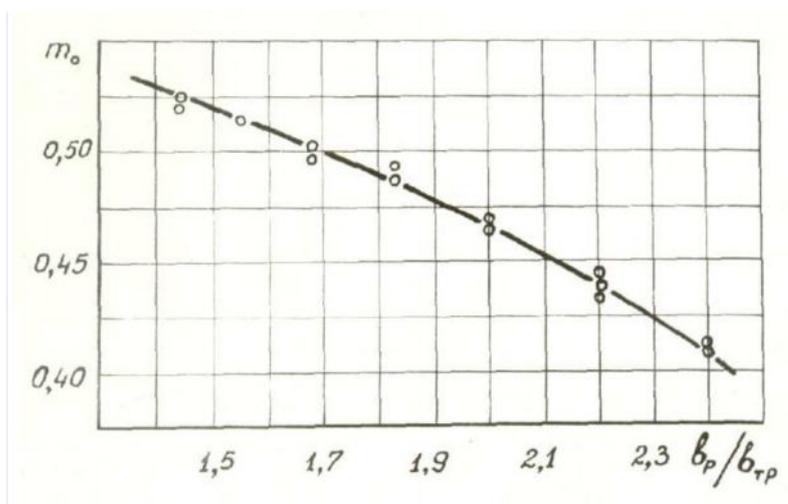


Рис. 4.15. График зависимости  $m_0 = j(b_p/b_{np})$

Используя величину площади сечения, определяли  $H_{cp}$ , как высоту равновеликих прямоугольников шириной равной ширине гасителя (русла). Графика, приведенный на рис. 4.15, показывает, что формула (4.20) обеспечивает точность в пределах погрешностей опытов.

Отмеченные выше пределы изменения  $\eta$  достаточны для расчета гасителей. Г.Г.Богдановым и С.М.Слисским [205] при значениях  $\eta < 1,45$  пространственность потока слабо выражена. Эта область сжатия потока в плане характеризуется как область "малого стеснения с незначительной пространственностью".

Нужно подбирать высоту водобойной стенки так, чтобы можно было получить удовлетворительное растекание в плане, потока выходящего из сооружения, при различных значениях  $\eta$ , возможных в практике эксплуатации данного сооружения.

Следовательно, расчет гасителей, обеспечивающих бесшумное течение за многопролетными регулирующими сооружениями рекомендуется вести, исходя из условий работы их условий их с незначительной пространственностью.

Если сооружение, с другой стороны, работает с большим стеснением потока, т.е. при  $\eta > 3$  (например, работа четырехочкового сооружений одним



крайним пролетом), то для обеспечения растекания потока перед гасителем всю ширину русла, высота гасителя должна быть неприемлемо большой.

Чтобы предотвратить сбойное течение, в таких случаях, достаточно расширить поток на часть ширины русла. Дальнейшее расширение при этом происходит за гасителем.

Проведенные опыты показывают, что гасители рассчитанные по формулам (4.12), (4.13) и (4.20) для начала граничного [23,с.148-153], стеснения потока при  $\eta=2,0$  могут обеспечивать бессбойное течение за трех и четырехпролетными сооружениями и при других значениях  $\eta$ .

Можно получить зависимость для ориентировочного определения высоты водобойной стенки для пространственных условий сопряжения бьефов, подставив величину  $\eta = 2,0$  в формулы (4.12), (4.13) и (4.20):

$$h_r = (0,65 \div 0,70) h_{кр} \quad (4.21)$$

Можно получить такой же результат, исходя из следующих соображений. Опыты показывают, что образование прыжка за гасителем при  $h_{нб}/h_{кр} = 1$  и донного сопряжения при  $h_{нб}/h_{кр} = 1,3$  происходит за водобойными стенками приблизительно одинаковой высоты. Следовательно, высоту гасителя, предупреждающего сбойное течение спокойного потока, можно выбирать исходя из условия образования донного сопряжения за ним при  $h_{нб} = 1,3 h_{кр}$  или гидравлического прыжка при  $h_{нб} = h_{кр}$ . Отсюда, согласно расчетной схеме можно написать равенство:

$$h_r + H = \frac{\alpha Q^2}{2(\eta b_{mp} h_c)^2 \varphi^2 g} + h_c, \quad (4.22)$$

где  $h_c$  - сжатая глубина, сопряженная с  $h_{нб} = h_{кр}$ ;



$\eta = b_r / b_{mp}$  - степень сжатия потока сооружением в плане;

$\varphi$  - коэффициент скорости принимаемой равным 0,85-0,95.

Можно определить сжатую глубину по формуле:

$$h_c = \frac{h_{кр}}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{8Q^2 \alpha}{\eta^2 b_{mp}^2 g h_{кр}}} - 1 \right) = \frac{h_{кр}}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{8}{\eta}} - 1 \right) \quad (4.23)$$

Из формулы (4.23) подставив  $h_c$  в формулу (4.22) получим:

$$H + h_r = \frac{(x-1)}{2} \cdot h_{кр} + \frac{2}{\varphi^2 \eta^2 (x-1)^2} \cdot h_{кр}, \quad (4.24)$$

где  $x = \sqrt{1 + 8/\eta^2}$ .

По формуле (4.24) вычислим высоту гасителя с учетом равенства:

$$h_r = \left[ \frac{\varphi^2 \eta^2 (x-1)^3 + 4}{2\varphi^2 \eta^2 (x-1)^2} - \frac{1}{\sqrt[3]{2 m_0^2 \eta^2 \alpha}} \right] h_{кр} \quad (4.25)$$

Принимая величины, равными  $\varphi=0,90$ ;  $\eta=2,0$ ;  $m_0=0,47$  и  $\alpha=1,1$  получим формулу (4.21), т.е.  $h_r=0,7 h_{кр}$ .

Рис. 4.16 показывает график зависимости  $K = f(h_r / h_{r.p.})$ , где  $h_{r.p.}$  - расчетная высота гасителей, построенный по данным опытов проведенных с гасителями различной высоты при пропуске центральной трубой модели трехочкового сооружения расхода 3,5 л/сек, глубине в отводящем русле 4,6 см и глубине верхнем бьефе 7 см.

Прекращение размыва по времени устанавливалось визуально относительно подвижке частиц. Опытные работы проведены с гасителями в

виде сплошной водобойной стенки и прорезной стенки с шириной проема равной 20% от ширины выступов (ширина выступов равна 2,5 см).

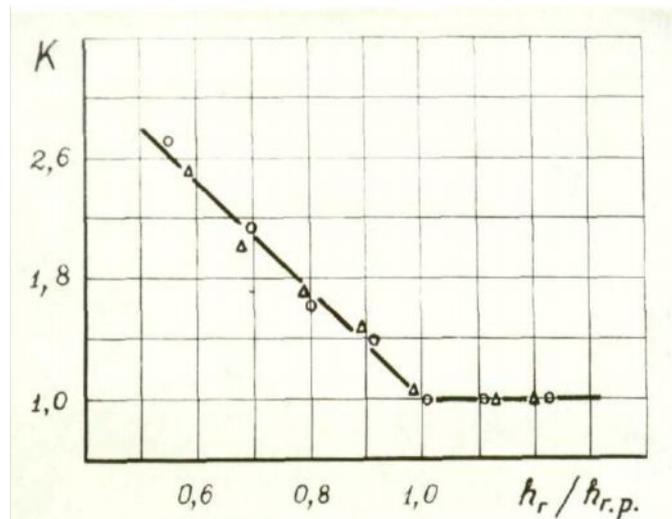


Рис. 4.16. График зависимости  $K = f(h_r / h_{r.p.})$ :

o – сплошная водобойная стенка, Δ - прорезная стенка с  $b_{щ} / b_n = 0,2$

По формуле (4.21) определялась расчетная высота гасителей.

Данная серия опытных работ показала, что при  $h_r < h_{r.p.}$  за сооружением наблюдается местный размыв русла, увеличивающийся с уменьшением высоты гасителя. Полученные результаты опытов были отражены в статьях [95,с.151-155;132], а также доложены на Международных конференциях [105,с.552-526;131,с.157-161]. Выше отмеченные формулы (4.12) и (4.21) хорошо согласуются с рекомендациями других авторов.

Так например, Н.А.Вознесенский в своей работе [64,3.90-94;65,с.200-204] для головного сооружения Кара-Кумского канала предложил гаситель в виде стенки высотой  $h_r = 105$  см. Пропускаемый сооружением максимальный расход составляет  $Q_n = 130$  м<sup>3</sup>/с. Ширина пролетов сооружений равна  $b_{mp} = 3,5 \times 6 = 21$  м. Отсюда критическая глубина в сооружении равняется:

$$h_r = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b_{mp}^2 q}} = \sqrt[3]{\frac{130^2}{21^2 \cdot 9,81}} = 1,575 \text{ м,}$$



а высота гасителя вычисляется по формуле (4.21):

$$h_r = 0,7 h_{кр} = 0,7 \cdot 1,575 = 1,062 \text{ м.}$$

Другими словами, высота гасителя, полученная опытным путем, почти не отличается от расчетной.

Н.Н.Сурова предлагает определять высоту гасителей по формуле:

$$h_r = 0,36 \sqrt{q \sqrt{H}} . \quad (4.26)$$

В условиях наибольшей активности сбойного течения спокойного потока в начале подтопления шлюза-регулятора с переездом или безнапорной водопропускной трубы можно принимать [133]:

$$h_{н\bar{o}} = 0,75H. \quad (4.27)$$

Отсюда формула для определения расхода пропускаемого сооружением имеет вид:

$$Q = \mu b_{mp} \cdot 0,75H \sqrt{2qH(1 - 0,75)}, \quad (4.28)$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода сооружения;

$b_{mp}$  - ширина работающих пролетов.

Вычислим из формулы (4.27) глубину перед сооружением:

$$H = 3 \sqrt{\frac{Q^2}{b^2 \mu^2 \cdot 0,281q}} = 3 \sqrt{\frac{1}{0,281\mu^2}} \cdot h_{кр}. \quad (4.29)$$



Удельный расход в сооружении, выразив через критическую глубину, получим:

$$q = \sqrt{q h_{кр}^3} . \quad (4.30)$$

Значения  $H$  и  $q$  подставив в формулу (4.26):

$$h_r = 0,36 \sqrt{\sqrt{b_{кр}^4 q^3 \frac{1}{0,281 \mu^2}}} = 0,36 \sqrt{\sqrt{q^3 \frac{1}{0,281 \mu^2}}} \cdot h_{кр}, \quad (4.31)$$

В итоге с учетом того, что  $q=9,81$  м/сек<sup>2</sup>, а  $\mu=0,7$  получим  $h_r=0,67 h_{кр}$ .

Г.А.Лилицкий в своей работе [68,с.180-184] для определения высоты стенки в конструкции комбинированного гасителя предложил зависимость:

$$h_{см} = 0,43 h_o,$$

где  $h_o$  - глубина на выходе из сооружения.

Принимая значение равным  $h_o = h_{нб} = 1,3 h_{кр}$  для расчетных условий, описанных выше, эту зависимость можно представить в следующем виде:

$$h_{см} = 0,43 \cdot 1,3 h_{кр} = 0,56 h_{кр} \quad (4.32)$$

Целесообразным считается, в отдельных случаях, применение гасителей, состоящих из отдельных порогов различной ширины, ориентация которых в плане выбирается из условия улучшения растекания потока.



Была исследована на модели трехпролетного сооружения работа сплошная и прорезных порогов с различной шириной в высоту, расположенных нормально к оси русла.

Проведенные опыты показали, что работа гасителей в виде порогов шириной меньшей, чем ширина русла бывает наиболее удовлетворительна при различных режимах работы сооружения, если за ними имеет место донное сопряжение потоков в условиях наибольшей активности сбойного течения спокойного потока, т.е. при  $\eta = 2,0$  и  $h_{нб} = 1,0 h_{кр}$ .

Следовательно, высоту таких гасителей также можно выбирать из условия существования устойчивого донного сопряжения за гасителем, характеризуемого соотношением  $Z / h_r \geq 0,3$

Подобно подпору перед другими обтекаемыми телами, местный подпор перед гасителем [58, с.220-223] можно определить по формуле:

$$Z = K_1 \frac{g^2}{q}, \quad (4.33)$$

где  $K_1$  - коэффициент формы гасителя;

$g$  - средняя скорость набегания потока на гаситель.

Отсюда высота гасителя определится так:

$$h_r = \frac{K_1}{0,3} \cdot \frac{g^2}{q} \quad (4.34)$$

Учитывая, что по оси набегающего на гаситель потока скорость равна скорости на выходе из сооружения и  $g^2 / q h_{кр} = 1$  представим формулу (4.34) в следующем виде:

$$h_r = \frac{K_1}{0,3} h_r. \quad (4.35)$$

Нами для исследования коэффициента формы были проведены опыты с гасителями состоящими из разного количества рядом стоящих выступов, при пяти значениях расстояния между ними. Ширина порога изменялась в пределах значений  $b_r = 1 \div 12$  см. Ширина отдельного выступа составляла  $b_n = 1$  см. Высота гасителей принималась равной  $0,7 h_{кр}$ ,  $0,8 h_{кр}$  и  $0,9 h_{кр}$ . Опытные работы были проведены при работе трехпролетной модели центральной трубой и пропуске расхода  $Q_m = 3,6$  л/с. Во всех опытах глубина в нижнем бьефе составляет  $b_{нб} = h_{кр}$ .

На основе полученных результатов данных опытов были построены графики зависимости:

$$K_1 = f_1 \left( \frac{h_r}{h_{кр}} \cdot \frac{b_r}{b_{пр}} \right)$$

Согласно нижеприведенному рис. 4.17 для сплошных гасителей (кривая 1) и для гасителей с шириной прорези  $v_{щ} = 0,2; 0,4; 0,6$  и  $0,8$   $v_n$  (кривые 2,3,4 и 5).

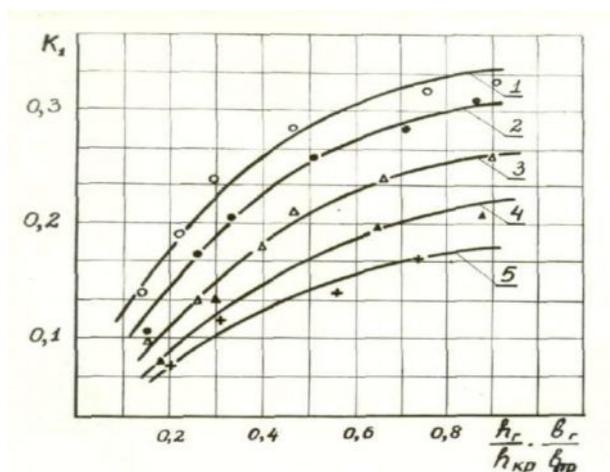


Рис. 4.17. Графики зависимости  $K_1 = f(h_r b_r / h_{кр} b_{пр})$ :

1 – (при  $b_{щ} / b_n$ )=0; 2 – при  $(b_{щ} / b_n)$ =0,2; 3 – при  $(b_{щ} / b_n)$ =0,4;

4 – при  $(b_{щ} / b_n)$ =0,6; 5 – при  $(b_{щ} / b_n)$ =0,8.



