

Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина

На правах рукописи
УДК 626.823.69: 626.824

Аджыгулова Гульмира Сагыналиевна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМПЛЕКСА СООРУЖЕНИЙ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БУРНЫМИ ПОТОКАМИ
НА КАНАЛАХ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ**

Специальность: 05.23.07 – Гидротехническое строительство

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор

Атаманова Ольга Викторовна

Бишкек -2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ, ОБЗОР И АНАЛИЗ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БУРНЫМИ ПОТОКАМИ НА ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ .	15
1.1. Современное состояние гидромелиоративных систем в горно- предгорной зоне	15
1.2 Основные характеристики и особенности каналов-быстротоков гидромелиоративных систем	24
1.3 Развернутая классификация гидротехнических сооружений для управления потоками на каналах-быстротоках	32
1.4 Анализ существующих конструкций водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках	45
1.5 Поворотные сооружения на каналах с бурным течением	60
1.7 Обоснование постановки проблемы. Цели и задачи разработок и исследований	97
ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ БУРНЫМИ ПОТОКАМИ НА КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ.....	99
2.1 Технология управления бурными потоками на каналах-быстротоках ..	99
2.2 Технологические схемы размещения сетевых сооружений на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны	104
2.3 Функциональные особенности и связи сетевых сооружений на каналах- быстротоках оросительных систем горно-предгорной зоны	107
2.4 Теоретические исследования структуры бурного потока на транзитном участке канала-быстротока	113
2.5 Теоретические исследования структуры потока в зоне влияния водораспределительного и водомерного сооружений	121
2.6 Влияние поворота канала на кинематику бурного потока	127
2.6.1 Параметры бурного потока при плавном повороте	128
2.7 Комплексный анализ структуры потока в открытом канале-быстротоке с сетевыми сооружениями	139
ГЛАВА 3.....	142
ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА КАНАЛАХ- БЫСТРОТОКАХ С БУРНЫМ ТЕЧЕНИЕМ	142

3.1 Анализ особенностей и недостатков существующих вододелителей на каналах с бурным течением	142
3.2 Общая методика проведения исследований вододелителей для каналов с бурным течением	145
3.3 Натурные исследования вододелителей траншейного типа на каналах с бурным течением	148
3.4 Пути совершенствования водораспределительных сооружений.....	161
для каналов-быстротоков с бурным течением.....	161
3.5 Усовершенствованный вододелитель для каналов с бурным и сврхбурным течением.....	164
3.6 Натурные исследования вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ) на Иссык-Атинском подпитывающем канале при стационарном (безволновом) течении	166
3.7 Методика проведения лабораторных исследований вододелителей для каналов с бурностремительным стационарным течением	180
3.8 Лабораторные исследования гидравлических показателей модернизированных конструкций вододелителей для быстротечных каналов.	183
3.9 Усовершенствованный двухсторонний вододелитель с ассиметричной решеткой (решетчатой плитой) для каналов-быстротоков с бурным течением.....	189
3.10 Модельные исследования двухсторонних вододелителей с ассиметричной решеткой (плитой)	192
3.10.2 Проверка стабилизирующей способности усовершенствованных двухсторонних вододелителей	199
3.10.3 Реализация лабораторных исследований глубин и скоростей воды в районе влияния предложенных двухсторонних вододелителей.....	203
3.11 Методики расчета вододелителей для каналов с бурным течением ..	211
3.11.1 Уточненная методика расчета ВКСТ при работе на стационарных бурных потоках	211
3.11.2 Уточненная методика расчета двухстороннего вододелителя с ассиметричной решеткой и ассиметричной решетчатой плитой	213
ГЛАВА 4.....	216
ПОВОРОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА КАНАЛАХ С БУРНЫМ РЕЖИМОМ ТЕЧЕНИЯ.....	216
4.1 Натурные исследования поворота бурного потока в открытом канале	216

4.1.1 Программа и методика натурных исследований поворотного сооружения на каналах-быстротоках.....	216
4.1.2. Результаты исследований поворотных сооружений на каналах в натурных условиях	218
4.2 Совершенствование сооружений для изменения направления бурного потока в открытом канале	228
4.3. Состав и методика экспериментальных исследований поворотных сооружений бурного потока	236
4.4 Гидравлическое обоснование оптимальных параметров и компоновок поворотных сооружений бурных потоков.....	240
4.4.1 Гидравлическое обоснование рациональных параметров ПСБТ-1	241
4.4.2 Гидравлическое обоснование рациональных параметров ПСБТ-2	247
4.5 Модельные исследования новых поворотных сооружений бурных потоков	252
4.5.1 Модельные исследования поворотного сооружения для нестационарного сверхбурного потока	252
4.5.2 Модельные исследования усовершенствованных поворотных сооружений для бурных потоков	258
4.6 Результаты модельных исследований кинематики бурного потока на повороте и в зоне влияния поворотного сооружения	261
4.6.1 Модельные исследования кинематических характеристик бурного потока на повороте и в зоне влияния поворотного сооружения ПСБТ-1 ..	261
4.6.2 Модельные исследования кинематических характеристик бурного потока на повороте и в зоне влияния поворотного сооружения ПСБТ-2	270
4.7 Методики расчета поворотных сооружений для каналов с бурным течением типа ПСБТ-1 и ПСБТ-2	276
4.7.1.Методика практического расчета ПСБТ-1	276
ГЛАВА 5. ВОДОУЧЕТ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ	279
5.1 Натурные исследования существующих сооружений водоучета на каналах с бурным течением	279
5.1.1 Программа и методика производственных исследований водомерного сооружения на канале Жетиген системы реки Иссык-Ата.	279
5.1.2 Результаты исследований водомерного сооружения на канале Жетиген системы реки Иссык-Ата в натурных условиях.	283

5.2 Направление совершенствования средств водоучета бурных потоков в открытых каналах	292
5.3 Совершенствование конструкций водомерных сооружений для каналов-быстротоков с бурным течением.....	294
5.4 Программа и методика проведения лабораторных исследований сооружений водоучета для каналов с бурным течением	301
5.4.1 Конструкция экспериментальной установки для исследования усовершенствованных водомерных сооружений	301
5.4.2. Гидравлическое моделирование течения жидкости на канале-быстротоке.....	303
5.5 Поисковые лабораторные исследования сооружений водоучета для каналов с бурным течением	309
5.5.1 Экспериментальные исследования водомерного сооружения типа ВМСБТ-1 для каналов с бурным течением	309
5.5.2 Исследование водомерной способности и конструктивных параметров (ВМСБТ-2)	316
5.6 Исследование показателей качества водоучета новыми конструкциями водомеров.....	318
5.7 Экспериментальное определение рационального местоположения сетевых сооружений на канале по отношению к водомерному сооружению	324
5.8 Методики расчета усовершенствованных сооружений водоучета для каналов с бурным течением	330
ГЛАВА 6. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ, ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БУРНЫМИ ПОТОКАМИ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ	334
6.1 Опыт внедрения комплекса сооружений на канале Таш-Рабат-ШырыктыАтбашинского района Нарынской области.....	334
6.2 Опыт внедрения комплекса сооружений на канале Суусамырский Московского района Чуйской области.	337
6.4 Основные рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации сооружений для управления бурным потоком в открытом канале	340
6.4.1 Рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации сооружений водораспределения бурных потоков	340

6.4.2 Рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации сооружений для изменения направления бурных потоков в открытом канале	343
6.4.3 Рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации сооружений водоучета на канале с бурным течением	344
6.5 Технико-экономическая оценка эффективности применения сооружений для управления бурным течением на каналах оросительных систем КР (на примере сооружений на канале Суусамырский Московского района Чуйской области)	348
Список использованных источников	354

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АВП – ассоциация водопользователей
ВКБТ – Вододелитель для каналов с бурным течением
ВМС – Водомерное сооружение
ГТС – Гидротехнические сооружения
ВРиИД – Водные ресурсы и инженерные дисциплины
КР – Кыргызская Республика
КРСУ – Кыргызско-Российский Славянский университет
МОиН – Министерство образования и науки
РК – Республика Казахстан
РУВХ – Районное управление водного хозяйства
ОС – Оросительная система
ЦА – Центральная Азия
ЭГЛ – Экспериментальный гидравлический лоток

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. В настоящее время агропромышленный сектор Кыргызстана является одним из наиболее важных и приоритетных направлений развития экономики страны. Это обусловлено весомым вкладом аграрной промышленности в экономику Республики.

Известно, что более 90% всей сельскохозяйственной продукции в Кыргызстане производится на орошаемых землях. Эти земли являются стратегически важными природными ресурсами для страны. По разным экспертным прогнозам, в будущем возможно расширение площади этих орошаемых участков до 1,5-2,3 миллиона гектаров.

Дальнейший прогресс отрасли растениеводства в КР непосредственно связан с освоением земельных участков в горной и предгорной зонах, где существует сложная рельефная конфигурация местности, значительные топографические уклоны, большое число мелких и средних по водности рек.

В условиях современного сельского хозяйства, где эффективное использование водных ресурсов становится ключевым фактором для достижения высоких урожаев, необходимость в создании оросительных систем, включающих каналы-быстротоки, еще больше увеличивается. Эти каналы, характеризующиеся бурным и сверхбурным режимами течения, требуют сооружения с уникальными инженерными решениями, призванные обеспечить равномерное распределение и качественный учет воды.

Кроме того, высокая скорость потока в каналах затрудняет внедрение автоматизированных систем, необходимых для создания современных водомерных и водораспределительных сооружений. Таким образом, разработка эффективных технологий автоматизации становится первоочередной задачей, побуждающий разрабатывать инновационные решения, способные адаптироваться к резким изменениям гидрологических условий и гарантировать стабильность работы оросительных систем.

Измерение водных потоков в каналах с большими скоростями сталкивается с серьёзными проблемами из-за особенностей гидравлической структуры. Любое вмешательство в суперскоростные потоки приводит к существенным поверхностным возмущениям и всплескам, что, при относительно небольших уровнях воды, вызывает значительные ошибки в определении глубины и расхода воды в канале.

Наличие действующих водораспределительных систем позволяет лишь частично удовлетворить требования, предъявляемые к таким устройствам, и обеспечивает приемлемую работу в условиях интенсивного потока на канале. Поворотные сооружения на каналах с бурностремительным течением работают также в напряженных условиях. Устаревшие конструкции поворотных сооружений на быстротечных каналах не позволяют уменьшить косые прыжки и выплески за поворотом, что может снизить эффективность отвода и общую работу оросительной системы.

В настоящее время нет комплексного решения проблем водораспределения, поворота и водоучета для условий КР, где каналы выполнены в бетонной облицовке и с уклонами более 0,01. Включение в состав комплекса гидроузла перечисленных сооружений или части их необходимо устанавливать в соответствии с конкретными условиями и назначением каждого сооружения. Таким образом, проблема совершенствования способов и технических средств водораспределения, водоучета и поворота бурного потока в быстротечных каналах, отличающиеся чрезвычайно большим функциональным и конструктивным многообразием, является **актуальной**, а ее решение имеет научно-прикладное значение, которое позволит повысить уровень надежности и качества функционирования ирригационных систем горно-предгорной зоны.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими программами. Исследования в диссертационной работе проводились в рамках следующих проектов: 1.Международного проекта МНТЦ КР-1130 «Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной

зоны» (2006-2009 гг.); 2. Государственной бюджетной научной темы МОиН КР «Совершенствование и исследование гидротехнических сооружений на быстротечных каналах Чуйской области» по проекту: «Разработка гидромелиоративных мероприятий и интегрированное управление земельно-водными ресурсами» (Договор №УН-30/12 от 28.03.2012г) (2012-13гг.); 3. Государственной бюджетной научной темы МОиН КР «Совершенствование гидротехнических сооружений для каналов-быстротоков горно-предгорной зоны» в рамках проекта КР – 01 «Научная оценка угроз некоторым сферам национальной безопасности Кыргызской Республики и определение стратегии противостояния этим угрозам» (2015 – 2016 г.г.)

Целью исследований является улучшение и упрощение теории и методов численного обоснования проектирования комплекса сооружений, предназначенных для управления бурностремительными потоками в быстротечных каналах ирригационных систем в горной и предгорной зоне, что позволит снизить материальные затраты, улучшить эксплуатационные показатели, повысить устойчивость и надежность функционирования поворотных, водомерных и водораспределительных сооружений и оросительной системы в целом.

Для реализации поставленной цели определены следующие ключевые **задачи:**

- Провести натурное обследование поворотных, водомерных и водораспределительных сооружений на быстротечных каналах горной предгорной зоны КР;
- Осуществить теоретические исследования особенностей структуры бурностремительного потока на прямолинейном участке канала-быстротока, изменение кинематики стационарного бурностремительного потока на повороте канала, а также структуры потока в зоне воздействия водораспределительных и водомерных устройств;

- Разработать современные и эффективные конструкции поворотных, водомерных устройств и средств водораспределения, которые могут применяться в быстротечных оросительных каналах горной и предгорной зоны;
- Разработать алгоритм и осуществить экспериментальные исследования предложенных конструкций, включая анализ пропускной и стабилизирующей способности вододелительных устройств и водомеров;
- Исследовать экспериментальным путем кинематическую структуру потока в области установки поворотных устройств, водомеров и сооружений водораспределения предложенных конструкций, а также оценить, как эти сооружения влияют на пропускную способность;
- Разработать механизм расчета показателей параметров улучшенных конструкций предложенных сетевых сооружений, предназначенных для быстротечных каналов в горных и предгорных районах;
- Разработать необходимые рекомендации для расчета, проектирования, и эксплуатации поворотных, водомерных конструкций и средств водораспределения, предназначенных для каналов с высокоскоростным течением;
- Выполнить оценку экономической эффективности комплексного использования способов распределения и учета воды, изменения направления высокоскоростного потока.

Научная новизна диссертационной работы:

1. Определены характерные параметры свободной поверхности потока в канале с высокоскоростным течением.
2. Были установлены математические зависимости, описывающие гидравлические параметры потока на поворотных участках каналов с высокоскоростным течением.

3. Получены математические зависимости для гидравлических характеристик структуры потока в зоне влияния водораспределительного сооружения и водомерного устройства.
4. Разработаны и получены патенты на новые улучшенные модели поворотных, водораспределительных и водомерных устройств для интенсивных водотоков.
5. На основании теоретических исследований и научных экспериментов разработаны методы гидравлического расчета для модернизированных поворотных, распределительных и водомерных устройств.
6. Осуществлена разработка рекомендаций для выбора поворотных и водомерных сооружений, а также конструкций водораспределительных сооружений для каналов с бурным течением, методам расчета, проектирования, строительства и эксплуатации предложенных устройств.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности обоснованного расчета и проектирования гидравлических и конструктивных параметров поворотных, водомерных и водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках, используя полученные зависимости и методики, что дополнительно расширяет область применения и сферу использования данных сооружений.

Также для использования на практике предлагаются:

- формулы для определения структуры потока в зоне воздействия поворотных, водораспределительных и водомерных устройств;
- аргументированное обоснование пределов и области применения поворотных, водомерных и водораспределительных устройств на системах орошения горных и предгорных регионов;
- модернизированные конструкции поворотных, водомерных и водораспределительных сооружений для каналов с высокоскоростным течением;

- Рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации модернизированных поворотных сооружений, сооружений водоучета и водораспределения, расположенных на быстротечных каналах в горно-предгорных районах.

Экономическая целесообразность полученных результатов свидетельствуется расчетами экономической рентабельности от внедрения созданных конструкций в производство. Годовая экономическая выгода от комплекса сооружений достигает 4,1 млн.сомов в ценах 2021 г.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- классификация гидротехнических сооружений (ГТС), включая внутрисистемные, для управления бурными потоками на оросительных каналах;
 - аналитические зависимости для определения гидравлических характеристик потока в зоне влияния водомерного устройства на каналах с высокоскоростным течением горной и предгорной зоны;
 - аналитические и функциональные зависимости определяющие глубины стационарного потока при плавном и резком повороте канала;
 - аналитические зависимости предельно допустимых значений углов поворота канала от параметра Фруда;
 - функциональные зависимости, определяющие гидравлические характеристики потока в зоне действия водомерного устройства на высокоскоростных каналах горно-предгорной зоны;
 - усовершенствованные конструкции водораспределительных, поворотных и водомерных сооружений для каналов-быстротоков горно-предгорной зоны;
 - относительные тарировочные (эмпирические) зависимости вида $Q/Q_{max}=f(H_v/H_{vmin})$ для предложенных конструкций водомеров при бурном потоке;

- рекомендации по расчету и проектированию и эксплуатации усовершенствованных конструкций водораспределительных, поворотных и водомерных сооружений для каналов-быстротоков горно-предгорной зоны;

Достоверность результатов обосновываются проведением тщательных, детализированных экспериментов с использованием соответствующего нормам аттестованного измерительного оборудования, сравнением расчетных данных с эмпирическими и результатами других исследователей, а также проверкой адекватности математических моделей, полученных из экспериментов, через критерии математической статистики; дополнительно, предложенные технические решения подтверждаются патентами Российской Федерации и Кыргызской Республики. При выводе математических моделей динамики работы в объектах управления были применены классические методы математического анализа.

Личный вклад соискателя заключается в выполнении многолетних личных исследований, проведенных в лаборатории кафедры ВРиИД КРСУ; в обосновании проблем, целей и задач исследований, в определении путей их решения; в технологическом обосновании, теоретических исследованиях и анализе основного объема экспериментальных данных, разработке методик инженерного расчета поворотных, водомерных и водораспределительных сооружений, и в формулировании основных выводов.

При постановке некоторых задач и выводов, разработке технических решений, а также при выполнении аналитических исследований систем распределения и водоучета на быстротечных каналах автором были получены ценные советы от научного консультанта, профессора Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., д.т.н., профессора Атамановой О.В., а также профессора Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого д.т.н., профессора Лаврова Н.П.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований были доложены и обсуждены на: международных научно-практических конференциях **КГУСТА** (Бишкек, 2009-2011г.);научно-практических конференциях **Кыргызского аграрного университета** (Бишкек, 2009-2016 гг.); международной конференции «Мировой опыт и передовые технологии эффективного использования водных ресурсов» (**Ашхабад, 2010 г.**); Международн. научно- практической конф. «Новая наука: современное состояние и пути развития» (г. **СтерлитамакРФ,2015 г.**); научно-практич.конференц. в Рязанском аграрном университете им. П.А. Костычева (**Рязань, 2015-16 г.**);международных научно-практич. конференциях Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова (**Саратов, 2016-20г.**), международных научно-практических конференциях в СГТУ имени Гагарина Ю.А. (**г.Саратов, 2015-19**); Международной научно-практической конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни» (г. **Алматы, 2016**), Международной научно- практич. конференции «Роль инноваций в трансформации современной науки», (г.**Уфа, 2016**) Международной научно-практич. конференции «Современные научно-практические достижения», (г.**Кемерово 2015**), в Российском журнале «Гидротехническое строительство» (г.**Москва 2017**) и Power Technology and Engineering (2018); межд. научно-практической конференции, посвященной 180-летию образования Белорусской государственной с/х академии (**Горки, Беларусь, 2021**)и др.

Результаты и ключевые положения диссертационной работы докладывались ежегодно на семинарах и научно-практических конференциях с международным участием, на заседаниях кафедры: «Водных ресурсов и инженерных дисциплин» КРСУ.

Публикации. Результаты исследований, отражающее основное содержание диссертационной работы, опубликованы в 61 научной работе, в т.ч. 2 монографии (в соавторстве), 45 научных статей, входящих РИНЦ, 7

патентов КР и РФ на изобретение, 1 зарубежное научное издание, индексируемое Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, содержит 365 страниц, включающих 100 рисунков, 55 таблиц, 5 приложений и списка литературы из 173 наименований.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПРОБЛЕМЫ, ОБЗОР И АНАЛИЗ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БУРНЫМИ ПОТОКАМИ НА ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Современное состояние гидромелиоративных систем в горно-предгорной зоне

В настоящее время агропромышленный сектор Кыргызстана является одним из наиболее важных и приоритетных направлений развития экономики страны. Это обусловлено весомым вкладом аграрной промышленности в экономику Республики, в обеспечение различных видов промышленности сырьевыми ресурсами, занятостью населения в сельскохозяйственном производстве, а также вкладом в обеспечение населения продуктами питания. «Современное развитие растениеводства в Кыргызской Республике неразрывно связано с освоением земель в горно-предгорной зоне, где имеет место сложность рельефа, значительные уклоны»[1] топографической поверхности, большое количество малых и средних горных рек. На современном этапе развития в нашей стране освоено 1,035 млн. га орошаемых земель, то есть, ныне использование более 70 % от общей площади возделываемых земель являются орошаемыми. С поливных земель получают «более 90 % всей продукции растениеводства. Орошаемые земли относятся к стратегическим природным ресурсам КР. Согласно различным экспертным оценкам, в ближайшем будущем площадь орошаемых земель»[2] в Кыргызстане может увеличиться до 1,5-2,3 млн. га.

Прогрессивно нарастающий дефицит водных ресурсов в ряде речных бассейнов и водохозяйственных систем Кыргызской Республики предъявляет высокие требования к обоснованию водораспределения и решению задач, связанных с управлением водными ресурсами. Поэтому должно осуществляться строительство совершенных систем с высокими технико-экономическими показателями, позволяющими экономить воду.

Усовершенствование оросительных систем даст возможность экономить до 30% оросительной воды, существенно повысить производительность труда и поднять коэффициент полезного действия систем до 0,8-0,9 [3].

Улучшить техническое состояние действующих систем возможно путем реконструкции, разработки и внедрения водосберегающих конструкций гидротехнических сооружений.

Оросительную систему можно представить состоящей из цепочки основных взаимосвязанных звеньев (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Схема основных звеньев ОС

ГВУ забирают воду из источников орошения и подают ее в межхозяйственные каналы в соответствии с графиками водопользования. Межхозяйственная часть системы служит для транспортирования и распределения воды между потребителями. Все сооружения, устройства и установки для обеспечения водозабора из источников орошения, транспортирования оросительной воды и распределения ее между потребителями относятся к межхозяйственной части системы и находятся в ведении водохозяйственных организаций. Все части системы, расположенные ниже точек выдела в хозяйства, являются внутрихозяйственными. Их обслуживают непосредственно водопользователи или ассоциации водопользователей.

Одной из приоритетных задач КР является государственная поддержка и целевое финансирование модернизации системы ирригации, согласно которой, планируется ежегодный ввод в оборот по 10 тыс. га орошаемых сельскохозяйственных земель (включая новое освоение и сельскохозяйственные земли, возвращаемые из числа ранее выведенных из оборота) [1].

Хотя создание системы обеспечения водой, является инфраструктурной задачей, оно также выполняет и социальные функции - предоставляются новые рабочие места (преимущественно в секторе растениеводства) и создаются условия для заселения новых территорий. В этой связи, ожидается увеличение потребности в водных ресурсах. Сокращение непроизводительных расходов водных ресурсов является значительным запасом для использования. Достижение этой цели возможно с помощью проведения комплекса мероприятий по увеличению эффективности системы. Кроме того, дополнительное освоение крупных площадей в горно-предгорной зоне Кыргызстана потребует строительства большого числа самых разнообразных гидротехнических сооружений[5].

«В КР действует более 4000 мелиоративных систем, примерно 40% из них представляют межхозяйственное, а 60% - внутрихозяйственное значение. Мелиоративные системы КР - в основном водные объекты горного типа. В большинстве случаев они независимы друг от друга, имеют индивидуальные источники воды, а также системы транспортировки и распределения воды»[4]. «Инженерные мелиоративные системы составляют 40 процентов, полуинженерные - 34 процента, а неинженерные - 26 процентов. Площадь земель с системой ирригации превышает 1236 тысяч гектаров»[4].

Межхозяйственные системы обычно связаны с крупными и средними источниками воды для орошения, в то время как внутрихозяйственные системы нацелены на использование небольших рек, расположенных в пределах хозяйственных участков.

Водоотбор из источников орошения осуществляется через свыше 1400 водозаборов, при этом около 900 из них направляют воду в межхозяйственные каналы, а 560 — во внутрихозяйственные. Общее количество точек выдела воды в фермерские хозяйства составляют 3600 штук.

«На мелиоративных системах КР насчитывается более 44 тысяч гидротехнических сооружений, из которых 28 тысяч - на межхозяйственной сети»[5].

Ирригационная инфраструктура в пределах только Чуйской области насчитывает 6518,2 км ирригационных каналов, из них 1267,7 км межхозяйственной сети и 5205,5 км внутрихозяйственной сети. Оросительная сеть оборудована 17681 гидротехническим сооружением, из них менее 10% располагаются на межхозяйственной сети. Численность водозаборных узлов составляет 92 шт., гидрометрических постов - 1170 шт. [5].

В целом, техническое состояние ирригационной инфраструктуры на территории Кыргызской Республики оценивается по данным Департамента водного хозяйства и мелиорации Кыргызской Республики, как неудовлетворительное, хотя и несколько улучшилось за последние годы вследствие активной поддержки со стороны международных организаций. Неблагополучное состояние ирригационных систем объясняется в первую очередь дефицитом финансовых ресурсов, ежегодно выделяемых из средств государственного бюджета и водопользователей на цели управления, эксплуатации и технического обслуживания и модернизации водохозяйственных основных фондов.

Вследствие сохраняющихся тенденций деградации инфраструктуры, по данным за 2012-2014г.г. потери воды в ирригационных системах только Чуйской области составляют около 30% от величины объемов водозабора. Наихудшие показатели отмечаются в Сокулукском районе (47%), что обосновывает необходимость исследования гидротехнических сооружений

на каналах данного района, наилучшие – в Кеминском районе (18%). Данные статистических отчетов за 2014г. свидетельствуют, что ныне экстренно нуждаются в капитальном ремонте 68км межхозяйственных каналов, 136 гидротехнических сооружений и 47 гидрометрических постов[5].

«Облицованные каналы являются главной составляющей частью открытых ирригационных систем в горно-предгорной зоне. При этом более 80 % из них имеют высокоскоростной режим течения. Максимальная пропускная способность межхозяйственных каналов горно-предгорной зоны Кыргызстана и Казахстана не превышает 50-100 м³/с, в то же преобладающими на оросительных системах являются каналы с пропускной способностью 5-10 м³/с» [6]. Состав сетевых сооружений на открытой ирригационной сети определяется в основном топографическими условиями местности и функциональным назначением каналов.

Характеристика и протяженность основных каналов-быстротоков Кыргызской Республики представлена в таблице 1.1. Анализ этих данных показывает, что, несмотря на небольшую протяженность, каналы имеют разные виды гидротехнических сооружений, причем минимум по несколько штук каждого из видов. Число Фруда достигает от 2,5 до 12, что доказывает наличие бурного режима движения потока в каналах. На большинстве каналов гидросты оборудованы только в голове, а ниже они отсутствуют из-за сложности их устройства на быстротоках, поэтому учет изменения расходов ниже при водораспределении является проблематичным.

Таблица 1.1 – Техническое оснащение каналов-быстротоков Кыргызской Республики

Наименование каналов и местоположение	Гидротехнические характеристики				h ₀ м	h _{max} м	Уклон дна	Число Фруда	Гидротехнические сооружения нуждающиеся в реконструкции
	Протяженность быстротечного участка (км)	Пропускная способность м ³ /сек	Ширина по дну В, м	Форма сечения					
Чуйская область									
Аламединский отводящий	11,0	23,0	4,0	Трапец.	0,63	1,2	до 0,039	3,1-6,4	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.;
Аламединский подпитывающий	3,6	25,0	4,0	Прямоуг.	0,6	1,4	0,03	3,5-6	Водраспределит. сооружения;
Аламедин-Норус	0,9	1,5	1,5	Прямоуг.	0,25	0,5	0,038	2,5-7,0	Водраспределит. сооружения
Подпитывающий из ЮБЧК	11,6	25,0	3,0	Прямоуг.	0,51	0,97	до 0,03	2,5-7,8	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.;
Иссык-Атинский подпитывающий канал	11,0	25,0	4,1	Прямоуг.	0,87	0,69	до 0,027	2,5-7,5	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.;
Туш	9,0	16,0	3,0	Сложная	0,67	1,2	до 0,046	2,5-8,0	Водраспределит. сооружения;
Новый	2,1	10,0	3,0	Прямоуг.	0,6	0,8			Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.
Продолжение таблицы 1.1									

Кегеты	2,1	10,0	3,0	трапеция	0,47	0,56	до 0,03	1,4-8,5	Водраспределит. сооружения; Сооружения водочета; Поворотн. соор.
Обводной Чуйский	14,0	75,0	5,0	Прямоуг.	1,05	2,2	До 0,034	2,0-5,4	Водраспределит. сооружения; Сооружения водочета; Поворотн. соор.;
Беловодский	3,1	5,0	1,7	Прямоуг.	0,29	0,52	До 0,0234	2,0-6,6	Водраспределит. сооружения; Сооружения водочета; Поворотн. соор.; гаситель
Джаламыш	3,5	4,2	1,5	Прямоуг.	0,62	0,69	До 0,05	3,3-7,9	Водраспределит. сооружения; Сооружения водочета; Поворотн. соор.;
Ивановский	8,07	6,0	1,5	Прямоуг.	0,4	0,6	0,08	3,0-7,5	Водраспределит. сооружения; Сооружения водочета; Поворотн. соор.;
Джон	3,0	9,0	3,0	Прямоуг.	0,37	0,45	0,06	3,5-8,2	Водраспределит. сооружения; Сооружения водочета; Поворотн. соор.;

Продолжение таблицы 1.1									
Орто	2,9	3,0	3,0	Прямоуг.	0,45		0,034	3,2-7,6	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.
Аламедин-Норус	0,9	1,5		Прямоуг.	0,23		0,038	3,6-8,5	Водраспределит. сооружения; Поворотн. соор.; гаситель
Даирбек	2,1	8,0	2,0	Прямоуг.	0,2	0,46	До 0,04	4,7-9,5	Водраспределит. сооружения; Поворотн. соор.;
Ден (р.Кегеты)	2,5	6,5	3,0	трапеция	0,5	0,7	До 0,03	3,6-9,3	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.;
Калмак	2,0	6,0	2,0	трапеция	0,5	0,7	До 0,02	1,3-7,1	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.;
Меркенский	5,1	4,6	1,2	Прямоуг.	0,6	0,8	До 0,035	3,9-8,2	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.; Гаситель
Аспаринский	3,0	3,4-6,1	1,0-1,8	Прямоуг.	0,6	0,8	До 0,05	2,0-9,2	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.

Ошская область									
Найман	20,9	23,0	2,0	Прямоуг.	1,33	2,1	0,03	0,6-8,5	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.;
Правобережный Кампырраватский	1,0	12,0	3,0	Прямоуг.	0,42	0,4	0,08	3,7-8,4	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.;
Киргиз-Ата	2,3	8,0	2,0	Трапец.	0,6	0,9	до 0,075	0,1-11,3	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.;
Туя-Муюн	2,6	10,0	1,5	Трапец.	0,8	1,2	До 0,03	2,3-7,0	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.;
Нарынская область									
Кок-Каптал	0,27	1,0	0,8	Прямоуг.	0,22		0,1	2,3-6,5	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.;
Ташрабат-Шырыкты	1,4	5,0	2,0	Прямоуг.	0,53		0,026	2,7-7,9	Водраспределит. сооружения; Сооружения водоучета; Поворотн. соор.;

Проведенный обзор и анализ состояния и технической оснащенности оросительных систем в горно-предгорной зоне Кыргызстана показывает необходимость совершенствования гидротехнических сооружений на каналах-быстротоках с бурным течением. Это предполагает, прежде всего, изучение основных характеристик и особенностей каналов-быстротоков гидромелиоративных систем; проведение анализа существующих конструкций сетевых сооружений на каналах-быстротоках; осуществление теоретических и экспериментальных исследований с последующей разработкой и реализацией в производство новых улучшенных конструкций гидротехнических сооружений для ирригационных систем горно-предгорной зоны.

1.2 Основные характеристики и особенности каналов-быстротоков гидромелиоративных систем

«Канал – искусственный водовод в земляном русле или из сборных элементов, уложенных на поверхности земли или на опорах, которые служат для подвода, распределения и отвода воды»[7]. Каналы на оросительных системах в зависимости от рельефных условий и пропускаемого расхода воды выполняют в виде рационально протрассированного канала со спокойным или бурным режимом потока, каждая из которых широко распространена в Кыргызской Республике.

В зависимости от рельефа местности, каналы разделяются на две группы: с большими уклонами ($i > i_{кр}$) и с малыми ($i < i_{кр}$), где $i_{кр}$ - критический уклон [8]. Для уменьшения фильтрационных потерь, предотвращения эрозии почвогрунтов, сокращения протяженности каналов и затрат на их эксплуатацию в горно-предгорной зоне ложе канала имеет облицовку, особенно при больших уклонах ($i = 0,006 - 0,02$) каналов и значительной водопроницаемости грунтов. Наибольшее распространение получили облицовки из монолитного и сборного железобетона. Такие каналы

с уклонами дна больше критического называются быстротечными каналами или каналами-быстротоками.

В горно-предгорной зоне Кыргызстана каналы строятся с уклонами больше критических, и располагаются поперек горизонталей топографической поверхности или под некоторым углом к ним, с двусторонним командованием. С малыми уклонами каналы строят при кольцевании источников орошения. В этом случае, каналы имеют, как правило, односторонне командование. В Чуйской долине Кыргызстана большинство каналов самотечные, расположены они в основном по наибольшему уклону местности. С малыми уклонами ($i < 0,0015$), построены крупные магистральные каналы межреспубликанского и межрайонного значения. Распределители от этих каналов проходят по наибольшим уклонам, но выполнены участками с докритическими уклонами сопрягаемыми быстротоками и перепадами. При этом следует помнить, что в горно-предгорной зоне оросительные системы включают достаточно протяженные (более 10 км) участки каналов-быстротоков с уклонами дна больше критических значений $i > i_k$ [8].

На выбор конструкций гидротехнических сооружений на каналах-быстротоках существенное влияние оказывает пропускная способность и форма поперечного сечения самих каналов.

В Кыргызской Республике имеется около 30 тыс. км каналов постоянной оросительной сети, в том числе 6900 км межхозяйственных, на которой построено более 44 тыс. различных гидросооружений для забора, водораспределения и учета воды [9].

По пропускной способности межхозяйственные каналы Кыргызской Республике(КР) можно разделить на следующие группы [10]:

- 1) До $2 \text{ м}^3/\text{с}$ протяженность 3518,3 км или 51%;
- 2) $2\text{-}5 \text{ м}^3/\text{с}$ - 1794,1 км или 26 %;
- 3) $5\text{-}10 \text{ м}^3/\text{с}$ - 552,0 км или 8%;

- 4) 10-25 м³/с - 621,5 км или 9%;
- 5) 25 м³/с - 414,2 км или 6%.

Из этих данных видно, что большая часть оросительной сети имеет расходы менее 10 м³/с. Каналы пропускной способностью 25 м³/с в основном транзитные и лишь в исключительных случаях достигают 50-60 м³/с (см.таблицу 1.1).

Следует отметить, что к настоящему времени для повышения производительности сельского хозяйства в КР формируются и активно укрепляются ассоциации водопользователей (АВП), которые занимаются управлением и техническим обслуживанием сетевых каналов и сооружений.

Количество АВП на 1 июля 2014 года составило 475 с орошаемой площадью 732,9 тыс. га, или 72 % от общей орошаемой площади республики. В таблице 1.2 приводится количество АВП в составе областей на 2014 год, откуда видно, что большой охват орошаемых земель составляет в Чуйской, Ошской, Таласской и Нарынской областях, которые находятся в горно-предгорной зоне. В 2017 году количество АВП по Республике составил уже 486, с орошаемой площадью 749,2 тыс. га. или 73,2% от общей орошаемой площади, т.е. идет тенденция увеличения и развития АВП для эксплуатации и технического обслуживания внутрихозяйственной оросительной сети и сооружений на них [5].