Эти графики можно выразить интерполяционным полиномом Лагранжа, имеющим вид:

$$K_1 = -\alpha_1 \left( \frac{h_r}{h_{кр}} \right)^2 + \beta_1 \frac{h_r}{h_{кр}} \eta + 0,04, \quad (4.36)$$

где  $\alpha_1$  и  $\beta_1$  - величины, зависящие от  $\frac{e_{ш}}{e_n}$ ;  $\eta = \frac{e_r}{e_{пр}}$  ( $e_r$  - ширина порога,  $e_{пр}$  - ширина пролета).

Проанализировав зависимости  $\alpha_1 = f(e_{ш}/e_n)$  и  $\beta_1 = f(e_{ш}/e_n)$  выявлено, что  $\alpha_1$  и  $\beta_1$ , можно определять по следующим формулам:

$$\alpha_1 = 0,44 - 0,28 b_{ш} / b_n \quad (4.37)$$

$$\beta_1 = 0,69 - 0,39 b_{ш} / b_n \quad (4.38)$$

Подставив в формулу (4.36) значение  $K_1$  из (4.35) получим значимость для определения высоты гасителей:

$$h_r = \frac{\beta_1 \eta \sqrt{(\beta_1 \eta - 0,3)^2 + 0,16 d_1 \eta^2} - 0,3}{2 d_1 \eta^2} \cdot h_{кр}. \quad (4.39)$$

Приняв в формуле (4.34) величину  $\eta=2,0$  и  $e_{ш}=0$ , получится:

$$h_r \approx 0,65 h_{кр}. \quad (4.40)$$

Данное равенство не отличается от формулы (4.21), полученной для сплошной водобойной стенки раньше. Согласно формуле (4.39) можно приблизительно выбирать высоту прорезных водобойных стенок, а также порогов различной ширины.



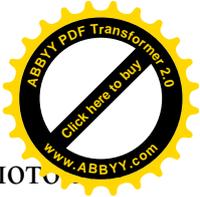
Выше описанные методы по выбору высоты гасителей соответствуют таким условиям работы сооружений, при которых напор на сооружении недостаточно большой для образования гидравлического прыжка на выходе из сооружения и отгона его в нижний бьеф. Перед щитом при глубине  $T > 3h_{кр}$  высоту гасителей нужно выбирать из условия затопления прыжка, образованного на входе в сооружение [131, с.157-161].

#### **4.4 Подбор расстояния от выходного сечения до гасителей за сооружениями**

На участке крепления нижнего бьефа место расположения гасителей оказывает большое влияние на условия сопряжения потоков и работу сооружения в целом.

Расположение гасителя чем ближе к сооружению, тем меньше должна быть длина участка, на котором происходит перераспределение удельных расходов и гашение энергии потока за сооружением. Однако, уменьшение расстояния между гасителем и выходным сечением происходит наряду с усилением подпора перед гасителем на условия входа в сооружение. В случае, если водобойную стенку установить на таком расстоянии от выходного сечения сооружения, при котором из-за подпора перед гасителем происходит увеличение глубины потока на входе в сооружение, то соответственно будет увеличиваться и глубина перед сооружением. Таким образом, данный гаситель будет вызывать уменьшение пропускной способности сооружения, т.е. при этом для пропуска расчетного расхода потребуются увеличение глубины в верхнем бьефе.

Условие предотвращения уменьшения пропускной способности сооружения будет учитываться при назначении крепления нижнего бьефа



водорегулирующего сооружения с переездом, за которым расширение потока в плане осуществляется при помощи водобойной стенки.

В таком сооружении крепление нижнего бьефа можно представить в виде суммы двух участков:

$$l_{кр} = l_r + l \quad (4.41)$$

В первый участок длиной  $l_r$  входит часть крепления до водобойной стенки. Длина данного участка должна обеспечивать такую пропускную способность сооружения, которая имеет место при отсутствии гасителя. Во второй участок длиной  $l$  входит часть крепления за гасителем, в пределах которого происходит окончательное расширение в плане и успокоение потока.

С целью изучения влияния водобойной стенки на пропускную способность сооружения, на модели трехпролетного сооружения были проведены опыты с гасителями, расположенными на разном расстоянии от выходного сечения, при пропуске центральным пролетом расхода  $Q_n$ . Высота гасителя составляло  $h_r = 0,65 h_{кр}$ . Во всех опытах глубина в нижнем бьефе равнялась  $h_{нб} = 4,7$  см. Перед сооружением по значениям глубины, измеренным во время опытов, были определены коэффициенты расхода сооружения, при наличии в нижнем бьефе водобойной стенки, расположенной на различном расстоянии от выходного сечения  $l_r$ . По основной расчетной формуле для малых мостов и дорожных труб [58, с.220-223] были подсчитаны значения коэффициентов расхода:

$$\mu = \frac{Q}{b_{тр} \sqrt{2g} H^{3/2}}, \quad (4.42)$$

где  $H$  - глубина потока перед сооружением.

Скорость подхода потока к сооружению в формуле (4.42) не учтена, допустимо для подобных сооружений /147/.

В результате сравнения коэффициентов расхода сооружения с гасителем в нижнем бьефе  $\mu_r$  с коэффициентами расхода сооружения без гасителя за ним

$\mu$  была возможность построить график зависимости  $\frac{\mu}{\mu_r} = f\left(\frac{l_r}{h_{кр}}\right)$ , показанным

на рис.4.16.

Из рис. 4.18 видно, что влияние водобойной стенки на пропускную способность сооружения при расположении ее на расстоянии  $l_r > 2,5h_{кр}$  выходного сечения становится незначительным. На основе полученных результатов данных опытов можно предположить, что гасители должны быть расположены приблизительно на расстоянии  $l_r \geq 3h_{кр}$  от начала крепления нижнего бьефа.

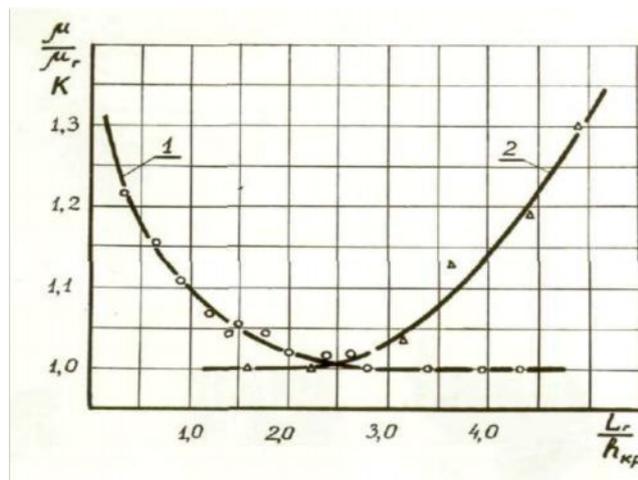


Рис. 4.18. График влияния водобойной стенки на пропускную способность сооружения:

$$1 - \mu / \mu_r = f(l_r / h_{кр}), 2 - K = f(l_r / h_{кр})$$

Значительное удаление гасителя от сооружения также нежелательно, поскольку при этом, область за гасителем, в которой происходит успокоение потока, выходит за пределы крепления нижнего бьефа. Данный случай показывают опыты, проведенные с размывом русла при длине крепления  $l_{кр}=60$  см, результаты которых представлены на рис. 4.16 в виде



графика  $K = f(l_r / h_{кр})$ . Высота гасителей, расход и глубина в нижнем бьефе выбраны такими же, как и в предыдущей серии опытов. Эти все опыты были проведены до полного прекращения размыва.

Значения скоростей за гасителями в виде сплошной водобойной стенки высотой  $0,6 h_{кр}$ , расположенных различном расстоянии от конца труб сооружения приведены в табл. 4.3.

Опытные работы были проведены при пропуске расхода  $Q_m=3,5$  л/сек через центральную трубу трехпролетной модели. В нижнем бьефе глубина составляет  $h_{нб}=5,5$  см. Значения скоростей были измерены в створах отстоящих от начала крепления нижнего бьефа на расстоянии 40, 50 и 60 см, тремя микровертушками, центральная из которых расположена на оси русла, а две крайние на расстоянии  $\Delta B = 1$  см от неё. Микровертушки были погружены на глубину равной 0,4; 0,6 и 0,8  $h_{нб}$ .

Данные табл. 4.3 показывают, что скорости на динамической оси потока увеличиваются, в указанных створах, с удалением гасителя от выходного сечения.

С целью определения длины крепления за гасителем были проведены опыты с водобойной стенкой высотой  $h_r = 3h_{кр}$ , установленной на расстоянии  $l_r = 3h_{кр}$ , при пропуске расхода  $Q_m = 3,5$  л/сек через центральную трубу модели трехпролетного сооружения. Согласно рис. 4.19 данные опыты показывают, что длину крепления нижнего бьефа при устройстве водобойной стенки и гладкой поверхности крепления (без искусственной шероховатости за ней) следует принимать равной  $l_{кр} \geq 1,5h_{кр}$ .

Чтобы уменьшить местные размывы кроме гашения энергии потока большое значение для улучшения водопользования имеет систематический и точный учет воды во всех частях оросительной системы.

В современных условиях в республиках Средней Азии и Казахстана процент оснащённости водовыделов гидрометрическими сооружениями очень низкий [20,с.59-62; 55,с.110-113].



Таблица 4.3 – Значения скоростей за гасителями в виде сплошной водобойной стенки

$l_r$ [см]	$l_r$ [см]	h верхушка	$\Delta B = 10$ см		$\Delta B = 0$		$\Delta B = 10$ см	
			Й	И <sub>max</sub>	Й	И <sub>max</sub>	Й	И <sub>max</sub>
11	60	0,4 h	18,7	20,8	19,5	21,8	18,0	21,7
		0,6 h	17,5	21,7	16,1	23,6	14,5	22,7
		0,8 h	19,9	21,8	18,0	21,7	19,5	22,7
	50	0,4 h	15,6	18,1	20,3	21,8	18,9	20,8
		0,6 h	17,2	19,0	16,0	21,8	11,0	20,8
		0,8 h	19,9	21,7	18,7	23,6	20,8	22,7
	40	0,4 h	14,5	16,3	18,7	20,0	17,8	20,8
		0,6 h	18,1	20,8	19,4	21,8	18,4	21,7
		0,8 h	21,4	23,5	19,7	23,6	18,9	20,8
60	0,4 h	22,2	23,5	22,4	25,4	13,8	15,4	
	0,6 h	22,2	25,4	21,4	23,5	15,0	18,0	
	0,8 h	23,5	25,3	22,4	25,3	17,4	20,8	
20,5	50	0,4 h	21,4	23,3	22,3	25,4	15,0	17,3
		0,6 h	19,6	23,5	21,4	25,4	16,7	20,8
		0,8 h	20,1	23,3	20,1	23,5	17,4	20,1
	40	0,4 h	21,6	23,5	23,3	25,4	14,6	19,0
		0,6 h	21,6	25,5	23,6	27,2	14,9	19,0
		0,8 h	22,3	25,3	25,7	27,9	16,5	22,7
29	60	0,4 h	26,9	30,7	26,5	30,8	16,3	22,7
		0,6 h	16,4	22,7	22,1	29,0	27,7	30,6
		0,8 h	26,2	30,7	24,7	30,8	22,2	24,5
	50	0,4 h	18,4	22,7	24,7	27,2	23,8	25,3
		0,6 h	25,7	27,1	26,0	28,9	19,2	22,7
		0,8 h	28,5	28,9	25,1	29,0	22,7	26,3
	40	0,4 h	20,6	29,8	25,4	27,2	23,1	25,3
		0,6 h	25,5	27,1	28,1	29,0	20,1	20,8
		0,8 h	20,4	24,5	25,8	29,0	26,2	30,7

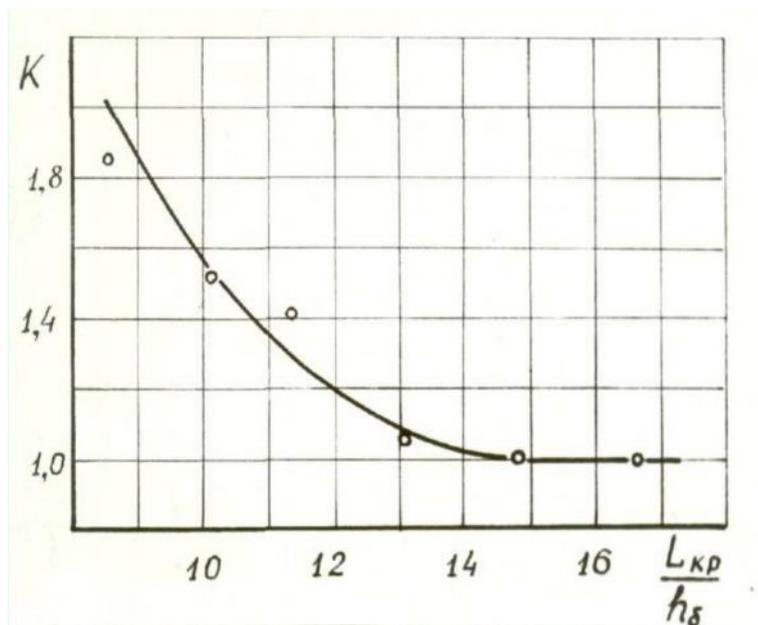


Рис. 4.19. График зависимости  $K = f(l_{кр} / h_{нб})$

Ученые разработали различные устройства и приспособления для учета воды и автоматизации регулирования подачи ее на массивах орошения. Широкое распространение в производстве получили такие водомерные приспособления и сооружения как: универсальный водослив А.И.Иванова, динамический расходоуказатель ДРС-60, водомер К.С.Глубшева, пружинный автомат расхода и водомерный порог М.В.Бутырина, парциальный водомер-регулятор, водомеры-регуляторы с различными приставками и др.

Очень удобным являлось бы использование гасителей энергии в качестве водомерных приспособлений. Для водомерных целей наиболее приемлемым является сплошная водобойная стенка, установленная нормально к оси русла.

Эту стенку можно выполнить в виде водомерного порога ВПС М.Б.Бутыркина. На рис. 4.20 показан водомерный порог ВПС. Конструкция его очень проста и как водомер имеет ряд ценных качеств:

1) возможно его применения в условиях переменного режима, поскольку обладает однозначной зависимостью  $Q=f(H)$  при значительном подтоплении нижнего бьефа, достигающем до  $h_n / H = 0,82$ ;





С целью использования водобойной стенки как водомерный порог вы ее необходимо уточнять по дополнительному соотношению:

$$(h_{нб} - h_r)/H = h_n/H \leq 0,82 \quad (4.44)$$

Величина напора на водосливе  $H$  определяется подбором, с учетом того, что:

$$e_r = e_p + 2m h_r, \quad (4.45)$$

где  $e_p$  – ширина канала по дну.

Как видно из рис. 4.20, передняя грань водомерного порога устраивается пологой, чтобы предотвратить заполнение наносами верхнего бьефа порога. Рекомендуется использование порога с отверстием, чтобы перед ним не оставалась вода на зимнее время. Это способствовало бы увеличению срока службы порога.