Таблица 1.2 - Количество АВП в разрезе областей

Область	Количество АВП	Всего орошаемых земель, тыс. га	Орошаемая площадь охвата зарегистр. АВП, тыс. га	Процент охвата орошаемых земель АВП
Баткенская	32	57,5	48,1	84
Жалалабатская	67	124,6	96,0	76
Иссык-Кульская	63	156,4	111,9	72
Нарынская	48	120,5	68,2	57
Ошская	89	129,6	100,5	78
Таласская	69	112,7	92,3	82

Чуйская	107	320,2	215,9	67
Всего по Кыргызской Республике	475	1022,5	732,9	72

В настоящее время коэффициент полезного действия межхозяйственных каналов составляют 0,82, внутривозвратных 0,5-0,55, а оросительных систем Кыргызстана около 0,41-0,45 [4].

По исследованиям Иванова И.В. [11], «мелкие» каналы, расходы в которых не превышают 3 м³/с, имеют параболическое сечение (см. таблицу 1.3). Каналы, отнесенные к категории «мелких», «средних» и «крупных» [9] могут иметь, как показано в таблице 1.1, и трапециевидное, и прямоугольное сечение. Такие сечения являются наиболее выгодными в гидравлическом отношении, в строительстве и надежными в эксплуатации.

Облицованные каналы-быстротоки имеют скорости течения воды в пределах от 2 до 15 м/с, глубины 0,3-2,5 м и, в большинстве случаев, глубины достигают одного метра, что наглядно видно из данных таблицы 1.3. Облицовки некоторых каналов выполнены из монолитного железобетона, в основном же из сборного железобетона (каналы Ден, Левобережный, Новый, Аспаринский, Меркенский и др.).

Таблица 1.3 -Технические показатели оросительных систем Кыргызской Республики на 01.01.2016 г. [5]

Наименование БУВХ	Земельный площадь, тыс.га	Протяженность каналов, км	В том числе		В том числе, км			Гидрометрические посты, шт	
			Значение каналов	Протяженность, км	В земляном русле	В бетонной облицовке	В лотках	Всего	На балансе УВХ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Чуйское	320,28	$\frac{6416,33}{1646,48}$	МежхозВнут рихоз	$\frac{1623,9}{5330,4}$	$\frac{-}{3066,0}$	$\frac{1624}{807,0}$	$\frac{-}{1457,0}$	$\frac{1216}{74}$	$\frac{1142}{-}$
Иссык-Кульское	156,52	$\frac{3922,34}{760,24}$	МежхозВнут рихоз	$\frac{653,6}{2404,0}$	$\frac{-}{950,0}$	$\frac{654,0}{1204}$	$\frac{-}{250,0}$	$\frac{445}{128}$	$\frac{317}{-}$
Таласское	112,804	$\frac{2964,1}{729,0}$	МежхозВнут рихоз	$\frac{703,3}{2019,7}$	$\frac{-}{976,1}$	$\frac{703,0}{735,5}$	$\frac{-}{308,1}$	$\frac{296}{86}$	$\frac{210}{-}$
Ошское	129,449	$\frac{1434,74}{982,74}$	МежхозВнут рихоз	$\frac{952,0}{983,0}$	$\frac{-}{297,2}$	$\frac{952,0}{582,5}$	$\frac{-}{103,3}$	$\frac{451}{22}$	$\frac{429}{-}$
Нарынское	120,5	$\frac{3760,4}{693}$	МежхозВнут рихоз	$\frac{697,0}{3063,4}$	$\frac{-}{866,1}$	$\frac{605,8}{1918,2}$	$\frac{-}{279,1}$	$\frac{246}{74}$	$\frac{172}{-}$
Жалал-Абадское	124,8	$\frac{3896,4}{607,1}$	МежхозВнут рихоз	$\frac{607,0}{3289,4}$	$\frac{-}{1633,1}$	$\frac{607,0}{1398,0}$	$\frac{-}{258,4}$	$\frac{515}{194}$	$\frac{321}{-}$

Примечание - в третьем столбце таблицы: в числителе - фактическая протяженность каналов, в знаменателе – протяженность каналов, находящихся на балансе БУВХ.

Таблица 1.4 - Характеристика лотковых каналов горно-предгорной зоны

Характеристика лотков	Параметры
1. Пропускная способность лотковых каналов, м ³ /с	0,1 – 2,0
2. Характеристики лотковых каналов	
сечение	Параболическое
Высота, м	0,6 – 1,0
Длина секции, м	6,0 – 8,0
уклоны	0,002 – 0,08
3. Гидравлические элементы потоков в лотках	
Глубина, м	0,2 – 0,5
Скорость, м/с	1,2 – 5,5
Число Фруда	0,3 – 4,6
4. Запас бортов лотка над уровнем воды, м	0,1 – 0,5

Для бурных потоков $Fr > 1$, причем этот параметр в каналах горно-предгорной зоны находится в пределах от 1 до 30. Как отмечается во многих работах, «течения спокойных и бурных потоков имеет глубокие принципиальные отличия» [7],[8],[9]. Так если в спокойном потоке влияние возмущения быстро сглаживается и затухает, то в бурном потоке, наоборот, возмущения передаются вглубь (внутри) потока без заметного сглаживания. Эти особенности в поведении бурных потоков приводят к тому, что попытка отклонения их при помощи продольных стенок вызывает отражение потока сопровождающееся образованием выплесков, косых волн и прыжков. Это в значительной степени искажает характеристики потока, причем нарушения в распространении глубин, скоростей и удельных расходов стойко сохраняются на большой длине каналов [11]. Необходимо отметить еще одну особенность рассматриваемых каналов – некоторые из них работают в двойном режиме: при малых и средних расчетных расходах – в волновом и при форсировании

расхода в безволновом [12]. Так как максимальная высота сформировавшихся волн редко превышает глубину потока при расходе Q_{\max} , волновое движение в пределах водопропускного тракта часто допускается. Эти особенности бурных потоков приходится строго учитывать при компоновке и конструировании гидротехнических сооружений. Также следует отметить непропорциональное увеличение глубины потока при пропорциональном возрастании расхода воды, иначе говоря, повышенные расходы воды в быстротоках не дают значительное увеличение глубины потока, которые должны учитываться при проектировании водотоков и сетевых сооружений на них.

К другим особенностям каналов-быстротоков, которые могут осложнить работу не только самих каналов, но и работоспособность водораспределительных, поворотных и других сетевых сооружений относятся [4]:

1. Частая деформация (разрушение) облицовок каналов, вызванные суффозией, размывом и осадкой грунта в основании бетона, разрушением самой облицовки из-за низких качеств строительных работ, сползанием и перекосом железобетонных плит. Данные деформации резко ухудшают гидравлику потока в быстротечных каналах, вызывая фонтаны, косые прыжки и другие нежелательные явления;

2. Наличие в воде плавающих и влекомых предметов, застревание которых в пределах гидротехнических сооружений, а именно поворотных и водораспределительных сооружений может нарушить режим их работы.

3. «Трассирование каналов производится»[10]:

а) по границам севооборотов, в результате чего, во избежание нарушения их форм, осуществляют поворот каналов с бурным режимом течения на углы от 4° до 90° ;

б) по косогорам, вписываясь в рельеф местности, что так же указывает на необходимость строительства поворотных сооружений с углами поворотов до 90^0 ;

в) для удобоукладываемости канала из Г-образных блоков необходимо выполнение поворота канала в плане не по радиусу закругления в плане, а в форме ломаной линии.

4. Боковые отводы водовыпусков способствуют появлению в быстротечных каналах косых прыжков.

Исследования Бейшекеева К.К. показали, что [14] поворот бурного потока осуществляется:

а) не только по плавной в плане кривой, но и по ломаной линии;

б) тем реже, чем крупнее канал;

в) несмотря на бурное состояние потоков в каналах горно-предгорной зоны, осуществляется поворот водотоков на углы от 4^0 до 90^0 ;

г) поворот каналов осуществляется даже при больших числах параметра кинетичности потока ($Fr_0 > 20$), причем не только по плавной в плане кривой, но и по ломаной линии;

«В настоящее время особенно актуальным в Кыргызстане является изучение режимов движения потоков, условий и возможных схем водораспределения для дальнейшей разработки и строительства комплексных гидротехнических сооружений на каналах горно-предгорной зоны» [6].

Проведенный анализ позволяет отметить следующее:

1. Большие потери воды на фильтрацию, рельефные условия, малые коэффициенты земельного использования создали необходимость трассирования и строительства каналов с уклонами около или более критических.

2. Наличие больших уклонов, по которым проходят трассы каналов вызывают повышенные требования к выбору, проектированию и строительству каналов и сооружений на них, так как гидравлический режим их работы более сложен и тяжел по сравнению со спокойными потоками.
3. Для оросительных систем с бурным режимом потока должен быть выполнен анализ распределительных, поворотных и других сооружений с учетом специфики этих потоков, обладающих высокими технико-экономическими показателями.
4. Распространенным типом сооружений для управления бурными потоками являются поворотные участки быстотоков. Управление процессом водораспределения на быстротечных каналах осуществляется, главным образом, вододелителями.

1.3 Развернутая классификация гидротехнических сооружений для управления потоками на каналах-быстотоках

«В состав водохозяйственного комплекса бассейновых управлений водного хозяйства КР входят магистральные каналы межреспубликанского и межрайонного значения, межхозяйственные каналы, крупные плотинные водозаборы, водоочистные, подпитывающие, водо- и селепроводные, перегораживающие, водораспределительные, сбросные, водомерные и другие гидротехнические сооружения»[13]. «Таким образом, оросительная система регулярного орошения представляет собой комплекс из орошаемых земель, источника орошения и системы гидросооружений и каналов на них для коренного улучшения неблагоприятных природных условий с целью получения высоких урожаев с наиболее эффективным использованием земельных и водных ресурсов, без отрицательного воздействия на окружающую среду»[13]. Для правильного выбора необходимых сооружений при проектировании

оросительной системы и на стадии ее реконструкции удобно пользоваться современной классификацией.

Состав гидротехнических сооружений на открытой оросительной сети выбирается главным образом в зависимости от топографических условий и назначения каналов. Именно топография местности обосновывает необходимость выбора направления трассы канала, а также форму его продольного профиля. Это объясняет тот факт, что среди сетевых сооружений имеет место достаточно большое количество сопрягающих сооружений, таких как сужающиеся и расширяющиеся переходы, повороты и виражи. В горно-предгорной зоне, при трассировании каналов поперек склонов горных хребтов нельзя обойтись без устройства дюкеров, акведуков и трубчатых переездов через горные водотоки.

При проектировании магистральных каналов чаще всего строительная глубина не изменяется, а при необходимости изменения уклона трассы канала его пропускная способность регулируется изменением его ширины. При этом устраиваются линейные сужающиеся и расширяющиеся переходы на участках изменения уклона дна канала. Среди наиболее распространенных сетевых сооружений распределительной части оросительной системы следует выделить водораспределительные и водовыпускные сооружения. Общее количество таких сооружений составляет почти 170 шт. на 1000 га. Причем пропускную способность до $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ имеют 93,2%; пропускную способность от $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ до $2 \text{ м}^3/\text{с}$ имеют 5,2%, а более $2 \text{ м}^3/\text{с}$ – почти 1,6%. [12].

«Разработанная классификация гидротехнических сооружений для управления потоками на каналах с уклонами дна больше критического, позволяющая классифицировать сооружения по различным признакам, представлена на рисунке 1.2»[12].

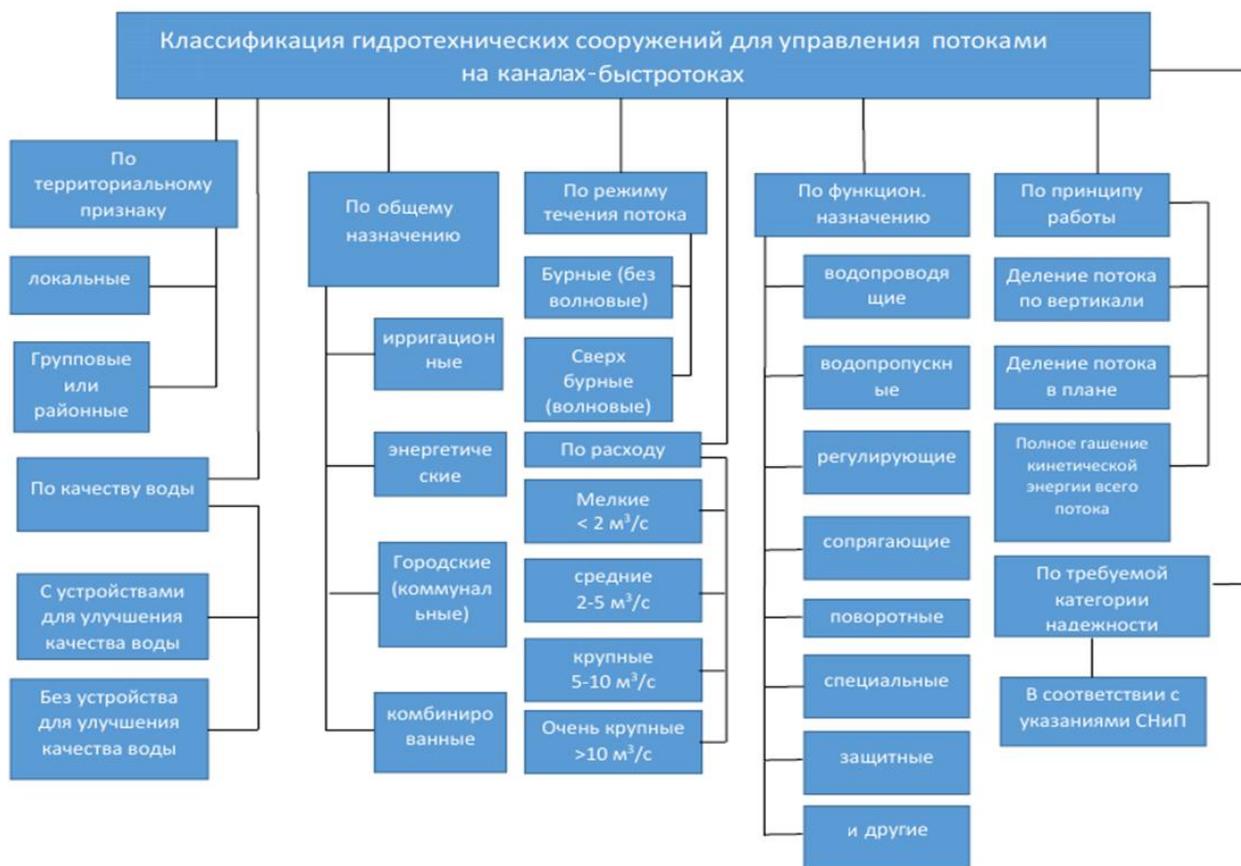


Рисунок 1.2 – Общая классификация гидротехнических сооружений для управления бурными потоками

Для большинства элементов мелиоративной системы, характерна пространственная разбросанность на каналах большой протяженности, которые нужно учитывать при автоматизации, поэтому при классификации данных сооружений (рисунок 1.2) необходимо деление по месту расположения на локальные и групповые.

Технология работы сооружений, входящих в узел имеют особенности, отличные от локальных гидротехнических сооружений. Технологические процессы, протекающие в отдельных элементах узла, взаимосвязаны и взаимозависимы. На оросительных системах Кыргызстана устраивают также сооружения для защиты каналов от наносов, для улучшения качества воды.

Количественным показателем или показателем внешнего состояния процесса водораспределения является расход Q , а качественным или показателем внутреннего состояния процесса – напор H [16]. Для оценки каналов с бурным течением и сооружений на них по расходным характеристикам составленная нами общая классификация дополнена элементами классификации оросительных каналов, разработанной С.С. Сатаркуловым[4], в соответствии с которой:

- все каналы, имеющие в основном внутривладельческое значение, относятся к категории «мелких», т.к. их пропускная способность не превышает $2 \text{ м}^3/\text{с}$;
- каналы, построенные для 2-3 хозяйств, относятся к категории «средних», т.к. их пропускная способность изменяется в пределах от 2 до $5 \text{ м}^3/\text{с}$;
- каналы, имеющие в основном межрайонное и межреспубликанское значения, отнесены к категории «крупных» и «очень крупных», пропускная способность которых достигает $20 \text{ м}^3/\text{с}$, в исключительных случаях $30 \text{ м}^3/\text{с}$;

Доминирующее место в общей иерархической структуре оросительных систем и орошаемого земледелия занимают технические средства и их показатели. Отличаясь большим разнообразием своего состава и назначения, все технические элементы, как правило, строго взаимосвязаны с другими технологическими процессами (см. рисунок 1.2) [20].

Из общей классификации ГТС для каналов горно-предгорной зоны следует отдельно подчеркнуть особенные главные функциональные элементы, которые представляют собой сетевые сооружения на внутривладельческой оросительной системе (см. рис. 1.3), техническое решение которых может значительно отличаться, в зависимости от природных и гидрологических режимов объекта. Хотя сооружения определенного назначения могут выполнять одну и ту же функцию, сами конструкции, а также издержки на их

строительство и эксплуатацию, могут быть разными. Помимо водораспределительных и водовыпускных сооружений, распространенными гидротехническими сооружениями на оросительной сети в горно-предгорной зоне являются:

- водомерные сооружения;
- поворотные сооружения;
- сопрягающие сооружения;
- подпитывающие сооружения;
- гасители энергии потока и др.

Показанные на рисунке 1.3 сетевые гидротехнические сооружения обеспечивают свою основную функцию за счет следующих конструкций:

1. Проводящие сооружения

1.1. Каналы

1.1.1. Трапецеидального сечения (облицованные каменнойотмосткой, монолитные, сборно-монолитные)

1.1.2. Прямоугольного сечения (монолитные, сборно-монолитные)

1.1.3. Полигонального профиля (монолитные)

1.2. Лотки

1.2.1. Прямоугольный железобетонный (сборные, ж/б)

1.2.2. Параболический (сборные, ж/б ГОСТ 21509-76)

1.2.3. Трапецеидальный(сборные, ж/б)

1.2.4. Полукруглый (сборные, ж/б)

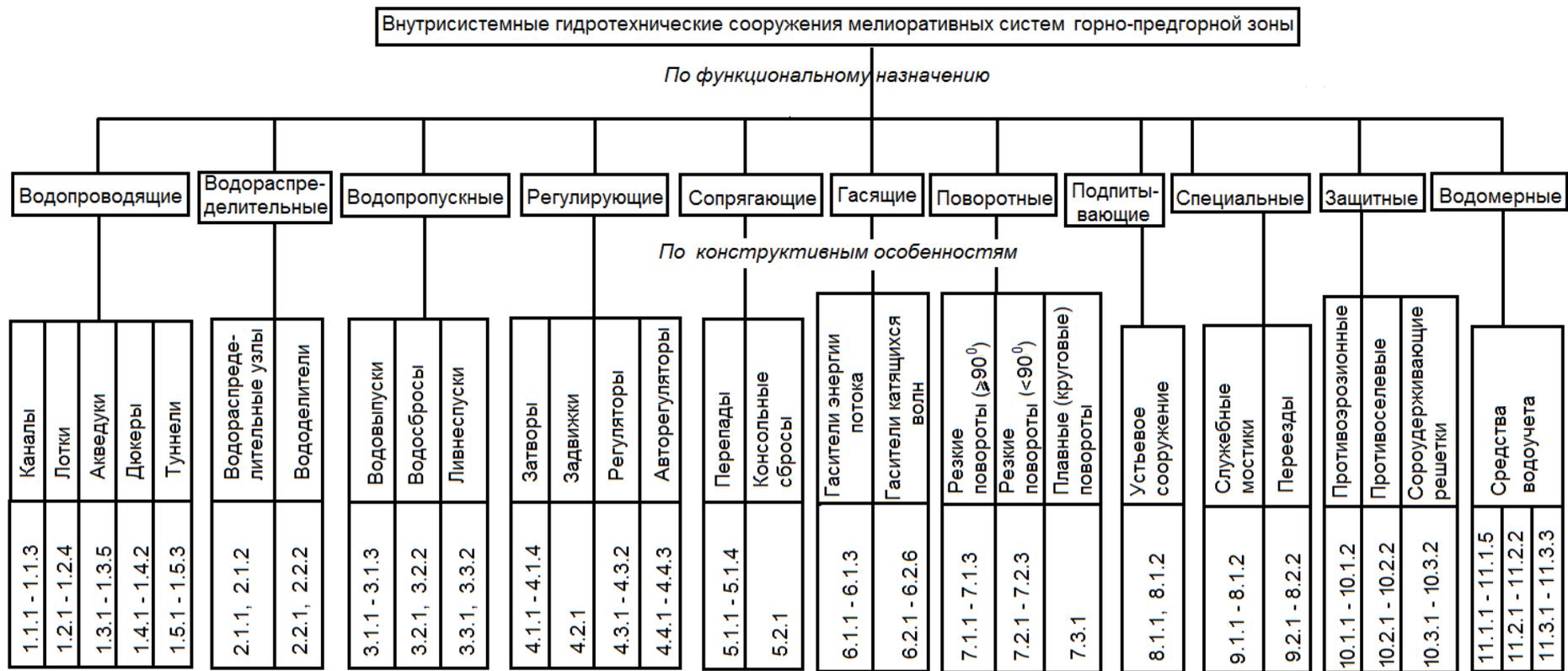


Рисунок 1.3 – Классификация внутрисистемных гидротехнических сооружений мелиоративных систем горно-предгорной зоны

- 1.3. Акведуки
 - 1.3.1. Прямоугольный ж/б
 - 1.3.2. Параболический ж/б
 - 1.3.3. Трапецеидальный ж/б
 - 1.3.4. Полукруглый ж/б
 - 1.3.5. Туннельного типа (с круглым замкнутым сечением, с прямоугольным замкнутым сечением)
- 1.4. Дюкеры
 - 1.4.1. Круглого сечения (криволинейный или ломаный по длине)
 - 1.4.2. Прямоугольного сечения (ломаный по длине)
- 1.5. Туннели
 - 1.5.1. С поперечным сечением кругового очертания (стальные, ж/б, бетонные) СНиП 2.06.09-84
 - 1.5.2. Прямоугольного сечения (стальные, ж/б, бетонные)
 - 1.5.3. С поперечным сечением различных форм циркульного очертания (стальные, ж/б, бетонные) по СНиП 2.06.09-84
- 2. Водораспределительные сооружения
 - 2.1. Водораспределительный узел
 - 2.1.1. Водораспределительный узел, включающий комплекс гидротехнических сооружений (водовыпуски, регуляторы, гаситель энергии потока и др.), обеспечивающий деление потока на 2 отводящих канала
 - 2.1.2. Водораспределительный узел, включающий комплекс гидротехнических сооружений (водовыпуски, гаситель энергии потока и др.), обеспечивающий деление потока на 3 и более отводящие канала
 - 2.2. Вододелители
 - 2.2.1. Односторонний вододелитель бурного (сверхбурного) потока
 - 2.2.2. Двухсторонний вододелитель бурного (сверхбурного) потока
- 3. Водопропускные сооружения

- 3.1. Водовыпуски
 - 3.1.1. Боковой
 - 3.1.2. Траншейный
 - 3.1.3. Комбинированный (водовыпуск-регулятор и др.)
- 3.2. Водосбросы
 - 3.2.1. Катастрофический (аварийный) водосброс
 - 3.2.2. Концевой водосброс
- 3.3. Ливнеспуски
 - 3.3.1. Открытого типа
 - 3.3.2. Закрытого типа
- 4. Регулирующие сооружения
 - 4.1. Затворы (с различными типами подъемных устройств)
 - 4.1.1. Плоские
 - 4.1.2. Сегментные
 - 4.1.3. Секторные
 - 4.1.4. Воротообразные
 - 4.2. Задвижки
 - 4.2.1. Задвижки на напорных элементах (дюкерах, акведуках и др.)
 - 4.3. Регуляторы
 - 4.3.1. Одиночный регулятор
 - 4.3.2. Комплексный регулятор, обеспечивающий водоподачу на несколько отводов одновременно
 - 4.4. Авторегуляторы
 - 4.4.1. Авторегуляторы расхода воды (гидравлические, электрические)
 - 4.4.2. Авторегуляторы уровня (в составе водораспределительных узлов)
 - 4.4.3. Гидравлические стабилизаторы расхода воды
- 5. Сопрягающие сооружения
 - 5.1. Перепады
 - 5.1.1. Ступенчатый

- 5.1.2. Трубчатый
- 5.1.3. Шахтный
- 5.1.4. Комбинированный
- 5.2. Консольные сбросы
 - 5.2.1. Консольный сброс на выходе канала-быстротока в регулируемую емкость
- 6. Гасители
 - 6.1. Гасители энергии потока в нижнем бьефе канала-быстротока
 - 6.1.1. Шашечный гаситель энергии потока воды
 - 6.1.2. Гаситель энергии потока воды типа «Зигзаг»
 - 6.1.2. Гаситель энергии потока воды с поперечными гасящими элементами (конструкции К.И. Арсенишвили, В.Г. Макаеляна и др.)
 - 6.1.3. Гаситель энергии потока воды комбинированного типа (конструкции Я.В. Бочкарева, Н.П. Лаврова и др.)
 - 6.2. Гасители катящихся волн на каналах со сверхбурным течением
 - 6.2.1. Стенки-детурбулизаторы
 - 6.2.2. Продольные перегородки в донных траншеях
 - 6.2.3. Средства гашения катящихся волн на водоскате (гаситель-волнорез, трамплин К.И. Арсенишвили, конструкции Э.Б. Бекбоева и Р.С. Бекбоевой и др.)
 - 6.2.4. Плавающие решетки различной формы (конструкции Н.П. Лаврова, В.А. Биленко и др.)
 - 6.2.5. Рассекатели
 - 6.2.6. Ленточные гасители
- 7. Поворотные сооружения
 - 7.1. Поворотные сооружения для резкого поворота трассы канала на угол $\geq 90^{\circ}$
 - 7.1.1. Колодцы (прямоугольные и круглые в плане)
 - 7.1.2. Угловые отсекатели (kozyрьки, полки и др. элементы)
 - 7.1.3. Комбинированного типа

- 7.2. Поворотные сооружения для резкого поворота трассы канала на угол $<90^0$
 - 7.2.1. Колодцы, обеспечивающие поворот трассы канала на угол $<90^0$
 - 7.2.2. Направляющие элементы (горизонтальные и вертикальные)
 - 7.2.3. Комбинированные поворотные сооружения на угол $<90^0$
- 7.3. Поворотные сооружения, обеспечивающие плавный поворот
 - 7.3.1. Плавный поворот канала по круговой кривой
- 8. Подпитывающие
 - 8.1. Устьевое сооружение на канале
 - 8.1.1. Сооружение по соединению потоков двух открытых каналов
 - 8.1.2. Сооружение по соединению трубопровода (туннеля) и канала открытого типа
- 9. Специальные
 - 9.1. Служебные мостики
 - 9.1.1. Прямоугольный ж/б блок
 - 9.1.2. Стальной мостик марки СМ
 - 9.2. Переезды
 - 9.2.1. Трубчатый переезд (трубы прямоугольные или круглые)
 - 9.2.2. Мостовой переход
- 10. Защитные
 - 10.1. Противоэрозионные
 - 10.1.1. Противофльтрационные элементы одежд каналов, предотвращающие водную эрозию почв
 - 10.1.2. Водоотводные канавы для сбора ливневых и талых вод с территорий, лежащих выше канала оросительной системы
 - 10.2. Противоселевые
 - 10.2.1. Распылители стока, устраиваемые на склонах для перехвата сосредоточенных потоков и отвода их к емкостям-накопителям воды
 - 10.2.2. Водосборные противоселевые сооружения на оросительной сети, не допускающие разрушение каналов и других сетевых сооружений селевыми

горными потоками (быстротоки, перепады, стенки падения, консольные сбросы)

10.3. Сороудерживающие решетки

10.3.1. Одиночные (плоская стержневая решетка, плоская сетчатая, пластинчатая фигурная и др.)

10.3.2. Секционные, включающие несколько секций

10. Водомерные

11.1. Сооружение для водоучета, размещенное на специально обустроенном участке канала с уклоном меньше критического

11.1.1. Фиксированное русло

11.1.2. Водомерные сооружения типа «Лотки» (Вентури, Паршала, САНИИРИ и др.)

11.1.3. Водосливы различных профилей (треугольные, трапецеидальные, прямоугольные, фигурные)

11.1.4. Затворы-водомеры

11.1.5. Водомерные насадки

11.2. Сооружения на быстротечном участке канала

11.2.1. Водомеры с входом траншейного типа и отдельно размещенным успокоительным колодцем

11.2.2. Водомеры со щелевым входом и отдельно размещенным успокоительным колодцем

11.3. Вододелители-водомеры

11.3.1. Вододелитель-водомер с перепадом перед сооружением

11.3.2. Вододелитель-водомер с водоприемным лотком (конструкции К.К. Бейшекеева, С.С. Сатаркулова)

11.3.3. Вододелитель-водомер с колодцем-гасителем и щитом-водомером (конструкции С.С. Сатаркулова и др.)

Наиболее массовыми функциональными элементами на гидромелиоративных системах горно-предгорной зоны являются сооружения, отраженные в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Основные функциональные элементы гидромелиоративных систем

Функциональные элементы	Назначение
Водораспределительные сооружения	Устройства для распределения оросительной воды
Водопропускные, включая сбросные сооружения	Водовыпуск из канала, либо технологические и аварийные сбросы воды
Водомерные сооружения	Устройства для учета воды
Поворотные сооружения	Поворот потока на необходимый угол
Сопрягающие сооружения	Подача воды с высоких отметок на более низкие
Подпитывающие сооружения	Сооружения по соединению потоков

«По каждому из этих функциональных элементов накоплен большой опыт исследований, проектирования, строительства и эксплуатации, известны достоинства и недостатки используемых конструкций, но примеров рассмотрения системы в целом очень мало» [13]. Проектные организации ввиду больших затрат выбирают наиболее выгодное решение по отдельному элементу, но система, в целом, остается далеко от совершенства. Поэтому необходим анализ существующего положения гидромелиоративных систем, с определением в каждом отдельном случае причины возникновения тех или иных нарушений в работе водопроводящей системы, чтобы бороться в дальнейшем с причинами, а не со следствиями негативных явлений. Негативные явления на гидромелиоративных системах обусловлены слабой технической оснащенностью оросительных систем, а также неправильным выбором сочетания конструктивных решений отдельных функциональных элементов из имеющегося арсенала конструкций сооружений, отвечающего конкретным условиям горно-предгорной зоны. Одним из путей мелиоративного

улучшения земель является реконструкция межхозяйственной оросительной сети и его совершенная эксплуатация.

Исходя из вышеизложенного, необходимо найти именно то функциональное звено, модернизация которого может наиболее рациональным способом устранить неполадки в работе системы.

Конструктивно каждый из выделяемых функциональных элементов может быть реализован с учетом своих индивидуальных особенностей в зависимости от топографических, гидрологических, гидрогеологических, климатических и экономических условий объекта. Отдельные конструктивные особенности отмеченных в таблице 1.5 конструктивных элементов, устраиваемых на каналах с уклонами больше критического, приведем в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Конструктивные особенности некоторых функциональных элементов оросительной системы

Функциональный элемент	Конструктивные особенности
Водораспределительные сооружения	Водозаборные узлы сооружений или водозаборные сооружения устраиваются на крупных магистральных каналах для обеспечения гарантированной подачи воды в 2 и более отводящих канала; водораспределительные узлы сооружений устраиваются на крупных магистральных и межхозяйственных каналах для распределения воды на 2-3 отвода; вододелители устраиваются на каналах-быстротоках, обеспечивая подачу требуемых расходов воды 1-у или 2-м потребителям
Продолжение таблицы 1.6	
Водопропускные сооружения	Водовыпускные сооружения или одиночные водовыпуски размещаются на потоках с числами Фруда, близкими к единице, либо на специально устраиваемых участках каналов, имеющих докритические уклоны дна
Сбросные водопропускные сооружения	Концевые сбросы, устраиваемые в концевой части канала, для сброса излишков воды в бассейн суточного (декадного) регулирования или другую регулируемую емкость Аварийные сбросы, устраиваемые для сбросов нерегулируемых расходов воды в системе
Водомерные сооружения	Водомерные сооружения, располагаемые на трассе канала в местах, где необходим водоучет; водомерные сооружения, устраиваемые в голове канала-быстротока; водомеры, располагаемые на выходной части регуляторов; трубчатые водомеры-регуляторы;

	водомеры с входом траншейного или щелевого типа и отдельно размещенным успокоительным колодцем; тарированные сооружения
Поворотные сооружения	Устройство плавного поворота канала по заданному радиусу закругления; устройство поворота потока путем виражирования; устройство резкого поворота трассы канала при помощи специальных поворотных сооружений.
Сопрягающие сооружения	Перепады, устраиваемые на участках каналов при больших разностях отметок топографической поверхности; консольные сбросы, устраиваемые в случае необходимости одновременного обеспечения сопряжения бьефов и гашения избыточной кинетической энергии потока
Подпитывающие сооружения	Сооружение, конструктивно обеспечивающее слияние двух или нескольких потоков в плане (в горизонтальной плоскости) Сооружение, конструктивно обеспечивающее вертикальное соединение нескольких потоков Комбинированное слияние нескольких потоков на сооружении и направление их в единое русло

Практически задача сводится к выбору конструкции для системы в целом наивыгоднейшего в народно-хозяйственном плане, с учетом технико-экономических показателей ее отдельных функциональных элементов, сочетания конструктивных решений отдельных функциональных элементов, отвечающего конкретным условиям горно-предгорной зоны.

Для конкретного рассмотрения всей цепи системы и выбора наиболее перспективного и экономически оправданного конструктивного решения того или иного типа сетевых гидротехнических сооружений на каналах горно-предгорной зоны необходимо исходить из функциональных особенностей сооружений в соответствии с развернутой классификацией (см. рисунок 1.6) применительно к каналам-быстротокам. Поэтому обоснование путей дальнейшего совершенствования внутрисистемных гидротехнических сооружений на каналах горно-предгорной зоны требует проведения детального анализа существующих конструкций этих сооружений на каналах-быстротоках.

1.4 Анализ существующих конструкций водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках

Как отмечалось выше, основная масса водоводов оросительных систем в горно-предгорной зоне Кыргызстана выполнена в виде каналов из сборных ж/б элементов или в монолитной бетонной (ж/б) одежде. По взаимодействию в оросительной системе водоводы делятся на:

- «магистральные – подвод воды от водозаборного сооружения к межхозяйственным водораспределителям»[21];
- «межхозяйственные – подвод от магистрального канала во внутрихозяйственные распределители к группам водопользователей»[21];
- «внутрихозяйственные – подвод воды к отдельным хозяйствам или внутри хозяйства к оросителям»[21].

Составной частью оросительных систем являются сооружения водораспределения.

Многочисленность видов водовыпускных и водораспределительных сооружений, разработанных для условий горных и предгорных участков каналов, свидетельствует об актуальности этой области гидротехники, а также об отражении в этих конструкциях местных условий и, вместе с тем, не всегда с должной полнотой эти условия учитываются в общей компоновке комплекса сооружений.

Несомненно, достижения науки и практики в этой области гидротехники велики, но еще немало работы предстоит в выработке общего комплекса сооружений по управлению и созданию нужной структуры потока в подводящем и отводящем каналах с бурным течением.

Современное состояние проблемы создания совершенных конструкций водораспределительных сооружений на каналах с бурным режимом потока излагается в работах А.И.Авдеева [19], Т.Акатау [20,21], А.И.Арсенишвили [22,23], А.И.Арыковой [24], О.В. Атамановой [18,25], В.А. Афанасьева [26], С.Ш. Бобохидзе [27,28], Я.В.Бочкарева [25,29,30], Е. З. Беркалиева [31,32], Р.И.Вагапова [6,33], Н.Ф.Данелия [34], Б.Т. Емцева [35], Е.А.Замарина [36,37], Т.А. Исабекова [38], В.А.Корж [39], Л.Л.Кикнадзе [40], Н.П. Лаврова [41, 42],

А.С. Лугового [43,44], В.Г.Микаеляна [45], О.Г.Натишвили [23], Г.Б. Руруа [46], С.С.Сатаркулова и Бейшекеева К.К. [4], Н.Н.Шведовой [47], В.В.Фандеева [37], и У. Иваса[48] и других отечественных и зарубежных авторов, а также в проработках проектных институтов «Грузгипроводхоз», «Киргизгипроводхоз», «Казгипроводхоз», «Узгипроводхоз» и др.

Усилиями перечисленных ученых и инженеров разработано множество конструкций водораспределительных сооружений, большинство которых в настоящее время нашли применение в строительстве на оросительных системах.

Несмотря на большое количество существующих и предложенных средств и способов автоматизации, водораспределение в КР должным образом не отвечает современным требованиям.

Чтобы изменить это положение, необходимо внедрять в производство технически совершенные и экономически выгодные средства автоматического водораспределения. Однако внедрение средств автоматики при большом разнообразии объектов регулирования наталкивается на сложность выбора рациональной конструкции для определенного конкретного объекта. Вопрос выбора наиболее выгодного и рационального типа автоматических водорегулирующих устройств связан с труднейшей задачей, имеющей в своем решении две стороны: 1) удовлетворение сложного комплекса требований к этим устройствам; 2) нахождение наиболее приемлемой конструкции из многочисленных их видов и типов.

Знание основных свойств объектов регулирования, комплекса технических условий и требований, знание различных типов автоматов, их технико-экономических, конструктивно-строительных и эксплуатационных свойств, а также влияния этих свойств на процесс регулирования намного облегчает эту задачу. Поэтому первостепенной задачей, связанной с выбором регулирующих устройств для определенного объекта, является изучение существующих и предложенных средств автоматизации.

В каналах с бурным течением воды водораспределительные сооружения работают в сложных гидравлических условиях, проектирование их требует особенно серьезного внимания. Несоответствие конструкции и размеров сооружения гидравлическим условиям бурного потока остро проявляется при эксплуатации, ведет к их неудовлетворительной работе и часто к разрушению, что нарушает плановое распределение воды, водопользование. [22-24,27-29,31,32,35].

Условия работы сооружений с водораспределительными устройствами в оросительных системах в горно-предгорной зоне были охарактеризованы выше (см.п.1.1).

Конструкции сооружений в соответствии с этими условиями должны отвечать следующим требованиям [4]:

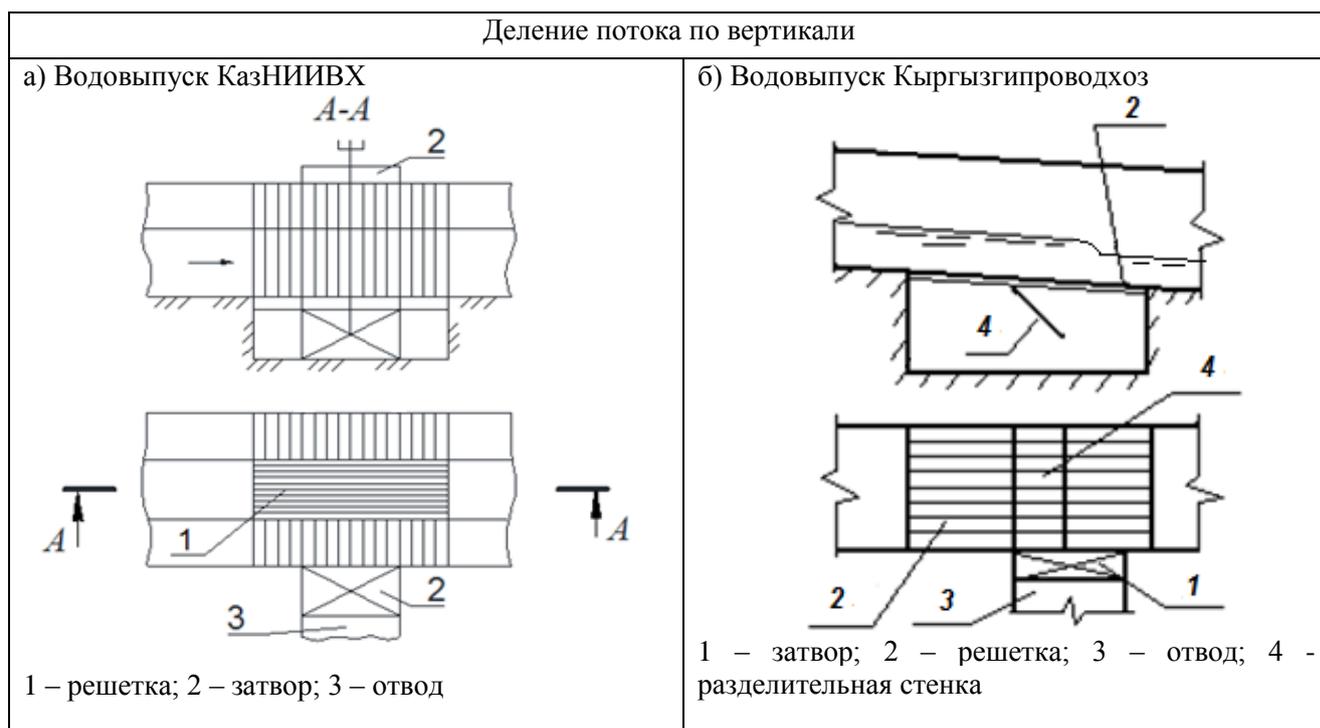
- принимаемые формы сооружений не должны нарушать режима бурного потока и не препятствовать прохождению транзитных расходов воды, плавающих предметов и камней;
- сооружения должны обеспечивать плановую подачу (стабильность) воды в отводы независимо от колебаний уровня и расхода воды в старшем канале;
- сооружения должны обладать свойствами водомерности;
- сооружения должны быть конструктивно простыми, дешевыми, удобными, надежными в эксплуатации и отвечать требованиям техники безопасности.

Соответственно этим требованиям, был выполнен анализ существующих водораспределительных устройств для оросительных систем и оценена возможность применения их на высокоскоростных каналах. Результаты этих анализов определены на базе литературных и проектных материалов, а также материалов натурных исследований различных типов сооружений получивших, значительное распространение на оросительных системах республик Средней Азии и Казахстана.

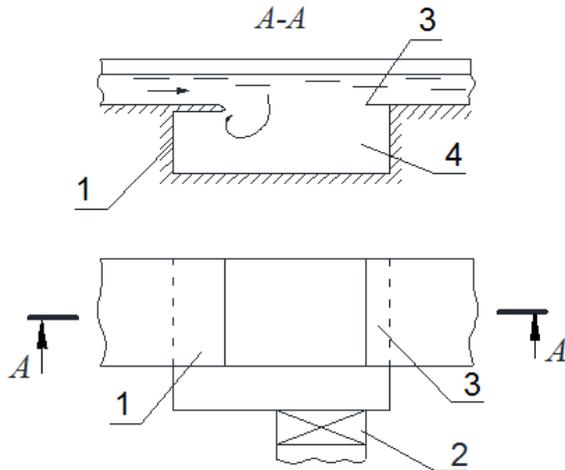
На оросительных системах самыми многочисленными являются сооружения водораспределения, которые по технологическому признаку можно подразделить на три основные группы [42]:

1. Водовыпускные сооружения или одиночные водовыпуски для подачи заданного постоянного расхода воды непосредственно из канала-быстротока, в один отвод.
2. Вододелители, осуществляющие распределение стока канала быстротока в створе водodelения в заданном соотношении между двумя потребителями, или отделение постоянной за период отбора (сутки, неделя, декада) части расхода канала-быстротока со стабилизацией водоподачи в один или оба отвода.
3. Водораспределительные узлы сооружений, где осуществляется гашение кинетической энергии потока с целью перевода его в спокойное состояние, и последующее осуществление технологических задач водораспределения на три и более отвода, борьбы с наносами и другие операции по аналогии с водораспределительными сооружениями на каналах, имеющих уклон ниже критического.

Таблица 1.7 –Односторонние водовыпуски на каналах-быстротоках

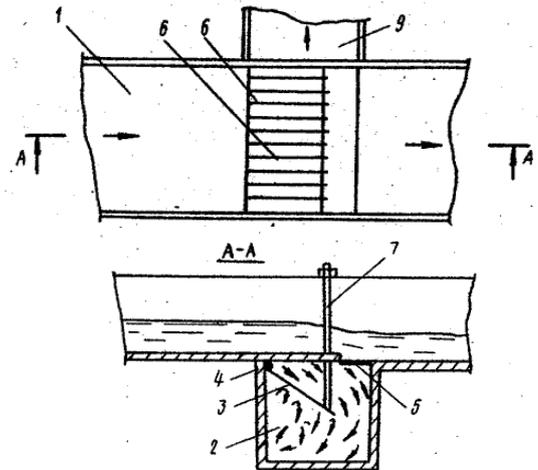


в) Водовыпуск АрмНИИВПиГ



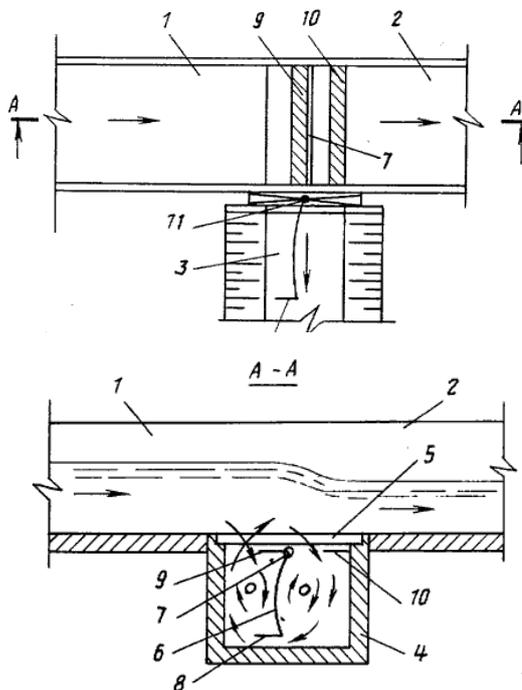
1 – плита; 2 – затвор; 3 – козырек; 4 - траншея

г) Водовыпуск из канала с бурным течением а.с.№ 1028769 Сатаркулов С.С., Акимжанов А.



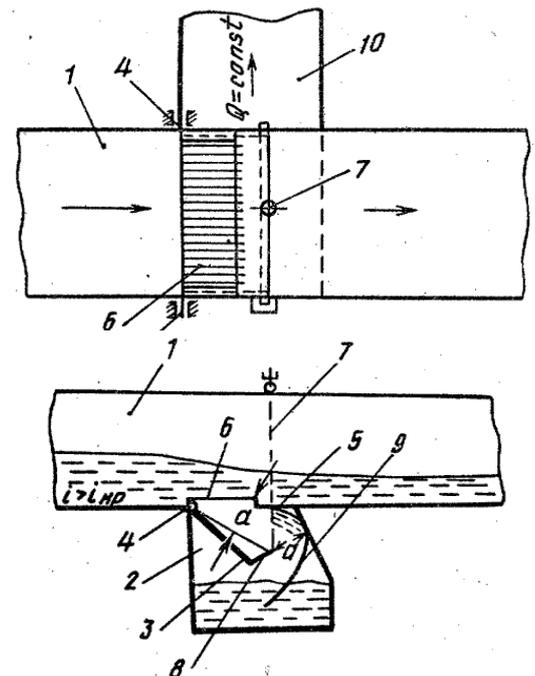
1 – канал; 2 – траншея; 3 – наклонная решетка; 4 - шарнир; 5 – отсекающий козырек; 6 – прутья решетки; 7 – подъемник

д) Водовыпуск для каналов с большими уклонами а.с.№ 763521 Есиков А.В., Барбаков В.Б., Голубенко М.И.



1,3-подводящий и отводящий каналы, 2 транзитный канал, 4-прямоук, 5- решетки, 6-разделительная криволинейная пластина, 7-горизонтальная ось, 8,9 - козырьки

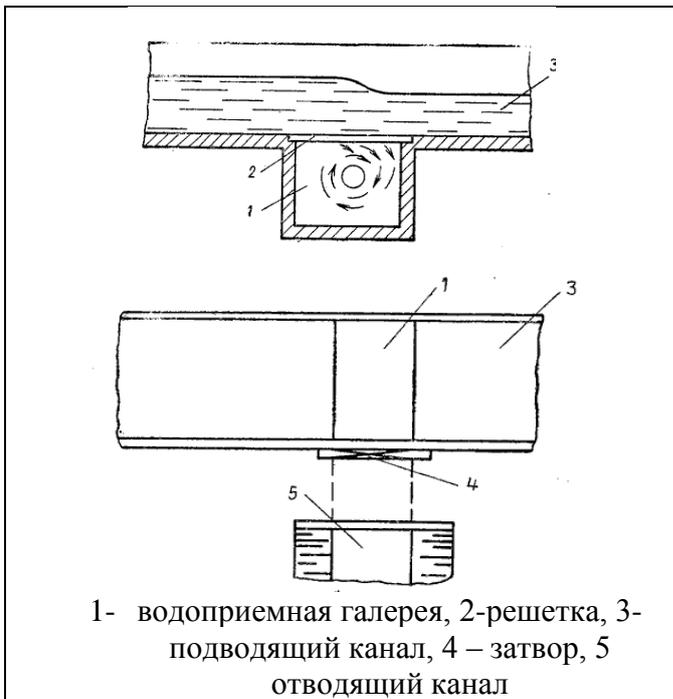
е) «Водовыпуск-стабилизатор расхода воды из каналов с бурным течением»[16].



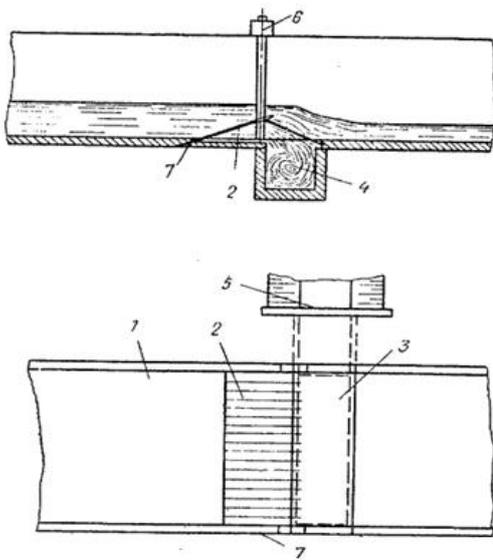
«1 –канал, 2-колодец, 3-щит, 5-козырек, 6-решетка, 7-привод, 8-наклонный козырек»[16].

ж) Водовыпуск из быстротечного канала А.С. №502082 Сатаркулов С.С., Андреев П.И.

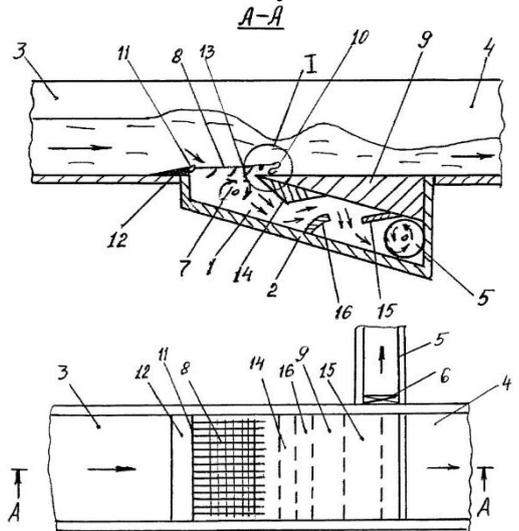
з) Гидравлический автомат расхода воды для каналов с большими уклонами А.с.277298 Бочкарев Я.В., Луговой А.С.



и) Вододелитель для каналов с большим уклоном А.С. 351968 П.И. Андреев



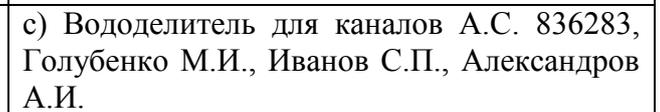
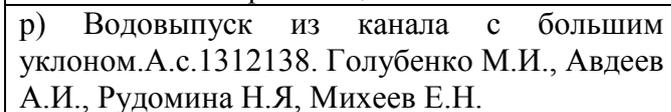
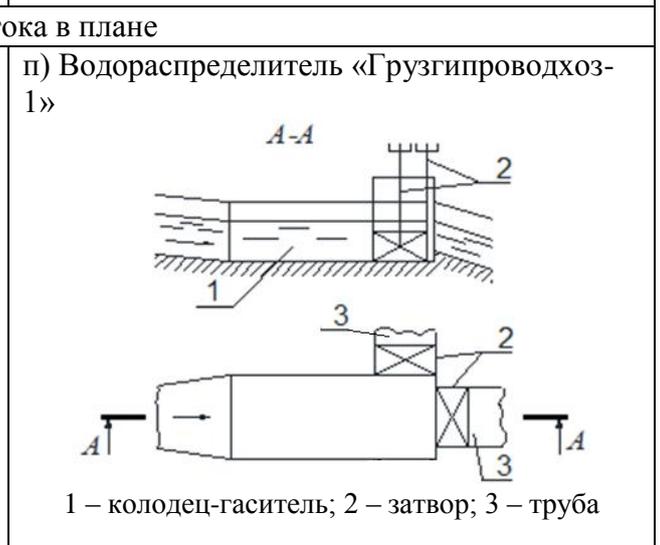
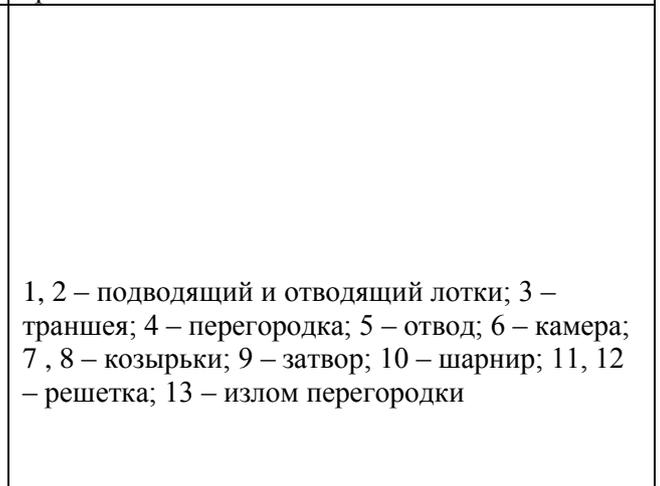
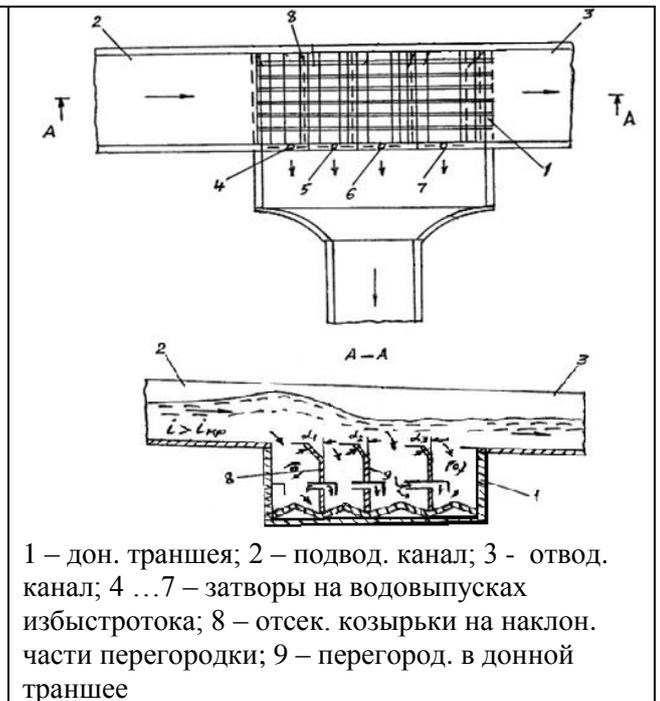
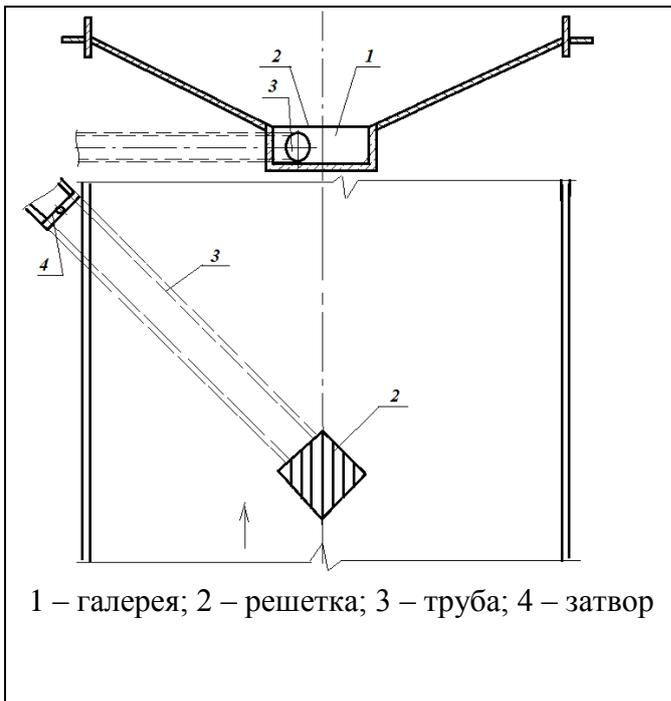
к) Водовыпуск-стабилизатор расхода воды из каналов с бурным режимом течения Патент РФ 2484203 Голубенко В.М.

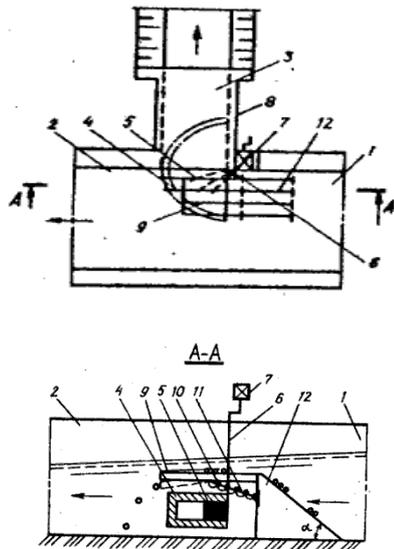


л) Водовыпуск-стабилизатор расхода воды П.И. Андреева (ВНИИКАМС)

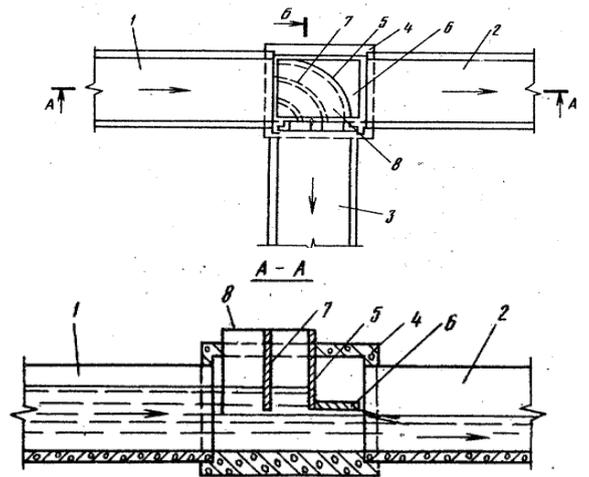
м) Вододелитель для каналов с бурным режимом течения (Патент РФ №2542514)

1 –порог; 2 – водослив; 3 - порог навхода в водоприемную камеру; 4 – подходное устройство; 5 – отводящий канал





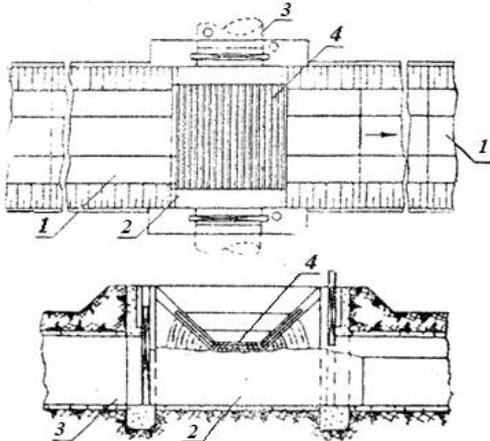
1,2-подводящий и транзитный каналы, 3 – отводящий канал, 4 секторно-ковшовый затвор, 5 рассекатель, 6-вертикальная ось



1,2-подводящий и отводящий каналы, 3- транзитный канал, 4-приемная камера, 5- криволинейная разделительная стенка, 6 - отражатель

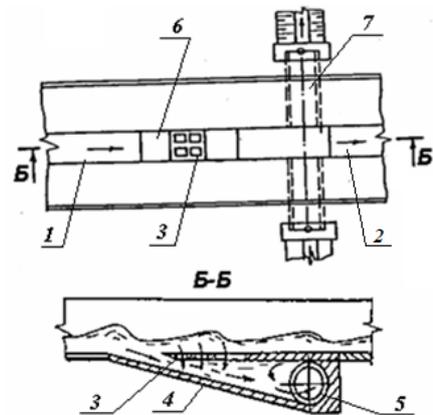
Таблица 1.8 – Вододелители двухсторонние, функционирующие по принципу деления потока по вертикали

а) Решетчатое водораспределительное устройство на каналах с большими уклонами Н.Ф. Данелия



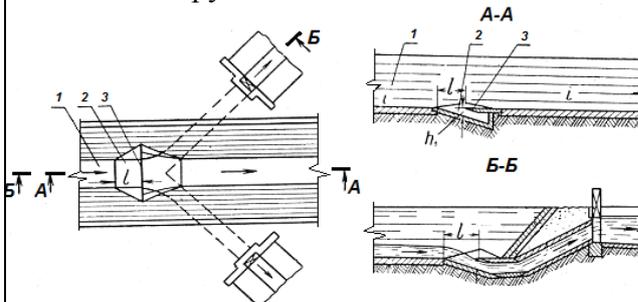
1 – лоток; 2 – отводящая траншея; 3 – отвод; 4 – решетка

б) Вихревые вододелители К.И. Арсенишвили и О.Г. Натишвили типа АН-2.



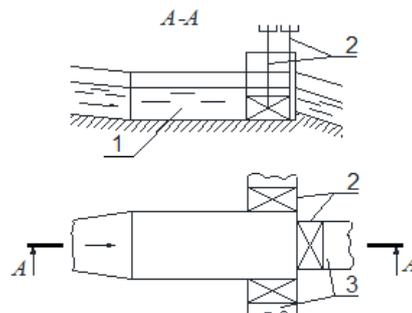
1 – подводящий лоток; 2 –отводящий лоток; 3 – решетчатая поита; 4 – наклонное дно траншеи; 5 – труба; 6 – вход в траншею; 7 - водовыпуск

в) Донный водораспределитель-автомат конструкции Бобохидзе Ш.С.



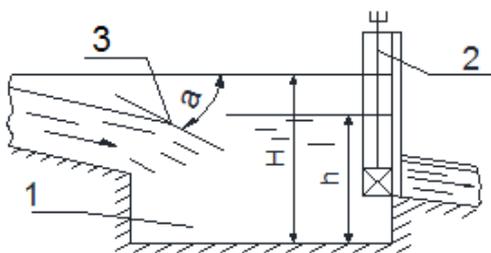
1 1- подводящий канал; 2 – отвод; 3 – отсекатель

г) Водораспределитель «Грузгипроводхоз-2»



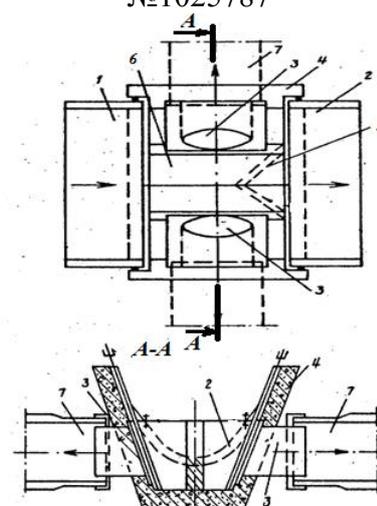
1 – колодец-гаситель; 2 – затвор; 3 – труба

д) Водораспределитель с диафрагмой Б.Г. Руруа



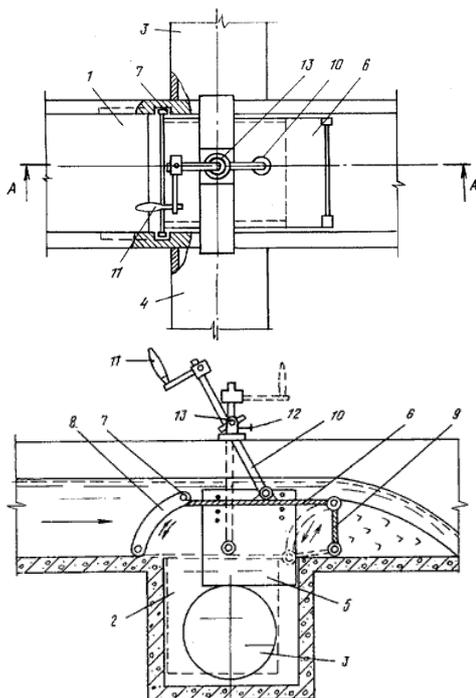
1 – траншея; 2 – затвор; 3 – диафрагма

е) Вододелитель для каналов М.И.Голубенко, Н.И. Липатов и др. А.С. №1025787



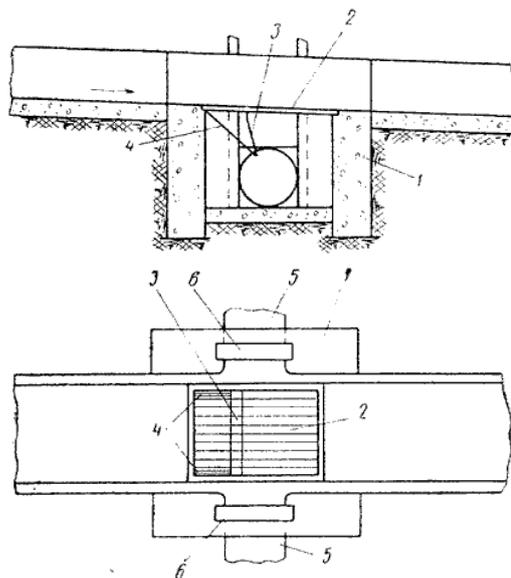
1 – лоток; 2 – дно лотка; 3 – труба; 4 – водораспределительный блок; 5 – отсекающий козырек; 6 – дно водораспределительного блока; 7 – отвод

ж) Вододелитель для канала, А.с.№1084361, Голубенко М.И., Румянцев Л.И., Маргайтис В.В.



1-канал, 2-колодец, 3,4-отводящие каналы, 5 – шторки, 6-горизонтальный щит, 7-ролики

з) Донный водовыпуск для каналов с большим уклоном а.с. № 352994 Е.З.Беркалиев, Р.И.Вагапов, С.А.Сарсекеев



1-прямик, 2-сороудерживающая решетка, 3-разделительная стенка, 4 - раскос

и) Конструкции ВНИИКАМС. Автор М.И.Голубенко

к) Конструкции Н.П. Лаврова (А.с. №1654447)

	<p>1, 2 – подводящий и отводящий лотки; 3 – траншея; 4 – перегородки; 5 – отвод; 6 – отсекающие козырьки; 7 – Г-образные козырьки; 8 – затворы</p>
<p>л) Вододелитель конструкции Н.П.Лаврова, Т.А.Исабекова (двухсторонний)</p> <p>1, 2 – подводящий и отводящий лотки; 3 – траншея; 4 – перегородка; 5 – отвод; 6 – камера; 7, 8 – козырьки; 9 – затвор; 10 – шарнир; 11, 12 – решетка; 13 – излом перегородки</p>	<p>1, 2 – подводящий и отводящий лотки; 3 – траншея; 4 – перегородка; 5 – отвод; 6 – камера; 7, 8 – козырьки; 9 – затвор; 10 – шарнир; 11, 12 – решетка; 13 – излом перегородки</p>

Таблица 1.9 –Вододелители двухсторонние, функционирующие по принципу деления потока в плане

<p>а) Пропорциональный вододелитель Р.И. Вагапов, Д.А. Баялинов (КазНИИВХ)</p>	<p>б) Пропорциональный вододелитель Р.И. Вагапов, Д.А. Баялинов (КазНИИВХ)</p>
--	--

<p>1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – отводы</p>	<p>1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – отводы</p>
<p>в) Пропорциональный вододелитель сверхбурн. потоков конструкции КСХИ</p>	<p>в) 1 – гаситель энергии; 2 – разделит. пластинка; 3 – пластинч. серьга; 4 – пласт. поворотная; 5 – разделит. стенка; 6 – мех. привод; 7 – пропорц. вододелитель</p>

В проводимом обзоре не будем приводить конструкции многочисленных авторегуляторов и стабилизаторов расхода воды, применяемых на водораспределительных узлах каналов с уклонами меньше критического [18]. Такие конструкции могут устраиваться и на каналах-быстротоках при наличии водораспределительного узла с дополнительным устройством гашения энергии потока воды. Однако они не могут считаться сооружениями, рекомендуемыми для быстротечных каналов, поскольку не работают непосредственно с бурным и сверхбурным потоками.

В табл. 1.7-1.9 приведены существующие конструкции сооружений водораспределения для каналов с высокоскоростным течением. Каждый из перечисленных типов сооружений на каналах с бурностремительным потоком такие как: одиночные водовыпуски, вододелители, распределительные узлы имеют свою специфику работы и диапазоны их применения приведены основные существующие конструкции сооружений водораспределения для каналов с высокоскоростным течением. Каждый из рассмотренных типов

сооружений на каналах с бурностремительным потоком: одиночные водовыпуски, вододелители, распределительные узлы имеют свою специфику работы и диапазоны их применения.

В табл. 1.7 приведены наиболее подходящие и типичные средства автоматизации односторонних водовыпусков на гидромелиоративных системах горной и предгорной зон. Рассматриваемые конструкции и устройства недостаточно полно, обеспечивают стабильную подачу и отвод воды в широком спектре расходов (от 0,1 до 20 м³/с).

Вододеление на сооружениях ирригационных систем горно-предгорной зоны (0,005-0,3) характеризуются следующими условиями: большие подходные скорости (2-15 м/с) и бурное состояние потока в подводящем канале ($Fr = 1-30$), суточные колебания расходов в них достигают 100%, неустойчивость гидравлического режима в основном канале, наличие большого количества плавника и влекомых наносов, достигающих размеров крупных камней.

Сооружениями впервые примененные проектными институтами «Грузгипроводхоз» (1950 г.) и «Киргизгипроводхозом» (1960 г.) полностью гасится кинетическая энергия потока в канале (табл.1.7 б, п). При этом отводится незначительная часть расхода воды (5-10%), в результате чего сооружение получилось громоздким и дорогим; эксплуатация их сложная.

Водовыпуск КазНИИВХ (табл. 1.7 а) имеет завышенную металлоёмкость, а в водовыпуске АрмНИИВПиГ наносы крупных фракций могут заваливать галерею (табл.1.7 в).

Я.В. Бочкарев и А.С. Луговой (табл.1.7з) и А.И.Авдеев (табл. 1.7 р) разработали и исследовали стабилизаторы отводимого расхода воды, принципиально отличающиеся от сооружений траншейного типа, однако эти сооружения могут использоваться в узком диапазоне расходов воды, подающих в отводы (от 0,06 до 1 м³/с), уклонов (0,005-0,02) и более (0,02), основным недостатком стабилизатора расхода Я.В. Бочкарева, Лаврова Н.П. и Жусупова

М.К.(табл.1.7е) является ненадежность подвижных металлических частей стабилизатора.