#### **4.5 Меры повышения надежности работы условий растекания потока за гасителями в нижнем бьефе многопролетных шлюзов-регуляторов**

Описанные в предыдущих главах исследования были посвящены водобойным стенкам (прорезным и сплошным), расположенным нормально к оси русла. Результаты этих исследований установили, что сплошные водобойные стенки и прорезные водобойные стенки с шириной прорези не более чем на 30% от ширины выступов обладают большей распределительной способностью.

Увеличение распределительной способности гасителя за сооружениями, в нижнем бьефе которых сопряжение осуществляется сбойным течением



спокойного потока дает больше возможности уменьшить размеры воронки размыва. Следовательно, большую роль играют поиски всевозможных конструктивных решений, позволяющих дополнительно расширить поток в плане в пределах крепления нижнего бьефа.

Для более лучшей работы гасителей в виде стенок (порогов) можно воспользоваться особенностями движения потока на участке крепления с гасителями, при устройстве их под углом к оси русла.

При устройстве стенки под углом к оси русла часть потока отклоняясь движется вдоль стенки, а другая часть, переливаясь по фронту водослива движется по направлению нормали к последнему.

Такое явление, как движение потока за стенкой по нормали к фронту слива, можно объяснить тем, что струи сходящие с продольной кромки ее при обтекании (переливании) имеют значительно большую скорость, чем скорости в остальных областях потока (например, скорость схода с кромки пластины обтекаемой в поперечное направлении иногда принимается бесконечно большой). Расположение этих струек нормально к линии кромки стенки, а давление в них ниже, что вызывает отклонение и других близлежащих струй в сторону нормали к фронту слива. Такое явление имеет место и за криволинейными затворами Л.А.Машковича. Процесс движения потока по направлению нормали к фронту слива происходит при значениях угла  $\varphi \geq 150^\circ$  (рис. 4.21). С уменьшением угла  $\varphi$  направление движения потока не будет совпадать с направлением нормали к фронту слива с гасителя.

Для того, чтобы установить гасители, расположенные под углом к оси русла, требуется проверка их опытным путем применительно к конструкции данного сооружения и условиям его работы. Такое расположение гасителей в отдельных случаях может приводить к отрицательным явлениям.

Табл. 4.4 приводит значения разностей отметок поверхности русла на участке размыва и крепления нижнего бьефа, полученные путем проведения опытов с гасителями в виде прямолинейной стенки нормальной к оси русла (створы 1 и 2) и стенок с изломом в сторону нижнего бьефа при  $\varphi = 136^\circ$

(створы 5 и 6). Опытные работы были проведены на модели четырехпролетного сооружения при пропуске расхода  $Q_m=6$  л/сек двумя крайними пролетами. В нижнем бьефе глубина составляет  $h_{нб}=6,5$  см, а в верхнем бьефе  $h_{вб}=9,0$  см.

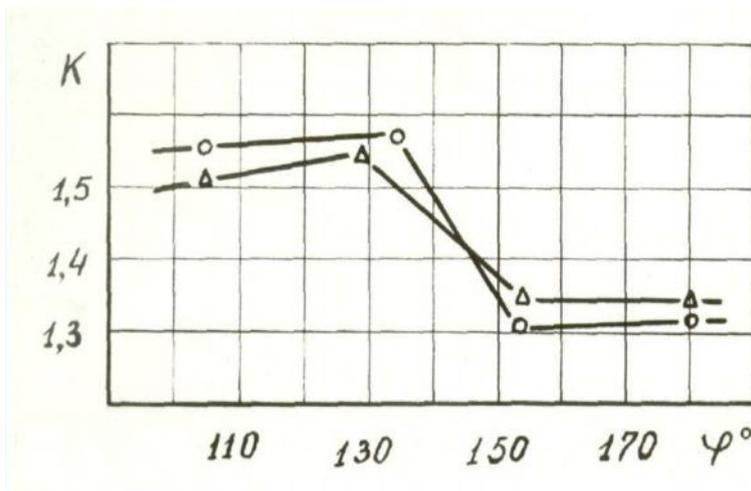


Рис. 4.21. Графики зависимости  $K = f(\varphi)$  для порогов, установленных под углом к оси русла потока

По табл. 4.4 при величине  $\varphi=156^\circ$  работа гасителя несколько улучшается, а при величине  $\varphi < 136^\circ$  глубина разрыва возрастает в сравнении с прямолинейной водобойной стенкой.

Рис. 4.21 показывает график изменения  $K=f(\varphi)$ , построенный на основе серии опытов, проведенных с гасителями при различных значениях  $\varphi$ . Треугольные точки на рис.4.21 соответствуют гасителям с изломом в сторону верхнего бьефа.

Проведенные опыты показывают, что при работе двумя центральными трубами, гасители с изломами в сторону нижнего бьефа работают несколько лучше прямолинейных стенок, что говорит о возможности их применения за одноочковыми сооружениями.

Для дополнительного расширения потока в плане, кроме явления поперечной циркуляции, можно воспользоваться эжекционной способностью струй. Как известно, в отдельной части живого сечения потока концентрация



удельных расходов происходит из-за способности, более крупных струй большими скоростями «притягивать» остальные за счет сил эжекции. Такой принцип особенно важно использовать для одностороннего расширения потока выходящего из крайних пролетов. Видимо, некоторую крупную струю нужно направить в сторону противоположного берега, которая может увлечь за собой часть потока, это для того, чтобы расширить поток за счет эжекционной способности струй. Эту струю можно создать выполнением гасителя в виде трех порогов, средний из которых, выдвинут в сторону верхнего бьефа, при котором струя, выходящая из промежутка между средним и крайним порогами будет способствовать расширению потока. Данный тип гасителя можно применить за трехпролетными сооружениями, которые могут работать одним из крайних пролетов. С целью создания лучших условий для рассеивания избытка энергии, пороги рекомендуется выполнять с прорезями. Наивыгодное расстояние между средним и крайними порогами необходимо выбирать на основе опытов, проведенных на модели, исследуемого сооружения.

Для значительного улучшения работы гасителей рекомендуется устраивать искусственную шероховатость. Эффективными устройствами и простыми в исполнении такого типа, являются ребра высотой равной высоте  $h_p (0,1 \div 0,2)h_{кр}$ . Уменьшить длину участка успокоения потока за гасителями и значительно уменьшить размыв, возникающий при глубине в нижнем бьефе  $h_{нб} < h_{кр}$  позволяет устройство искусственной шероховатости в виде ребер, т.е. во время попусков в сухое русло, а также в случае отгона гидравлического прыжка, образованного за основным гасителем, предотвращающими возникновение сбойного течения.

Исследования Н.Н.Суровой [44,с.201-204]., М.М.Селяметова [45,с.85-89] и др. (см. глава 1) были посвящены устройству искусственных шероховатостей в виде ребер, применяемых для улучшения работы гасителей и уменьшения длины прыжка.



Таблица 4.4 – Результаты опытов с гасителями в виде прямолинейной стенки

№№ створов	№№ точек															Расстояние от конца крепления, см
	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Глубина размыва /см/															
1	1,0	0,6	-	-	0,2	0,2	0,7	0,7	1,5	1,9	1,8	1,1	1,7	1,4	1,8	5
2	1,0	0,4	-	0,2	0,4	0,2	0,3	0,7	1,7	2,0	1,8	0,7	1,1	1,1	1,8	7
3	1,0	0,4	0,1	0,0	0,2	0,3	1,5	1,9	0,7	1,3	1,4	1,1	1,9	1,4	1,8	3
4	1,1	0,4	0,1	-	-	-	1,1	0,4	-	0,6	1,0	0,9	1,8	1,9	1,7	6
5	1,0	0,3	-	-	-	0,2	0,6	2,7	2,8	2,5	2,2	2,7	2,9	2,3	2,4	3
6	1,1	0,8	-	-	0,1	0,1	0,8	3,5	3,8	3,4	2,1	1,1	2,4	2,5	2,5	7

#### 4.6 Разработка конструкции крепления нижнего бьефа шлюзов-регуляторов с безнапорными трубами

С целью предотвратить местные размывы за трех и четырехпролетными водорегулирующими сооружениями с переездом для выбора типа гасителей и разработки конструкции креплений нижнего бьефа на моделях с размываемым руслом были проведены опыты с различными гасителями, наиболее предпочтительные из которых показаны на рис. 4.22-4.25.

Показанный на рис. 4.23 подобный гаситель был спроектирован Всесоюзным проектно-изыскательским институтом по проектированию рисовых систем "Союзгипрорис". Высота такого гасителя составляет  $h_r=0,76 h_{кр}$ , т.е. несколько больше той, которая получается по формулам (4.12) и (4.21).

При пропуске расхода  $Q_m = 3,5$  л/сек одним из трех пролетов сооружения гасителем наблюдался местный размыв глубиной  $h_p = 1,2$  см на дне русла и  $h_p = 3,1$  см на откосе (по вертикали), что видно в табл. 4.5, в которой приведены значения разности отметок поверхности на участке размыва и участке крепления нижнего бьефа (створы 1 и 2).

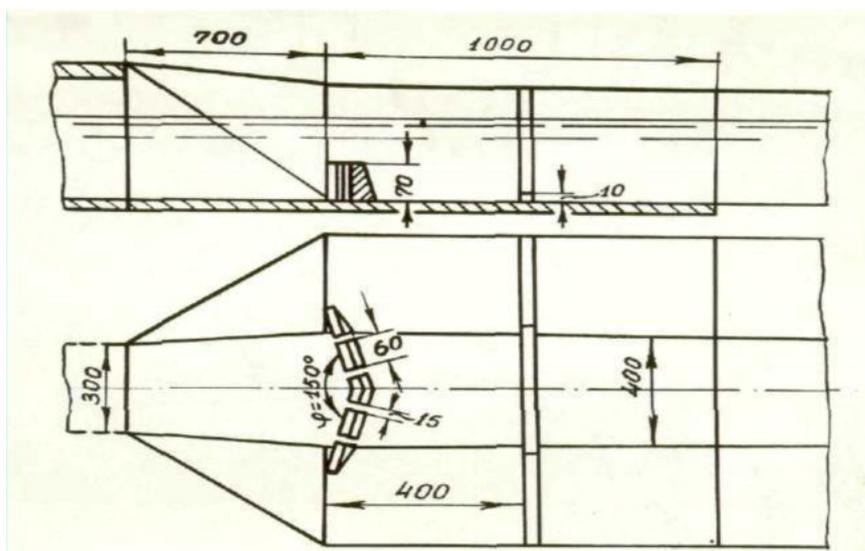


Рис. 4.22. Водобойная стенка с изломом в сторону нижнего бьефа

Произошедший размыв русла за таким гасителем объясняется неудачным расположением гасителя. В соответствии с проектом гаситель был расположен на расстоянии от выходного сечения сооружения равном  $l_r = 8,9h_{кр}$ , т.е.  $l_r = 40$  см, а общая длина крепления равна  $l_{кр} = 60$  см, следовательно, на участке крепления за гасителем поток не успевал успокаиваться.

Такое устройство гасителя высотой  $h_r = 0,65 h_{кр} = 3$  см на расстоянии  $l_r = 2,5 h_{кр} = 11,25$  см от выходного сечения сооружения позволяет полностью предотвратить размыв при пропуске того же расхода через центральной пролет трехпролетного сооружения.

Таблица 4.5 – Результаты опытов с гасителями по вертикали

№№ створов	№№ точек															Расстояние от конца крепления, см
	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Глубина размыва /см/															
1	1,0	2,2	1,4	0,8	1,8	0,6	1,2	1,2	1,4	0,8	0,7	1,4	3,0	3,1	2,9	2
2	1,2	2,2	2,1	0,5	0,8	-	0,6	1,0	0,8	0,8	1,1	0,1	1,9	3,0	2,5	6
3	2,1	2,2	2,0	0,6	1,3	1,6	1,7	1,9	2,0	1,4	1,3	0,7	0,4	0,1	0,1	2
4	1,8	2,1	1,4	-	1,0	2,7	2,8	2,9	3,0	1,6	0,5	0,7	0,2	-	0,3	5
5	1,0	1,1	0,3	0,7	1,1	0,3	0,7	1,2	1,3	1,1	1,2	0,8	0,4	0,4	0,3	3
6	0,7	-	-	-	0,2	0,1	-	-	1,0	1,3	0,8	-	-	0,2	0,3	5
7	0,6	0,2	-	-	0,2	0,1	-	0,1	-	-	-	-	-	0,7	0,6	7

Опытные работы были проведены при глубине в нижнем бьефе  $h_p = 1,3 h_{кр}$ , без сжатия потока по глубине на выходе щитом.

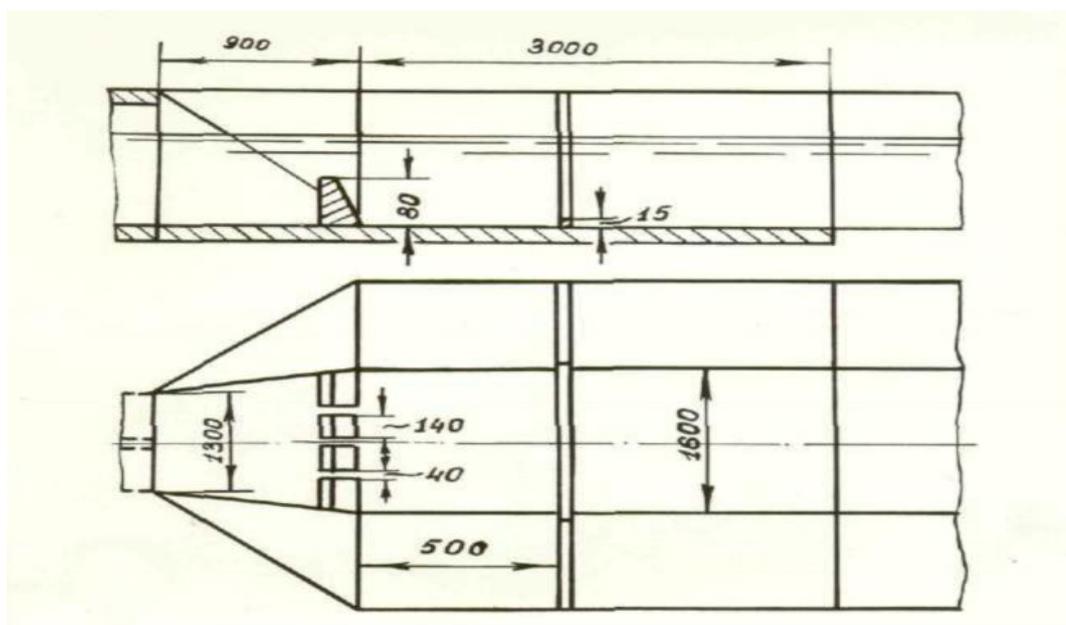


Рис. 4.23. Прорезная водобойная стенка

Размыв глубиной  $h_p=0,9$  см происходит при пропуске расхода  $Q_m = 3,5$  л/с крайним пролетом трехпролетной модели за таким гасителем.