Водовыпуски приведенные в таблице 1.7 (н, о) отличаются простотой конструкции, но завышенными размерами. Оригинальны по своей конструкции водовыпуски Голубеко В.М., Сатаркулова С.С. и Андреева П.И. (табл.1.7 г, д, ж, и-л,с), но отводы ограничены по расходам, также затруднена очистка донной траншеи и отводящей трубы в процессе эксплуатации.

В сооружениях разработанных Н.Ф.Данелия, А.И.Арсенишвили и О. Г. Натишвили (Таблица 1.8 а-в), гасится кинетическая энергия только той части потока, которая подлежит отводу, остальная же часть потока пропускается через сооружение без значительного нарушения его гидравлической структуры. Приведенные в таблице 1.8, г-л конструкции представляют собой вододелители, функционирующие по принципу деления потока по вертикали. Сравнительная простота и оригинальность конструкций не позволяет не заметить их громоздкости и материалоемкости, что является их общим недостатком.

В таблице 1.9 приведены вододелители, функционирующие по принципу деления потока в плане. Применение таких конструкций на каналах-быстротоках ограничено из-за невозможности изменить пропорции деления воды, поскольку разделительная стенка неподвижна. Пропорциональный вододелитель сверхбурных потоков конструкции Кирг.СХИ, может быть устроен только в комплексе с гасителем энергии сверхбурного потока перед вододелителем, что ведет к удорожанию сооружения.

Таким образом, для каналов горно-предгорной зоны с бурным режимом потока требуется создание достаточно простых и надежных водораспределительных сооружений – стабилизаторов, обеспечивающих высокое качество водораспределения.

На основании оценки работы существующих конструкций водораспределительных сооружений, разработанных применительно к

оросительным системам горно-предгорной зоны, можно сделать следующие выводы.

1. Водораспределители, в состав которых входят колодцы-гасители, для гашения кинетической энергии всего потока имеют ряд серьезных недостатков, главными из которых являются:

- большие геометрические размеры сооружений при небольшом коэффициенте водоотбора и, следовательно, большая стоимость их строительства;

- бурный поток в пределах сооружений полностью не гасится, а приобретает очень сложный характер движения, кроме того часто наблюдается выплескивание воды за борта сооружений;

- осложняются условия управления водораспределением, т.к. сооружения не поддерживают постоянства отводимого расхода при колебаниях расходов в старшем канале, что необходимо для сетевых сооружений;

2. Сооружения, разработанные Н.П.Лавровым, Т.А. Исабековым, К.К. Бейшеевеевым являются одними из современных и улучшенных, которые охватили недостатки ранее существующих водораспределительных сооружений. Однако они также обладают рядом недостатков, основными из которых являются:

- ограниченная область применения по расходам и уклонам;

- ограниченность по назначению, только для магистральных каналов

3. Из всех конструкций сооружений, предназначенных для забора воды из каналов-быстротоков наиболее перспективными со строительной и эксплуатационной точек зрения являются сооружения траншейного типа. Поэтому нами поставлена задача: усовершенствовать или разработать новые конструкции водораспределительных сооружений – вододелителей, в которых были бы учтены недостатки, изложенные выше; исследовать эти конструкции и составить методику гидравлического расчета для их проектирования и эксплуатации.

1.5 Поворотные сооружения на каналах с бурным течением

Ранее (п.1.1.) отмечалось, что в КР, наиболее распространенными являются гидромелиоративные системы предгорного типа, отличительной особенностью которых является сложность рельефа местности, большие уклоны топографической поверхности.

В таких условиях проводится строительство и использование длинных, до нескольких километров каналов-быстротоков, характеризующихся бурным, иногда сверхбурным, течением потока. Подобный режим течения воды накладывает определенный отпечаток на конструкции сетевых, в том числе и поворотных сооружений. Ввиду прохождения трассы каналов в очень сложных рельефных условиях (пересеченная местность, разная конфигурация границ массивов орошения и т.д.), эти каналы оснащаются множеством поворотных сооружений с углом поворота от 10^0 до 90^0 [12].

«Сложность осуществления поворота трасс каналов с бурным течением обусловила необходимость разработки различных конструктивных решений, позволяющих обеспечить поворот бурного потока на заданный угол. К таким конструктивным решениям поворотных сооружений относится» [10]:

- плавный поворот канала по дуге окружности;
- резкий поворот трассы канала на заданный угол.

Конструктивно плавный поворот бурного потока осуществляется путем сопряжения двух линейных участков канала-быстротока по дуге окружности, параметры которой рассчитываются исходя из условий обеспечения безопасного движения бурного потока на повороте.

Для обеспечения резкого поворота трассы канала-быстротока в настоящее время создан ряд поворотных сооружений, наиболее оригинальные из которых показаны в таблице 1.10. Чаще всего резкий поворот бурного потока обеспечивается путем виражирования, при помощи устройства наклонных порогов, путем размещения отсекающих встречных козырьков и др.

Плавные повороты «по дуге окружности», широко распространенные на гидромелиоративных системах КР имеют некоторые недостатки [49]:

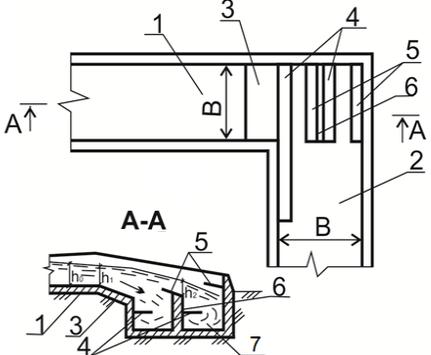
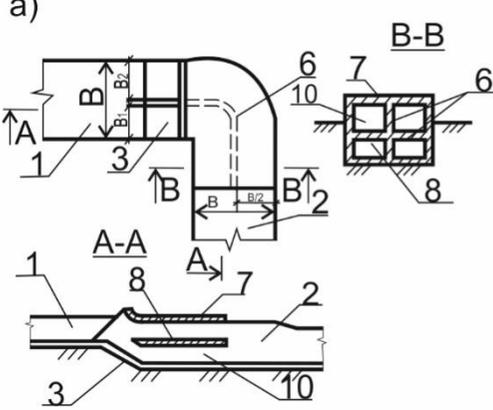
- на уклонах 0,01 и более происходит заметное уменьшение пропускной способности сооружения на 20-50%;
- значительный выплеск воды за сооружение на вогнутом берегу канала;
- за поворотом в канале появляется крупномасштабное возмущение, распространяемое на длинное расстояние, что снижает пропускную способность отводящего канала.

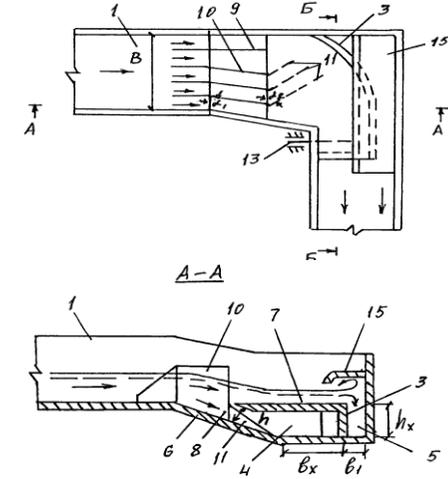
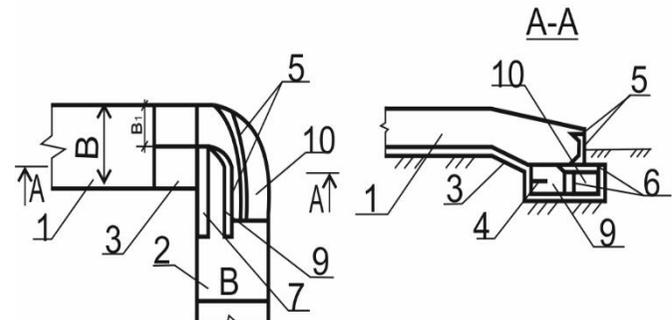
«В условиях горно-предгорной зоны нашей республики, где массивы орошения имеют самую разнообразную (в т.ч. неправильную) конфигурацию, поворот каналов с бурным течением рационально осуществлять по ломаной в плане линии, что придает земельным массивам необходимую форму, повышает коэффициент земельного использования» [22].

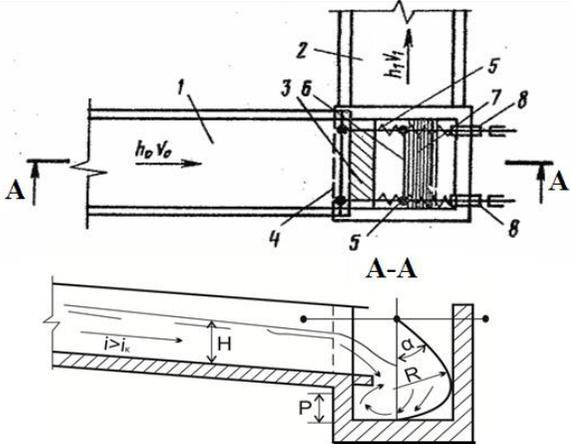
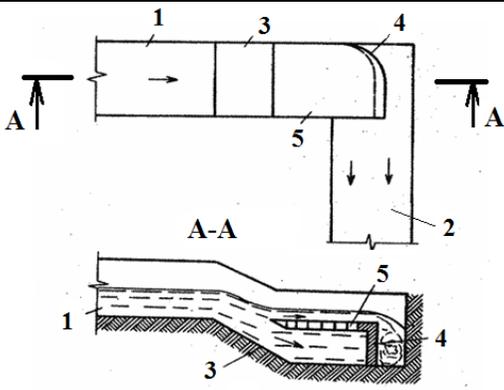
Особое место в вопросах разработки и исследований поворотных сооружений для каналов-быстротоков занимают ряд работ К.К. Бейшекеева [4, 14], Я.В. Бочкарева [50], Р.И. Вагапова [6, 49], Л.И. Высоцкого [12], М.И. Голубенко [51], Н.П. Лаврова [13], С.С. Сатаркулова [4], Г.С. Аджыгуловой [52] и др.

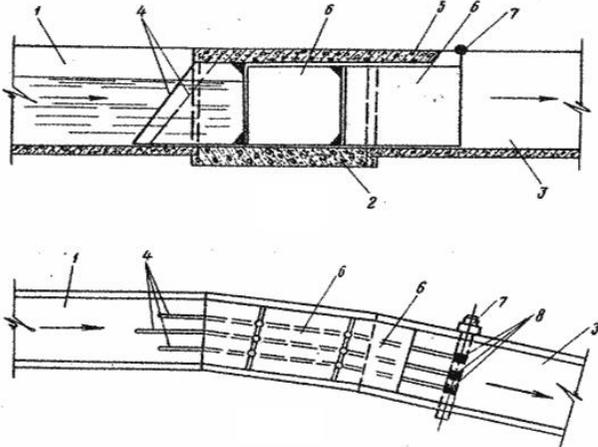
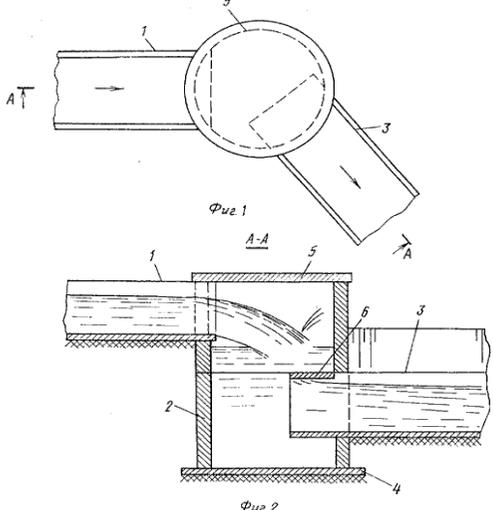
«Импульсные высокоскоростные токи, имеющиеся в бурном потоке на каналах-быстротоках, наталкиваясь на препятствия в виде поворота, образуют нестационарный гидравлический прыжок и, как следствие, пульсацию скоростей, глубин и расходов воды в канале-быстротоке за поворотом, которые активно воздействуют на стенки водопроводящего тракта» [24].

Таблица 1.10 – Основные параметры сооружений для изменения направления бурного потока

Тип пов.сооруж.	Конструктивн. схема	Условия применимости	Основные характерн.параметры	Преимущества	Недостатк.
<p>«Поворотн. сооружение для откp.Каналов»[17]</p>	 <p>«1 – подв. канал; 2 – отвод.канал; 3 – скос; 4 - полки; 5 - козырьки; 6 – разделит. стенка; 7 - поперечн.Галерея» [17]</p>	<p>Стационарн. бурн. режим течения, нет катящихся волн, отсутствие в потоке мелких наносов</p>	<p>Уклоны дна $i \geq i_{кр}$; $i < 0,04$;</p>	<p>Простота конструкции и произв.экспл.</p>	<p>Ограниченность по расходам;</p>
<p>Поворотное сооружение для открытых каналов Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К.</p>	 <p>1 - подводящий канал; 2 - отводящий канал; 3 – скос; 6 - разделительная стенка; 7 - перекрытие; 8 - горизонтальная полка; 9 - поперечная галерея; 10 - продольная галерея</p>	<p>Бурный режим течения, отсутствие катящихся волн в потоке</p>	<p>Уклоны дна $i = 0,005 \div \div 0,04$;</p>	<p>Гашение кинетич. энергии водного потока.</p>	<p>громоздкие и дорогие галереи, сложность очистки галерей в процессе эксплуатац.</p>

<p>«Поворот. сооружение для открыт. Каналов» В.М. Голубенко /RU 2485247</p>	 <p>1-подвод. канал;2-отводящ. канал;3-разделительная стенка;4,5-камеры;6-наклонный участок;7-горизонтальная полка;донная прорезь;9-вертикальная стенка;10-струенаправляющее устройство;</p>	<p>Бурностремительный режим течения, нет катящихся волн в потоке</p>	<p>Уклоны канала $i=0.005-0.02$</p>	<p>Габариты колодца значительно сокращены по длине канала. Гашение кинет. энергии потока.</p>	<p>Габаритн. величины донного колодца увеличены по ширине, делая её громоздкой и дорогой.</p>
<p>Поворотное сооружение для открытых каналов Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К.</p>	 <p>1-подводящ. канал;2-отводящ. канал; 3 – Скос;5-козырьки;6-разделительн. стенка;7-перекрытие;8-горизонтальн. полка;9-поперечн. галерея;10-продольн. галерея</p>	<p>Стационарный режим, нет катящихся волн в потоке</p>	<p>Уклоны дна $i = 0,002 \div \div 0,02$</p>	<p>Гашение чрезмерной энергии водного потока</p>	<p>Сложная конфигурация козырьков, громозд. галереи, небольшая пропускн. способность</p>

<p>Поворотное сооружение для каналов с бурным режимом течения «А.С.№1168663 Голубенко М.И., Есиков А.В., Барбаков В.Б.» [17]</p>	 <p>1 – подводящ. канал; 2 – отвод. канал; 3 – горизонт. полка; 4 – перекладина; 5 – винт. направляющие; 6 – ось; 7 – пластинка; 8 – рукоятка;</p>	<p>Стац.бурный режим, нет катящихся волн в потоке</p>	<p>Уклоны dna $i = 0,005 \div \div 0,02$;</p>	<p>Гашение избыточной энергии потока диафрагмой.</p>	<p>Сложн. конструкции и практич.эксплуатация.</p>
<p>«Поворотн. сооруж. для каналов с бурным режимом течения» [17] А.С.№ 918391 /С.С.СагаркуловБейшексев К.К/</p>	 <p>1 – подводящ. канал; 2 – отводящ.канал; 3 – наклон.участ.; 4 – криволинейн.разделительн. стенка; 5 – полка;</p>	<p>Стационар. бурный режим, нет катящихся волн в потоке</p>	<p>Уклоны канала $i = 0,005 \div \div 0,02$;</p>	<p>Простота конструкции</p>	<p>Ограниченныйрасход;</p>

<p>Поворотное сооружение для лотковых каналов с бурным режимом течения. А.С.№ 641028 Голубенко М.И., Александров А.И.</p>	 <p>1 - подводящий лоток; 2 - монолитная вставка; 3 - отводящий лоток; 4 - разделительные стенки; 5 - перекрытие; 6 - камеры; 7 - регулируемая тяга</p>	<p>Бурный режим течения, отсутствие катящихся волн в потоке</p>	<p>Уклоны дна $i=0.005-0.02$</p>	<p>Поворот потока без донного колодца</p>	<p>небольшой угол поворота</p>
<p>«Поворотн. сооружение для лотковых каналов». А.С.№ 546674 Сатаркулов С.С., Сумагохин В.И., Андреев П.И.</p>	 <p>1 – подводящий канал; 2 – колодец; 3 – отводящий канал; 4 – дно колодца; 5 - крышка; 6 - труба</p>	<p>Бурный режим течения, отсутствие катящихся волн в потоке</p>	<p>Уклоны дна $i=0.005-0.02$</p>	<p>Гашение кинетич. энергии водного потока.</p>	<p>Большие динамические нагрузки на сооружение</p>

Исходя из изложенного, применительно к поворотным сооружениям на каналах-быстротоках были разработаны [4] и дополнены нами следующие требования к поворотным сооружениям на каналах-быстротоках. Поворотные сооружения должны:

1. «Обеспечивать поворот потока с различными степенями бурности без»[4]:
 - «выплескивания воды через борт вогнутого берега сооружения»[4];
 - «образования сбойного течения воды в отводящем канале»[4];
 - «снижения пропускной способности сооружения»[4].
2. Осуществлять поворот потока под различными в плане трассы углами, в том числе под углом 90 градусов.
3. При необходимости иметь возможность осуществлять поворот при помощи ломаных в плане сооружений.
4. Не оказывать влияние на гидравлический режим потока в подводящем канале.
5. Обладать достаточной пропускной способностью.
6. Обеспечить простоту конструкции, удобство в эксплуатации, надежность в работе.
7. Нормально функционировать при бурном потоке и, как минимум удовлетворительно, при сверхбурном режиме течения.

В таблице 1.10, приведено большинство разработанных к настоящему времени различных конструкций поворотных сооружений для каналов с бурным течением, осуществляющих поворот на 90^0 , где отражены достоинства и недостатки указанных конструкций. Каждый из них имеет свои особенности в режиме работы и диапазону их применения.

На основе анализа показателей таблицы 1.10 можно сделать вывод, что большая часть средств управления бурными потоками используют в своей работе способ деления водного потока по вертикали. В большинстве таких

конструкций имеет место донная гасительная траншея или колодец, для наименьшего вмешательства в бурный поток.

Проведенный анализ показал, что разработанные конструкции поворотных сооружений позволяют осуществлять поворот бурного потока на угол до 90 градусов. Однако они имеют ряд недостатков (см. таблицу 1.10) и нуждаются в дальнейшем усовершенствовании.

Для полноты решения проблемы поворота бурного потока каналах-быстротоках необходимо более тщательно проанализировать технологию поворота бурных потоков и наметить пути дальнейшего совершенствования поворотных сооружений с целью улучшения их гидравлических и главное эксплуатационных характеристик.

Для выбора направления разработок конструктивных решений поворотных сооружений для каналов-быстротоков необходима классификация их основных типов.

При разработке классификации конструкций поворотных сооружений для быстротечных каналов необходимо опираться на специфику особенностей функционирования конструкций и условий их работы. Управляющее воздействие на бурный поток для изменения его направления может оказываться различным способом при помощи разных элементов поворотного сооружения:

- 1) боковыми стенками при плоском дне (резкие и плавные повороты одинаковой ширины, с расширением, с сужением, расширением с дальнейшим сужением);
- 2) дном криволинейного очертания при неизменных боковых стенках (с цилиндрической формой дна и дном двойкой кривизны);
- 3) дном и стенками криволинейного очертания (виражирование);
- 4) специальными устройствами (различные конструкции поворотных сооружений).

«При пропуске бурного потока воздействие русла на него при разных расходах будет различным и может значительно отличаться от требуемого, кроме того, влияние оказывает также угол поворота потока. Степень отклонения режима работы конструкции от расчетного значения в подобных случаях должна быть определена опытным или иным путем. Поэтому каждый из перечисленных выше способов имеет свою определенную область применения и расчетные зависимости параметров потока» [15].

«В связи с требованием сложных форм очертания и со сложностью их строительства второй и третий способы поворота на оросительных системах КР не получили широкого распространения. Следует отметить, что в таких каналах появляется сбойное течение, распространяемое на значительное расстояние и снижающее пропускную способность отводящего канала. К недостаткам виражирования относится то, что оно пригодно только для одной скорости, поэтому с изменением скорости его эффект уменьшается» [15].

«Повороты по дугам круга с плоским дном являются наиболее распространенными сооружениями на открытой оросительной сети. Но на таких поворотах при бурном режиме течения образуются косые волны, которые при малых радиусах могут перейти в прямые волны, а в последующем – в спокойный режим течения с образованием подпора, названным Р.И. Вагаповым эффектом «запирания»» [15].

Предложенная нами классификация (см. рисунок 1.4) позволяет систематизировать существующие поворотные сооружения на быстротечных каналах, а также выявить достоинства и недостатки существующих поворотных сооружений с целью дальнейшего усовершенствования.

«Исследования поведения бурных потоков на участках поворотов быстротоков, выполненные Р.Т. Кнаппом [12], позволили отметить, что часто применяемый способ поворота потока в канале с плоским дном и стенками, описанными в плане дугами окружностей, оправдывает себя при $Fr < 1$ и не

оправдывает при $Fr > 1$. В большинстве существующих каналов-быстротоков горно-предгорной зоны Кыргызстана бурные потоки имеют числа Фруда - от 4 до 25,0» [16], что обусловило разработку конструктивных решений, направленных на осуществление ломаных в плане поворотов бурного потока на заданный угол. Кроме того, технология строительства каналов из Г-образных блоков и соблюдение определенной в плане формы массивов орошения требует выполнения поворота канала не по радиусу закругления, а по ломаной линии.

Форма этого излома канала в плане не может быть произвольной, а должна быть рассчитана с учетом, как технических требований, так и динамических особенностей бурного или сверхбурного потока. Существующие ломаные в плане поворотные сооружения, целесообразность которых доказана ранее [52], используют в работе принципы деления потока и по вертикали, либо по горизонтали. Эти принципы лежат в основе функционирования конструкций поворотных сооружений перечисленных выше авторов.

«При создании новых конструкций поворотных сооружений необходимо, кроме предложенных технологических требований, стремиться к построению их из унифицированных блоков, используя типовые звенья. Унификация позволит упростить эксплуатацию, ремонт, само изготовление сооружения, снизить их стоимость и т.д.»[13]

Проведенный анализ условий работы поворотных сооружений на каналах с высокоскоростным течением подчеркивает важность дальнейшего усовершенствования проектных решений для действующих сооружений этого типа, учитывая особенности их работы и предложенную систему классификации (рис. 1.4).

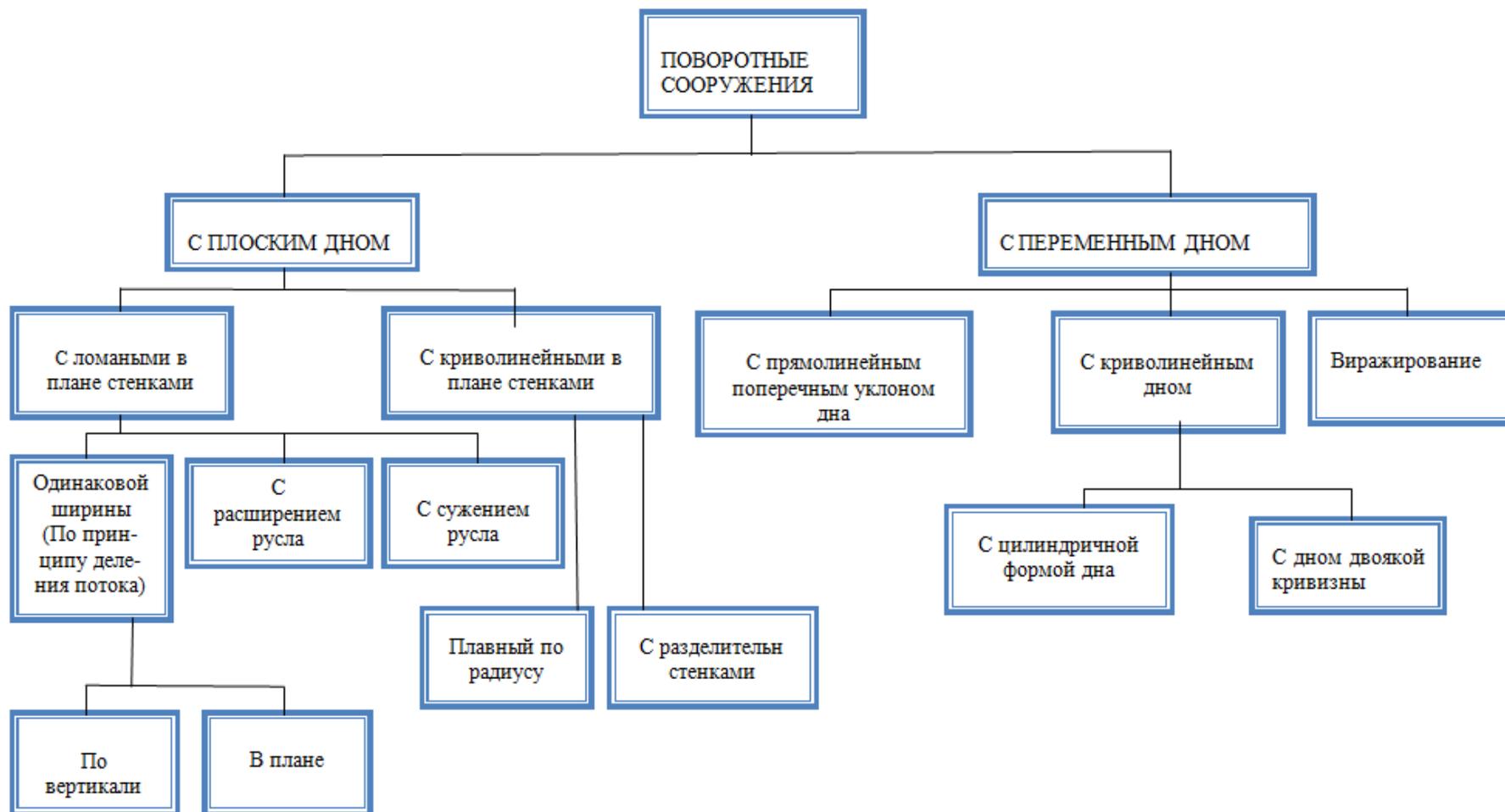


Рисунок 1.4 - Классификация поворотных сооружений на каналах-быстроотоках

1.6 Анализ существующих конструкций и методов водоучета на каналах-быстротоках

«В настоящее время одним из важнейших задач в области водного хозяйства является повышение эффективности ирригационных систем, которая может быть достигнута путем технического совершенствования существующих сооружений оросительных систем и их конструкций» [32].

В условиях введения в Кыргызской Республике платного водопользования требующей надежного учета и контроля качества используемых водных ресурсов, в число основных задач, имеющих наиболее важное значение - является внедрение повсеместного водоучета. Это требует проведения анализа существующего состояния и наметить пути дальнейшего улучшения методов, способов и средств учета воды на гидрометрической сети, а также разработать ряд мероприятий по широкому их внедрению с использованием средств водоизмерительной техники.

Характеристика существующих средств водоучета, основные технические требования к приборам водоучета и условия их эксплуатации подробно описаны в работах В.С. Алтунина [60], О.В. Атамановой [22], К.К.Бейшекеева[4,12,63], Г.Н. Бобровникова [65], Я.В. Бочкарева [31,36,57,66], М.В. Бутырина [60], Г.В. Железнякова [61], И.Ф. Карасева [62], П.И. Коваленко [63], Ю.Г. Ковальчук [64], Б.Т.Кошматова[54], Н.П. Лаврова [13], П.И. Пикалова, А.Я. Фальковича [65], С.С. Сатаркулова[54,55,56, 77],Е.Г. Филиппова [66, 67], А.В. Филончикова [68, 69, 70], И.Б. Хамадова [71,72], В.Н. Щедрина [73], В.Н. Ярцева [74], и др., а также в нормативных документах [75-85]. Среди зарубежных ученых проблемами водоучета занимались V.M. Andersen [86], W. Boiten [87], V.T. Chow [88], A.D. Crabbe [89], P.F. Danel [90], W.H. Hager [91], R.W. Hershy [92] и др.

Поскольку большинство ирригационных каналов горно-предгорной зоны Кыргызстана имеют уклоны дна больше критических, технология водоучета имеет свои особенности по сравнению со спокойными потоками в каналах с уклонами меньше критического. На сегодня разработано достаточно большое количество водомерных устройств, использующих в своей конструкции различные принципы водоучета на оросительной сети, которые в зависимости от методов измерения расходов воды можно выделить на следующие основные группы:

- «водомеры-регуляторы – регулирующие гидротехнические сооружения, в состав конструкции которых входят водомерные устройства, соответствующие первичные водоучитывающие приборы (датчики) и регулирующее оборудование (затворы), позволяющие при необходимости осуществлять на них автоматизацию учета и регулирования воды» [55];
- «водомерные сооружения, устройства для транзитных расходов воды. К ним относятся водосливы, лотки, пороги, насадки и другие водомерные устройства, расположенные в нижнем бьефе регулирующих сооружений, на транзитных участках каналов, на трубопроводах и т.д. При расположении транзитных водомерных сооружений и устройств в нижнем бьефе они могут быть использованы для авторегуляторов расхода воды» [55];
- «тарированные сооружения (сопрягающие, сбросные, регулирующие и другие гидротехнические сооружения), в которых соответствующей тарировкой устанавливаются зависимости проходящих через них расходов воды от 1 до 3 переменных параметров (высоты уровня воды или их перепада, открытия затвора и т.д.)»[55];

- «пропорциональные вододелители (специальные сооружения и устройства), которые при известном общем расходе воды, подходящей к ним, делят этот расход в соответствующей или заданной пропорции по отводам. Пропорциональные вододелители, помимо оборудования сооружения для деления расхода воды, имеют устройства, позволяющие измерять общий расход на подходе к сооружению»[55];
- «русловые гидрометрические посты и контрольные сечения, имеющие гидропосты в земляном или фиксированном русле и измерительные устройства с соответствующим оборудованием. Контрольные замеры расходов воды проводятся точечным (измерение скоростей течения с помощью гидрометрических вертушек), или интеграционным способом, а систематические – измерением одного уровня потока или уровня и скорости воды на вертикали гидропоста по зависимостям $Q = f(H)$ или $Q = f(H, V)$ »[55];
- «водомеры-автоматы расходов воды (авторегуляторы), т.е. специальные конструкции сооружений для головных водозаборов, водовыпусков и отводов с автоматическим оборудованием, обеспечивающим регулирование пропуски заданных постоянных расходов воды»[55].

В основу измерения параметров потока различными методами, способами учета расходов оросительной воды, осуществляемых с использованием водомерных сооружений, устройств, приборов, датчиков, преобразователей и т.д. на гидрометрических постах гидромелиоративных систем, должны быть положены соображения:

- метрологического характера, нормализации и аттестации;

- технологического и эксплуатационного характера, конструктивно-строительных, монтажных требований, а также специфических условий производства;
- унификации, стандартизации и технико-экономической целесообразности.

По принципу действия существующие водомерные устройства, рекомендуемые к применению на оросительной сети «мелиоративных систем, делятся на четыре типа» [93]:

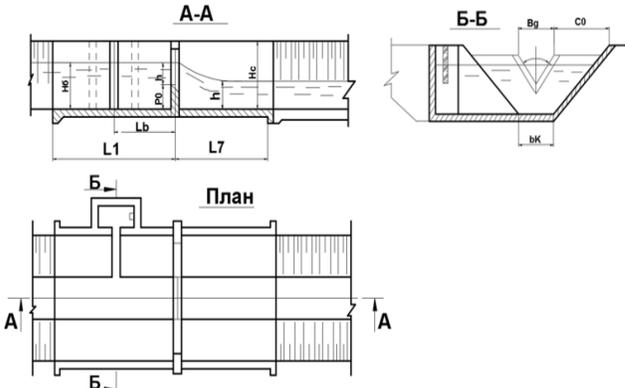
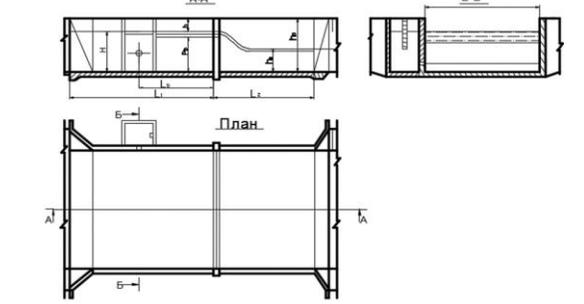
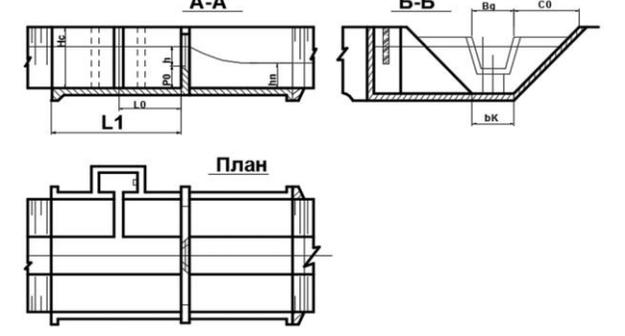
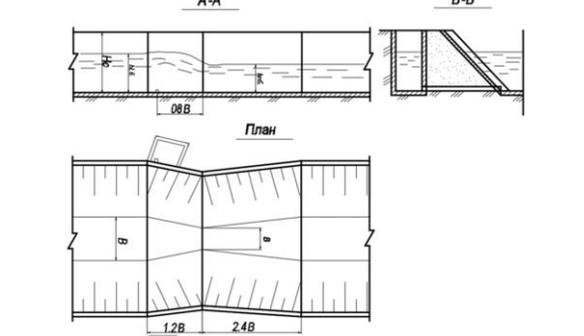
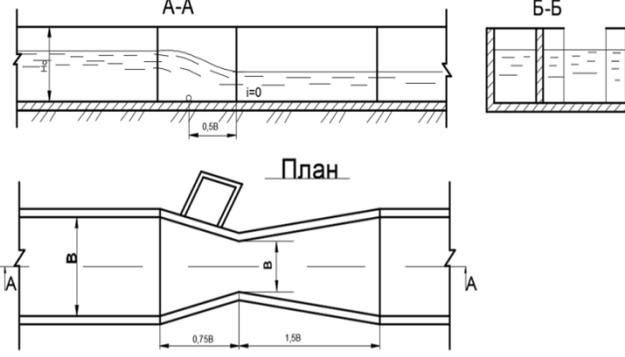
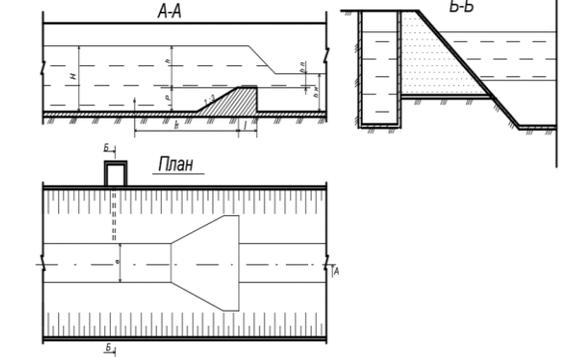
- «с потоко-формирующими устройствами (водосливы, пороги, насадки, диафрагмы, диффузоры)»[93];
- «электромагнитные или акустические (индукционные, ультразвуковые)»[93];
- «скоростные (участок водовода с гидродинамическими трубками, вертушками и др.)»[93];
- «гидравлические (гидравлические стабилизаторы расхода, градуировочные сооружения)»[93].

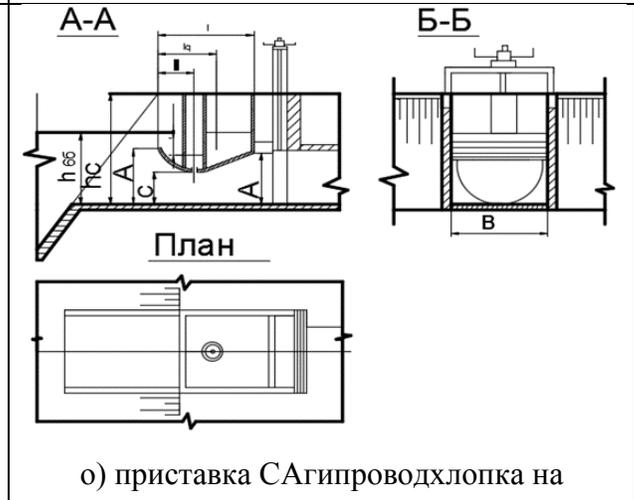
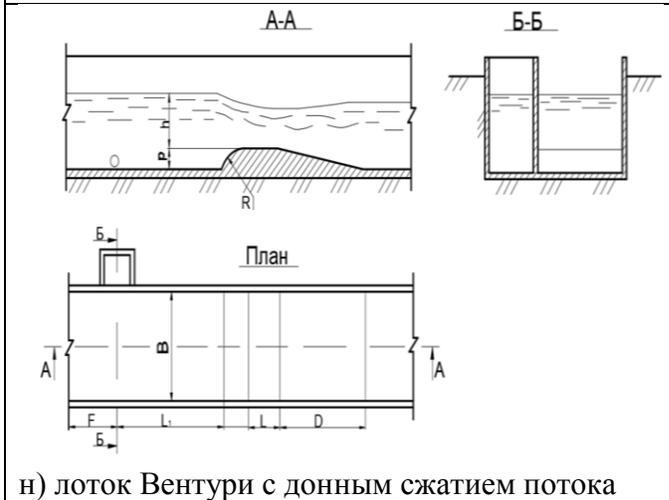
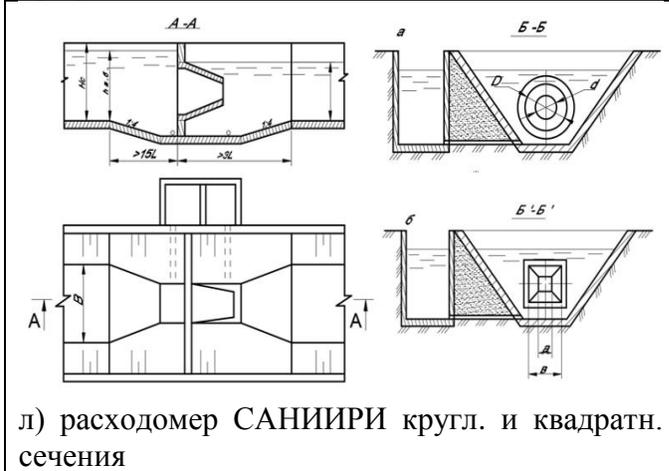
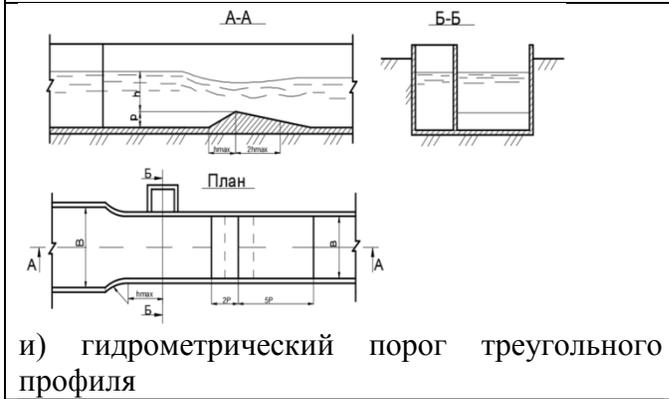
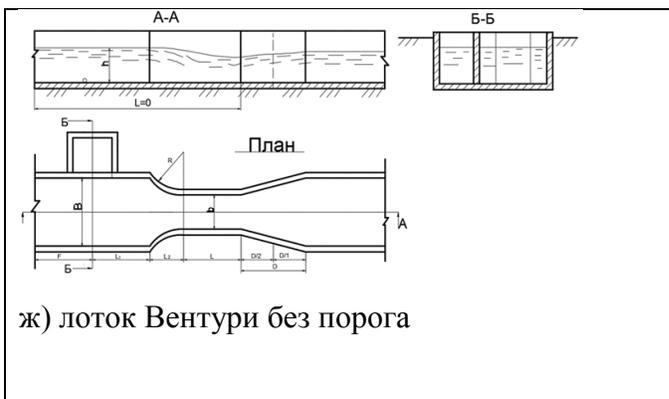
Все водомерные устройства характеризуются следующими параметрами [94]:

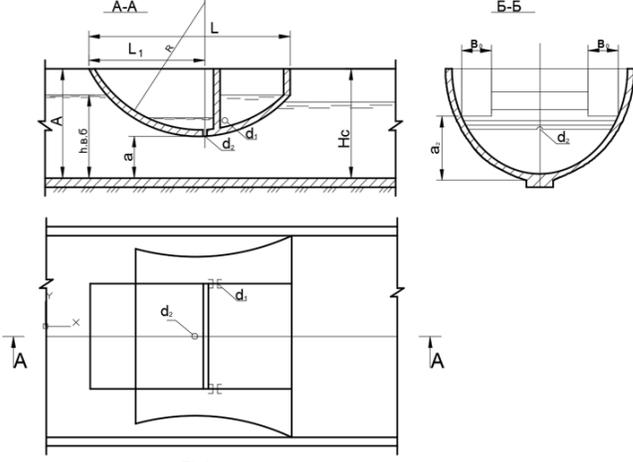
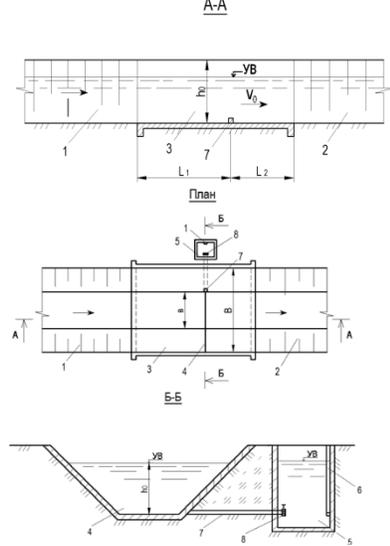
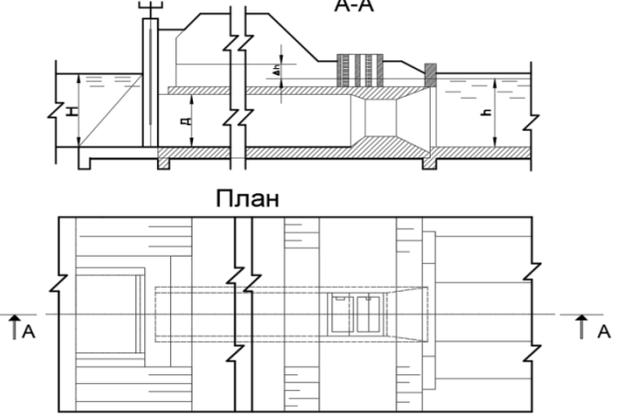
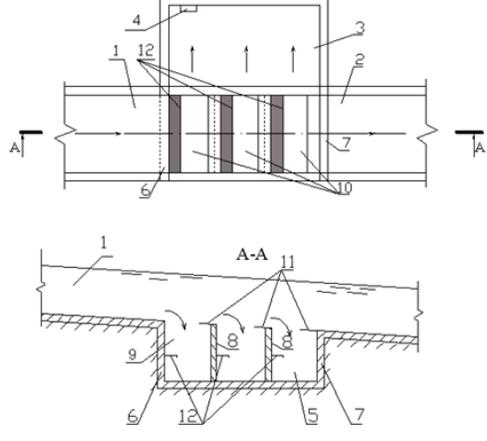
- чувствительностью, т.е. наименьшим расходом, с которого начинаются учетные операции;
- областью учета, т.е. диапазоном от минимального до максимального расхода воды, измеряемого с нормативной точностью (характеризуется отношением максимального расхода воды к минимальному в пределах нормативной погрешности измерений);
- гидравлическими потерями при пропуске эксплуатационных расходов воды;
- габаритными размерами;
- требованиями к организации водного потока на подводящем и отводящем участках канала.

Основные характеристики потоко-формирующей части водомерных устройств для открытых водоводов приведены в таблице 1.11.

Таблица 1.11 - Водомерные устройства для открытых водоводов

 <p>а) треугольн. водослив с тонкой стенкой</p>	 <p>б) прямоугольн. водослив с тонкой стенкой</p>
 <p>в) Трапец. водослив с тонкой стенкой</p>	 <p>г) лоток с короткой горловиной трапец. сечения</p>
 <p>д) лоток с короткой горловиной прямоугольного сечения</p>	 <p>е) гидрометрический порог трапецеидального профиля</p>



 <p>п) приставка САгипроводхлопка для лотковых каналов</p>	<p style="text-align: center;">входном оголовке регулятора-водоотпуска</p>  <p>р) фиксированное русло</p>
 <p>с) Расходомер-регулятор с трубкой Вентури</p>	 <p>т) водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ)</p>

Простота конструкции водосливов с тонкой стенкой, которые представляют собой подпорные стенки, перегораживающие русло, с острым водосливным гребнем стандартной формы, таких как треугольный (таблица 1.11 а), прямоугольный (таблица 1.11 б) и трапецидальный (таблица 1.11 в), обусловило их широкое применение.

Для проведения измерений они должны быть оборудованы уровнемером, находящимся в гасительном колодце. «Применение водосливов с тонкой стенкой ограничивается следующими условиями» [85]:

- «отношение площадей потоков воды в плоскости водослива и в подводящем русле не должно превышать величины 1 : 4» [85];
- «скорость потока в подводящем русле не должна превышать величины 0.5 м/с» [85];
- «максимальный уровень воды в нижнем бьефе должен быть ниже отметки гребня»[85];
- «под струю воды, переливающуюся через водослив, должен быть обеспечен свободный доступ воздуха» [85].

Одним из недостатков водосливов с тонкой стенкой является создание подпора в верхнем бьефе, который в 1.5 - 2.0 раза превышает начальную глубину потока воды в канале.

Опыт эксплуатации показывает, что применение водомерных устройств типа водосливов с тонкой стенкой приводит к большим объемам работ по очистке от наносов. Перед порогом водослива откладываются донные и взвешенные наносы.

Гидрометрические лотки обеспечивают создание перепада уровней боковым сжатием потока. «Лотки как правило, состоят из горловины, подводящего и отводящего раструбов и должны быть оборудованы уровнемером, устанавливаемым в успокоительном колодце»[85]. Применение гидрометрических лотков может быть ограничена нижеследующими условиями:

- «скорость потока в подводящем русле не должна превышать величины 2,0 м/с; минимальная глубина воды в горловине лотка должна быть более 0.06 м; глубина воды в отводящем раструбе должна составлять 75 - 80 % от глубины в подводящем раструбе»[85];
- «максимальная пропускная способность лотков составляет $10 \text{ м}^3/\text{с}$ »[85].

- Лоток Вентури с порогом и без порога применяется на каналах с расходом до $10 \text{ м}^3/\text{спри}$ при отсутствии в потоке взвешенных и влекомых наносов (таблица 1.11 ж);
- лоток с короткой горловиной трапецеидального и прямоугольного сечения применяется на каналах трапецеидального и прямоугольного сечения соответственно с расходом до $10 \text{ м}^3/\text{с}$ при наличии взвешенных и мелких влекомых наносов (таблица 1.11 г, д);
- лоток САНИИРИ используется на каналах с расходом до $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$, при отсутствии влекомых наносов.

«Гидрометрические пороги представляют собой перегораживающее русло потока сооружения со стандартной формой водосливного гребня - прямоугольной, трапецеидальной и треугольного продольного сечения»[85].

Измерение расхода в таких конструкциях проводятся уровнемерами, которые устраиваются в успокоительном колодце.

Область применения таких гидрометрических порогов ограничена небольшими скоростями потока в подводящем канале, которая не должна превышать величины $1,0 \text{ м/с}$. Кроме того, наибольший уровень в нижнем бьефе должен быть в пределах 75% от уровня верхнего бьефа, а также глубина воды на пороге должна быть более $0,08 \text{ м}$. Пороги, также как и водосливы, создают большой подпор уровня воды в верхнем бьефе, составляющий $1,5 - 2,0$ первоначальной глубины потока.

Щелевой водослив (таблица 1.11 к) представляет собой диафрагму параболической формы, обеспечивающую боковое сжатие потока воды. Рекомендуется применить на каналах из типовых железобетонных параболических лотков глубиной от $0,4$ до $1,0 \text{ м}$. Допускается наличие в потоке взвешенных наносов и плавающего мусора с максимальными размерами не более 20 мм . Применение щелевого водослива ограничивается следующими условиями:

- максимальное значение числа Фруда в верхнем бьефе должно быть 0.45;
- порог водослива должен находиться на отметке дна канала;
- подтопление с нижнего бьефа допускается не более 85 % глубины в верхнем бьефе;
- отношение площадей поперечного сечения в плоскости водослива и в подводящем русле не должно превышать величины 0,85;
- глубина потока на пороге водослива должна быть не менее 0,1 м.

«Насадки и приставки представляют собой перегораживающие сооружения с отверстием специальной формы, работающие в затопленном режиме истечения» [82]. Поэтому для нормальной работы, они должны быть оборудованы измерительными устройствами перепада уровней (перепадомеры, дифманометры). «Насадок САНИИРИ представляет собой (таблица 1.11 н, о) перегораживающее русло стенку с отверстием, в котором установлен конусный патрубок круглого или квадратного сечения» [82].

Приставка Средазгипроводхлопка (таблица 1.11 н, о); представляет собой перегораживающую стенку и устанавливается на входном оголовке трубчатого регулятора с квадратным отверстием, в которое вставлена криволинейная полка. За счет вертикального сжатия потока образуется перепад уровней в подводящем русле и в водомерном отверстии полки. Приставки в рабочем диапазоне изменения расходов должны работать в напорном режиме. Для измерения расхода воды приставки должны быть оборудованы перепадомером. Применение насадков и приставок ограничивается следующими условиями:

- максимальное значение числа Фруда в верхнем бьефе должно быть 0.25;
- минимальный перепад уровней в бьефах сооружения - 0,05 м;
- насадки и приставки всегда должны быть затоплены, причем уровни воды должны превышать отметки верхней кромки отверстий насадков не менее, чем на 0,05 м. Конструктивные особенности насадков и приставок выполнены

таким образом, что они задерживают плавающий мусор, кроме того перед насадками САНИИРИ откладываются наносы.

Рекомендуется применять:

- конусные насадки САНИИРИ - на каналах с расходом $Q < 0,7 \text{ м}^3/\text{с}$, при небольшой величине количества наносов и плавающего мусора (табл. 1.11);
- приставки САгипроводхлопка - на водовыпусках с расходом $Q < 5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Допускается применение на мелиоративных системах в качестве средств «измерения расходов воды участков каналов, проводящих и сопрягающих сооружений, для которых индивидуальной градуировкой и метрологической аттестацией установлена зависимость (корреляционная связь) расхода от соответствующего изменения уровня (уровней) воды при обеспечении нормативной точности измерения» [85]. Участок канала или сооружения, предназначенные для использования в качестве водомерного устройства, должны обеспечивать возможность градуировки «методом «скорость - площадь» с помощью гидрометрических вертушек, гидродинамических трубок или ультразвуковых приборов» [85] измерения локальной скорости потока воды. Для выполнения измерений водомерный пост должен быть оборудован средствами переправы, а уровнемер (перепадомер) необходимо установить в успокоительном колодце. «Положительной особенностью градуированных участков каналов и сооружений является отсутствие дополнительных гидравлических сопротивлений в потоке и сравнительно низкая стоимость строительно-монтажных работ, к основным недостаткам следует отнести большую трудоемкость работ по градуировке и поверке этих водомерных устройств, невысокую точность измерений в условиях подпорно-переменного режима движения» [85]. Применение градуированных участков каналов ограничивается следующими условиями:

- участок канала не должен размываться, заиляться и зарастать;

- допустимая скорость потока должна быть более 0,2 м/с, но не превышать критическую;

- не допускается сбойность течения и подпорно-переменный режим в нем.

В качестве водомерных механизмов на ОС можно использовать регулирующие ГТС, в том числе, стабилизаторы и авторегуляторы расходов воды, для которых индивидуальной градуировкой и метрологической аттестацией методом «скорость - площадь» установлена зависимость расхода от соответствующих изменений уровней воды и открытия затвора. Применение управляющих сооружений с градуировкой в качестве водомерных лимитируется нижеследующими условиями:

в сооружении размещается только одно водопропускное отверстие;

- скорость потока $v < 1,0$ м/с;

- режимная характеристика истечения из-под затвора должен быть стабильным во всем эксплуатационном диапазоне изменения расхода и уровней воды (только свободным или подтопленным);

- при свободном истечении перед затвором глубина воды должна быть $h > 0,5$ м;

- при затопленном истечении из-под затвора величина подтопления с нижнего бьефа составляет не более 85 % от уровня воды в верхнем бьефе.

В качестве комплектующих средств измерения для оборудования пунктов водоучета мелиоративных систем применяются:

- «для измерения уровней (перепадов уровней) воды на открытых водоводах - поплавковые, буйковые, емкостные, ультразвуковые уровнемеры, дифманометры-уровнемеры, штриховые меры длины (уровнемерные рейки)» [83];

- «для измерения локальной скорости потока воды - гидрометрические вертушки, гидродинамические трубки, индукционные и ультразвуковые скоростемеры» [83];

- «для измерения перепада давления на напорных водоводах -сильфонные, мембранные, сельсинные, тензорезисторные дифманометры. пьезометрические трубки со штриховыми мерами»[83];
- «для измерения величины открытия затворов на регулирующих гидротехнических сооружениях - поплавковые, механические и электромеханические датчики положения затворов, штриховые меры длины» [83];
- для измерения стока воды - механические стокомеры типа МПС, ПУВ-2Е, а также стокомеры, входящие в состав ультразвуковых, электромагнитных расходомеров и дифманометров.

Выбор типа водомерного устройства для конкретного поста водоучета обычно производится способом последовательного отбора по основным технологическим характеристикам объекта в следующей последовательности:

- тип водовода (открытый или трубчатый);
- максимальный расход воды;
- максимальная скорость водного потока;
- наличие наносов и плавающего мусора;
- форма поперечного сечения канала;
- режим истечения.

Если условиям эксплуатации соответствует несколько типов расходомеров предпочтение отдается тем из них, которые имеют больший диапазон измерений, меньше влияют на режим твердого стока и обладают минимальной материалоемкостью.

При выборе водомерных устройств следует учитывать, что на открытых водоводах редко удастся обеспечить все необходимые условия без частичной реконструкции объекта. Стремление снизить затраты на строительномонтажные и пуско-наладочные работы может привести к увеличению затрат на эксплуатацию.

Поэтому выбор типа водомерного устройства должен производиться с учетом комплексной технико-экономической оценки, включающей кроме затрат на строительные-монтажные и пуско-наладочные работы и метрологическое обслуживание также и негативные последствия организации на объекте пункта водоучета - снижение пропускной способности, затраты на очистку каналов, строительство струенаправляющих, мусорозащитных, энергогасящих сооружений, наращивание и крепление откосов каналов и т.п. (таблица 1.12).

На каналах, с расходом воды менее $10 \text{ м}^3/\text{с}$, номенклатура водомерных устройств обширна, поэтому, вначале рекомендуется рассмотреть варианты размещения водомерных устройств на регулирующих сооружениях, но при этом следует учитывать, что водомерные устройства типа насадков, приставок и труб Вентури ограничены пропускной способностью до $5 \text{ м}^3/\text{с}$ и диапазоном учетной области 5:1, при этом погрешность измерений соответствует нормативной, в узком диапазоне маневрирования затворами.

При отсутствии наносов, сбойных течений и повышенных скоростей подхода потока можно использовать трубы Вентури на выходной части трубных сооружений. В случаях, когда не удастся создать дополнительный перепад уровней воды, а также при подпорно-переменных режимах в отводящих каналах рекомендуется применять одноканальные ультразвуковые расходомеры с формирователем потока.

Таблица 1.12 - Технические характеристики потоко-формирующей части водомерных устройств, рекомендуемые для применения на открытых каналах

Тип потокоформирующей части водомерного устройства	Диапазон измерения расхода $\frac{Q_{max}}{Q_{min}}$	Допускаемые пределы измерения расхода при различных типоразмерах, м/с	Максимальная допустимая скорость потока в створе измерения, м/с	Граничные условия применения				Характеристика комплектующих приборов
				Условия затопления с нижнего бьефа	Режим уровней воды, м	Диапазон характерных размеров	Допускаемые соотношения параметров	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Треугольный водослив с тонкой стенкой	>10	0,001÷0,1	0,40	$h_H < P + 0,05$ м	$H = 0,05 \div 0,6$ м	$\alpha = 20-100^\circ$ $P \geq 0,40$ м	$H/P \leq 2$	Уровнемер с классом точности не ниже 1 (счетчик стока)
Прямоугольный водослив с тонкой стенкой и боковым сжатием	>10	0,01÷1,0	0,50	$h_H < P + 0,05$ м	$H = 0,05 \text{ м} \div 0,3 \text{ б}$	$\alpha = 90^\circ$ $b = 0,25 \div 1,5 \text{ м}$ $P \geq 0,1 \text{ м}$	$0,5(B-b) \geq 0,1 \text{ м}$ $H/P \leq 2$	Уровнемер с классом точности не ниже 1,5 (счетчик стока)
Прямоугольный водослив с тонкой стенкой без бокового сжатия	>10	0,01÷10,0	0,70	$h_H < P + 0,05$, м	$H = 0,05 \text{ м} \div 0,3 \text{ б}$	$\alpha = 90^\circ$ $b = 0,25 \div 1,5 \text{ м}$ $P \geq 0,1 \text{ м}$	$H/P \leq 2$	То же
Трапецидальный водослив с тонкой стенкой $\alpha = 14^\circ$	>10	0,01÷0,25	0,50	$h_H < P + 0,05$, м	$H = 0,05 \div 1,0$ м	$\alpha = 90^\circ$ $P \geq 0,3$ м $b = 0,25 \div 3,0$ м	$H/b \leq 2$ $b \leq B_k - 2H$	Уровнемер с классом точности не ниже 1,5 (счетчик стока)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Трапецидальный водослив с тонкой стенкой $\alpha=45^\circ$	>10	$0,01 \div 1,0$	0,50	$h_H < P = 0,05$ м	$H = 0,05 - 1,0$ м	$\alpha = 45^\circ$ $P \geq 0,3$ м $b = 0,25 \div 3,0$ м	$H/b < 2$ $b \leq B_k - 2H$	То же
Параболический щелевой водослив	>10	$0,01 \div 1,0$	0,80	$h_H/H \leq 0,75$	$H = 0,05 \div 1,0$ м	$P_\phi = 0,20$ и 0,35 м $H_c = 0,4 \div 0,6$ 0,8 \div 1,0	$b/B = 0,80$	То же
Гидрометрический порог трапецидального профиля	<8	$0,25 \div 10,0$	0,80	$h_H/H < 0,80$	$H = 0,08 \div 1,0$ м	$\alpha = 90^\circ$ $P \geq 0,15$ м $b \geq 0,3 \div 3,0$ м	$H/P = 0,15 \div 0,6$; $b/P > 2$ $R > 0,2H$	То же
Гидрометрический порог треугольного профиля	>10	$0,01 \div 10,0$	1,0	$h_H/H \leq 0,75$	$H = 0,05 \div 0,5$ м	$\alpha = 90^\circ$ $P \geq 0,1$ м $b = 0,3 \div 5$ м	$H/P < 3$ $H/b \leq 0,5$	То же
Гидрометрический порог треугольного профиля с V-образным вырезом	>10	$0,01 \div 10,0$	1,0	$h_H/H \leq 0,70$	$H = 0,05 \div 0,5$ м	$mg = 1:10$ $mg = 1:20$ $P \geq 0,15$ м $b = 0,3 \div 5$ м	$b/P \geq 2,5$ $H/P < 3$	То же
Гидрометрический лоток Вентури без порога	>10	$0,25 \div 10,0$	1,0	$h_H/H \leq 0,80$	$H = 0,05$ м \div 3 б	$\alpha = 90^\circ$ $b = 0,25 \div 2,5$ м	$H/b \leq 3$ $R = 2(B-b)$	Уровнемер с классом точности не ниже 1,5 (счетчик стока)
Гидрометрический лоток Вентури с порогом	<10	$0,25 \div 10,0$	1,0	$h_H/H + P \leq 0,70$	$H = 0,05$ м \div 3 б	$\alpha = 90^\circ$ $P \geq 0,15$ м $b = 0,25 \div 2,5$ м	$H/b \leq 3$ $P \geq 0,25$ $R = 4P$	То же
Гидрометрический лоток САНИИРИ	>10	$0,05 \div 1,5$	0,70	$h_H/H \leq 0,50$	$H = 0,1 \div 1,0$ м	$\alpha = 90^\circ$ $b = 0,2 \div 1,0$ м	$H/b < 2$ $B = 1,70b$ $P \geq 0,5H$	То же

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Лоток с короткой горловиной трапецеидального сечения	>10	0,01÷10,0	1,0	$h_H/H \leq 0.80$	$H=0,06 \div 2,0 b$	$b=0,2 \div 1,0$ м	$H/b \leq 2,0$	То же
Лоток с короткой горловиной прямоугольного сечения	>10	0,01÷10,0	1,0	$h_H/H \leq 0.80$	$H=0,06 \div 1,5 b$	$b=0,25 \div 1,5$ м	$H/b \leq 1,5$	То же
Круглый насадок САНИИРИ	<4	0,05÷0,7	0,5	$h_H > d + P + 0.05$ м	$(H-h)=0,05 \div 0.4$ м	$d=0,1 \div 0,5$ м	$I=2d$ $D=1.92d$ $B \geq 2D$	Перепадомер уровней с классом точности не ниже 2
Квадратный сходящийся насадок САНИИРИ	<4	0,05÷1,0	0,5	$h_H > a + P + 0,05$ м	$(H-h)=0,05 \div 0,6$ м	$\alpha=90^\circ$ $a=0,1 \div 0,5$ м	$I=2a$ $A=1,92a$ $B \geq 2a$	То же
Приставка Средазгипроводхла пкак открытым трубчатым регулирующим сооружением	<4	0,01÷0,5	0,5	$h_H \geq a + 0,05$ м	$(H-h)=0,05 \div 0,6$ м	$\alpha=90^\circ$ $b=0.5 \div 2.0$ м	$b=1.0 \div 1.6$ $I=1.5a$ $P=0.532a$	То же
Приставка Средазгипроводхла пка для каналов параболического сечения	>5	0,05÷1,3	0,5	$h_H \geq a + 0,1$ м	$(H-h)=0,1 \div 0,4$ м	$P_\phi=0,20$ и $0,35$ м $a=0,45 \div 0,8$ м	$I=1.5a$ $R=0.532a$	То же
Приставка УкрНИИГиМа для каналов	<5	0,10÷5,0	0,5	$h_H \geq a + 0,1$ м	$(H-h)=0,05 \div 0,6$ м $H=A+0,1$ м	$\alpha=13^\circ;$ $16^\circ; 25^\circ;$	-	То же

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Труба Вентури к трубчатым регулирующим сооружениям	<4	0,01÷2,5	0,5	$h_H=d+0.05$ м	$(H-h)=0.05\div 0.6$ м	$d=0.25\div 1.5$ м $\beta_1=21^\circ$; $\beta_2=7^\circ\div 8^\circ$	$d/D=0.2\div 0.6$ $I_2=d$	То же
«Фиксированное русло»	>25	0,5÷25,0	0,2÷3,0	Отсутствует подпорно-переменный режим	$H=0,2\div 3,0$ м	$b=0.5\div 30$ м	$I=3\div 10$ В	Уровнемер с классом точности не ниже 1,5
Градуированное русло с фиксированным пояском	>25	25÷500,0	0,2÷1,5	То же	$H=0,5\div 6,0$ м	$b=2\div 150$ м	$I_H=1\div 5$ м	То же
Градуированные регулирующие сооружения	>10	0,5÷25,0	0,2÷1,0	Условия затопления сооружения постоянные	$H=0,5\div 6,0$ м	1 пролет $b=0.4\div 10.0$ м	$h_3=0.1\text{ м}\div H$	Датчик положения затвора
Установка расходомерная стационарная ультразвуковая типа УРС	>25	5,0÷1000	0,2÷5,0 (аэрация потока отсутствует)	Режим потока спокойный, в т.ч. подпорно-переменный	$H=0,5\div 6,0$ м	$b=5\div 150$ м	-	-
Одноканальный ультразвуковой расходомер с формирователем потока для низконапорных трубчатых водовыпусков	>4	0,03÷1,5	1,0	$h_H=D+0.05$ м	$(H-h)\cdot 0,05$ м	$d=0,4\div 1,5$ $a/D=0.8$	$I/D=3\div 4$	Ультразвуковой преобразователь удельного расхода с классом точности не ниже 1,0

Если разместить водомерное устройство на сооружении не удастся, то рассматриваются варианты размещения водомерного устройства типа водосливов, порогов или лотков в русле водотока.

В каналах с расходом до $1 \text{ м}^3/\text{с}$ при отсутствии наносов следует применять водосливы с тонкой стенкой.

В каналах с расходом более $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$ - водомерные устройства типа порогов. При наличии в потоке наносов следует применять водомерные устройства по типу лотков, фиксированных русел.

На каналах из параболических лотков рекомендуется применять щелевой водослив или приставку Средазгипроводхлопка, а также способ измерения расхода методом «Скорость-площадь» согласно МВИ 33-4755559-09-91.

Большинство водомерных устройств создает подпор уровней воды в верхнем бьефе, что приводит к снижению скорости движения воды.

На начальном этапе выбора и проектирования водомерного устройства, величину снижения скорости движения потока в верхнем бьефе можно определить с помощью таблицы 1.13.

Таблица 1.13 - Снижение скорости потока в верхнем бьефе

Тип водомерного устройства	Снижение скорости потока в верхнем бьефе, в % от первоначального значения.
Фиксированные русла и тарированные ГТС	–
Водосливы с тонкой стенкой	30-60
Лотки	25-40
Щелевой водослив	20-30
Пороги	35-50
Переменного перепада уровней	10-25
Стабилизаторы и гидравлические авторегуляторы расхода с сужающими устройствами	20-50

При скорости потока более $2,5-3,0 \text{ м}/\text{с}$ рекомендуется применять градуированные участки каналов.

«Общая численность сооружений водоучета на ирригационных системах Кыргызстана достигает 4980 шт., в т.ч. по Чуйскому БУВХ – 1352 сооружения, УМРК Чуйской долины – 313 сооружений, Ошской области – 1059 сооружений, Джалал-Абадской области – 636 сооружений, Таласской области – 334 сооружения, Иссык-Кульской области - 639 сооружений и Нарынской области – 647 сооружений»[54]. «Главным образом, на них используются гидросты типа «фиксированное русло» и «водослив»» [55].

По данным Бейшекеева К.К. более 50% «хозяйственных каналов КР имеют большой уклон, параметр кинетичности которых $Fr \geq 1,0$ и являются каналами-быстротоками»[56].

Следует учитывать, что в каналах с бурным режимом существующие средства измерения не обеспечивают нормативной точности измерений за счет пульсации водной поверхности. В этих случаях рекомендуется изменять скоростной режим потока за счет строительства специальных гасителей кинетической энергии на участке водомерного поста.

«К компоновке водомерных сооружений в таких условиях предъявляется ряд требований»[9]:

- «Водомерные устройства (датчики) должны быть размещены в успокоительных колодцах или нишах, обеспечивающих надежное и независимое сообщение с бьефом, в котором производится измерение; при этом исключается динамическое воздействие потока на датчики и связанные с ними элементы и оборудование, обеспечивая требуемую точность измерений»[9];
- «водомерное сооружение и отдельные его элементы должны быть надежно защищены от воздействия потока или возможных воздействий со стороны других элементов, устройств и оборудования»[9];

– «использование гидротехнического сооружения для водоучета не должно отрицательно влиять на выполнение им своих основных функций, то есть того, ради чего создано это сооружение»[9].

В литературе существует несколько классификаций сооружений водоучета [53]. В основе существующих классификаций имеет место объединение основных типов гидрометрических сооружений по видам измеряемых параметров (скорость, расход и др.). «Существующие классификации опираются на существующие методы измерений и могут в той или иной степени отвечать требованиям как эксплуатационного персонала на водохозяйственной системе, так и проектировщиков» [70]. Однако эти классификации сооружений водоучета являются достаточно общими и не конкретизируют особенностей водомеров для открытых каналов с большими уклонами.

Предлагаемая новая классификация сооружений водоучета учитывает существующие методы измерений на открытых каналах с уклонами дна больше критического. В основу предложенной классификации легло функциональное назначение сооружений водоучета, а также способы реализации их назначения. Особенностью большинства гидрометрических сооружений является создание требуемого режима движения для измеряемого потока на сооружении, не зависимо от режимов потока на подводящем и отводящем участках канала. Использование этого приема обычно заставляет на коротком участке канала-быстротока изменять уклон его дна для того, чтобы обеспечить устройство гидрометрического сооружения (фиксированное русло, лоток Вентури-Паршала и др.). В этом случае часто удается определять расход воды в канале путем измерений только одного параметра потока, который измеряется в заданном месте сооружения. Обычно измеряется либо напор в безнапорном потоке, либо перепад уровней или давлений для случая напорного истечения потока. Измеряемой величиной может служить и другой параметр, например, средняя

скорость потока. Средняя скорость потока позволяет оценить также и кинематику исследуемого потока. Однако это больше важно для ученых, чем для службы эксплуатации оросительных систем. Важным является и то, что классификация сооружений водоучета должна опираться на следующие показатели:

- 1) принцип действия, лежащий в основе функционирования водомера;
- 2) конструктивные особенности групп водомеров;
- 3) гидравлический режим течения в канале.

Анализ перечисленных показателей позволил разработать классификацию гидротехнических сооружений для водоучета на каналах-быстротоках (рисунок 1.5). Все рассматриваемые сооружения предусматривают свободный режим истечения через сооружение. Напорный режим течения на сооружении не используется ввиду бурного потока в канале. Однако на гидрометрических сооружениях применяется местное изменение уклона транзитного канала. В этом случае на сооружении применимы такие устройства, как водосливы-водомеры и затворы-водомеры.

В предложенной классификации гидрометрические сооружения подразделены на несколько групп в зависимости от принципа действия, лежащего в основе функционирования водомера.

«Сооружения водоучета на каналах-быстротоках в зависимости от воздействия на поток подразделяются на четыре группы» [70] (рисунок 1.5):



Рисунок 1.5 – Сооружения водоучета на каналах-быстроотоках

1) без искусственного сжатия потока; 2) с неизменным сжатием потока; 3) с переменным (изменяемым) сжатием потока; 4) с несколькими видами воздействия на поток.

В первую группу входят гидротехнические сооружения, которые, кроме своего сопрягающего назначения, применяются для измерения расхода воды – это быстротоки и различные перепады.

Все конструкции водомерных устройств, кроме пункта 1.18 по специфике работы, не приемлемы для бурностремительных потоков, где скорости превышают критические значения. «Установка на бурном и сверхбурном потоке устройств, создающих дополнительные сопротивления, в виде водосливов и лотков приводит к выплескам воды за пределы канала, не совместимые с водоучетом сооружением, а также приводит к разрушению сооружения и части канала» [9].