На рис. 4.24 показаны гасители, выполненные в виде трех порогов, средний из которых выдвинут в сторону верхнего бьефа, которые позволяют предотвратить размыв при работе сооружения, как средним так и крайними пролетами.

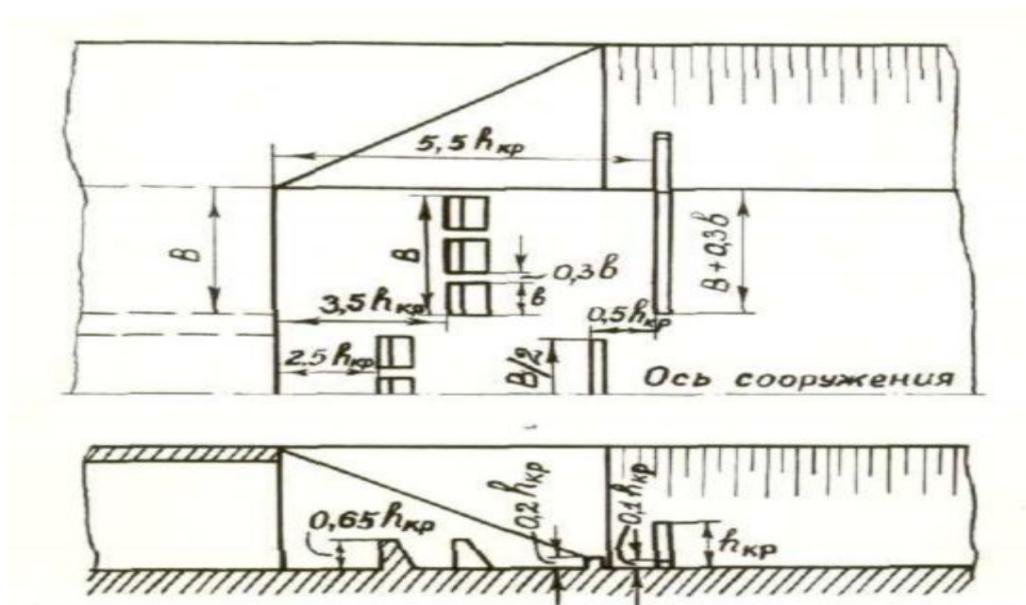


Рис. 4.24. Гасители в виде трех порогов

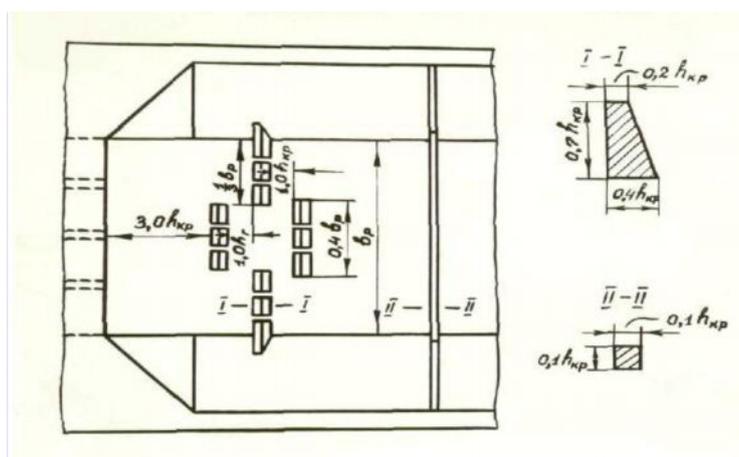


Рис. 4.25. Гасители разработанные для четырехпролетного сооружения



Во время проведения опытов расход был принят равным  $Q_m = 3,5$  л/сек. В нижнем бьефе глубина составляла  $h_{нб} = 5,0$  см. Объясняется это тем, что такие гасители обладают способностью к дополнительному расширению потока в плане при работе крайним пролетом, с которой было отмечено в предыдущем параграфе  $h_r h_{нб} h_{кр} l_r = 3h_{кр}$ .

Такие гасители, хорошо зарекомендовавшие себя применением за сооружениями крупных гидроузлов, за которыми поток обладает значительным избытком кинетической энергии, не обеспечивают расширения потока в плане при сбойном течении спокойного потока в нижнем бьефе шлюзов-регуляторов с напором до 0,5 м, что еще раз говорит о нежелательности распространения рекомендации, разработанных для каких либо конкретных типов сооружений, на все другие.

При работе центральной трубы трехпролетной модели гасители допускают размыв в центральной части дна русла до  $h_p = 1,5$  см. В случае применения их за четырехпролетным сооружением и пропуске расхода  $Q_m = 7$  л/сек двумя крайними пролетами они полностью предотвращают размыв. Происходит это при помощи таких гасителей, которые позволяют успешно защищать русло от местных размывов за двухпролетными сооружениями.

Показанные на рис. 4.25 гасители позволяют предотвратить размывы за четырехпролетным сооружением при работе, как средними, так и крайними трубами (створы 5, 6 и 7).

С такими гасителями опыты проводились при пропуске расхода  $Q_m = 6$  л/сек двумя центральными и двумя крайними трубами при напоре (перепаде) на сооружении  $Z_m = 3,2$  см, что в пересчете в натуру составляет  $Z_n = 1,12$  м.

Автор в своей работе [110, с. 83-85-89; 111, 53-58] предложил на каналах Кызыл-Кумского массива орошения построить сооружения с конструкцией крепления нижнего бьефа, показанной на рис. 4.11 и 4.13, а также результаты исследования внедрил на различных объектах систем сельхозводоснабжения. Были построены гасители в виде стенки с изломом в сторону нижнего бьефа



( $\varphi = 150^\circ$ ) за двумя однопролетными сооружениями на канале Р-3 (ГК-1 + 77,99) с расходом  $Q_n = 15 \text{ м}^3/\text{с}$ . Высота стенки составляет  $h_r = 0,7 \cdot h_{кр}$ . За креплением нижнего бьефа сооружений местные размывы не наблюдаются, работа их признана удовлетворительной.

На канале Р-12 (ГК-72+100) за двухпролетным сооружением с прямоугольными безнапорными трубами с расходом  $Q_n = 37 \text{ м}^3/\text{с}$  построен гаситель в виде прорезной водобойной стенки, высота которой принята равной  $h_r = 0,7 \cdot h_{кр}$ , а расстояние от начала крепления  $l_r = 3,5 h_{кр}$ . В течение двух лет работы сооружения местные размывы за сооружением не наблюдались.

Проведенные опыты с применением различных конструкций крепления нижнего бьефа показывают, что гасители энергии потока и растекатели разработанные для одних сооружений, не всегда возможно успешно распространять на другие.

При выборе устройств, предупреждающих местные размывы за сооружениями на каналах, необходимо учитывать особенности конструкции сооружения и принцип действия существующих гасителей и растекателей.

#### **4.7 Разработка классификатора конструктивных мер по борьбе с местными размывами за водорегулирующими сооружениями**

По результатам анализов исследованных конструктивных мероприятий следует, что нет таких универсальных энергогасящих устройств, которые могли бы защитить сооружение любой конструкции от разрушения из-за размыва при всех возможных видах сопряжения.

Если по своей конструкции устройство, защищающее сооружение от размыва, не может дать хороший эффект, то оно не соответствует специфическим особенностям работы сооружения, которые в свою очередь



зависят от конструкции и типа сооружения. Особенно важно это учитывать при проектировании сооружений, т.е. при назначении энергогасящего устройства для конкретного сооружения.

Ограничить область применения каждого типа гасителя невозможно, так как одни и те же гасители могут оказывать различное воздействие на поток. К примеру, водобойная стенка обладает способностью оказывать на поток и реактивное и распределительное (расширяющее в плане) воздействие, а при исполнении ее с прорезами значительно возрастает её способность к диссипации энергии потока. Но, при этом каждый гаситель обладает определенной способностью оказывать воздействие на поток в большей мере по сравнению с другими. Работа направляющих стенок сопровождается преимущественно распределительным воздействием на поток, а гасители шашечного типа оказывают на него главным образом диссипативное воздействие.

Следовательно, выбор конструкции гасителя нужно производить по сравнительной оценке его способности оказывать на поток то или иное воздействие. На подобии такого предварительного выбора гасителей легче произвести, как нам представляется, по приближенной классификации энергогасящих устройств в нижнем бьефе сооружения. К тому же, систематизация рекомендаций исследователей позволила бы более наглядно представить возможности каждого типа гасителей, что облегчило бы дальнейшее их исследование.

Существующие конструктивные меры защиты сооружений можно разделить на пассивные и активные [98,с.58-64;105,с.552-556;132,с.21-25.].

Пассивные меры включают в себя такие, перед которыми не ставится цель гашения избытка энергии и принудительного расширения потока в плане. Из таких конструктивных мер можно выделить устройства, предотвращающие размывы (устройство крепления нижнего бьефа большой длины) и допускающие местные размывы (устройство экрана, в конце крепления носков



трамплинов, гибкого крепления покрывающего верховой откос ворса (размыва, водобойных полов).

К активным мерам относят такие, перед которыми ставится задача гашения избытка кинетической энергии потока и расширения его в плане на коротком участке крепления. Из активных мер можно выделить устройства разработанные для условий плоской задачи сопряжения и устройства разработанные для пространственного сопряжения бьефов.

Сжатие потока сооружением происходит только по глубине в условиях плоской задачи, и, следовательно, наблюдается сопряжение бьефов гидравлическим прыжком. В таком случае, гасители должны обеспечить: 1) гашение избытка кинетической энергии потока; 2) перераспределение скоростей по глубине потока (в вертикальной плоскости).

Можно использовать гидравлический прыжок для гашения энергии потока, поэтому часто в условиях плоской задачи сопряжение гасителя происходит средствами управления сопряженными глубинами прыжка, предотвращающими отгон его к концу крепления. Подобными гасителями являются водобойная стенка и водобойный колодец, которые оказывают на поток реактивное воздействие, диссипация же энергии происходит в прыжке. Чтобы улучшить условия диссипации энергии применяют расщепляющие устройства (прорезные стенки, шашки, пирсы и пр.).

Уменьшение скоростей у дна русла, т.е. перераспределение скоростей по глубине потока достигается усилением шероховатости поверхности при помощи ребер, пирсов и других элементов.

Применяемые в пространственных условиях гасители должны обеспечивать: 1) равномерное распределение удельных расходов по ширине русла, 2) гашение избытка кинетической энергии потока, 3) перераспределение удельных расходов по глубине.

Следствие пространственности потока происходит из-за неравномерности распределения расходов по ширине русла, что обуславливает сжатие его сооружением в плане. Следовательно, перераспределение удельных расходов



по ширине достигается расширением потока в плане. Ниже приведены методы позволяющие осуществить расширение потока в плане:

1) Использованием направляющих стенок-растекателей (растекали М.С.Вызго, М.Л.Черенко).

2) Сжатием потока по глубине по схеме истечения через водослив (применение водобойной стенки).

3) Сжатием потока по глубине по схеме истечения из-под щита или расщепления на струи в вертикальной плоскости (применение гасителей А.М.Сенкова, Ф.И. Пикалова и В.А.Храпковского).

4) Смешением потоков в объеме и созданием восходящих струй (применение водобойных колодцев и гасителей коробчатого типа, т.е. гасителей В. Я. Поповой, Н.А.Канавина, Д.А.Машковича и др.

5) Применением комбинированных гасителей системы И.П. Розанова Н.И.Суровой, Н.А.Вознесенского, А.Т.Кавешникова, Г.А.Лилицкого и др.

В конструкции гасителей для большей диссипации энергии вводят диссипирующие элементы: отверстия к прорези в стенках, распыляющие насадки системы П.И.Денисова, шашечные гасители и пр.

Также как и в случае плоской задачи сопряжения бьефа, перераспределение скоростей по глубине достигается усилением шероховатости поверхности крепления при помощи ребер, пирсов и др. элементов искусственной шероховатости.

Приблизительно составленная классификация конструктивных мер по защите сооружений от местных размывов более наглядно представлена в Приложении 1.

### **Заключения по четвертой главе**

1) Сплошная водобойная стенка обладает наибольшей способностью к плановому расширению спокойного потока. Распределительная способность



гасителей зависит в отдельных случаях не только от видов и размеров гасителей, но и от величины критерия Фруда.

2) Спокойный поток при взаимодействии с водобойной стенкой расширяется на трех участках: перед стенкой в колодце, при истечении через стенку и в области пространственного прыжка. Если имеет место донное сопряжение потоков за гасителем, характерные особенности планового расширения потока сохраняются, при увеличении глубины потока.

3) При различных значениях глубины в отводящем русле, за многопролетными шлюзами – регуляторами высоту водобойной стенки для ликвидации опасных сбойных течений можно выбирать исходя из высоты гасителя и глубины в нижнем бьефе.

4) Значительная распределительная способность водобойных стенок, образование за ними сжатой глубины и плановое расширение потока может быть успешно использовано для устранения сбойных течений за низконапорными шлюзами – регуляторами с переездом.

5) С целью улучшения условий растекания потока в нижнем бьефе многопролетных регулирующих сооружений с переездом, наряду с ориентацией гасителей под углом к оси русла, можно применять конструкции, в которых используется эжекционная способность струй.

В конструкциях за трех и четырехпролетными сооружениями можно применять гасители в виде трех порогов, средний из которых выдвинут в сторону нижнего бьефа, показанные на рис. 4.24.

6) С целью улучшения работы гасителей за ними необходимо устраивать искусственную шероховатость в виде ребер высотой  $h_p = (0,1 \div 0,2) \cdot h_{кр}$ , отстоящих друг от друга на расстоянии  $S = (0,7 \div 1,0)h_{кр}$ , или ребристых плит с указанной высотой ребер.

7) За однопролетными сооружениями можно успешно применять гасители в виде прямолинейной стенки или стенки с изломом в сторону нижнего бьефа, а за двухпролетными сооружениями гасители показанные на рис. 4.23.



## ГЛАВА 5

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ РАЗМЫВА ГРУНТА И ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ

### 5.1 Расчет технико-экономических показателей

Согласно инструкции по расчету технико-экономических показателей гидротехнических сооружений в системе водного хозяйства [194, 195] производилось технико-экономическое обоснование эффективности мероприятий по предотвращению размыва грунта и повышению способности по водорегулированию.

Технико-экономическая эффективность предлагаемых мероприятий по предотвращению размыва грунта на открытых водорегулирующих сооружениях достигается за счет снижения затрат на восстановления нижнего бьефа сооружения после размыва грунта и разрушения укрепляющих арматур русла канала.

По базовому и новому вариантам исходные данные к расчету приведены в табл. 5.1.

Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых мероприятий определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_2 = (Z_1 - Z_2) \cdot A_2 \quad (5.1)$$

где  $Z_1, Z_2$  – приведенные затраты на восстановления нижнего бьефа водорегулирующего сооружения и без размыва грунта, тенге;

$A_2$  – годовой объем проводимых работ.



Таблица 5.1 – Показатели сравниваемых вариантов

Показатели	Ед. изм.	Кол-во единиц	Обоснование Показателей
Годовая наработка времени эксплуатации сооружения	Час	6600 6820	С учетом простоев $T_r = 275 \text{ дн} \times 24 \text{ ч}$ $T_r = 285 \text{ дн} \times 24 \text{ ч}$
Пропускная способность водорегулирующего сооружения	млн.м <sup>3</sup> /год	142,35 157,68	Из расчета круглосуточной работы сооружения $W_{г.пр} = T_r \times П_ч$
Балансовая стоимость сооружения	Млн. тенге	11,464	(Бс) По альбому СМ-4-88 и по данным Строительства
Норма амортизационных отчислений на ремонт	%	19...21 16...17	Из справочных нормативов
Стоимость э/энергии	Тенге	12,5	По прейскуранту

Приведенные затраты в целом определяются по следующей формуле:

$$Z = C_{уд} + E_n K_{уд} \quad (5.2)$$

где  $C_{уд}$  – себестоимость проводимых работ, тенге/м<sup>3</sup> ;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности,  $E_n = 0,15$  ;

$K_{уд}$  – удельные капитальные вложения, тенге/м<sup>3</sup> .

Годовые эксплуатационные затраты базового варианта расчета определяем по формуле:

$$C_{эксп} = C_{то} + C_{кр} + C_{тр} + C_{з/плл} + C_{эл} \quad (5.3)$$



где  $C_{то}$  – затраты на техобслуживания. Годовая стоимость техобслуживания подсчитана по смете эксплуатационной организации, указанной в табл. 5.2;

$C_{тр}$ - затраты на текущий ремонт. По справочным нормативам норма амортизационных отчислений на ремонт равняется 19...21% от балансовой стоимости ( $C_{тр} = 0,21 \times 11,464 = 2,407$  млн. тенге);

$C_{кр}$ - затраты на капитальный ремонт, тенге.

Таблица 5.2 – Смета на техническое обслуживание сооружения

Обоснование	Наименование работ	Кол-во	Стоимость единиц	Сумма, тенге
107-14	Обследование участка, ч/ч	1,56	225,1	351,15
11-3 ССЦ	Подсыпка воронок размыва, м <sup>3</sup>	3,5	2700,0	9450,0
38-4-46	Профилактический осмотр элементов сооружения, шт.	2	368,7	737,4
	Оформление технической документации, шт.	0,5	324	162
102-55	Частичный ремонт			
	Подготовка и переезд	0,5	673,6	336,8
99-38	бригады к месту работы, час	2	169,2	338,4
	Стоимость эксплуатации автомашины	10,2	115,2	1175,0
	ВСЕГО:			12550,75

Затраты на капитальный ремонт по данным эксплуатационных организаций в среднем составляют 2,900-3,155 млн. тенге /181/. Принимаем  $C_{кр} = 3155699,3$  тенге.



$C_{з/пл}$  = затраты на заработную плату обслуживающего персонала ;

$$C_{з/пл} = t_{сут} \cdot K_t \cdot T_{раб};$$

где:  $t_{сут}$  - продолжительность работы за смену, ч.;

$K_t$  – часовая ставка рабочего, исчисляемое по 4<sup>-му</sup> разряду, тенге/ч.;

$$K_t = 56,25 \text{ тенге/ч.}$$

На основании численности обслуживающего персонала и среднемесячной зарплаты определяется годовой фонд заработной платы.

Единая бригада, определяемая «Нормативом численности рабочих ...» [214,с.280] должна обслуживать водорегулирующее сооружение и разводящую сеть. В населенных пунктах долевое участие эксплуатационников определяется пропорционально среднесуточным объемам воды. Расчетным путем определяется глубина размыва или устанавливается по данным натурных наблюдений.

$T_{раб}$  – продолжительность за год работы рабочих, обслуживающих установки, т.е. общее количество рабочих дней в году на обслуживание установки,  $T_{раб} = 275$  дней ;

$$C_{з/пл} = 8 \times 56,25 \times 275 = 123750,0 \text{ тенге ;}$$

$C_{эл}$  – затраты на электроэнергию. Потребность на электроэнергию при восстановлении 35 квт за час,  $N_{эл} = 35$  квт.

$$C_{эл} = T_{г} \times N_{эл} \times Ц_{эл} = 66 \times 35 \times 12,5 = 28875,0 \text{ тенге}$$

где:  $T_{г}$  – наработка времени,  $T_{г} = 66$  ч.;

$Ц_{эл}$  – стоимость электроэнергии,  $Ц_{эл} = 12,5$  тенге за 1 квт ;

Годовые эксплуатационные затраты по второму варианту расчета:

$$C_{экс}^H = C_{то} + C_{тр} + C_{з/пл} + C_{эл} , \quad (5.4)$$

где  $C_{то}$  – затраты на техобслуживания, по предлагаемому варианту определяется аналогично выше изложенной сметы-калькуляции.



Тогда,  $C_{то} = 12550,75$  тенге;

$C_{тр}$  – затраты на текущий ремонт. По справочным нормативам норма амортизационных отчислений на ремонт составляет 16...17% от балансовой стоимости. Следовательно:

$$C_{тр} = 1147000 \text{ тенге ;}$$

$$C_{з/пл} \text{ – затраты на заработную плату., } C_{з/пл} = 123750 \text{ тенге ;}$$

$C_{эл}$  – затраты на электроэнергию;

$$C_{эл} = T_{г} \times N_{эл} \times Ц_{эл} = 240 \times 35 \times 12,5 = 105000,0 \text{ тенге ;}$$

где  $T_{г}$  – наработка времени ,  $T_{г} = 240$ ч.;

Следовательно:  $C_{эксп}^б = 12550,7 + 3155699,3 + 123750 + 105000 = 3397000$  тенге.

Тогда, экономия от эксплуатационных затрат составляет:

$$\mathcal{E}_{эксп} = C_{эксп}^б - C_{тр} = 3\,397\,000 - 1\,147\,000 = 2\,250\,000 \text{ тенге.}$$

### **Заключения по пятой главе**

1) Экономия этих затрат, приведенное на одно сооружение, составляет 2,25 млн.тенге.



## ВЫВОДЫ

1. Сбойное течение спокойного потока при степени сжатия сооружением в плане  $\eta = b_c / b_p \leq 0,5$  и глубине в нижнем бьефе  $h_{нб} = (1,0 \div 1,3)h_{кр}$  приводит к повышенной опасности размыва грунта и крепления нижнего бьефа за водорегулирующими сооружениями.

2. Сбойное течение бурного потока, обладающего высокой кинетичностью на большом удалении от выходного сечения сооружения, наблюдается при значениях угла сбоя  $\alpha = 7 + 10^0$ . Сопряжение потока на участке все больше искривляется в плане с увеличением глубины воды в нижнем бьефе. Поток находится в спокойном состоянии и неравномерность распределения скоростей по ширине русла слабо выражена при  $\alpha = 25 + 27^0$ .

3. По формуле  $h_{нб} = (1,2 \div 2,0) h_{кр}$  можно определить длину участка сопряжения сбойным течением при степени симметричного сжатия потока сооружением в плане  $v_c / v_p = 0,4 \div 0,8$  и глубине в нижнем бьефе. При сбойном течении длина участка сопряжения бьефов при  $\eta \leq 0,5$  имеет значительную величину  $l_b > 30h_{кр}$ .

4. Исходя из условия образования донного сопряжения за стенкой при сопряжении бьефов участком со сбойным течением спокойного потока (беспрыжковом сопряжении) высоту водобойной стенки можно определить по формуле  $h_r = (0,65 \div 0,70) h_{кр}$ . Длину всего крепления нижнего бьефа с гасителем в виде сплошной водобойной стенки следует принимать по зависимости  $l_{кр} \geq 3,0h_{кр}$ .

5. Целесообразно усиление шероховатости поверхности крепления нижнего бьефа за всеми гасителями с помощью ребер высотой  $h_p = (0,1 \div 0,2)h_{кр}$ . Для улучшения диссипации энергии потока пороги и стенки исполнять прорезные с шириной прорези меньше 30% от ширины выступов.



6. Предотвратить местные размывы позволяют гасители энергии потока, которые обеспечивают бессбойное течение в нижнем бьефе в условиях наибольшей активности сбойного течения спокойного потока (при  $\eta=2,0$  и  $h_{нб} = 1,3h_{кр}$ ) при пропуске максимального удельного расхода.

7. Наилучшее расширение потока за четырехпролетным сооружением обеспечивает устройство гасителя, показанного на рис. 4.24, в котором имеется дополнительный центральный порог.

8. Техничко-экономическая эффективность повышения надежности работы водорегулирующих сооружений достигается за счет экономии затрат на восстановления разрушенных креплении и размывтой поверхности, приведенного на одно сооружение, составляет 2,25 млн. тенге.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Концепция развития водного сектора экономики и водохозяйственной политики Республики Казахстан до 2010 года. – Кокшетау, 2002.
- 2 **Жулаев, Р.Ж.** Водозаборные сооружения с донной решетчатой галереей и методика их гидравлического расчета [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Р.Ж. Жулаев. – Алма-Ата, 1961. – 59 с.
- 3 **Турсунов, А.А.** Проектирование и гидравлический расчет крупных земляных каналов [Текст] / А.А.Турсунов // Журнал «Гидротехника и мелиорация». – 1981. – № 7. – С.23-28.
- 4 Гидротехнические сооружения / [Н.П.Розанов, Я.В.Бочкарев и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.
- 5 **Замарин, Е.А.** Гидротехнические сооружения [Текст] / Е.А.Замарин, В.В.Фандеев – М.: Гос издатсельхозлитературы, 1990. – 412 с.
- 6 **Мырзахметов, М.М.** Сооружения для регулирования расхода и уровня воды в каналах [Текст] / Мырзахметов М.М., ШинибаевА.Д. // Вестник КазГАСА. – Алматы, 2001. – №1. –С.95-99.
- 7 **Вагапов, Р.И.** Оценка влияния водозабора в верховье на неравномерность стока в нижнем течении реки [Текст] / Р.И. Вагапов // Труды Мещерского филиала ГНУ ВНИИГиМ. – Рязань, 2008. – С.95-99.
- 8 **Абдрасилов, С.А.** Русловые процессы на дельтовых участках рек при гидротехническом строительстве (на примере дельты реки Или) [Текст]: автореф. дис. ... докт.техн.наук / С.А. Абдрасилов. – М., 1993. – 59 с.
- 9 **Карлиханов, Т.К.** Биологическая защита откосов, крупных земляных каналов проблеме ГКНТ [Текст]: отчет (заключительный) / Т.К. Карлиханов, С.О. Сарсекеев // НИС ДГМСИ. – Джамбул, 1985. – № гос. рег. 012651. –С.85.
- 10 **Тажобаев, Л.Е.** Основы водоснабжения и обводнения сельскохозяйственных районов Казахстана [Текст] / Л.Е. Тажобаев. – Алма-Ата: Изд. «Кайнар», 1969. – 304 с.



11 **Мырзахметов, М.М.** Водные ресурсы Казахстана и комплексный подход к их охране и рациональному использованию [Текст] / М.М. Мырзахметов // Материалы Республиканского совещания – Алматы, 1996. – С.283-287.

12 **Касымбеков, Ж.К.** Гидроциклонно-эжекторные технологии подъема воды и очистки обводнительных сооружений [Текст] / Ж.К. Касымбеков. – Тараз: ИЦ «Аква», 1999. – 212 с.

13 **Касымбеков, Ж.К.** Сельскохозяйственное водоснабжение в Казахстане и пути его улучшения [Текст]: в кн. «Водные ресурсы: потенциал, использование, технология и экология» / Ж.К. Касымбеков. – Алматы: INTELLSERVICE, 2001. – С.107-108.

14 **Кемелев, А.А.** Групповые системы сельскохозяйственного водоснабжения [Текст] / А.А. Кемелев. – М.: Колос, 1971. -122с.

15 **Абдурасулов, И.** Водообеспечение и очистка сточных вод Киргизской Республики [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.04 / И. Абдурасулов. – М., 1994. – 289 с.

16 **Соатов, У.А.** Трубопроводное транспортирование обезвоженных осадков сточных вод [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.04 / У.А. Соатов. – СПб., 1994. – 59 с.

17 Состав и методика экспериментальных исследований входной и концевой части поверхностного водосброса / [Н.П. Лавров, А.С. Костина, А.П.Ерофеев и др.] // Вестник КРСУ. – 2005. – Том 5, № 3. - С. 47-53.

18 **Лавров, Н.П.** Гидротехнические сооружения для малых ГЭС [Текст]: учеб. пособие для вузов / Н.П. Лавров. – Бишкек: Изд. КРСУ, 2001. - 150 с.

19 **Лавров, Н.П.** Курс лекций по проектированию гидроэнергетических установок [Текст]: учебник / Н.П. Лавров. - Бишкек: Изд. КРСУ 2004. - 98 с.

20 **Родионов, В.Б.** Гидравлические исследования берегового водосброса Саяно-Шушенской ГЭС [Текст] / В.Б. Родионов, В.П. Куприянов, В.П.Тверитнев // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. –Москва, 2006. -С. 55-58.



21 **Карлиханов, Т.К.** Выбор критериев по оценке природных факторов для обоснования технологий строительства дренажа [Текст] / Т.К.Карлиханов, Б. Шабдарбаев // Вестник КГУ им. Коркыт-Ата. –Кызылорда, 1999. –С. 71-74.

22 **Карлиханов, Т.К.** Предлагаемые принципы водodelения в бассейне Аральского моря и пути их реализации [Текст] / Т.К. Карлиханов, А.А.Турсунов, К.Т. Калибеков // Наука и образование южного Казахстана. –Чимкент, 1999. – №6(13). -С. 147-153.

23 **Карлиханов, Т.К.** Повышение плодородия орошаемых земель Казахской части Приаралья [Текст] / Т.К. Карлиханов, Д. Баялимов, А.Турсунов //Проблемы бассейна Аральского моря. –Ташкент, 1998.-С.148-152.

24 **Турсунов, А.А.** О типизации сооружений нижнего бьефа косогорных водопропускных труб [Текст] / А.А. Турсунов // Труды I-й Всесоюзной научно-технической конференции по гидравлике дорожных водопропускных сооружений. – М.: «Высшая школа», 1979. - С. 19-24.

25 **Андреев, А.Е.** Иванова Т.В. Изменение конфигурации dna как способ повышения пропускной способности низконапорных водопропускных сооружений [Текст] / А.Е. Андреев, Т.В. Иванова // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. –Москва, 2002. -С. 47-53.

26 **Гурьев, А.П.** Научное обоснование проектных решений шахтного водосброса гидроузла Джедра [Текст] / А.П. Гурьев, Э.С. Беглярова, С.А.Соколова // Московский государственный университет природообустройства. – Москва, 2003. - С. 67-71.

27 **Румянцев, И.С.** Разработка и гидравлическое обоснование конструкции водосброса с отбросом струи в русло реки и гидравлические исследования деформации в нижнем бьефе Богучанской ГЭС [Текст] / И.С. Румянцев // Московский государственный университет природообустройства. –М.: ВНИИЦ, 2007. - С. 67-70.