Проведенный анализ позволил прийти к заключению, что:

- 1) проведение измерения расходов воды затруднен при наличии в воде как взвешенных, так и донных наносов, которые вызывают заиливание и засорение каналов.
- 2) «Мелиоративные каналы республики оснащены в основном водомерами фиксированное русло (68%) и водосливами с тонкой стенкой (25%), другие типы (7%) построены в виде экспериментальных сооружений» [4].
- 3) Водосливы большинства оросительных систем имеют трапецеидальное поперечное сечение, но нет водомера с прямоугольным водосливом.
- 4) Большинство водомеров на мелиоративных каналах, особенно сетевых, не отвечают предъявленным к ним требованиям, требует реконструкции или замены на более модернизированные.
- 5) Государственную метрологическую аттестацию проходят гидропосты только межгосударственной и межхозяйственной сети, тогда как водомеры на внутрихозяйственных каналах, остаются в большинстве не аттестованными, хотя они тоже являются коммерческими.

1.7 Обоснование постановки проблемы. Цели и задачи разработок и исследований

Современное развитие водохозяйственного строительства в горно-предгорной зоне Кыргызстана делает необходимым разработку новых более совершенных методов и средств для управления бурностремительными потоками на каналах горной и предгорной зоны.

Основная цель данной работы заключается в разработке комплексных научно обоснованных методов и средств расчетного обоснования, проектирования, строительства и эксплуатации известных ранее и новых типов ГТС для управления высокоскоростными потоками на каналах-быстротоках, отвечающих требованиям повышенной надежности и экологической безопасности в горно-предгорной зоне.

Поставленная цель требует решения ряда научных и технических задач:

1. На основе систематизации и анализа научных данных с учетом новых современных требований разработать уточненную классификацию гидротехнических сооружений для управления бурными потоками.
2. Проанализировать технологию управления бурными потоками на быстротечных каналах с бурными потоками, а также технологические схемы размещения гидротехнических сооружений на оросительных системах горно-предгорной зоны.
3. Установить и описать гидравлические явления, возникающие в бурном потоке при изменении направления течения и формы бурного потока.
4. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработать усовершенствованные конструкции и методы расчета поворотных сооружений.
5. Усовершенствовать методы расчетного обоснования и конструирования сооружений для водораспределения на каналах-быстротоках с бурным течением.

6. На основе натурных и модельных исследований усовершенствовать конструкции и методы расчета средств водоучета для быстротечных каналов с бурным течением.
7. Дать обоснование рациональной формы и параметров русла, оказывающего управляющее воздействие на бурный поток.
8. Разработать научно обоснованные рекомендации по выбору средств управления бурными потоками, диапазону их применения, методике гидравлического расчета гидротехнических сооружений для каналов с бурным течением.

ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ БУРНЫМИ ПОТОКАМИ НА КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ

2.1 Технология управления бурными потоками на каналах-быстротоках

Технология управления бурными потоками на участках оросительных систем, состоящих из каналов с уклонами больше критического, отличается условиями эксплуатации повышенной сложности. Бурные и сверхбурные потоки с параметрами Фруда больше единицы требуют четкой работы сооружений (особенно водораспределительных) и оперативного управления их элементами. Поскольку высокоскоростные потоки даже при небольшом изменении входных параметров (открытия, глубины воды в канале и др.) способствуют резкому изменению выходных характеристик бурностремительного потока, к конструктивному исполнению и параметрам таких сооружений, как затворы предъявляются особые требования.

Именно поэтому технология управления бурными потоками на каналах-быстротоках имеет свои технологические особенности в отличие от спокойных потоков в каналах со скоростями меньшими критических. Разработка конструкций гидротехнических сооружений для каналов-быстротоков требует учитывать их двойное назначение водопроводящих и сопрягающих сооружений, а также специфику их работы [13]. При этом общее назначение гидротехнических сооружений на таких каналах – это управление бурными потоками, что представляет определенные сложности по сравнению со спокойными потоками, где числа Фруда меньше единицы.

«Под управлением бурным потоком следует понимать целенаправленное воздействие на него или элементами гидротехнических сооружений, включая участок русла, для получения заданных параметров течения в требуемом створе при заданных гидравлических параметрах его в начальном створе канала» [13]. Задача управления бурным потоком впервые была описана Л.И. Высоцким [12]. Она представляет собой «обратную»

задачу, поскольку решение ее аналитически или экспериментально позволяет установить параметры, рассчитать и запроектировать сооружение на канале-быстротоке.

Однако достаточно часто приходится сталкиваться и с другим случаем – это решение «прямой» задачи гидротехники. В этом случае для уже известных параметров канала нужно установить характеристики потока в нем. Управляющим воздействием при этом является воздействие гидротехнических сооружений (включая русло канала) на поток, который требуется привести в заданном створе канала. Задача управления бурными потоками на быстротоках ранее рассматривалась А.И. Богомоловым [95], Л.И. Высоцким [12], Б.Т. Емцевым [35], С.М. Слиским [96] и другими учеными. Более подробно задача формирования управляющих воздействий на быстротечных каналах со сверхбурным течением рассмотрена Н.П. Лавровым [13]. Однако наши задачи требуют более простых и дешевых решений ввиду отсутствия волнового режима течения в бурном потоке. Принимая во внимание тот факт, что каналы-быстротоки являются не только сопрягающими, но и водопроводящими сооружениями, необходимо расширить круг их не только управляющих, но и возмущающих воздействий.

Управляющие воздействия, оказываемые на бурный поток в канале-быстротоке, должны обеспечивать следующее:

- 1) изменение направления течения и формы бурного потока в плане;
- 2) водоучет в головной части быстротока и в головах отводящих водоводов;
- 3) вододеление бурного потока путем воздействия средств автоматизации;
- 4) слияние бурного потока с аналогичным, а также спокойным потоком;
- 5) при необходимости гашение, а также использование энергии бурного потока.

Возмущающие воздействия, возникающие в системе каналов с бурным течением возникают, прежде всего, в результате недостаточно грамотно запроектированных элементов системы. Возмущения бывают как случайные,

так и закономерные. При этом, если случайные возмущения практически не поддаются учету и предотвращению (например, попадание в канал посторонних предметов), закономерные возмущающие воздействия вполне определены. В большинстве случаев закономерные возмущения представляют собой неучтенные воздействия на бурный поток со стороны элементов гидротехнических сооружений, которые вызывают нежелательные реакции со стороны бурного потока (например, выплески воды за пределы лотка). Таким образом, формируя управляющие воздействия на быстротечных каналах, необходимо стремиться исключить возникновение впоследствии возмущающих воздействий в системе.

Каналы-быстротоки в составе оросительных систем Кыргызстана обычно расположены в горной и предгорной зонах. Примеры таких каналов приведены в 1 главе диссертации. Эти каналы-быстротоки с бурным режимом течения обычно имеют максимальные глубины в каналах в пределах 0,8–2,5 м; скорости воды – 3,6–8,0 м/с; числа Фруда – 1,6–3,6. Поперечное сечение каналов-быстротоков чаще всего прямоугольное, уклоны дна достигают 0,010–0,02, а строительная высота – 1,5–2,7 м.

Наличие бурного потока в канале-быстротоке не позволяет в большинстве случаев осуществлять процесс управления потоком традиционными способами и средствами с применением перегораживающих сооружений и затворов. Возведение типовых водораспределительных узлов (такие попытки имели место не только в Кыргызстане, но и в Закавказье и Казахстане [22,23,41]) способствовало набеганию высокоскоростного бурного потока на перегородки и затворы с образованием нестационарного гидравлического прыжка, что вызывало нежелательную пульсацию скоростей, глубин и расходов воды не только на сооружении, но и в отводящем канале. Гидротехники служб эксплуатации называют это явление сбойностью течения в канале.

В горно-предгорной зоне, даже при эффективной работе водозаборного гидроузла и отстойника в голове системы в отдельных случаях является актуальной проблема борьбы с наносами в канале. К примеру, службы эксплуатации каналов-быстротоков Туш-1 в Сокулукском районе и Аламединский подпитывающий в Аламудунском районе Кыргызстана, отмечают, что водовыпуски известных конструкций ВНИИКАМС [13, 41] и ГрузНИИГиМ [22, 23] забиваются путевыми наносами (гравий, булыжники), которые при проектировании каналов не учитываются.

Изложенное позволяет разработать принципы управления бурными потоками на каналах-быстротоках с учетом водораспределения локальными средствами автоматизации:

1. Управление бурным потоком осуществляется за счет размещения вдоль трассы канала гидротехнических сооружений, каждое из которых имеет свое специальное назначение.
2. Локальные гидротехнические сооружения могут функционировать как параллельно, так и последовательно в соответствии с разработанной схемой. Последовательность работы сооружений на оросительной системе разрабатывается на стадии проектирования.
3. Изменение направления движения бурного потока осуществляется при помощи поворотных, а также сужающих и расширяющих поток в плане, сооружений, конструкции которых выбираются исходя из условий работы канала, топографии местности, характеристик бурного потока и запросов водопотребителей.
4. Водоучет является необходимой технологической составляющей процесса управления потоком в канале. На быстротечных каналах возле водомерных сооружений нельзя допускать возникновения гидравлического прыжка, отрицательно влияющего на качество водоучета. Сооружение водоучета тарируется в заданном диапазоне изменения параметров. Это позволяет установить зависимости изменения

параметров сооружения от основного (измеряемого) параметра в виде расчетной формулы или градуировочного графика.

5. Водораспределение осуществляется нормированно согласно с планом водопользования, либо или пропорциональным делением расхода канала-быстротока в заданном створе. Схема вододеления разрабатывается с учетом режима работы оросительной системы [42].
6. Предпочтительно централизованное управление с диспетчерского пункта. Целесообразна реализация однозвенной системы с жестким управлением водораспределением из-за сравнительно небольшой длины и значительных уклонов каналов [42].
7. Предпочтительно смешанное управление процессом водораспределения: при гидравлическом способе автоматизации использование электрического управления основными сооружениями.
8. Вододеление осуществляется делением потока по вертикали или в плане, что исключает вмешательство элементов сооружений в основной поток. При этом необходимо обеспечить должное качество борьбы с путевыми наносами [97].

Реализация перечисленных принципов управления бурными потоками на каналах-быстротоках позволит обеспечить требуемое качество технологических процессов на ирригационных системах с каналами, имеющих большие уклоны.

Однако решение задачи управления высокоскоростными бурными потоками на каналах-быстротоках требует провести тщательный анализ технологических схем размещения сетевых сооружений на быстротечных каналах оросительных систем и наметить пути дальнейшего совершенствования гидротехнических сооружений на них.

2.2 Технологические схемы размещения сетевых сооружений на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны

Сетевые (или внутрисистемные) сооружения гидромелиоративных систем сооружения, как правило, проектируются для условий планового режима, установленного в соответствии с требованиями проводимого водохозяйственного мероприятия. «Сетевые сооружения оросительных систем подразделяют на регулирующие (водовыпуски, вододелители, и т.д.), водопроводящие (каналы, лотки, туннели, трубы, акведуки, дюкеры) и сопрягающие, предназначенные для гашения энергии на участках каналов, имеющих большой уклон (быстротоки, перепады и др.)» [71].

Схема размещения гидротехнических сооружений на оросительной системе с каналами-быстротоками зависит, прежде всего, от ее технологических особенностей. Поскольку каналы-быстротоки имеют двойное назначение - водопроводящих и сопрягающих сооружений, размещаемые на них гидротехнические сооружения также должны иметь конструкции органично вписывающиеся в условия их работы [50].

Говоря о технологической схеме автоматического регулирования процесса водораспределения на канале-быстротоке, следует отметить, что наиболее приемлемой показала себя схема «непосредственным отбором расходов по длине» канала (рисунок 2.1) [13, 99]. Одним из частных случаев схемы автоматического регулирования непосредственным отбором расходов является схема водораспределения, предложенная А.И. Михайленко [13, 97].

На быстротечных каналах возможно использование схем только прямого автоматического регулирования 1 класса, к которым относятся:

- Регулирование по верхнему бьефу;
- Регулирование непосредственным отбором расходов по длине;
- Пропорциональное деление расходов (рисунок 2.2).

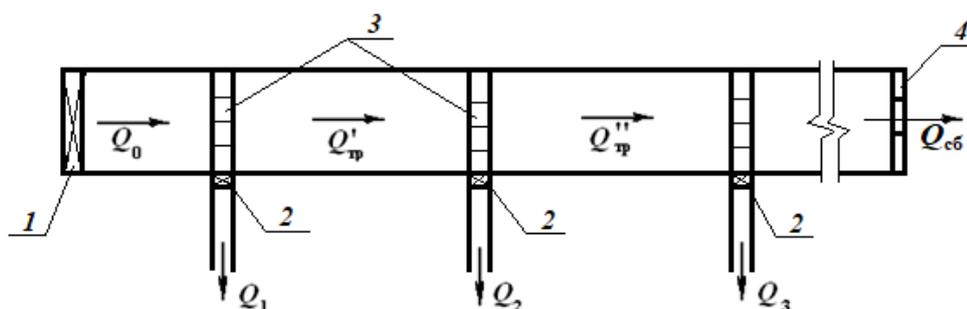


Рисунок 2.1 – Схема автоматического регулирования непосредственным отбором расходов по длине канала: 1 – головное сооружение; 2 - затвор на входе в отводящий канал; 3 – траншейная часть водовыпуска из канала-быстротока; 4 – сбросное сооружение

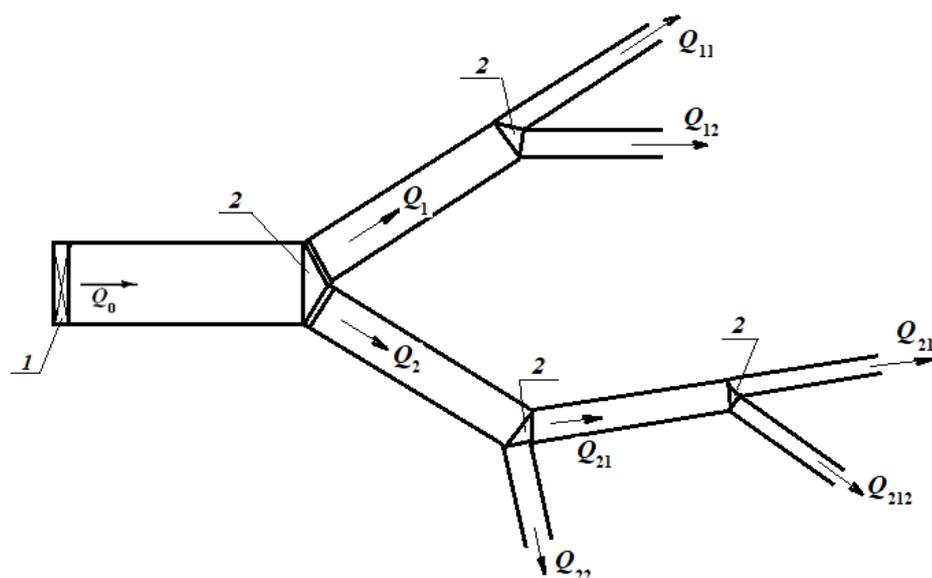


Рисунок 2.2 – Схема автоматического регулирования пропорциональным делением расходов: 1 – головной водозаборный узел; 2 – пропорциональный вододелитель

При этом регулирование по верхнему бьефу предполагает устройство перегородивающих сооружений вдоль канала, что также нерационально на каналах-быстротоках, поскольку такие сооружения будут создавать дополнительное сопротивление высокоскоростному бурному потоку, приводя к аварийным ситуациям. Таким образом, на быстротечных каналах приемлемо автоматическое регулирование либо непосредственным отбором

расходов по длине, либо пропорциональным делением расходов, либо комбинацией этих двух схем в рамках одного канала или системы.

«Вариант примерной схемы размещения гидросооружений на магистральном канале-быстротоке с бурным течением в соответствии со схемой управления водораспределением при непосредственном отборе расходов воды» [50], наиболее типичной для каналов-быстротоков, показан на рисунке 2.3.

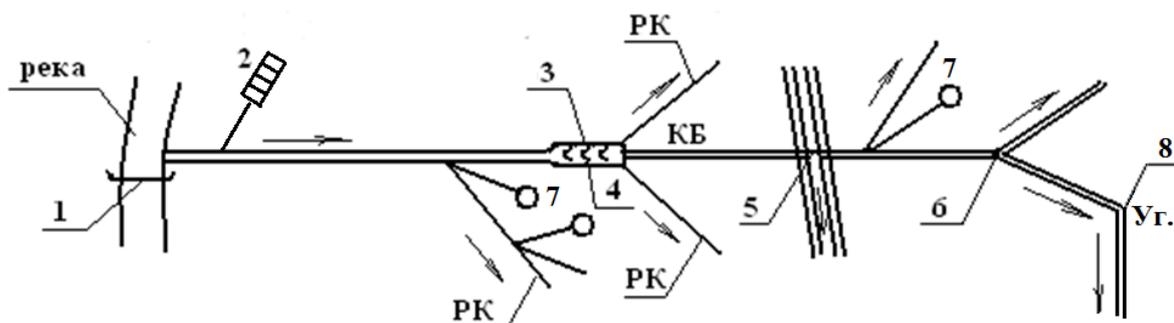


Рисунок 2.3 – Примерная схема размещения ГТС на каналах-быстротоках:

- 1 – ГВУ; 2 – сооружение водоучета; 3 – узел водораспределения; 4 – устройство для энергии потока воды; 5 – подпитывающее или сбросное сооружение; 6 – пропорц. делитель водного потока; 7 – водовыпуск; 8 – сооружение для поворота;

Согласно схеме (см. рисунок 2.3), сооружение водоучета 2 обычно размещается в голове магистрального канала-быстротока. Водовыпуски 7 располагаются в зависимости от местоположения орошаемого массива с учетом топографии местности. Если есть необходимость распределения потока воды в канале на три и более канала младшего порядка, устраивается водораспределительный узел 3, в составе которого при необходимости устраивается гаситель энергии бурного потока 4. При пересечении канала-быстротока с другим каналом или малой рекой возможно устройство подпитывающего (сбросного) сооружения 5. Такое сооружение позволит при необходимости обеспечить подпитку канала-быстротока, либо обеспечить сброс излишка воды. Устройство пропорциональных вододелителей 6 удобно

в ряде случаев, когда транзитный расход делится в пропорциональном однопорядковом отношении и направляется в несколько (чаще всего 2) канала-быстротока. Устройство поворотных сооружений на каналах-быстротоках может выполняться в виде плавного поворота (чаще в головной транзитной части канала), либо резким ломаным поворотом трассы канала, что чаще свойственно распределительной части сети, прокладываемой вдоль границ орошаемых полей.

Схемы размещения сетевых сооружений на каналах-быстротоках младших порядков аналогичны схемам размещения на магистральном быстротечном канале, с той лишь разницей, что на них значительно реже встречаются водораспределительные узлы с гасителями энергии потока и подпитывающие сооружения. На каналах младших порядков функцию водораспределения выполняют вододелители, обычно имеющие в составе своей конструкции гаситель энергии потока (решетку, козырьки и др.). Все остальные из перечисленных видов сооружений (водовыпуски, водомеры, поворотные, сбросные, пропорциональные вододелители) на каналах младших порядков применяются достаточно часто.

Ниже рассмотрим функциональные особенности наиболее массовых сетевых гидротехнических сооружений на каналах горно-предгорной зоны.

2.3 Функциональные особенности и связи сетевых сооружений на каналах-быстротоках оросительных систем горно-предгорной зоны

Сетевые (внутрисистемные) сооружения гидромелиоративных систем традиционно проектируются для условий расчетного режима, который устанавливается исходя их требований реализуемого планового водохозяйственного мероприятия. При этом сетевые сооружения мелиоративных систем подразделяют на регулирующие (водовыпуски, вододелители, подпорные сооружения, регулирующие уровни воды, и т. д.), водопроводящие (туннели, трубы, акведуки, дюкеры, лотки, ливнеспуски) и

сопрягающие, предназначенные для гашения энергии на участках каналов, имеющих большой уклон (быстротоки, перепады и др.) [100].

Сетевые гидротехнические сооружения оросительных систем горно-предгорной зоны имеют ряд отличий от сооружений долинной зоны. Основной особенностью ирригационных систем горно-предгорной зоны является наличие водоводов с большими уклонами трассы. Поскольку предгорье и горная территория имеют значительные уклоны местности, большинство оросительных водоводов выполняются в виде открытых каналов в бетонной (ж/б) облицовке или лотков с уклонами большими критическими, что еще на стадии проектирования водопроводящих сооружений предполагает наличие в них бурного и сверхбурного режимов течения. В настоящее время существует более 100 конструкций различных гидротехнических сооружений, реализуемых только на быстротечных каналах и обеспечивающих удовлетворительное водораспределение потребителям в горно-предгорной зоне [101].

Проведенный анализ существующих классификаций [13, 97, 100, 101] гидротехнических сооружений гидромелиоративных систем позволил классифицировать сетевые сооружения по функциональному назначению исходя из их особенностей применения на каналах с уклонами больше критического (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 - Классификация внутрисистемных гидротехнических сооружений мелиоративных систем горно-предгорной зоны

Каждое из показанных на рисунке 2.4 сооружений выполняют свою определенную функцию при работе гидромелиоративной системы в горно-предгорной зоне. При этом сооружения оросительных систем горно-предгорной зоны имеют свои конструктивные отличия от аналогичных сооружений, используемых на мелиоративных системах долинного типа.

Сверхкритические уклоны дна каналов-быстротоков оросительных систем горно-предгорной зоны делают необходимым использование на таких каналах в условиях бурных потоков сооружений вододеления, водоучета, водосброса, поворотных и др. сооружений, одной из конструктивных особенностей которых является «не вмешательство» в бурный поток. Конструктивным преимуществом вододелителей на каналах-быстротоках является расположение входных отверстий в дне (траншейного типа), а для водомеров – отверстий в виде щели в бетонной стенке лотка (щелевой водослив). Поворотное сооружение с поворотом в форме угла должно обязательно снабжаться конструктивными элементами-гасителями энергии бурного потока, набегающего на встречную стенку отводящей части канала. Гасителями энергии потока воды снабжаются и водораспределительные узлы на быстротечных каналах. Такие водораспределительные узлы часто оборудуются средствами автоматизации водоподдачи, устанавливаемыми в подводной камере, на входе в которую устраивается гаситель энергии бурного потока (рисунок 2.5). Пропорциональные делители бурных потоков, устраиваемые на каналах-быстротоках, как правило, не имеют встречных к потоку затворов, а включают направляющие стенки для плавного подвода высокоскоростного потока к отводящим отверстиям.



Рисунок 2.5 - Водораспределительный узел на канале-быстротоке «Жаламыш» в Сокулукском районе Чуйской области Кыргызской Республики

Для оросительной системы с каналами-быстротоками наиболее приемлемой является технологическая схема автоматизации водораспределения с непосредственным отбором расходов по длине каналов [97, 99]. В такой системе практически отсутствуют регулирующие емкости по длине каналов. Система не может работать «по запросу потребителей», и на головном сооружении в магистральный канал забирается плановый расчетный расход воды, необходимый для удовлетворения потребностей водопользователей на определенный период времени. Излишки воды обычно сбрасываются в бассейн суточного или декадного регулирования, расположенный в «хвостовой» части системы на пониженных отметках местности. Во избежание непроизводительных сбросов воды в системе следует обеспечить как можно более точный баланс расходов воды. Поэтому все гидротехнические сооружения на «водораспределительной системе с непосредственным отбором расходов воды» должны рассчитываться в строгой увязке как транзитных, так и забираемых расходов воды с учетом местных потерь напора на сооружениях и изменений скоростей потока на отдельных участках каналов. В такой системе водоучет осуществляется на

головном водозаборном гидроузле, на магистральном канале, а также на отводящих каналах сразу за водовыпусками. Сооружения водоучета позволяют обеспечивать и контролировать баланс расходов воды в системе. В основу расчета сооружений водоучета положены классические формулы гидравлики (таблица 2.1) [101-103]. Используя эти формулы можно определить пропускную способность и других сетевых сооружений на каналах-быстротоках.

Таблица 2.1 – Формулы для расчета пропускной способности сооружений

Параметр потока	Форма поперечного сечения сооружения		
	трапецидальное	прямоугольное	параболическое
Площадь живого сечения, ω , м ²	$\omega = (b + mh)h$	$\omega = bh$	$\omega = \frac{2}{3} Bh$
Смоченный периметр, χ , м	$\chi = b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$\chi = b + 2h$	$\chi \approx 1,5 \cdot B$
Гидравлический радиус, R , м	$R = \omega / \chi$		
Обозначения: b - ширина канала по дну; h - глубина воды в канале; B - ширина канала по урезу воды			

Расход воды в транзитной части канала-быстротока определяется, как и в любом другом канале, по формуле Шези [105]:

$$Q = \omega C \cdot \sqrt{Ri}, \quad (2.1)$$

где i – уклон канала; C – коэффициент Шези:

$$C = 1/n \cdot R^y, \quad (2.2)$$

n – коэффициент шероховатости облицовки канала-быстротока; y – показатель степени, для приближенных расчетов принимаемый $y = 1/6$.

Каждое сооружение водоучета градуируется. При этом гидравлическим расчетом определяется его пропускная способность (Q_p) при различных значениях глубин h воды в канале и конструктивных параметрах сооружения ($b; m; i; n$). Это позволяет построить градуировочный график $Q_p = f(h)$. Отградуированный график корректируется один раз в 3 года, а сооружение поверяется ежегодно в начале поливного сезона.

При расчете вододелителей различных конструкций используются специальные методики расчета. Однако в основу большинства из них положены классические формулы истечения из отверстия и истечения через водослив [97, 101, 104, 105]. Например, при расчете вододелителя траншейного типа для каналов с бурным течением [98] длина колодца определяется по формуле:

$$l_k = \frac{Q_{отв}}{\mu \cdot b \sqrt{2g\bar{H}}}, \quad (2.3)$$

где $Q_{отв}$ – расход отвода; μ – коэффициент расхода отверстия:

$$\mu = k \cdot Fr_{cp}^s, \quad (2.4)$$

k и s – коэффициенты, зависящие от конструкции траншейного вододелителя; b – достаточная ширина колодца; \bar{H} – действующий средний напор, вычисляется по формуле:

$$\bar{H} = \frac{H_n + H_k}{2}, \quad (2.5)$$

H_n – напор на входе в колодец в начале траншеи; H_k – напор на входе в колодец в конце траншеи.

Визуальный анализ структуры бурного потока на повороте показал, что до линии возмущения поток никак не влияет на изменение направления течения и остается равномерным. За линией возмущения происходит частичное сужение потока и уменьшение его скорости, что приводит к увеличению глубины в канале за поворотом у вогнутой стенки. Это указывает на то, что конструкции поворотных сооружений должны учитывать кинематику бурного потока в канале-быстротоке во избежание непроизводительных выплесков воды за пределы сооружения на повороте.

Таким образом, рассмотренные особенности внутрисистемных сооружений на оросительных каналах с уклонами дна больше критических позволяют сделать следующие выводы:

1. Внутрисистемные (сетевые) сооружения на оросительных системах горно-предгорной зоны обладают конструктивными и функциональными особенностями по сравнению с сооружениями на каналах долинной зоны.
2. При расчете и проектировании подавляющего большинства сетевых сооружений для каналов-быстротоков необходимо учитывать особенности кинематики (скорости, направление течения и др.) бурного потока.
3. При проектировании гидромелиоративных систем в горно-предгорной зоне и сооружений на них следует отдавать предпочтение схеме автоматизации водораспределения с непосредственным отбором расходов.
4. Внутрисистемные сооружения на оросительной системе с каналами-быстротоками должны рассчитываться в строгой увязке как транзитных, так и забираемых расходов воды с учетом местных потерь напора на сооружениях и изменений скоростей потока на отдельных участках каналов.

2.4 Теоретические исследования структуры бурного потока на транзитном участке канала-быстротока

2.4.1 Гидравлические характеристики двухмерного бурного потока в канале-быстротоке

Известно, что в основе уравнений движения вязкой несжимаемой жидкости лежит основное уравнение Д. Бернулли. Проведем анализ этого уравнения для бурного потока идеальной жидкости. Рассматривая плоскую задачу для канала с горизонтальным дном можно записать для любых двух сечений [105, 106]:

$$H = h + \frac{v^2}{2g}, \quad (2.6)$$

где H - напор полный; h - напор пьезометрический; v - скорость течения.

«Если разложить скорость потока на составляющие, получим» [12, 107]:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{v_2^2 + v_z^2}, \quad (2.7)$$

где v_2 - проекция скорости потока на горизонтальную плоскость,

$$v_2 = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}.$$

Принимая во внимание условие (2.7), можем переписать выражение (2.6) в виде:

$$H = h + \frac{v_2^2 + v_z^2}{2g}. \quad (2.8)$$

Обозначим горизонтальную проекцию линии тока dS , а вертикальную - dz и запишем:

$$\frac{v_2}{v_z} = \frac{dS}{dz} \Rightarrow v_2 = \frac{v_z dz}{dS}. \quad (2.9)$$

Из выражения (2.9) следует, что

$$H = h + \frac{v^2}{2g} + \frac{v_z^2}{2g} \left(\frac{dz}{dS} \right)^2. \quad (2.10)$$

Если не учитывать третье слагаемое уравнения (2.10) ввиду малости v_z , то (2.10) можно записать в виде:

$$H = h' + \frac{v^2}{2g}, \quad (2.11)$$

где h' - приближенное значение глубины потока.

Перепишем выражение (2.11) в виде:

$$h' = H - \frac{v^2}{2g}; \quad (2.12)$$

а выражение (2.10) в виде:

$$h = H - \frac{v^2}{2g} - \frac{v_z^2}{2g} \left(\frac{dz}{dS} \right)^2. \quad (2.13)$$

Постараемся установить, какова же относительная погрешность применения выражения (2.11) вместо (2.10). Запишем погрешность следующей зависимостью:

$$\Delta h = \frac{h-h'}{h} = -\frac{v_z^2}{2gh} \left(\frac{dz}{dS} \right)^2 = -\frac{Fr_z}{2} \left(\frac{dz}{dS} \right)^2, \quad (2.14)$$

где $\frac{dz}{dS} = i_n$ - уклон элементарного участка линии тока.

Таким образом,

$$\Delta h = -\frac{Fr_z}{2} i_n^2. \quad (2.15)$$

Проанализируем возможность применения выражения (2.11) для ирригационных каналов-быстротоков Кыргызстана с бурностремительным течением. Однако, примем допущение о параллельности свободной поверхности потока и дна канала, т.е. $i_n \approx i_k$.

«Известно, что для большинства каналов-быстротоков с бурным течением» [100], в Кыргызстане типичны уклоны дна $i_k = 0,001 \div 0,08$, а параметры Фруда потоков $Fr = 1 \div 8$.

Таким образом, при $i_k = 0,001$, а $Fr = 1,5$ получим погрешность, равную

$$\Delta h = -\frac{1,5}{2} 0,001^2 = -7,5 \cdot 10^{-7} = 7,5 \cdot 10^{-5} \%.$$

При $i_k = 0,08$, а $Fr = 8$ получим погрешность, равную

$$\Delta h = -\frac{8}{2} 0,08^2 = -0,0256 = 2,56 \%.$$

Проведенный расчетный анализ показывает, что выражение (2.11) вполне применимо для каналов-быстротоков с бурным стационарным течением в Кыргызстане.

Однако на участках быстротечных каналов, где имеют место резкие повороты потока в плане, когда составляющая скорости v_z резко возрастает, необходимо использовать выражение (2.10).

2.4.2 Характеристики свободной поверхности потока в канале с бурным течением

Одной из важнейших практических задач при проектировании каналов является задача установления отметок свободной поверхности потока или, проще говоря, глубины воды в канале.

Наличие бурного потока воды в канале-быстротоке предполагает даже при отсутствии катящихся волн наличие местных сходящихся и расходящихся потоков, вызываемых различными даже незначительными местными сопротивлениями, либо наличием сетевых сооружений, расположенных вдоль трассы канала. Поэтому профессором Высоцким Л.И. [12] было предложено в общем виде решение обратной задачи гидравлики, направленное на определение отметки свободной поверхности бурного потока в канале-быстротоке.

Полученное Высоцким Л.И. [12] в обобщенных цилиндрических координатах пространственное уравнение поверхности уровня воды имеет вид:

$$\sum_{i=1}^3 \left\{ \frac{1}{L_i} \frac{\partial \Pi_m}{\partial q_i} + \left[\frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{v^2}{2} \right) + T \right] \cos(\tau, e_{q_i}) + \frac{v^2}{r} \cos(n, e_{q_i}) \right\} \cdot L_i dq_i = 0, \quad (2.16)$$

где Π_m - потенциал массовых сил элементарного объема жидкости; L_i - коэффициенты Ламе; q_i - криволинейная координата линии тока; l - длина, отмеряемая вдоль линии тока; v - скорость частицы линии тока; T - ускорение частицы жидкости, теряемое из-за трения; τ, e_{q_i} - угол между касательной линии тока и направлением координатной оси; n, e_{q_i} - угол между главной нормалью линии тока и направлением координатной оси; r - радиус кривизны линии тока, $r(q_1, q_2, q_3)$. При чем координаты Ламме имеют вид:

$$L_i = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial q_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial q_i}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial q_i}\right)^2}. \quad (2.17)$$

Решая выражение (11) относительно $dq_3 = dz$ и принимая условие, что ось z направлена вертикально вверх, и интегрируя полученное выражение Высоцким Л.И. [12] получено:

$$z = z_{\left. \begin{array}{l} q_1=q_{1*} \\ q_2=q_{2*} \end{array} \right\}} + \int_{q_{1*}, q_{2*}}^{q_1, q_2} \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{\partial \Pi_{.m}}{\partial q_1} - \frac{\partial \Pi_{.m}}{\partial l} L_1 \cos(\tau, e_{q_1}) + \frac{v^2 L_1}{r} \cos(n, e_{q_1}) \right] dq_1 + \\ \left[\frac{\partial \Pi_{.m}}{\partial z} - \frac{\partial \Pi_{.m}}{\partial l} L_2 \cos(\tau, z) + \frac{v^2 L_2}{r} \cos(n, z) \right] \\ \left[\frac{\partial \Pi_{.m}}{\partial q_2} - \frac{\partial \Pi_{.m}}{\partial l} L_2 \cos(\tau, e_{q_2}) + \frac{v^2 L_2}{r} \cos(n, e_{q_2}) \right] dq_2 + \\ \left[\frac{\partial \Pi_{.m}}{\partial z} - \frac{\partial \Pi_{.m}}{\partial l} L_2 \cos(\tau, z) + \frac{v^2 L_2}{r} \cos(n, z) \right] \end{array} \right\}, \quad (2.18)$$

где q_{1*}, q_{2*} - начальные значения координатных линий q_1, q_2 .

Упрощая (2.18) было установлено, что для решения обратных задач бурных потоков удобно принять в качестве координатных линий q_1 проекции линий тока l на горизонтальную плоскость. Их обозначили s . А траектории, перпендикулярные s , обозначили y_1 . Преобразование выражения (2.18) для сравнительно малых α_{k_0} , что характерно для высокоскоростных потоков в призматических каналах-быстротоках, позволило записать его в виде:

$$z = z_k + \int_1^n A \left[B \frac{dz_k}{ds_k} - \frac{C}{\frac{d^2 z_k}{ds_k^2} + D \frac{dz_k}{ds_k} + \frac{1}{F + \left(\frac{dz_k}{ds_k}\right)^2} + \frac{1}{\Pi}} \right] dn, \quad (2.19)$$

где z_k - крайнее положение координаты z линии тока; A, B, C, D, F – переменные коэффициенты уравнения, которые зависят от параметра линии

тока n ; n - параметр линии тока, сохраняющий свое значение для данной линии тока постоянным, $n = 1, 2, 3, \dots$; Π - параметр кинетичности.

Преобразуем уравнение (2.19) для описания свободной поверхности потока в канале с бурным течением при искривлении потока в вертикальной плоскости. В этом случае имеют место как расходящиеся, так и сходящиеся потоки в общем потоке всего канала. Именно совокупность таких течений и образует пространственную кривизну свободной поверхности потока в канале. Границы сходящихся и расходящихся высокоскоростных потоков образуются крайними линиями тока, имеющими плановые координаты x_k, y_k (рисунок 2.6).