28 **Мирицхулава, Ц.Е.** Размыв русел и методика оценки их устойчивости [Текст] / Ц.Е. Мирицхулава. – М.: Изд-во «Колос», 1971. - 150 с.



29 **Арифжанов, А.М.** Натурные наблюдения состояния берегозщитных дамб ниже Туямуюнского гидроузла [Текст] / А.М. Арифжанов, Ш. Толипов, К.Раджапов // Труды САНИИРИ. –Ташкент, 2000. – С.50-54.

30 **Вызго, М.С.** Исследования местных размывов в спокойных потоках [Текст] / М.С. Вызго // Сб. «Режим и освоения водных объектов». –М.: АН СССР, 1972. –С.15-19.

31 **Емцев, Б.Т.** Двухмерные бурные потоки [Текст] / Б.Т. Емцев. –М.: Энергия, 1967. –140с.

32 **Вызго, М.С.** Эксплуатационные мероприятия, прогнозы и способы уменьшения местных размывов за гидротехническими сооружениями [Текст] / М.С. Вызго. –Ташкент: Изд-во «Наука», 1976. – С.150-154.

33 **Ляхтер, В.М.** Турбулентность в гидросооружениях [Текст] / В.М.Ляхтер. –М.: Энергия, 1988. –240с.

34 **Розанов, П.П.** Животовский Л.С., Пашков Н.Н., Влияние макротурбулентности в нижних бьефах трубчатых водосбросных сооружений на устройства нижнего бьефа и местные размывы [Текст] / П.П. Розанов, Л.С.Животовский, Н.Н. Пашков // Сб. трудов по гидротехнике и гидростроительству. –М.:Изд-во «Наука», 1970. –С.15-19.

35 **Куприянов, О.И.** Пульсации скорости в спокойном сбойном потоке [Текст] / О.И. Куприянов // Труды ВОДГЕО. –М., 1971. – Вып.38. –С.120-123.

36 **Мелешенко, Н.Т.** Плановая задача гидравлики открытых потоков [Текст] / Н.Т. Мелешенко // «Известия ВНИИГ». – 1968. –Т. 36. –С.60-63.

37 **Михалев, М.А.** Гидравлический расчет потоков с водоворотом [Текст] / М.А. Михалев. –М.: Изд-во «Энергия», 1971. –120с.

38 **Коновалов, И.М.** Свободные турбулентные сруи жидкости [Текст] / И.М. Коновалов // Труды ЛИИВТ. – 1967. –Т. 14. –С.180-184.

39 **Соловьева, А.Г.** Экспериментальное исследование планового расширения потока при наличии водоворотных зон [Текст] / А.Г. Соловьева // Известия ВНИИГ. – 1961. –Т. 46. –С.210-213.



40 **Быков, В.М.** Плановое расширение потоков в нижних бьефах гидротехнических сооружений [Текст] / В.М. Быков // Труды МЭИ. – М., 1967. – Вып. XXIX. –С.19-21.

41 **Кавешников, А.Т.** Проведение гидравлических исследований и разработка методических материалов для повышения надежности работы нижних бьефов мелиоративных гидросооружений [Текст] / А.Т. Кавешников, В.П. Букреев//Московский государственный университет природообустройства, ВНТИЦ. – М., 2003. -137 с.

42. **Плохотников, И.В.** Исследование гидравлических характеристик потока в контрвихревом гасителе с учетом моделирования атмосферного давления [Текст] / И.В. Плохотников // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. –М., 2001. –С.200-203.

43 **Швайнштейн, А.М.** Гидравлическое обоснование конструкции безнапорного отводящего участка водосброса Усть-Среднеканского гидроузла [Текст] / А.М. Швайнштейн, Г.А. Судольский, А.Б. Ферингер // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. –М., 2002. –С.110-113.

44 **Штеренлихт, Д.В.** Гидравлическое исследование сопрягающего участка откосного сбросного лотка и рекомендации по его проектированию [Текст] / Д.В.Штеренлихт//Московский государственный университет природообустройства, ВНТИЦ. – М., 2004. –С.229-231.

45 **Бабаджанова, Ш.А.** Местный размыв за сооружениями на каналах (с горизонтальным креплением) [Текст]: автореф. дис. ... к.т.н./ Ш.А.Бабаджанова. – Ташкент, 1972. –32с.

46. **Большаков, В.А.** Методика расчета отверстий малых мостов и дорожных труб [Текст] / В.А. Большаков // Труды I Всесоюзной научно-технической конференции по гидравлике дорожных водопропускных сооружений. – М.:Изд-во «Высшая школа», 1970. –С.220-223.

47 **Черенько, М.Л.** Исследование аварийных сбросов водохозяйственных систем (на примере аварийного сброса Ингулецкой оросительно-отводительной системы) [Текст]: автореф. дис. ... к.т.н. / М.Л. Черенько. – М., 1970. –32с.



48 **Храпковский, В.А.** Опыт применения сопрягающих сооружений в оросительных системах Северного Кавказа [Текст]: автореф. дис. ... к.т.н. / В.А.Храпковский. – Новочеркасск, 1971. –32с.

49 **Машкович, Л.А.** Водовыпуск с криволинейным затвором [Текст] / Л.А.Машкович // Гидротехника и мелиорация. –1997. – №5. –С.110-113.

50 **Канавин, П.А.** Сопряжение бьефов трубчатых напорных сооружений, оборудованных гасителем-растекателем новой конструкции [Текст] / П.А.Канавин, М.Б. Селяметов // Труды САНИИРИ. –Ташкент, 1971. –Вып.128.- – С.59-62.

51 **Вознесенский, Н.А.** Донные струенаправляющие устройства на оросительных каналах [Текст] / Н.А. Вознесенский. –М.:Изд-во «Колос», 1977. – С.90-94.

52 **Вознесенский, Н.А.** Результаты лабораторных исследований нижнего бьефа головного сооружения первой очереди Каракумского канала [Текст] / Н.А. Вознесенский, С. Эзимов // Труды ВНИИГ. – М., 1975. – Т.Х. – С.200-204.

53 **Гулько, Ф.Г.** Методика гидравлических расчетов нижних бьефов многопролетных плотин при маневрировании затворами [Текст] / Ф.Г. Гулько // –М.-Л.: Госэнергоиздат, 1987. – 132с.

54. **Науменко, И.И.** Выбор типов гасителей энергии в нижних бьефах гидротехнических сооружений [Текст] / И.И. Науменко // Сб. гидравлика и гидротехника. – Киев, 1972. –№14. – С.230-284.

55 **Лилицкий, Г.А.** Применение гасителя энергии при внезапном расширении русла в нижнем бьефе малого искусственного сооружения [Текст] / Г.А. Лилицкий // Гидравлика: сборник. – Киев: Изд-во Техника, 1975. –Вып.1. – С.180-184.

56 **Сулейменов, К.А.** Исследование влияния шероховатости и длины горизонтального крепления на глубину местного размыва несвязного грунта за гидротехническими сооружениями [Текст]: автореф. дис. ... к.т.н. / К.А.Сулейменов. –Алма-Ата, 1964. – 32с.



57 **Грицан, В.В.** Гашение энергии за низконапорными трёхпролётными сооружениями [Текст] / В.В. Грицан // Московский государственный университет природообустройства». – М., 2008. – С.301-304.

58 **Патент Российской Федерации №2016164.** Гаситель энергии водного потока / Н.В. Лебедев, В.Ф. Проданов, М.Г. Шукаловская и др. // ВНИИ гидротехники и мелиорации им.А.Н.Костякова. – М., 1994. – 4с.

59 **Базилевич, В.А.** Опыт эксплуатации типовых трубчатых сооружений на оросительных системах [Текст] / В.А. Базилевич, Э.Д. Алиев, А.Л.Мариупольский // Гидротехника и мелиорация. – 1973. – № 6; Межведомственный Республиканский научно-технический: сб. «Гидравлика. – Киев, 1976. – Вып. 2. – С.140-144.

60 **Бекмухамедов, М.Т.** Натурные исследования гасителя с криволинейным порогом [Текст] / М.Т. Бекмухамедов // Труды научно-исследовательского института. – Алма-Ата, 1971. – Вып.6, №2. – С.210-314.

61 **Березинский, А.Р.** Применение сборного железобетона в гидротехнических сооружениях [Текст] / А.Р. Березинский, В.Ф. Соколова, В.В.Алипов. – М.: Госстройиздат, 1989. – 220с.

62 **Бутаев, Д.А.** Местные сопротивления в трубопроводах [Текст] / Д.А.Бутаев, Л.Г. Подвидз // В кн.: «Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач». – М.: «Машиностроение», 1974. – 132с.

63 **Васильев, О.Ф.** Гидравлика [Текст] / О.Ф. Васильев, В.М. Лятхер // Механика в СССР за 50 лет: сборник. – М.: Изд-во «Наука», 1970. –Т. 2. – С.150-154.

64 **Вызго, М.С.** Влияние шероховатости дна на длину поверхности водоворота донного гидравлического прыжка [Текст] / М.С. Вызго // Доклады АН УзССР. – 1982. –Вып. 12. – С.140-144.

65 **Вызго, М.С.** Длина крепления нижнего бьефа, размыв при отсутствии гасителей энергии и меры защиты [Текст] / М.С. Вызго // Труды САНИИРИ. – 1978. –Вып. 73. – С.180-183.



- 66 **Волков, И.М.** Гидротехнические сооружения [Текст] / И.М. Волков, П.Ф. Кононенко, И.К. Федечкин. – М.: Изд-во «Колос», 1986. – 320с.
- 67 **Гончаров, В.Н.** Динамика русловых потоков [Текст] / В.Н. Гончаров. – М.: Гидрометеиздат, 1972. – 150с.
- 68 **Григорян, А.Т.** Механика от античности до наших дней [Текст] / А.Т. Григорян. – М.: Наука, 1974. – 180с.
- 69 **Гусак, В.Б.** Опыт микрокиносъемки пограничного слоя потока с размываемым дном [Текст] / В.Б. Гусак // Вопросы гидротехники: сборник. – Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1981. – Вып. 2. – С.180-184.
- 70 **Даденков, Ю.Н.** Гидравлические расчеты открытых русел [Текст] / Ю.Н. Даденков, П.Е. Зубрий. – Киев: Госстройиздат УССР, 1971. – 200с.
- 71 **Дмитриев, В.С.** Некоторые общесоюзные проблемы мелиорации земель [Текст] / В.С. Дмитриев // Гидротехника и гидромелиорация. – 1972. – №12. – С.201-205.
- 72 **Кавешников, Н.Т.** Исследование местного размыва в нижнем бьефе одноочковых трубчатых водосбросов [Текст] / Н.Т. Кавешников // Труды МИИИ. – Новочеркасск, 1972. – Т.14. – С.310-313.
- 73 **Кавешников, Н.Т.** Исследование нижнего бьефа двухочковых трубчатых сооружений [Текст] / Н.Т. Кавешников // Сб. Мелиорация и водное хозяйство. – Киев: Изд-во «Урожай», 1972. – №23. – С.218-223.
- 74 **Кадыров, А.А.** Погашение энергии потока в вальце гидравлического прыжка и на послепрыжковом участке [Текст] / А.А. Кадыров // Изв. АН УзССР. – 1968. – №1. – С.155-159.
- 75 **Калантыренко, И.И.** Сопряжение бьефов и расчет крепления за водосливными плотинами с шашечными гасителями [Текст]: автореф. дис. ... к.т.н. / И.И. Калантыренко. – Киев, 1974. – 32с.
- 76 **Кебреле, С.И.** Лабораторные исследования Уральского пола катастрофического водосброса Южносурханского водохранилища [Текст] / С.И. Кебреле, Б.И. Белесков // Труды САНИИРИ. – Ташкент, 1970. – Вып. 120. – С.190-193.



77 **Киселев, П.Г.** Справочник по гидравлическим расчетам [Текст] / П.Г.Киселев. – М.-Л.: Гознергоиздат, 1971. – 320с.

78 **Киенчук, А.Ф.** Расчет форм движения потока в нижнем бьефе шлюзов – регуляторов на гладком водобое [Текст] / А.Ф. Киенчук // Мелиорация и водное хозяйство. – Киев: Изд-во «Уражай», 1979. – Вып. 10. – С.130-133.

79 **Константинов, Н.М.** Условия существования разливных форм движения потока за водопропускными трубами и малыми мостами [Текст] / Н.М. Константинов // Труды 1-ой Всесоюзной конференции по гидравлике дорожных водопропускных сооружений. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1979. – С.140-144.

80 **Константинов, Н.М.** Сопряженные глубины пространственного гидравлического прыжка при симметричном и асимметричном растекании бурного поток [Текст] / Н.М. Константинов // Гидравлика и гидротехника. – Киев, 1971. – № 13. – С.220-225.

81 **Корн, Г.** Справочник по математике [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: «Наука», 1973. – 220с.

82 **Корюткин, С.Н.** Регулирование русла рек в мелиоративных целях [Текст] / С.Н. Корюткин. – М.:Изд-во «Колос», 1972. – 200с.

83 **Кремез, С.А.** Опыт строительства и эксплуатации малых водохранилищ ЦЧО [Текст] / С.А. Кремез // Изд. Воронежского университета. – Воронеж, 1975. – С.200-203.

84 **Латышенков, А.М.** Вопросы гидравлики искусственно сжатых русел [Текст] / А.М. Латышенков // Госиздат по строительству и архитектуре. – М., 1980. – С.180-194.

85 **Лебедев, И.В.** Расширение потока в ограниченном пространстве [Текст] / И.В. Лебедев. – М.: Изд-воЭИ, 1963. – С.155-158.

86 **Лебедев, И.В.** Элементы в струйной автоматике [Текст] / И.В. Лебедев, С.Я. Трескунов, В.С. Яковенко. – М.: Машиностроение, 1973. – 200с.

87 **Ляйцеховский, Л.Г.** Механика жидкости и газа [Текст] / Л.Г.Ляйцеховский. – М.: Изд-во «Наука», 1970. – 420с.



88 **Ляпин, В.Е.** Гидравлический расчет гасителя энергии выполняемого в виде прорезной водобойной стенки и концевого крепления за ним [Текст] / В.Е.Ляпин. – М.: Изд. ВНИИГ. –1972. –Т. 71. – С.202-205.

89 **Овчаренко, И.Х.** Пространственное растекание потока в широком нижнем бьефе [Текст] / И.Х. Овчаренко, Ю.К. Шемякин // Труды НИМИ. – Новочеркасск, 1972. – Т. XIV, вып. 5. – С.201=204.

90 **Розанов, П.П.** Влияние макротурбулентности в нижних бьефах трубчатых водосбросных сооружений на устройства нижнего бьефа и местные размывы [Текст] / П.П. Розанов, Л.С. Животовский, Н.Н. Пашков // Сб. трудов по гидротехнике и гидростроительству. –М.:Изд-во «Наука», 1970. – С.260-263.

91 **Рядова, З.И.** Подпорное сооружение с растекателями [Текст] / З.И.Рядова, Т.И. Голубева // Труды САНИИРИ. – Ташкент, 1971. –Вып.126. – С.170-173.

92 **Тищенко, А.И.** К вопросу об определении глубины местного размыва за горизонтальным креплением гидротехнических сооружений на оросительных системах [Текст] / А.И. Тищенко, И.Х. Овчаренко // Труды НИМИ. – Новочеркасск, 1972. –Вып. 5, т. XIV. – С.180-184.

93 Отраслевая программа Республики Казахстан «Питьевые воды» на 2002-2010 годы. – Астана, 2002. –34 с.

94 **Турсунов, А.А.** Плановая задача об установившемся безнапорном движении воды [Текст]: учебник «Гидравлика» / А.А. Турсунов. – М.:Энергия, 1971. – 210с.

95 **Турсунов, А.А.** Руководство по проектированию и гидравлическим расчетам управляющих бурными потоками эффективных конструкций водопропускных сооружений высонапорных гидроузлов [Текст] / А.А.Турсунов. – М.: ВНИИГ, 1973. – С.215-118.

96 **Лелявский, С.** Введение в речную гидравлику [Текст] / С. Лелявский. – Л.:Гидрометеиздат, 1971. – 250с.

97 **Чугаев, Р.Р.** Гидравлика [Текст] / Р.Р. Чугаев. – М.:Госэнергоиздат, 1974. – 360с.



- 98 **Чугаев, Р.Р.** Гидравлические термины [Текст] / Р.Р. Чугаев. – М.: Изд. «Высшая школа», 1974. – 240с.
- 99 **Шангареев, С.** Инженерная защита гидротехнических сооружений [Текст] / С. Шангареев // Гражданская защита. – М., 2003. – № 5. – С. 25-267.
- 100 **Векслер, А.Б.** К вопросу о назначении вероятностей превышения расчетных расходов воды в зависимости от длительности временной эксплуатации гидротехнических сооружений и их класса [Текст] / А.Б. Векслер, Д.В. Стефанишин // Гидротехническое строительство. – 2004. – № 11. – С.8-12.
- 101 **Хорохов, А.В.** Гидравлические исследования для обоснования условий пропуска расходов через строительные глубинные водосбросы Бурейского гидроузла [Текст] / А.В. Хорохов, А.В. Васильев, Г.А. Судольский и др. // Гидротехническое строительство. – 2004. – № 1. С.20 - 29.
- 102 **Англани, Ф.Д.** Определение размеров водобойного колодца прямоугольного сечения в наиболее неблагоприятных гидравлических условиях при гидравлическом прыжке [Текст] / Ф.Д. Англани // Экспресс-информация: Гидроэнергетика, 1971. – Вып.32. – С.1 – 12.
- 103 **Коновалов, И.М.** Построение поля скорости на участке затопленного гидравлического прыжка [Текст] / И.М. Коновалов, В.В. Баланин, В.М.Селезнев // Гидротехническое строительство. – 1962. – № 7. – С.40 – 43.
- 104 **Ляйцеховский, Л.Г.** Механика жидкости и газов [Текст]: учебник для вузов / Л.Г. Ляйцеховский. – М.: Наука, 1987. - 840 с.
- 105 **Алышев, В.М.** Неустановившееся напорное движение многофазной жидкости. Гидравлические исследования каналов, трубопроводов и гидросооружений [Текст] / В.М. Алышев. – М., 1984. С. 64-80.
- 106 **Ахмедов, Т.Х.** Размыв скального русла [Текст] / Т.Х. Ахмедов. – Алма-Ата: Наука, 1982. – 108 с.
- 107 **Кошумбаев, М.Б.** Гидравлический прыжок между двумя стенками [Текст] / М.Б. Кошумбаев. – Деп. в ВИНТИ 28.07.86, № 5787 – В 86.



108 **Кошумбаев, М.Б.** Гашение избыточной энергии потока на шахтных водосбросах [Текст] / М.Б. Кошумбаев // Вестник с.-х. науки Казахстана. – Алматы, 2006. – № 11. – С. 61 – 62.

109 **Кавешников, Н.Г.** Исследование кавитации и кавитационной эрозии в колене шахтного водосброса Бартогайского гидроузла [Текст] / Н.Г.Кавешников, Н.П. Розанов, Н.Н. Розанова и др. // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике «Методы исследований и гидравлических расчетов водосбросных гидротехнических сооружений». – М.: ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева, 1985. – С. 167 - 170.

110 **Роди, В.** Модели турбулентности окружающей среды. Методы расчета турбулентных течений [Текст] / В. Роди. – М.: Мир, 1984. – С. 227 – 322.

111 **Кошумбаев, М.Б.** Вихревой гаситель энергии с горизонтальной закруткой потока [Текст] / М.Б. Кошумбаев // Вестник КазНТУ. – Алматы, 2006. – № 5 (55). – С. 87 – 90.

112 **Рабинович, С.Г.** Погрешности измерений [Текст] / С.Г. Рабинович. – Л.: Энергия, 1978. – 262 с.

113 **Кошумбаев, М.Б.** Трубулентный режим потока в водосбросах [Текст] / М.Б. Кошумбаев // Вестник КарГУ. – Караганда, 2000.– № 1 (17). – С. 158 – 161.

114 **Кошумбаев, М.Б.** Вихревые гасители энергии [Текст]/ М.Б.Кошумбаев // Новости науки Казахстана. – Алматы, 2006. – № 4 (91). – С. 155-158.

115 **Чугаев, Р.Р.** Гидравлика [Текст]: учебник для вузов / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.

116 **Кошумбаев, М.Б.** Парный вихревой гаситель энергии с горизонтальной закруткой потока [Текст] / М.Б. Кошумбаев // Новости науки Казахстана. – Алматы, 2007. – № 1 (92). – С. 137 – 139.

117 **Кошумбаев, М.Б.** Новые конструкции электростанций [Текст] / М.Б.Кошумбаев, Ж.К. Касымбеков // Материалы международного симпозиума «Проблемы высшей школы – сквозь призму новых идей». – Кокшетау, 2006. – С.38-41.



118 **Мырзахметов, М.М.** Сопряжение бьефов в условиях плоской зады [Текст] / М.М. Мырзахметов, А.Д. Шинибаев // Вестник Инженерной академии РК. – Алматы, 2001. – № 3. –С.89-92.

119 **Мырзахметов, М.М.** Причины образования сбойных течений [Текст] / М.М. Мырзахметов, А.Д. Шинибаев // Матер. Центрально-азиатской Международной научно-практической конференции.–Алматы,2002.–С.374-378.

120 **Мырзахметов, М.М.** Устойчивость частицы грунта под влиянием параметров потока [Текст] / М.М. Мырзахметов, А.Д. Шинибаев, Е.Т. Мамреев // Материалы Международной конференции. КазГАСА. – Алматы, 2003. – Часть 2. –С.155-157.

121 **Мырзахметов, М.М.** Гашение избытка кинетической энергии потока в гидравлическом прыжке [Текст] / М.М. Мырзахметов, А.Д. Шинибаев // Вестник КазНУ. – Алматы, 2003. –№ 3. – С.104-107.

122 **Мырзахметов, М.М.** Активные меры защиты гидротехнических сооружений от местных размывов [Текст] / М.М. Мырзахметов, А.Д. Шинибаев, Е.Т. Мамреев // Вестник КазАТК. – Алматы, 2003. – №6. – С.21-25.

123 **Калиев, С.М.** Работа многопролетного водораспределительного шлюза [Текст] / С.М. Калиев // Materialy VI Miedzynarodowej naukowj-praktycnej konferenecl «PERSPEKTYWIZE OPRACOWANIA SA NAUKA I TECHNIKAMI – 2010», Пшемысль (Польша), Nauka i studia, 2010. - С.131-135.

124 **Калиев, С.М.** Исследование влияния режимов работы многопролетных шлюзов-регуляторов на размеры воронки размыва [Текст] / С.М. Калиев // Спец. научно-прак. журнал «Энергетика и топливные ресурсы Казахстана», №6.- Алматы, 2011.- С.7-10.

125 **Мырзахметов, М.М.** Крепление нижнего бьефа [Текст] / М.М.Мырзахметов, А.Д. Шинибаев, С.М. Калиев // Научно-технический журнал «Водные ресурсы и водопользование». -Астана, 2004.– №6. –С.103-106.

126 **Шинибаев, А.Д.** Некоторые особенности образования сбойных течений [Текст] / А.Д. Шинибаев, С.М. Калиев // Вестник КазНТУ. –Алматы, 2004. – № 5. –С.95-101.



127 **Бокиев, Б.Р.** Исследование влияния различных параметров технологических процессов на качество очищенной воды [Текст] / Б.Р. Бокиев, О.О. Сафарова, С.М. Калиев и др. // Известия КГТУ им. И.Раззакова, №24.- Бишкек: изд-во «Текник», 2011.-С.303-307.

128 **Калиев, С.М.** Защита сооружений от местных размывов [Текст] / С.М.Калиев // Вестник КГУСТА №4(34).-Бишкек: КГУСТА, 2011.-С.78-81.

129 **Калиев, С.М.** Особенности образования сбойного течения [Текст] / С.М. Калиев // Вестник КГУСТА №4(34).-Бишкек: КГУСТА, 2011.-С.81-84.

130 **Шинибаев, А.Д.** Пути повышения надежности работы водораспределительных сооружений [Текст]/А.Д.Шинибаев, С.М.Калиев // Известия КГТУ им.И.Раззакова,№24.-Бишкек:изд-во «Текник»,2011.-С.300-303.

131 **Шинибаев, А.Д.** Сопряжение потоков сбойного течения в нижнем бьефе [Текст] / А.Д. Шинибаев, К.А. Исакова, С.М. Калиев // Матер. Международной научно-практической конференции «Архитектура и строительство в новом тысячелетии». – Алматы, 2008. –С.200-204.

132 **Чоу, В.Т.** Гидравлика открытых каналов [Текст] / В.Т. Чоу. – М.: Изд-во литературы по строительству , 1975.

133 **Плетнева, Е.В.** Связь гидравлических сопротивлений со статистическими характеристиками дна [Текст] / Е.В. Плетнева, А.П. Полад-Заде, Д.З. Штеренлихт // Гидротехника и мелиорация. – 1980. – № 5. – С. 25-28.

134 **Вагапов, Р.И.** Моделирование водного баланса Тенгиз-Коргалжынских озер [Текст] / Р.И. Вагапов // Эколого – гидрологические проблемы изучения и использования водных ресурсов. – Казань: Институт экологии природных систем АН Республики Татарстан, 2006. – С.60-64.

135 **Вагапов, Р.И.** Обеспечение безопасности Шардаринской платины // Сели и наводнения. Стратегия безопасного строительства и сокращения риска стихийных бедствий [Текст] / Р.И.Вагапов // Тезисы докладов Международного семинара. – Алматы, КазГАСА, 2006. – С.30-35.

136 **Вагапов, Р.И.** Оценка риска аварий при эксплуатации грунтовых платин [Текст] / Р.И. Вагапов // Вода: ресурсы, качество, мониторинг,



использование и охрана вод: матер. Международной научно-практической конференции. – Алматы, 2007. – С.105-108.

137 **Вагапов, Р.И.** Методика оценки и назначения коэффициентов «ущемления» по использованию водных ресурсов в речном бассейне [Текст] / Р.И. Вагапов // Вода: ресурсы, качество, мониторинг, использование и охрана вод: матер. Международной научно-практической конференции. – Алматы, 2007. – С.108-111.

138 **Койбаков, С.М.** К вопросу надежности работы каналов в условиях переноса ветром сорной растительности [Текст] / С.М. Койбаков // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – Казань, 2006. – С.77-80.

139 **Патент № 12441.** Гаситель энергии водного потока / С.М. Койбаков. – Астана, 2006. – 3с.

140 **Койбаков, С.М.** Новая конструкция селлавиноулавливающего сооружения [Текст] / С.М. Койбаков // Сборник научных трудов «Индустриально-инновационное развитие РК : оценка, приоритеты и направление». – Тараз: Тар.ГУ, 2006. – С.105-108.

141 **Койбаков, С.М.** Контурная защита гидротехнических сооружений от снежных заносов [Текст] / С.М. Койбаков // Сборник научных трудов «Модернизация науки и образования Казахстана в условиях реализации стратегии индустриально-инновационное развития». – Тараз, 2008. –Т. 1. – С.201-204.

142 **Койбаков, С.М.** Расчет нарастания толщины льда и таяния на каналах со слоем снежного покрова [Текст] / С.М. Койбаков // Материалы международной научно-практической конференции «4- Дулатовские чтения». – Тараз, 2009. – С.120-124.

143 **Ирмухамедов, Х.А.** Регулирование русла р.Амударьи ниже Туямеюнского гидроузла траверсными дамбами [Текст] / Х.А. Ирмухамедов, В.Е. Тузов, К.Ю. Раджапов // Труды САНИИРИ. – 1984. – С.32-38.



- 144 **Карапетян, М.Р.** Гидравлический расчет стеснения и перекрытия русла при выполнении работ по регулированию русла [Текст] / М.Р. Карапетян, А.М. Арифжанов // Узбекский журнал Проблемы механики. – 1997. – С.55-57.
- 145 **Штеренлихт, Д.В.** Гидравлика [Текст]: 2-е изд., перераб. и доп. / Д.В.Штеренлихт. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – С.205-209.
- 146 **Шарп, Дж.** Гидравлическое моделирование [Текст]: пер.с англ. / Дж.Шарп. – М.: Мир, 1984. – 200с.
- 147 Рабочий проект Курпсайской ГЭС / руководитель А.А. Хозанов. – Ташкент: СредазГидропроект, 1984. – Шифр 1148. – С.185-189.
- 148 **Атаманова, О.В.** Оптимизация параметров входного оголовка Орто-Токойского катастрофического водосброса [Текст] / О.В. Атаманова, А.С.Костина // Вестник КРСУ. – 2005. –Том 5, № 3. – С.135-130.
- 149 **Allen, J.** Scale models in hydraulic engineering. Longmans [Текст] / J.Allen // Green and Co. – London-New York-Toronto, 1997. – С.150-153.
- 150 **Smetana, J.** Hydraulika, I, Nakladatelsvi ceskoslovenske Akademie ved [Текст] / J. Smetana. – Praha, 1997. – С.180-183.
- 151 **Cabelka, J.** Hydrotecnicky vyzkum, I Modelovy vyzkum [Текст] / J.Cabelka, P. Novak. – Praha: Slovenske vydavatelstvo technickej literatury, 1994. – С.160-163.
- 152 **Vavoni, V.A.** Summary of sediment Transportation Mechanics [Текст] / V.A. Vavoni. – Proc. Federal Inter-Agency Sedimentation Conference U.S.Bureau of Reclamation, 1997. – С.80-83.
- 153 **Утегалиев, Т.Т.** Некоторые вопросы регулирования наносного режима крупных каналов [Текст] / Т.Т. Утегалиев, А.А. Абдураманов, Д.К. Донис // Труды 5 конференции «Динамика и термика рек, водохранилища прибрежной зоны морей». – М., 1999. – С.120-123.
- 154 **Шарлот, Ю.М.** Гаситель энергии потока для быстротечных открытых каналов [Текст] / Ю.М. Шарлот, О.Б. Борский, Г.Г. Кузнецов // Материалы Международной научно-практической конференции «Роль природоустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК». – С.220-223.