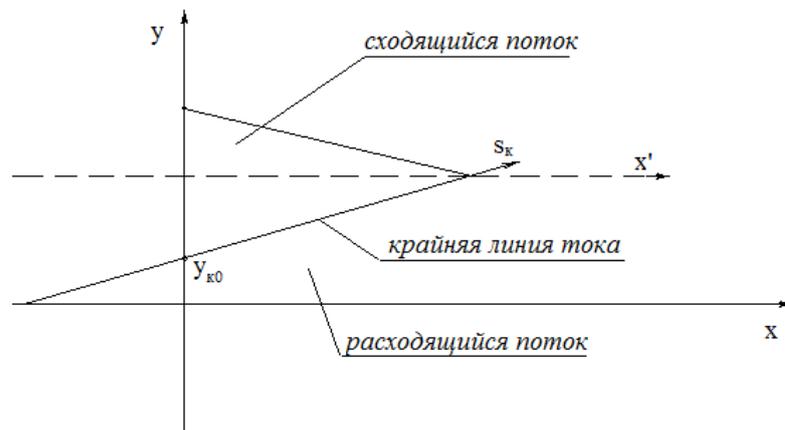


Рисунок 2.6 – Плановая схема направления поверхностных токов

Преобразуем выражение (2.19) для описания координат свободной поверхности расходящегося бурного потока, искривленного только в вертикальной плоскости (рисунок 2.7). В этом случае коэффициенты уравнения примут значения: $A = y_{к0}$; $B = 0$; $C = 0$; $D = 0$; $F = 1$.

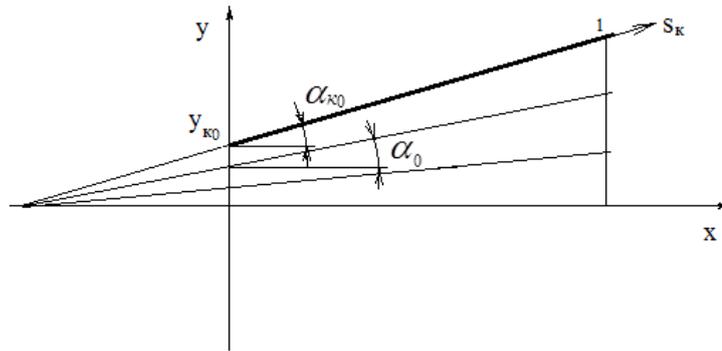


Рисунок 2.7 – План расходящихся поверхностных линий тока при бурном течении, причем принято $y_{к0} = y_0, \alpha_{к0} = \alpha_0$, т.к. показано положение крайней линии тока $[y_{к0}, 1]$

Таким образом, координата свободной поверхности расходящегося бурного потока определяется по формуле:

$$z = z_{к} + \int_1^n y_{к0} dn. \quad (2.20)$$

Проинтегрировав (2.19), получим:

$$z = z_{к0} + (y_{к0}n)_1^n = z_{к0} + y_{к0}(n-1);$$

$$z = z_{к0} + y_{к0} \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_{к0}} - 1 \right), \quad (2.21)$$

где $\alpha_{к0}$ - угол между крайней линией тока и осью x в нулевом сечении; α_0 - угол между осью x и любой линией тока в нулевом сечении; $z_{к0}$ - вертикальная координата поверхности тока в соответствующей точке с плановыми координатами $(0, y_{к0})$; $y_{к0}$ - плановая координата крайней линии тока в нулевом сечении.

Полученное выражение (2.21) дает возможность определить вертикальные координаты (глубины) всех точек свободной поверхности расходящегося бурного течения.

Теперь составим уравнение, позволяющее описать координаты свободной поверхности сходящегося бурного потока. В этом случае коэффициенты уравнения (2.19) будут: $A = -y_{\kappa 0}$; $B = 0$; $C = 0$; $D = 0$; $F = 1$. А схема потока будет выглядеть, как показано на рисунке 2.8.

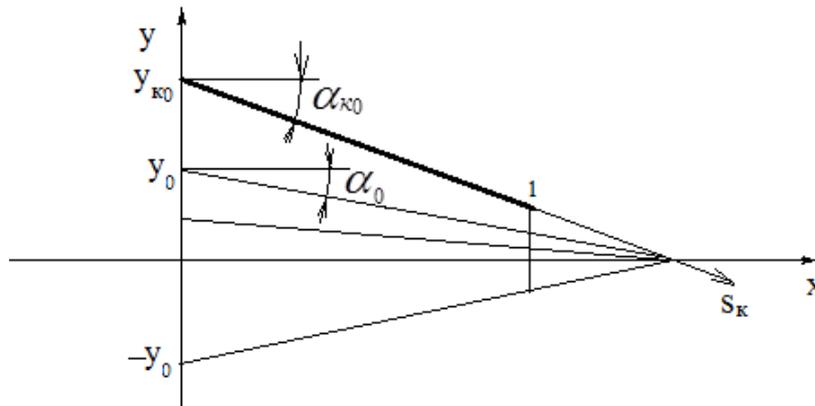


Рисунок 2.8 – План сходящихся поверхностных линий тока при бурном течении

Таким образом, координата свободной поверхности сходящегося бурного потока определяется по формуле:

$$z = z_{\kappa} + \int_1^n (-y_{\kappa 0}) dn. \quad (2.22)$$

Проинтегрировав (2.19), получим:

$$z = z_{\kappa 0} + (-y_{\kappa 0} n) \Big|_1^n = z_{\kappa 0} - y_{\kappa 0} (n - 1);$$

$$z = z_{\kappa 0} - y_{\kappa 0} \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_{\kappa 0}} - 1 \right), \quad (2.23)$$

Анализ зависимостей (2.21) и (2.23) показывает, что при наличии на участке свободной поверхности расходящихся линий тока, вертикальная отметка потока (глубина) уменьшается, а при наличии на участке поверхности потока сходящихся линий тока наблюдается обратная картина – вертикальная отметка свободной поверхности увеличивается, следовательно, бурный поток вспучивается. Сказанное легко проверить экспериментально.

2.5 Теоретические исследования структуры потока в зоне влияния водораспределительного и водомерного сооружений

Наличие водомерного или водораспределительного сооружения на канале-быстротоке вносит изменения в структуру основного потока и влияет на кинематику жидкости в зоне влияния указанного сооружения.

Рассмотрим кинематику потока в плане в зоне влияния водораспределительного сооружения в виде водовыпускного отверстия, если это отверстие расположено в боковой стенке канала. При этом примем допущение, что $B \gg b$, где B – ширина транзитного канала, а b – ширина отводящего канала. Аналогичная картина будет иметь место и в случае водомерного сооружения на канале, когда вход в измерительный колодец представляет собой боковую щель в стенке канала.

Для рассмотрения планового распределения скоростей и кинематики потока нужны решения не только плоской, но и пространственной задачи на плане потока.

Еще одним допущением примем то, что движение потока является стационарным потенциальным, т.е. скорость вращения жидкости $\omega = 0$ [108].

Если записать выражение для полного дифференциала потенциала скорости φ (пространственная картина):

$$d\varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial x} dx + \frac{\partial \varphi}{\partial y} dy + \frac{\partial \varphi}{\partial z} dz + \frac{\partial \varphi}{\partial t} dt, \quad (2.24)$$

где x, y, z - координаты точек потенциальной поверхности; t - время,

то для плоской картины, когда вместо поверхностей равного потенциала получаем линии равного потенциала, можно записать проще:

$$\varphi = \varphi(x, y, t), \quad (2.25)$$

а также согласно [107]:

$$d\varphi = u_x dx + u_y dy + \frac{\partial \varphi}{\partial t} dt, \quad (2.26)$$

или для некоторого конкретного момента времени t , когда $dt=0$:

$$u_x dx + u_y dy = 0. \quad (2.27)$$

Распределение u в потоке определено, если известны три компоненты скорости в нужных точках u_x, u_y и u_z , а для плоской задачи u_x и u_y :

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}. \quad (2.28)$$

Для решения плоской задачи потенциального течения [13]:

$$\begin{aligned} u_x &= u_x(x; y; t); \\ u_y &= u_y(x; y; t); \\ p &= p(x; y; t), \end{aligned} \quad (2.29)$$

где p – давление в потоке жидкости.

Модельное представление о потоке жидкости как о безвихревом (потенциальном) ее движении позволяет сильно упростить поставленную задачу, сведя ее к поиску только двух функций – φ и p [109]. То есть, если удастся определить функцию $\varphi = \varphi(x, y, t)$, а для этого нужно решить всего одно уравнение, то обе компоненты скорости u_x и u_y определяются достаточно легко с помощью частного дифференцирования. Уравнение, которому удовлетворяет потенциал скорости φ – это уравнение Лапласа:

$$\Delta a = \frac{\partial^2 a}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 a}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 a}{\partial z^2}, \quad (2.30)$$

где a – некоторый вектор линии тока потенциального течения в зоне установки водомерного или водораспределительного сооружения.

Поскольку уравнение (2.30) является линейным, можно использовать положение, что сумма частных решений этого уравнения тоже является его решением [108].

Для рассматриваемой задачи (см. рисунок 2.9) потенциального бурного течения потока в призматическом канале с отводом его части через малое

отверстие. Такое отверстие может находиться в дне канала или в боковой стенке. При этом будем использовать потенциал скорости φ .

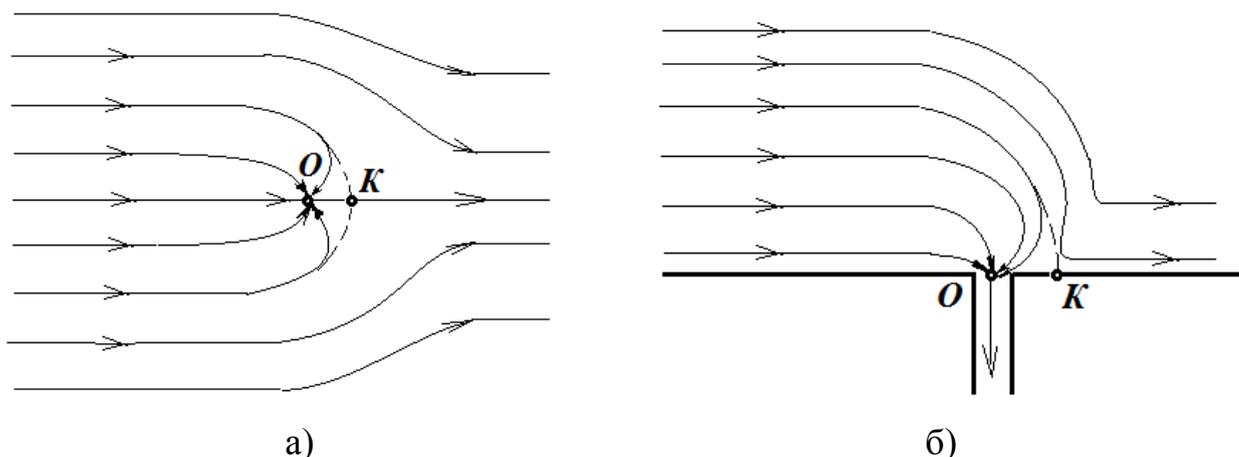


Рисунок 2.9 – Обтекание места стока в потенциальном стационарном бурном потоке: а) место стока в дне транзитного канала; б) место стока в боковой стенке канала

Используем задание функции $\varphi = \varphi(x, y, z, t)$, удовлетворяющей уравнению Лапласа и определим соответствующие ей граничные условия.

Для указанных выше условий потенциал скорости φ потока:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2, \quad (2.31)$$

где φ_1 – потенциал скорости, соответствующий равномерному течению со скоростью u_0 на направлении оси x ;

φ_2 – потенциал скорости, соответствующий плоскому стоку.

Перепишем выражение (2.31) в виде:

$$\varphi = u_0 x - q \ln \sqrt{x^2 + y^2} = u_0 x - q \ln r, \quad (2.32)$$

где u_0 – некоторая постоянная (начальное значение) скорости;

q – удельный расход воды стока, ограниченный линиями тока, составляющими угол в один радиан (рисунок 2.5).

Область течения, заключена между окружностями с радиусами r_1 и r_2 .

Линии тока на стоке через отверстие направлены центрально симметрично относительно центра отверстия т. O (см. рисунок 2.10).

В результате анализа уравнения (2.32) становится очевидным, что потенциал скорости φ удовлетворяет уравнению Лапласа (2.30), поскольку является линейным.

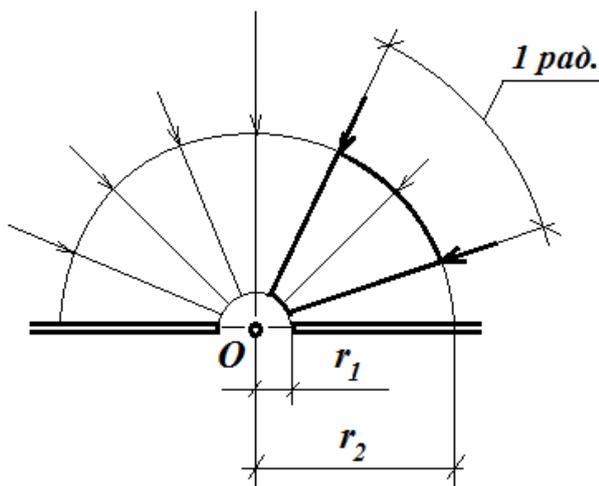


Рисунок 2.10 – Двухпроекционная модель притока жидкости к отверстию на стоке из канала

Перепишав выражение (2.30) для плоской картины в двумерном пространстве, получим типовую форму уравнения Лапласа:

$$\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} = 0. \quad (2.33)$$

Получим компоненты скорости u_x и u_y :

$$u_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = u_0 - \frac{q}{x^2 + y^2} x = \frac{u_0 r^2 - qx}{r^2}; \quad (2.34)$$

$$u_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \frac{q}{x^2 + y^2} y = \frac{qy}{r^2}. \quad (2.35)$$

Линии тока, описываемые уравнениями (2.34) и (2.35) соответствуют течению, показанному на рисунке 2.10.

Расстояние от центра стока т. O до крайней предельной точки K можно определить по формуле (2.34) при условии $u_x = 0$. В этом случае будет иметь место:

$$\begin{aligned} u_0 r^2 - q x_K &= 0; \\ u_0 r^2 &= q x_K; \\ x_K &= \frac{u_0 r^2}{q}. \end{aligned} \quad (2.36)$$

Опираясь на выражения (2.34)...(2.36) можно определить не только компоненты скорости бурного плоского потока, но и зону влияния стока в общем потоке канала старшего порядка.

Рассмотрим и проанализируем пространственную картину кинематики потока воды в канале при истечении в отверстие. В этом случае имеет место:

$$u_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{C}{x^2 + y^2 + z^2} x = \frac{C \cdot x}{R^2}; \quad (2.37)$$

$$u_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \frac{C}{x^2 + y^2 + z^2} y = \frac{C \cdot y}{R^2}; \quad (2.38)$$

$$u_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{C}{x^2 + y^2 + z^2} z = \frac{C \cdot z}{R^2}, \quad (2.34)$$

где C - некая размерная константа, зависящая от параметров канала, m^3/c для пространственного истечения;

R - радиус сферы влияния стока на отверстие, $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$.

Таким образом, скорость частиц жидкости будет зависеть, при неизменных параметрах канала старшего порядка, от расстояния частицы до отверстия стока:

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2} = \sqrt{\frac{C^2 x^2}{R^2} + \frac{C^2 y^2}{R^2} + \frac{C^2 z^2}{R^2}} = \frac{C}{R}. \quad (2.40)$$

Выражение (2.40) показывает, что с приближением к отверстию стока скорость жидкости увеличивается.

Обозначив расход стока (истечения в отвод), приходящийся на единицу его толщины Q , будем иметь:

$$Q = 1 \cdot 4\pi R^2 \cdot u = 4\pi R^2 \cdot \frac{C}{R} = 4\pi CR. \quad (2.41)$$

Из выражения (2.41) найдем:

$$C = \frac{Q}{4\pi R} = \Omega, \quad (2.42)$$

где Ω - удельный расход через сегмент ABCD сферы радиуса R , образованный линиями тока, составляющими угол в 1 радиан (рисунок 2.11).

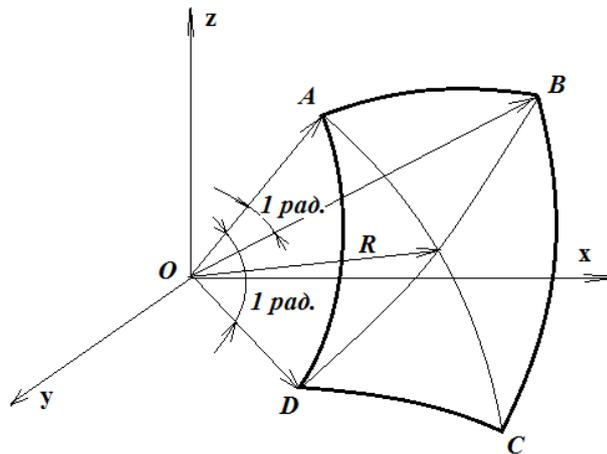


Рисунок 2.11 – Область течения стока

В цилиндрических координатах получим:

$$u_r = \frac{\Omega}{R}; \quad u_\theta = 0. \quad (2.43)$$

Граничные условия в области стока, ограниченной двумя сферами, одна из которых имеет радиус R_1 , равный половине ширины отверстия стока, а вторая имеет радиус R_2 , равный радиусу сферы, ограничивающей зону влияния стока на основной поток в канале старшего порядка.

Граничные условия Дирихле первого рода при рассмотрении сегмента стока из основного потока:

$$\varphi \Big|_{R=R_1} = -\Omega \ln R_1; \quad \varphi \Big|_{R=R_2} = -\Omega \ln R_2; \quad (2.44)$$

$$\varphi \Big|_{\theta=\theta_1} = -\Omega \ln R; \quad \varphi \Big|_{\theta=\theta_2} = -\Omega \ln R,$$

где θ - угол наклона сегмента ABCD сферы к направлению стока (см. рисунок 2.11).

Граничные условия Неймана (вторая краевая задача):

$$\frac{\partial \varphi}{\partial R} \Big|_{R=R_1} = -\frac{\Omega}{R_1}; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial R} \Big|_{R=R_2} = -\frac{\Omega}{R_2}; \quad (2.45)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \Big|_{\theta=\theta_1} = 0; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \Big|_{\theta=\theta_2} = 0.$$

Знак « - » в выражениях (2.44) и (2.45) отражает сток жидкости относительно основного потока в канале старшего порядка.

Таким образом, центр отверстия т. O (см. рисунок 2.11), где $R=0$, является так называемой особой точкой. Анализ выражений (2.44) и (2.45) показывает, что потенциал скорости в этой точке стремится к бесконечности ($\varphi \rightarrow \infty$).

Проведенный анализ позволяет выявить теоретические особенности истечения через отверстие (сток) в стенке или дне канала. Проведенная постановка и решение обратной задачи позволяет при решении отдельных частных случаев рассмотренной выше задачи истечения найти сначала характеристики течения жидкости при заданном (ввиду определенных конструктивных условий водовыпуска) потенциале скорости φ , а затем определить, каким граничным условиям соответствует рассматриваемый случай (объект).

2.6 Влияние поворота канала на кинематику бурного потока

«Известно, что бурные потоки характеризуются тем, что их глубина меньше критической, а числа Фруда больше единицы ($h < h_{кр}; Fr > 1$)» [106].

«При изменении направления или сужении бурного потока на его свободной поверхности образуются специфические волнообразования, которые имеют значительную высоту и устойчиво сохраняются на большом протяжении вдоль потока» [48]. Сущность их образования состоит в том, что в месте ломаного поворота скорость бурностремительного потока несколько уменьшается и из-за большого запаса кинетической энергии в бурном потоке даже незначительное уменьшение скоростного напора ведет к быстрому и значительному увеличению глубины потока. Образовавшиеся водоворотные области водной поверхности распространяются вниз по течению в виде прямых или косых прыжков.

2.6.1 Параметры бурного потока при плавном повороте

На крупных межхозяйственных и магистральных каналах с расходами Q_{\max} в пределах $5 \div 30 \text{ м}^3/\text{с}$, как правило, выполняются плавные по радиусу закругления повороты трассы, которые на практике рассчитываются исходя из топографических условий местности. Однако при выборе радиуса закругления трассы такого канала на повороте проектировщики обычно руководствуются рекомендациями эмпирических данных из справочников и результатами опытных разработок прошлых лет. При этом часто случается, что построенный канал не предусматривает увеличения глубины у вогнутого борта на повороте трассы. Поэтому уже на стадии эксплуатации приходится надстраивать вогнутый борт канала, что снижает надежность конструкции и самого технологического процесса транспорта воды. Примерами тому являются магистральные каналы Аламединский подпитывающий в Чуйской области и Бургандинский в Баткенской области в их головной транзитной части. Поэтому проблема определения численной взаимосвязи «параметров потока на поворотном участке канала, выполненного по заданному радиусу, является одной из ключевых при проектировании таких быстротечных каналов» [12].

Рассмотрим закономерности течения потока на закруглениях при плавном повороте трассы канала (рис. 2.12).

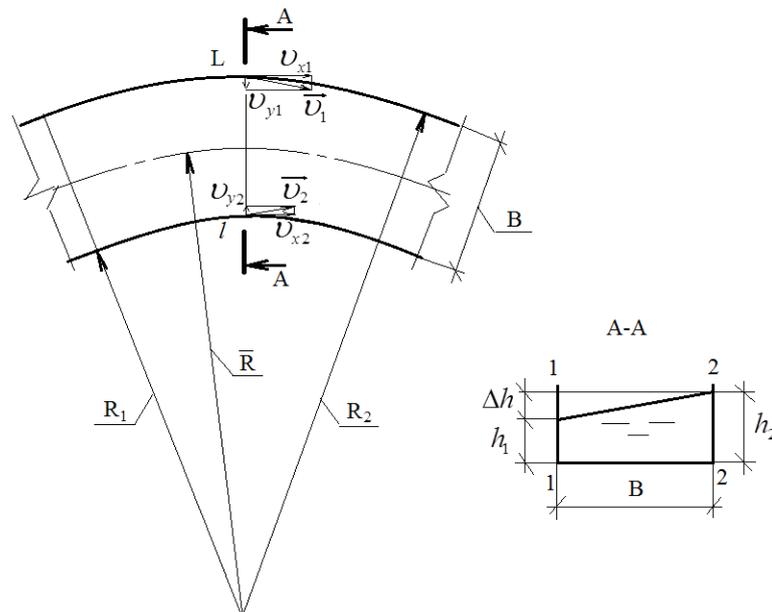


Рисунок 2.12 – Схема движения потока на повороте по радиусу

Приняв за ось сравнения 0-0 дно канала, составим уравнение Бернулли для сечений 1-1 и 2-2, который примет вид:

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 |\vec{U}_1|^2}{2g} = h_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 |\vec{U}_2|^2}{2g} - \Delta h, \quad (2.46)$$

«где \vec{U}_1 и \vec{U}_2 - скорости потока в сечениях 1-1 и 2-2; h_1 и h_2 - глубины потока в сечениях 1-1 и 2-2; P_1 и P_2 - давления воды в сечениях 1-1 и 2-2; ρ - плотность воды»[12].

Исходя из того, что в выражении (2.46) $P_1 = P_2$ и $\alpha_1 = \alpha_2$, получим:

$$h_1 - h_2 = \Delta h = \frac{|\vec{U}_1|^2}{2g} - \frac{|\vec{U}_2|^2}{2g}, \quad (2.47)$$

$$\text{где } |\vec{U}_1| = \sqrt{v_{x1}^2 + v_{y1}^2 + v_{z1}^2}; \quad (2.48)$$

$$|\vec{U}_2| = \sqrt{v_{x2}^2 + v_{y2}^2 + v_{z2}^2}. \quad (2.49)$$

При малых скоростях потока, когда параметр Фруда $Fr < 1$, можем записать:

$$\overline{v}_1 \cdot l = \overline{v}_2 \cdot L, \quad (2.50)$$

где l и L длины дуг выпуклой и вогнутой стенок канала на повороте.

Из выражения (2.50) следует:

$$l = 2\pi R_1; \quad L = 2\pi R_2, \quad (2.51)$$

где R_1 и R_2 - радиусы поворота выпуклой и вогнутой стенок канала, соответственно.

Перепишем (2.50) с учетом (2.51):

$$\overline{v}_1 \cdot R_1 = \overline{v}_2 \cdot R_2. \quad (2.52)$$

Для бурных потоков, где $Fr > 1$, необходимо принимать во внимание то условие, что $v_x \gg v_y \approx v_z$, поэтому введем обозначение:

$$v_{x1} = \bar{v} \cdot \frac{\bar{R}}{R_1}; \quad v_{x2} = \bar{v} \cdot \frac{\bar{R}}{R_2}, \quad (2.53)$$

где \bar{v} - средняя скорость течения в сечении 1-1-2-2 на вертикали с радиусом R оси продольной трассы канала.

Таким образом, разность горизонтов Δh может быть представлена как функция разности между скоростными напорами у крайних стенок канала, а также радиусов выпуклой и вогнутой стенок канала. «Данный результат подтверждает выводы Шаумяна В.А. [110], сделанные по итогам аналитических исследований Миловича А.Я. [13, 35].

С учетом (2.53) выражение (2.37) примет вид:

$$\Delta h = \frac{\bar{v}^2 \bar{R}^2}{R_1^2} \cdot \frac{1}{2g} - \frac{\bar{v}^2 \bar{R}^2}{R_2^2} \cdot \frac{1}{2g} = \frac{\bar{v}^2 \bar{R}^2}{2g} \left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right). \quad (2.54)$$

Радиусы через ширину потока B выражаются:

$$R_1 = \bar{R} - \frac{B}{2}; \quad R_2 = \bar{R} + \frac{B}{2}. \quad (2.55)$$

Учитывая (2.55) получим:

$$\Delta h = \frac{\bar{v}^2 \bar{R}^2}{2g} \left(\frac{1}{\left(\bar{R} - \frac{B}{2}\right)^2} - \frac{1}{\left(\bar{R} + \frac{B}{2}\right)^2} \right). \quad (2.56)$$

Упростим второй сомножитель правой части выражения (2.56):

$$\frac{1}{\left(\bar{R} - \frac{B}{2}\right)^2} - \frac{1}{\left(\bar{R} + \frac{B}{2}\right)^2} = \frac{\left(\bar{R} + \frac{B}{2}\right)^2 - \left(\bar{R} - \frac{B}{2}\right)^2}{\left(\bar{R}^2 - \frac{B^2}{4}\right)^2} = \frac{32\bar{R}B}{\left(4\bar{R}^2 - B^2\right)^2}. \quad (2.57)$$

Перепишем (2.56) с учетом (2.57), умножив и разделив выражение на B :

$$\Delta h = \frac{\bar{v}^2 \bar{R}^2}{2g} \frac{32\bar{R}B}{\left(4\bar{R}^2 - B^2\right)^2}. \quad (2.58)$$

После ряда преобразований получим:

$$\Delta h = \bar{Fr} \cdot \frac{16\bar{R}^3 B^2}{\left(4\bar{R}^2 - B^2\right)^2}. \quad (2.59)$$

Формула (2.59) ясно показывает, что в поперечном сечении потока на повороте канала разность глубин у бортов канала зависит от величины параметра Fr , а точнее сказать - от скорости потока в канале. Чем больше скорость \bar{v} , тем больше величина Δh при прочих неизменных параметрах \bar{R} и B .

Проведем исследование, как влияет изменение параметров \bar{Fr} , \bar{R} и B на изменение разности глубин Δh при плавном повороте канала. Для этого составим выражения в частных производных $\frac{\partial \Delta h}{\partial \bar{Fr}}$; $\frac{\partial \Delta h}{\partial \bar{R}}$; $\frac{\partial \Delta h}{\partial B}$, используя полученное уравнение (2.59).

Частная производная от разности глубин по параметру Фруда:

$$\frac{\partial \Delta h}{\partial \overline{Fr}} = \frac{16 \overline{R}^3 B^2}{(4 \overline{R}^2 - B^2)^2} \quad (2.60)$$

Для решения $\frac{\partial \Delta h}{\partial \overline{R}}$ и $\frac{\partial \Delta h}{\partial B}$ приведем выражение (2.59) к следующему виду:

$$\Delta h = \frac{16 \cdot \overline{Fr} \cdot \overline{R}^3 B^2}{16 \overline{R}^4 - 8 \overline{R}^2 B^2 + B^4} \quad (2.61)$$

Частная производная от разности глубин по среднему радиусу:

$$\frac{\partial \Delta h}{\partial \overline{R}} = \frac{(4 \overline{R}^2 - B^2)^2 \cdot 48 \overline{Fr} B^2 \overline{R}^2 - 256 \overline{Fr} B^2 \overline{R}^3 \overline{R} (4 \overline{R}^2 - B^2)}{(4 \overline{R}^2 - B^2)^4}.$$

После преобразований:

$$\frac{\partial \Delta h}{\partial \overline{R}} = \frac{48 \overline{Fr} B^2 \overline{R}^2}{(4 \overline{R}^2 - B^2)^2} \cdot \left[1 - \frac{16}{3} \cdot \frac{\overline{R}^2}{4 \overline{R}^2 - B^2} \right]. \quad (2.62)$$

Продифференцируем (2.61) по ширине B :

$$\frac{\partial \Delta h}{\partial B} = \frac{(4 \overline{R}^2 - B^2)^2 \cdot 32 \overline{Fr} B \overline{R}^3 - 64 \overline{Fr} B^3 \overline{R}^3 (B^2 - 4 \overline{R}^2)}{(4 \overline{R}^2 - B^2)^4}. \quad (2.63)$$

После преобразований получим:

$$\frac{\partial \Delta h}{\partial B} = \frac{32 \overline{Fr} \cdot \overline{R}^3 B}{(4 \overline{R}^2 - B^2)^2} \cdot \left[1 + \frac{2B^2}{4 \overline{R}^2 - B^2} \right]. \quad (2.64)$$

Полученные выше зависимости (2.60), (2.62) и (2.64) позволяют провести анализ и оценку изменения разности глубин в канале на повороте.

Выражение (2.60) показывает, что с увеличением параметра Фруда увеличивается разность глубин Δh на повороте. Причем это увеличение значительнее сказывается при меньших значениях ширины канала B и меньших радиусах \overline{R} поворота трассы канала.

Из выражения (2.62) следует, что с увеличением радиуса \overline{R} уменьшается разность глубин Δh , о чем свидетельствует четвертая степень радиуса в

знаменателе дроби первого сомножителя и вторая степень радиуса в числителе дроби в скобках. Это свидетельствует о необходимости выбирать по возможности больший радиус поворота трассы канала для обеспечения $\Delta h \rightarrow 0$.

Выражение (2.64) показывает увеличение разности глубин Δh при уменьшении ширины канала. Это также подтверждается степенью параметра B и его знаком в знаменателе обеих дробей. Поэтому, при проектировании каналов с бурностремительным течением требуется обеспечить достаточную ширину B для элиминирования выплесков за пределы канала.

2.6.2 Влияние величины угла поворота на увеличение глубины потока за поворотом

В ломаных в плане поворотных участках канала происходит изменение движения потока за счет обтекания боковых стенок в виде вогнутого тупого угла. «В каналах со спокойным течением ($Fr < 1$), когда угол поворота очень мал и поворот трассы канала выполнен по радиусу, имеет место перестройка поля скоростей и кинематики потока. В таких случаях, одностороннее сжатие спокойного потока приводит к незначительному увеличению глубины у вогнутого берега канала на повороте. Таким образом, небольшие скорости потока в канале не допускают значительного увеличения глубины, поскольку линии тока плавно перераспределяются по ширине канала» [107].

В каналах с бурностремительным течением наблюдается совершенно другая картина. «При повороте трассы канала с потоком, где параметр Фруда больше единицы, на угол δ , образуется крупномасштабная волна» [106] (см.рис. 2.13).

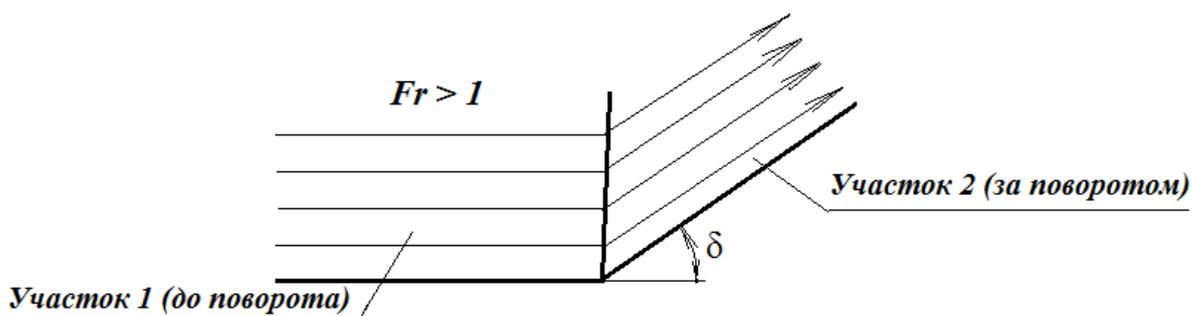


Рисунок 2.13 – Кинематика бурного потока на повороте

Установлено, что до косой волны возмущения бурный поток никак не реагирует на изменение направления течения и остается равномерным. Частичное сужение потока происходит за косой волной возмущения, вызывая уменьшение скорости потока, а, следовательно, к увеличению глубины потока за его поворотом.

По теории профессора Л.И. Высоцкого, «глубина бурного потока за поворотом изменяется от величины h_1 до величины h_2 »[106]:

$$h_2 = 0,5h_1 \left(\sqrt{1 + 8Fr_1 \sin^2 \delta} - 1 \right), \quad (2.65)$$

«где Fr_1 - параметр Фруда потока на участке 1 (до поворота); δ – угол поворота канала»[106].

Из (2.65) можно найти отношение глубин, которое позволит определить во сколько раз увеличивается глубина бурного потока в канале за поворотом:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8Fr_1 \sin^2 \delta}}{2} - 0,5. \quad (2.66)$$

Введя обозначение:

$$\frac{h_2}{h_1} = \Delta h_{2-1}. \quad (2.67)$$

Можно получить относительное приращение глубины потока в канале за поворотом трассы канала:

$$\Delta h_{2-1} = \frac{\sqrt{1+8Fr_1 \sin^2 \delta}}{2} - 0,5. \quad (2.68)$$

Формула (2.68) дает относительное приращение глубины потока за поворотом, зависящее от параметра кинетичности и угла поворота канала. В таблице 2.2 приведены полученные нами зависимости при различных наиболее часто встречающихся типовых углах поворота ломаных в плане каналов-быстротоков.

Таблица 2.2 – Формулы для определения Δh_{2-1} от значения угла поворота канала-быстротока

δ , град	15	30	45	60	90
Δh_{2-1}	$\frac{\sqrt{1+0,536Fr_1}}{2} - 0,5$	$\frac{\sqrt{1+2Fr_1}}{2} - 0,5$	$\frac{\sqrt{1+4Fr_1}}{2} - 0,5$	$\frac{\sqrt{1+6Fr_1}}{2} - 0,5$	$\frac{\sqrt{1+8Fr_1}}{2} - 0,5$

Подставляя параметр Фруда и угол поворота его трассы из таблицы 2.2 можно легко найти относительное приращение глубины бурностремительного потока за поворотом. Расчеты показывают, что при значениях параметра Фруда от 1,1 до 7,0 и изменении угла поворота в пределах $15^0 \div 90^0$, глубина потока за поворотом может увеличиваться в $0,6 \div 3,2$ раза, что наиболее типично для каналов предгорной зоны в КР.

Полученные выше результаты подтверждают визуальные наблюдения проектировщиков и обосновывают необходимость устройства на поворотных участках каналов-быстротоков перепада отметок дна с увеличением строительной глубины канала непосредственно за резким поворотом на участке 2 (рисунок 2.13).