155 **Грициан, В.В.** Гашение энергии за низконапорными трехпролетными сооружениями [Текст] / В.В. Грициан // ФГОУ ВНО «МГУП». – Москва, 1994. – С.105-108.

156 **Абдураманов, А.А.** Численное моделирование движения потока в гидроциклонном воздухоулавливателе [Текст] / А.А.Абдураманов, Ж.К.Касымбеков, Н.П. Ни // Научные труды КазНИИВХ. – Тараз: ИЦ «Аква», 2001. – С.104-110.

157 **Тлеубакылов, А.Е.** Расчетная формула для определения глубины размыва несвязного грунта падающей струей и вопросы верификации [Текст] / А.Е. Тлеубакылов // Труды координационного совещаний по гидротехнике. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – Вып. 7. – С.85-89.

158 **Плетнева, Е.В.** Формирование элементов искусственных русел в лабораторных условиях [Текст] / Е.В. Плетнева // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. – Алма-Ата, 1978. – С. 120-126.

159 **Плетнева, Е.В.** Гидравлическое сопротивление и расход насосов при грядовом рельефе дна [Текст] / Е.В. Плетнева, А.Ж. Боданов // Гидравлическое строительство. – 1988. – № 1. – С. 36-39.

160 **Шеренков, И.А.** О гидравлическом моделировании безнапорных потоков с искажением масштабов [Текст] / И.А. Шеренков // Гидравлика и гидротехника. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – Киев, 1966. – Вып. 4. – С. 100-109.

161 **Бахметов, Б.А.** Гидравлика открытых русел [Текст] / Б.А. Бахметов. – М.: ОГИЗ, 1934. – 248с.

162 **Утегалиев, Т.Т.** Некоторые вопросы регулирования наносного режима крупных каналов [Текст] / Т.Т. Утегалиев, А.А. Абдураманов, Д.К. Донис // Труды V конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей». – М., 1999. – С.55-59.

163 **Угинчус, А.А.** Необходимость уточнения методов учёта потерь энергии при равномерном движении жидкости в открытых руслах [Текст] / А.А.Угинчус // Гидравлика. – Киев: Техника, 1965. – С. 210-220.



- 164 **Чертоусов, М.Д.** Инженерная гидравлика [Текст] / М.Д. Чертоусов // Л., 1954. – 628 с.
- 165 **Чугаев, Р.Р.** Земляные гидротехнические сооружения [Текст] / Р.Р.Чугаев // Энергия. – 1967. – 460 с.
- 166 **Сурова, Н.Н.** Вопросы методики моделирования размывов русла [Текст] / Н.Н. Сурова // Учет пористости размываемого грунта. «Русловые процессы»: сборник. – М.: Изд. АН СССР, 1968. – С.85-89.
- 167 **Павловский, Н.Н.** Основы гидравлики; открытые русла и сопряжение бьефов сооружений [Текст] / Н.Н. Павловский // Собрание сочинений. – М.-Л.: АН СССР, 1955. – Т. 1. – С. 1955. – С.99-103.
- 168 **Рахманов, А.Н.** Размывающая способность потока ниже водосбойной стенки или порога [Текст] / А.Н. Рахманов // Изв. ВНИИГ. –1960 а. – Вып. 65. – С.85-89.
- 169 **Векслер, А.Б.** Местные размывы нескальных русел в нижних бьефах гидроузлов [Текст] / А.Б. Векслер, В.М. Доненберг // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. – М., 2002. – С.55-59.
- 170 **Проворова, Т.П.** Повреждения и аварии гасителей энергии и бетонного крепления нижнего бьефа [Текст] / Т.П. Проворова // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. – М., 2009. – С.88-91.
- 171 **Агроскин, Н.Н.** Гидравлика [Текст] / Н.Н. Агроскин, Г.Т. Дмитриев, Ф.И. Пикалов. – М.: «Госэнергоиздат», 1971. – С.55-59.
- 172 **Богданов, Г.Г.** Анализ и классификация форм сопряжения бьефов за беспороговыми водосливами [Текст] / Г.Г. Богданов // Труды БелИИЖТа. – Гомель, 1972.. – Вып. 133. – С.120-123.
- 173 **Богданов, Г.Г.** Исследование и классификация стеснения потока беспороговым водосливом [Текст] / Г.Г. Богданов // Гидравлика дорожных водопропускных сооружений: материалы III Всесоюзной научно-технической конференции. – Гомель, 1973. – С.201-204.



174 **Антонников, А.Ф.** Сбойные течения в нижних бьефах гидроузлов. Меры борьбы с ними [Текст] / А.Ф. Антонников // Гидравлика сооружений и динамика речных сусел: сборник. – М.: Изд-во АН СССР, 1969. – С.155-159.

175 **Овчаренко, И.Х.** Пространственное растекание потока в широком нижнем бьефе [Текст] / И.Х. Овчаренко, Ю.К. Шемякин // Труды НИМИ. – Новочеркасск, 1972. –Т.ХІУ, вып. 5. – С.36-39.

176 **Шеренков, И.А.** Растекание бурного потока в широком нижнем бьефе [Текст] / И.А. Шеренков // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. – Москва, 1973. – С.190-193.

177 **Сурова, Н.Н.** Методика моделирования размывов русел [Текст] / Н.Н.Сурова // Русловые процессы: сборник – М.: Изд-во АН СССР, 1978. – С.201-204.

178 **Селяметова, М.М.** Критерии форм сопряжения потоков нижнего бьефа трубчатых регуляторов [Текст] / М.М. Селяметова // Труды САНИИРИ. – Ташкент, 1971. – Вып. 128. – С.85-89.

179 **Куприянов, О.И.** Экспериментальное исследование спокойного сбойного течения за безнапорным водосбросным отверстием [Текст] / О.И.Куприянов // Труды ВОДГЕО. – М., 1971. – Вып. 38. – С.123-128.

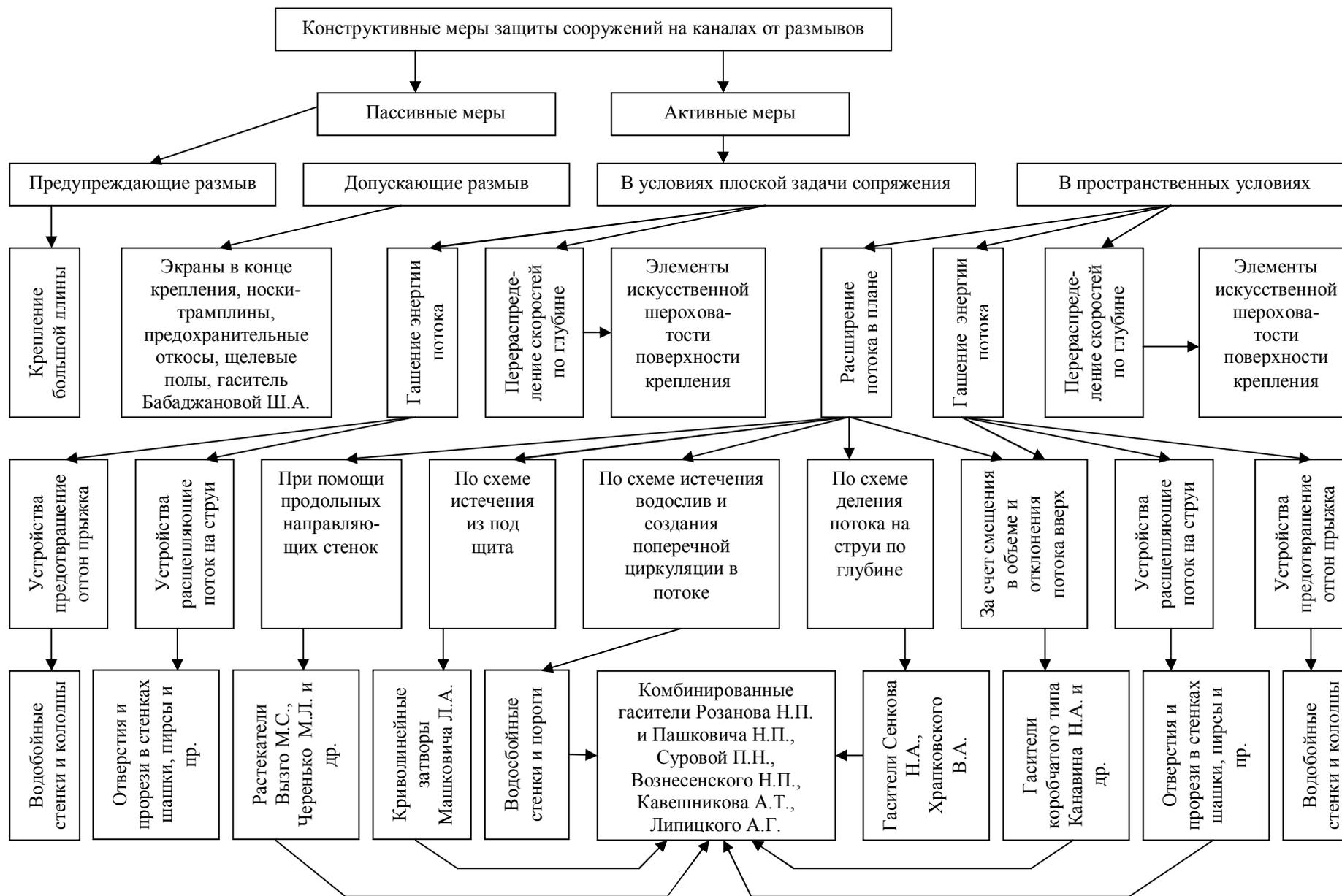
180 **Леви, И.И.** Развитие плановой задачи гидравлики [Текст] / И.И. Леви // Труды координационных совещаний по гидротехнике. – М.: Изд-во «Энергия», 1974. – Вып. 15. – С.138-141.

181 **Зайцев, Н.Л.** Экономика промышленного предприятия [Текст] / Н.Л.Зайцев. – М.: ИНФРА-М, 2001. – С.280.

182 **Амренов, Р.М.** Методика экономического расчета по определению нанесенного ущерба на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства [Текст] / Р.М. Амренов // Всесоюзная научно-техническая конференция: тезисы докладов. МГУ. – М., 1987. – С.105-108.



# ПРИЛОЖЕНИЕ 1





ПРИЛОЖЕНИЕ

**“УТВЕРЖДАЮ”**  
 Директор ТОО «Эко-Жобалау»  
 Е.Б. Жумартов  
 20\_\_ г.



**АКТ**

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Калиева Сержана Муратовича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.04 – «Водоснабжение, канализация, строительные системы и охрана водных ресурсов» на тему «Повышение надежности работы водорегулирующих сооружений системы сельхозводоснабжения»

Комиссия в составе: директор ТОО «Эко-Жобалау», к.т.н., проф. Жумартов Е.Б.; зав.каф. «Строительные системы и сети» д.т.н., проф. Мырзахметов М.М.; к.т.н., проф. Тогабаев Е.Т.; д.т.н., проф. Акмалаев К.А.; д.т.н., проф. Кошумбаев М.Б. свидетельствует о том, что при разработке методов повышения надежности работы водорегулирующих сооружений системы сельхозводоснабжения были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Калиева Сержана Муратовича:

- результаты экспериментальных исследований режимов работы многопролетных регуляторов и их влияния на размеры воронки местного размыва;
  - методика расчета водобойных стенок, колодцев, необходимые для гашения избытка кинетической энергии потока за регулируемыми сооружениями и основные технологические параметры при проектировании гасителей;
  - результаты натурных исследований за многопролетными водорегулирующими сооружениями, позволяющие предотвратить местный размыв и механические повреждения.
- Реализация материалов диссертации Калиева Сержана Муратовича позволила:
- экспериментально выявить технологические и конструктивные параметры гасителей избытка энергии сбрасываемой воды в русла.
  - экспериментально раскрыть процесс влияния условий эксплуатации многопролетных шлюзов-регуляторов на размеры воронки размыва.
  - выявить технологические параметры местного размыва и возникающих повреждений за многопролетными регуляторами в производственных условиях;
  - разработать пути улучшения условий растекания потока за гасителями в нижнем бьефе многопролетных регулирующих сооружений сельхозводоснабжения;
  - разработать классификатор растекателей и гасителей.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:  
- результаты научно-исследовательской работы внедрены в ТОО «Эко-Тех», в ТОО «Эко-жобалау», а также внедрены в учебном процессе института «Строительства и архитектуры» КазНТУ имени К.И.Сатпаева.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

Технико-экономическая эффективность от предотвращения размыва грунта за водорегулирующим сооружением достигается за счет экономии затрат на восстановления разрушенных креплении и размытой поверхности. Экономия этих затрат, приведенное на одно сооружение, составляет 4,5 млн.тенге. На основе этого, годовой экономический эффект при снижении или предотвращении равняется 0,95 млн.тенге.

Председатель комиссии:

Жумартов Е.Б.

Члены комиссии:

Мырзахметов М.М.  
Тогабаев Е.Т.  
Акмалаев К.А.  
Кошумбаев М.Б.



“УТВЕРЖДАЮ”

Директор Института архитектуры  
и строительства имени Т.К. Басенова

д.т.н., доц. Наурузбаев К.А.

2012 г.



АКТ

о внедрении результатов научных исследований соискателя  
Калиева Сержана Муратовича в учебный процесс

Мы, нижеподписавшиеся, представители Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева д.т.н., профессор М.М.Мырзахметов, д.т.н., доц. И.В.Колесникова, к.т.н., доцент Н.В.Сидорова, ст.преподаватель Е.К.Ботаханов, к.т.н., ст. преподаватель А.Хойшиев – кафедры «Инженерные системы и сети» составили настоящий акт о внедрении результатов научных исследований в учебный процесс соискателя Калиева С.М. по его теме кандидатской диссертации «Повышение надежности работы водорегулирующих сооружений системы сельхозводоснабжения» по следующим дисциплинам специальности 050805 – «Водные ресурсы и водопользование»: «Гидравлика», «Гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения».

Разработанная и смонтированная лабораторная установка гидравлического лотка в результате экспериментальных исследований работы двух моделей водорегулирующих сооружений с размываемым отводящим руслом трапецеидального поперечного сечения в кандидатской диссертации используется при выполнении лабораторных работ студентами по специальности 050805 – «Водные ресурсы и водопользование».

Во внедрении принимали участие доценты Нурпеисова К.М., Кацович А.Ф. и ст.преподаватель Алимова К.А.

Заведующий кафедрой  
«Инженерные системы и сети»,  
д.т.н., проф.:

д.т.н., доцент

к.т.н., доцент

ст.преподаватель

к.т.н., ст. преподаватель

соискатель

Мырзахметов М.М.

Колесникова И.В.

Сидорова Н.В.

Ботаханов Е.К.

Хойшиев А.

Калиев С.М.