2.6.3 Выбор угла поворота канала-быстротока

Строительство ирригационных систем, в состав которых входят каналы открытого типа с бурным течением, является неотъемлемой частью гидротехнического строительства в Кыргызской Республике.

При выборе трассы канала-быстротока в составе оросительной системы традиционно опираются на исходные данные: топография местности, ландшафт, существующая застройка и расположение орошаемых полей, местоположение и характеристики источника орошения, требуемых расходов воды и др. Однако достаточно часто проектировщики имеют возможность выбирать положение трассы канала-быстротока по своему усмотрению, аргументируя ее рациональность. При этом выбор угла поворота канала с бурным течением должен учитывать и гидравлические характеристики высокоскоростного потока воды в канале.

Рассмотрим теорию поворота плоского потенциального потока на угол $\delta < \frac{\pi}{2}$ (рисунок 2.14). Решение такой задачи опирается на анализ течения Прандтля-Майера [42].

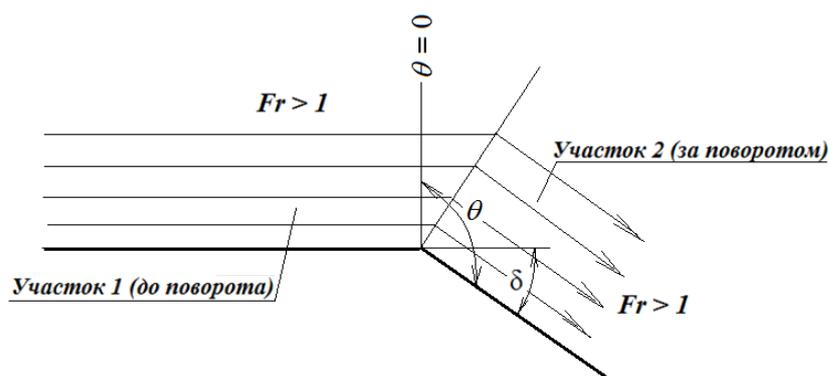


Рисунок 2.14 – Кинематика огибания выпуклого угла при резком повороте быстротока

«Безотрывное обтекание стенки бурным потоком при повороте возможно только, если поворот канала обеспечивается на какой-то угол $\delta \leq \delta_{\max}$. В

случае, если $\delta > \delta_{\max}$, происходит разрыв сплошности потока у выпуклой стенки канала за поворотом и последующее образование косой волны возмущения в канале после поворота» [15].

«С учетом полученного выражения для некоторого предельного значения θ_{np} » [105, 108]:

$$\theta_{np} = \sqrt{3} \arccos \sqrt{(Fr_1 - 1)/(Fr_1 + 2)} + \arccos 1/\sqrt{Fr_1}, \quad (2.71)$$

где Fr_1 - параметр Фруда на участке канала-быстротока перед поворотом; нами было найдено выражение для определения максимальной величины угла поворота δ_{\max} канала с бурным течением, при котором происходит безотрывное обтекание выпуклой стенки канала бурным потоком при повороте. Такое значение максимального угла поворота можно определить по формуле:

$$\delta_{\max} = \sqrt{3} \arccos \sqrt{\frac{Fr_1 - 1}{Fr_1 + 2}} + \arccos \frac{1}{\sqrt{Fr_1}} - \frac{\pi}{2}. \quad (2.72)$$

Таким образом, из выражения (2.72) видно, что значение максимального угла поворота канала с бурным течением, при котором не образуется за поворотом косая волна возмущения, зависит только от параметра Фруда подводящего участка.

Распишем в форме таблицы зависимость рекомендуемых предельных значений угла поворота канала с бурным течением от величины параметра Фруда на подводящем участке (таблица 2.3). При этом учтем, что наиболее характерные значения параметра Фруда для каналов с бурным течением в Кыргызстане составляют $Fr = 1 \div 8$ [100].

Таблица 2.3 – Рекомендуемые предельные значения углов поворота канала-быстротока

Fr_1	1	2	3	4	5	6	7	8
δ_{\max}	$0,366\pi$	$0,327\pi$	$0,293\pi$	$0,266\pi$	$0,246\pi$	$0,229\pi$	$0,217\pi$	$0,203\pi$
$\delta_{\max, \text{град}}$	66,0	58,92	52,74	47,94	44,5	41,3	39,0	36,56
$\delta_{\max, \text{рад}}$	1,15	1,03	0,92	0,83	0,77	0,72	0,68	0,64

Используя данные таблицы 2.3, построим график зависимости $\delta_{\max} = f(Fr)$, рад. (см. рисунок 2.15). При этом сделаем допущение, что параметр Фруда на подводящем и отводящем участках равны.

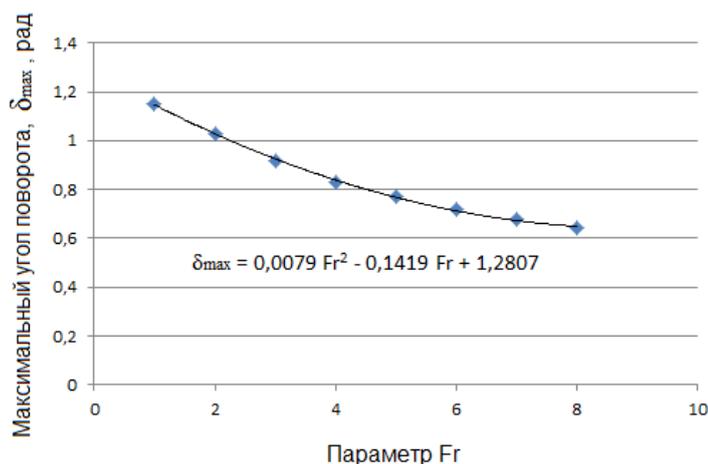


Рисунок 2.15 – Зависимость для рекомендуемого предельного значения угла поворота канала-быстротока с бурным течением

Анализ графика на рисунке 2.15 показывает, что для определения предельного значения угла поворота канала с бурным течением рекомендуется зависимость:

$$\delta_{\max} = 0,0079 Fr^2 + 0,1419 Fr + 1,2807, \quad (2.73)$$

где Fr - параметр Фруда канала с бурным течением при условии равенства гидравлических параметров канала до и после поворота.

В случае, когда канал-быстроток по разным причинам не может иметь равные гидравлические параметры на участках до и после поворота, а значит $Fr_1 \neq Fr_2$, в зависимости (2.73) вместо общего параметра Fr необходимо использовать значения параметра Фруда Fr_1 для участка канала до поворота.

При необходимости устройства угла поворота канала с бурным течением большим δ_{\max} (например, при условии поворота канала по контуру прямоугольного поля), следует обязательно устраивать поворотное сооружение специальной конструкции, которое позволит обеспечить гашение кинетической энергии потока на повороте, исключит разрыв сплошности потока у выпуклой стенки канала за поворотом и образование косой волны возмущения в канале после поворота.

2.7 Комплексный анализ структуры потока в открытом канале-быстротоке с сетевыми сооружениями

Проведенные теоретические исследования позволяют оценить состояние бурного потока в канале-быстротоке при наличии размещенных вдоль него сетевых сооружений, наиболее массовыми из которых являются водовыпускные сооружения (вододелители), поворотные сооружения и плановые изменения параметров канала (сужения и расширения русел), сооружения водоучета. Несколько реже встречаются на быстротечных каналах подпитывающие (сбросные) сооружения и устройства для гашения энергии бурного потока.

В предыдущих подразделах рассмотрены особенности гидравлической структуры бурного потока в канале на отдельных из указанных сооружений. При этом следует отметить, что проектировщики при размещении сооружений (особенно водовыпускных и водораспределительных) вдоль канала-быстротока редко руководствуются условиями обеспечения безаварийной работы сооружений. В основу размещения сетевых сооружений на быстротечных каналах обычно ложатся требования водопотребителей, топографические условия местности, границы существующих орошаемых массивов и др. При этом далеко не всегда вспоминают о влиянии и взаимовлиянии сооружений на высокоскоростной

бурный поток, что достаточно часто негативно сказывается на работе сооружений и на их надежности.

Анализ выражений (2.41)...(2.45) показывает, что при размещении водовыпускных сооружений на канале-быстротоке необходимо учитывать их количество на гидроузле. Таким образом, при одиночном размещении водовыпуска в канал целесообразно устройство входного отверстия в дне канала-быстротока. При двухсторонней водоподаче возможны варианты исполнения траншейного водовыпуска с подачей из траншеи воды в два противоположных направления, либо размещение входных донных отверстий (в придонной области) в противоположных стенках транзитного канала строго друг напротив друга.

Устройство сооружений водоучета на каналах-быстротоках рекомендуется в голове канала, где на сооружение отсутствует влияние условий входа потока в канал, а также влияние ниже расположенных водовыпускных и иных сооружений. Размещение входного отверстия водомерного сооружения для минимизации влияния на структуру бурного потока целесообразнее в дне канала-быстротока.

Для исключения нежелательного взаимовлияния двух водовыпускных сооружений расстояние вдоль длины канала между водовыпусками должно быть не менее ширины b канала.

При устройстве вдоль трассы канала плавного поворота не рекомендуется устройство водовыпускного сооружения на участке поворота. Анализ выражения (2.62) свидетельствует об уменьшении разности глубин Δh в сечении на повороте с увеличением радиуса поворота \bar{R} . Поэтому необходимо выбирать по возможности больший радиус поворота трассы канала-быстротока. Анализ выражения (2.64) показывает, что на увеличение разности глубин Δh влияет также ширины канала. Для исключения выплесков за пределы канала-быстротока при плавном повороте его трассы необходимо обеспечить его достаточную ширину B .

Два поворотных участка при разных радиусах \bar{R} плавного поворота должны переходить один в другой через прямолинейный участок.

При устройстве поворотного сооружения с резким поворотом трассы канала следует запроектировать строительную высоту канала на повороте с учетом приращения глубины потока, расчет которой выполняется по зависимостям (2.68)...(2.70) или таблицы 2.2 исходя из величины параметра Фруда потока в канале. Причем, устройство водовыпускного сооружения перед резким поворотом канала рекомендуется не ближе, чем на расстоянии B перед поворотом, и на расстоянии $(1,5 \div 3) B$ за поворотом, с учетом числа Фруда бурного потока.

Анализ зависимостей (2.71) и (2.72) позволил установить значение максимального угла поворота канала с бурным течением, при котором не образуется за поворотом косая волна возмущения. Доказано, что значение этого угла зависит только от параметра Фруда подводящего участка. Рекомендуемые предельные значения углов поворота канала-быстротока представлены в таблице 2.3.

Устройства для гашения энергии бурного потока целесообразно размещать в составе водораспределительных узлов. При этом необходимо индивидуальное моделирование гидроузла с конкретными условиями работы.

ГЛАВА 3

ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА КАНАЛАХ- БЫСТРОТОКАХ С БУРНЫМ ТЕЧЕНИЕМ

3.1 Анализ особенностей и недостатков существующих вододелителей на каналах с бурным течением

Для осуществления планового водопользования, являющегося основой оперативной деятельности оросительной системы, работа всех ее звеньев должна быть взаимно согласована. Такая задача может быть выполнена только при оснащении систем средствами автоматики.

Для решения задач автоматизации водораспределения и учета необходимо прежде всего иметь ясное представление об объектах автоматизации их свойствах и особенностях, так как они зачастую оказывают на процесс регулирования не меньшее влияние, чем сам регулятор.

Объектами автоматизации в нашем случае являются водораспределительные сооружения на межхозяйственных и хозяйственных каналах предгорной зоны. Из-за значительно высокой удельной стоимости строительства оросительной сети с облицованными каналами чем в земляном русле, важной задачей является разработка новых и совершенствование существующих сетевых гидротехнических сооружений с высокими технико-экономическими показателями.

В Кыргызской Республике имеется около 30 тыс. км каналов построенной оросительной сети на которой построено более 30 тыс. различных гидросооружений для забора, водораспределения и учета воды. На площадях с оросительной сетью 1200 тыс.га около 350 тыс. га имеют инженерную сеть, остальная полуинженерную или около 80 % оросительной сети требуют переустройства. Каналы в горно-предгорной зоне строятся на расход воды до $60 \text{ м}^3/\text{с}$ с уклоном больше критических ($0,005 \div 0,1$); скорости

воды в них достигают $2 \div 7$ м/с и более ($Fr=1 \div 30$), в результате чего решение вопросов водозабора и водораспределения значительно усложняется [4].

Краткий обзор и анализ наиболее приемлемых средств автоматизации водораспределения на оросительных системах горно-предгорной зоны дано в разделе 1.4, из которых следует, что конструкции разработанных сооружений основаны либо на полном гашении кинетической энергии всего подводящего потока с последующим отводом некоторой его части, либо на частичном гашении кинетической энергии бурного потока только той части, которая подлежит отводу.

Установлено, что водораспределители с колодцем – гасителем для гашения кинетической энергии всего потока, протекающего в подводящем канале, имеют ряд существенных недостатков, главными из которых являются [4]:

- присущие им большие геометрические размеры при небольшом коэффициенте водоотбора и, следовательно, большая стоимость их строительства;
- бурный поток в пределах сооружений полностью не гасится, а приобретает очень сложный характер движения, кроме того часто наблюдается выплескивание воды за борта сооружений.
- усложняются условия управления водораспределением, так как сооружения не поддерживают постоянство отводимого расхода при колебаниях расходов в старшем канале, что требует частой перерегулировки расхода затворами.

Основными недостатками водораспределителей, частично или полностью гасящие кинетическую энергию только отводимого расхода воды являются следующие:

- они не выполняют функции стабилизаторов отводимого расхода (к ним относятся сооружения табл.2 а-з п.1.4);
- некоторые из разработанных сооружений имеют низкую пропускную

способность (табл.2 а, д, е);

- многие водораспределители громоздкие (сооружения с колодцем-гасителем для гашения кинетической энергии всего потока) и металлоемкие (табл.2 а, д, ж);
- на некоторых сооружениях имеются элементы, нарушающие форму и размеры основного канала (табл.1 д, ё);

Вододелители (табл.2 б, в) используют энергию бурного потока для стабилизации отводимого расхода и улучшения командования старших каналов над младшими, но им присущи следующие недостатки:

- ограниченная область применения по расходам и уклонам;
- подверженность забивке отверстий наносами и плавником;

Из всех конструкций сооружений, предназначенных для отвода воды из каналов с бурным режимом течения, наиболее перспективными с точки зрения строительной и эксплуатационной характеристик являются водовыпуски траншейного типа и, в частности, те, которые выполняют функцию стабилизатора расхода воды. Это свойство особенно необходимо в условиях оросительных систем горно-предгорной зоны, так как здесь наблюдается частое изменение расходов воды не только в сезонном, но и в суточном разрезе. Поэтому при отсутствии данного свойства сооружений, приходится прибегать к частой перерегулировке отводимого расхода, что вызывает ряд затруднений при водораспределении.

Многолетний опыт проектирования, строительства и эксплуатации вододелителей на каналах с бурным режимом движения показывает, что дальнейшее совершенствование водораспределителей траншейного типа должно идти по пути осуществления водоподачи без существенного гашения кинетической энергии отводимой части расхода. Этим достигается снижение стоимости сооружений, т.к. отпадает необходимость строительства колодца-гасителя.

3.2 Общая методика проведения исследований вододелителей для каналов с бурным течением

Задачи, объем и методика исследований заключаются в проверке работоспособности существующих и предложенных типов конструкций вододелителей, их компоновки и методик расчета, проектирования. «К основным величинам стационарного бурного потока на каналах-быстротоках относятся глубина h , местная (локальная) скорость u и расход воды Q . Необходимо следить за этими характеристиками на предпроектной стадии моделирования, и в ходе производственной эксплуатации быстротечных каналов во избежание их переполнения, размыва нижнего бьефа, а также для определения расхода воды, подаваемой потребителям» [16].

Учитывая, специфические особенности бурных и сверхбурных потоков (большие скорости, нестационарный характер течения) требования, предъявляемые к измерениям, таким как точность измерений, надежность, простота эксплуатации, увеличиваются [16].

а) «датчики и регистрирующие приборы должны быть малоинерционными, способными реагировать на быстрые изменения измеряемых величин;

б) датчики скорости и уровня должны обладать хорошей обтекаемостью, и, следовательно, иметь малую площадь поперечного сечения» [16];

в) «в случае необходимости, прибор для измерения скоростей должен быть рассчитан на двухфазную среду (вода-воздух).

Многолетние исследования многими авторами кинематической структуры стационарных бурных и сверхбурных (нестационарных) потоков на каналах-быстротоках, в их транзитной части и на различных сооружениях» [4,16,111-113], анализа существующих способов и приемов измерения параметров бурного и

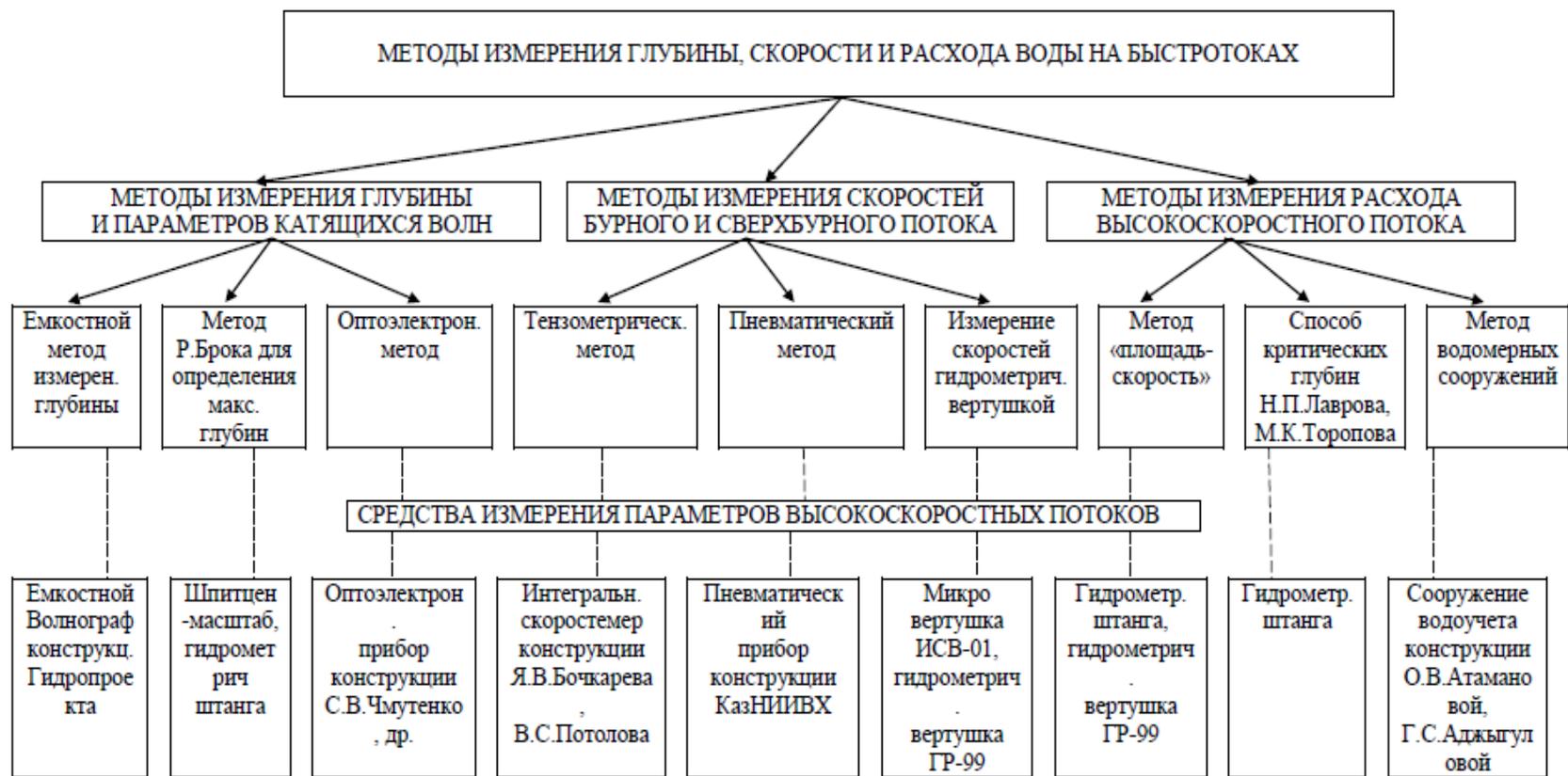


Рисунок 3.1 - Методы и средства измерения параметров высокоскоростных потоков на каналах-быстроотоках

сверхбурного потока позволили обобщить методы и средства измерения параметров бурностремительных потоков на каналах-быстротоках (рис. 3.1). В данную классификацию (рисунок 3.1) вошли хорошо изученные и отработанные многими учеными методы измерения параметров, что облегчает в перспективе выбор соответствующей методики для исследований.

Общие задачи и состав исследований вододелителей подробно описаны в [13, 112]. Для реализации поставленной цели требовалось решение следующих основных задач:

- провести теоретические, обширные лабораторные и натурные исследования;
- составить план и объем лабораторных исследований с целью оптимизации экспериментальных работ и повышения их точности;
- разработать порядок проведения и контролирование лабораторных исследований с целью исключения посторонних факторов;
- разработать методику выполнения экспериментальных исследований сооружений водораспределения с учетом точности приборов и измерений;
- осуществить поисковые лабораторные исследования гидравлических характеристик потока в зоне влияния односторонних и двусторонних вододелителей и за ними в отводящем и транзитном канале;
- обработать и обобщить результаты лабораторных данных и сравнить их с данными теоретических исследований;
- по результатам анализа экспериментальных исследований гидравлических характеристик водораспределительного сооружения, обосновать достоверность проведенных выше теоретических исследований.

Состав лабораторных исследований включал следующие вопросы:

- 1) «пропускная способность сооружения в целом и зависимости ее от открытия затворов, расхода воды в старшем канале;
- 2) коэффициент расхода истечения воды через решетчатую плиту и боковые затворы модели вододелителя в зависимости от кинетичности потока Fg в старшем канале;
- 3) установление коэффициента водоотбора в зависимости от изменения расхода»[166] в магистральном канале, изучение стабилизирующих характеристик вододелителя;
- 4) режим истечения в отводе в зависимости от открытия затворов и расходов в подводящем и отводящем каналах;
- 5) исследование формы свободной поверхности потока в основном и отводящем каналах при различных объемах подачи воды в отвод.

В процессе исследований производилось фотографирование характерных течений воды в зоне влияния сооружений, конструкций и характера эксплуатации существующих водовыпусков и предложенных автором.

3.3 Натурные исследования вододелителей траншейного типа на каналах с бурным течением

В настоящее время в качестве сооружений водораспределения на каналах с бурным течением широкое применение получили вододелители траншейного типа. При решении вопросов их автоматизации необходимо иметь всестороннюю информацию о технических характеристиках и режимах работы этих сооружений. Анализ данной информации дает возможность определить исходные параметры для подбора существующих и конструирования новых средств автоматизации для них.

В этом плане необходимо иметь данные о диапазонах колебаний расходов водовыпусков, уровней воды в старшем канале, в створе отверстия, уровней воды в нижнем бьефе, величинах перепадов уровней верхнего и нижнего бьефов, характере истечения (свободное, затопленное, переменное),

а также габаритах и конструктивных особенностях существующих сооружений.

Объектом наших натурных исследований были выбраны Иссык-Атинский подпитывающий канал и отводящие от него внутривозвратные каналы ввиду множества существующих водораспределительных и поворотных сооружений на них.

3.3.1 Производственные исследования гидравлических характеристик сооружений водораспределения на Иссык-Атинском подпитывающем канале

Иссык-Атинский подпитывающий канал (ИПК) берет свое начало в БДР, расположенном на р. Иссык-Ата. Канал выполнен в железобетонной облицовке, сечение канала прямоугольное, максимальный расход воды в ИПК составляет $Q=25,0 \text{ м}^3/\text{с}$, средний уклон дна канала $i = 0.0249$, скорости течения достигают $v = 7,1 \text{ м/с}$.

На Иссык-Атинском подпитывающем канале расположены четыре водораспределительных сооружения: Жетиген, Ивановский, Сельский, Тюменбай. Характеристики водовыпусков приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Основные характеристики водовыпусков и вододелителей канала ИПК

№	ПК	Наименование водовыпуска или вододелителя	Назначение	Тип	Макс. расход $Q_{\text{max}}, \text{ м}^3/\text{с}$	Подвешенная площадь, га
1	7+16	Жетиген	Орошение	Односторонний донный с колодцем	3,0	1680
2	36+82	Ивановский		Односторонний ВКСРТ конструкции Лаврова Н.П., Бейшекеева К.К., Аджыгуловой Г.С. и др.	2,5	1768
3	43+00	Сельский		Двухсторонний донный с колодцем	0,1 0,3	70 560

4	62+15	Тюменбай		Односторонний донный с колодцем	0,3	420
Итого:					6,2	4498

Натурные исследования пропускной способности и кинематической структуры потока было намечено провести на примере двух типов водораспределительных сооружений Жетиген, Ивановский. Целью исследований было, во-первых, определение влияния вододелителей и водовыпусков разных типов на пропускную способность транзитного канала-быстротока ИПК и, во-вторых, определение пропускной способности самих водораспределительных сооружений, а также анализ кинематической структуры потока (глубины, скоростей) для определения закономерностей распределения удельных расходов на выходе в отвод.

Основные особенности методики натурных исследований состояли в следующем:

1. ИПК имеет прямоугольный профиль с шириной канала, равной 3,75 м. Глубины воды в достигаемых для замеров створах канала замерялись оттарированной гидрометрической штангой. Глубины воды вдоль оси канала и на двух соседних вертикалях замерялись геодезическим отвесом, подвешенным и закрепленным на леске на 4-метровом деревянном бруссе, переброшенном через канал. Измерения скоростей течения и глубин воды на сооружении выполнялись при нескольких значениях расходов воды в ИПК. Скорости течения в ИПК определялись методом поплавков, а на расстоянии, достигаемом для замеров от бортов канала, скорости дополнительно замерялись гидрометрической вертушкой ГР-99. Результаты замеров записывались в журнал. Плановое расположение точек замеров глубин воды и скоростей потока наносилось на схему сооружения, выполненную в масштабе 1:50.
2. Изучение колебаний уровней воды в ИПК непосредственно за сооружением выполнялось при помощи гидрометрической штанги. Важно было проверить возможность возникновения волнообразования в

канале старшего порядка за сооружением. Скорости течения в отводящей части ИПК также замерялись при разных значениях коэффициента водозабора.

3. Измерение глубин в головной части канала Ивановский выполнялось при помощи гидрометрической штанги в четырех поперечных створах, расположенных на выходе в канал Ивановский, на водомерном посту и непосредственно за ним. Скорости течения измерялись в нескольких точках на каждой мерной вертикали.

Водораспределительное сооружение на ИПК в канал Жетиген является типичным представителем водовыпусков из каналов-быстротоков, расположен на ПК 7+16 и состоит из одностороннего водовыпуска колодезного типа, не оснащенного специальными средствами защиты от наносов, и немного заваленный камнями.

При пропуске расходов в канале ИПК, равных $3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ и $4,53 \text{ м}^3/\text{с}$ были произведены промеры глубин и скоростей по схеме, изображенной на рисунке 3.2.

Наблюдаемые расходы в канале ИПК при проведении натуральных измерений составляли $3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ и $4,53 \text{ м}^3/\text{с}$. Основные характеристики водовыпусков и вододелителей ИПК сведены в таблицы 3.2-3.3.

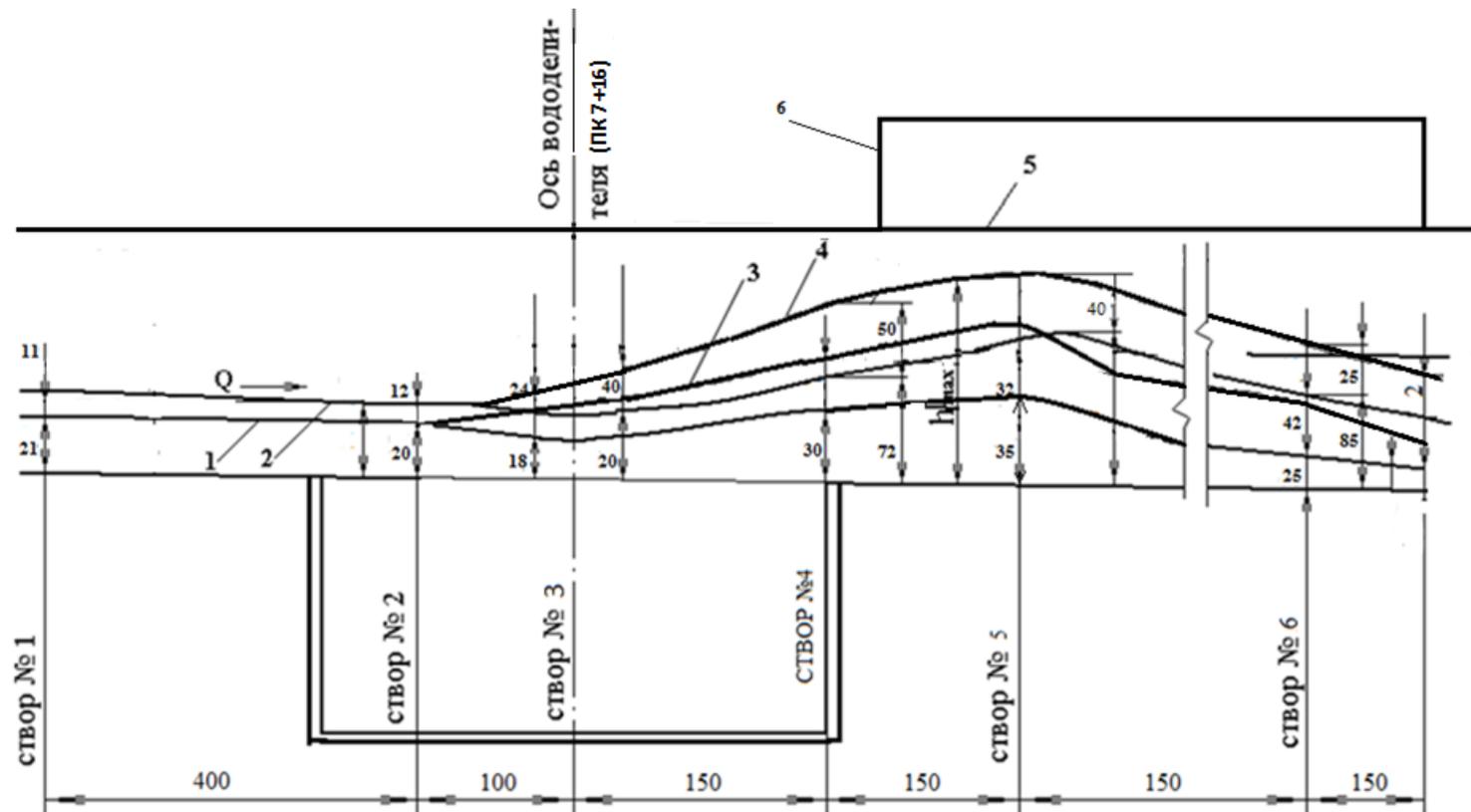


Рисунок 3.2 - Совмещенная схема глубин потока в зоне влияния вододелителя траншейного типа на Иссык-Атинском подпитывающем канале (водораспределитель в отвод Жетиген):

1. Линия средней глубины при $Q=3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ при открытии затворов $a/a_{\text{max}}=0,2$
2. Линия средней глубины при $Q=4,53 \text{ м}^3/\text{с}$ при открытии затворов $a/a_{\text{max}}=0,2$
3. Линия средней глубины при $Q=3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ при открытии затворов $a/a_{\text{max}}=0,4$
4. Линия средней глубины при $Q=4,53 \text{ м}^3/\text{с}$ при открытии затворов $a/a_{\text{max}}=0,4$
5. Линия верхней бровки канала
6. Линия дополнительно наращенной стенки канала

Таблица 3.2 – Гидравлические характеристики потока в зоне водораспределительного сооружения 7+16 для отвода в канал Жетиген при открытиях затвора $a/a_{\max}=0,2$

Расход воды в створе	Номер створа	Значения осредненных по глубине скоростей потока и глубины на вертикалях, м/с		
$Q = 3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ ($Q/Q_{\max}=0,12$)	Ств.1	$v_1=3,2$ $h_1=0,21$	$v_2=3,3$ $h_2=0,2$	$v_3=3,25$ $h_3=0,23$
	Ств.2	$v_1=3,3$ $h_1=0,19$	$v_2=2,6$ $h_2=0,2$	$v_3=2,8$ $h_3=0,22$
	Ств.3	$v_1=3,2$ $h_1=0,17$	$v_2=2,7$ $h_2=0,19$	$v_3=2,8$ $h_3=0,2$
	Ств.4	$v_1=3,2$ $h_1=0,25$	$v_2=2,4$ $h_2=0,32$	$v_3=2,6$ $h_3=0,3$
	Ств.5	$v_1=2,8$ $h_1=0,4$	$v_2=3,3$ $h_2=0,35$	$v_3=2,4$ $h_3=0,45$
	Ств.6	$v_1=3,2$ $h_1=0,24$	$v_2=3,3$ $h_2=0,25$	$v_3=3,25$ $h_3=0,25$
$Q = 4,53 \text{ м}^3/\text{с}$ ($Q/Q_{\max}=0,18$)	Ств.1	$v_1=3,5$ $h_1=0,32$	$v_2=3,6$ $h_2=0,33$	$v_3=3,53$ $h_3=0,33$
	Ств.2	$v_1=3,5$ $h_1=0,3$	$v_2=3,6$ $h_2=0,31$	$v_3=3,53$ $h_3=0,34$
	Ств.3	$v_1=3,4$ $h_1=0,27$	$v_2=3,6$ $h_2=0,28$	$v_3=3,5$ $h_3=0,27$
	Ств.4	$v_1=3,2$ $h_1=0,35$	$v_2=2,4$ $h_2=0,45$	$v_3=2,6$ $h_3=0,4$
	Ств.5	$v_1=2,8$ $h_1=0,5$	$v_2=3,3$ $h_2=0,67$	$v_3=2,4$ $h_3=0,73$
	Ств.6	$v_1=3,4$ $h_1=0,32$	$v_2=3,5$ $h_2=0,33$	$v_3=3,4$ $h_3=0,33$

Таблица 3.3 – Гидравлические характеристики потока в зоне водораспределительного сооружения 7+16 для отвода в канал Жетиген при открытиях затвора $a/a_{\max}=0,4$

Расход воды в створе	Номер створа	Значения осредненных по глубине скоростей потока (м/с) и глубины на вертикалях, м		
$Q = 3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ ($Q/Q_{\max}=0,12$)	Ств.1	$v_1=3,25$ $h_1=0,22$	$v_2=3,34$ $h_2=0,21$	$v_3=3,27$ $h_3=0,23$
	Ств.2	$v_1=3,3$ $h_1=0,15$	$v_2=2,8$ $h_2=0,17$	$v_3=2,85$ $h_3=0,2$
	Ств.3	$v_1=2,8$ $h_1=0,35$	$v_2=2,45$ $h_2=0,37$	$v_3=2,63$ $h_3=0,36$
	Ств.4	$v_1=2,86$ $h_1=0,6$	$v_2=3,35$ $h_2=0,55$	$v_3=2,44$ $h_3=0,7$
	Ств.5	$v_1=3,25$	$v_2=3,37$	$v_3=3,3$

		$h_1=0,7$	$h_2=0,72$	$h_3=0,73$
	Ств.6	$v_1=3,1$ $h_1=0,3$	$v_2=3,2$ $h_2=0,32$	$v_3=3,2$ $h_3=0,33$
$Q = 4,53 \text{ м}^3/\text{с}$ ($Q/Q_{\max}=0,18$)	Ств.1	$v_1=3,54$ $h_1=0,33$	$v_2=3,66$ $h_2=0,32$	$v_3=3,57$ $h_3=0,33$
	Ств.2	$v_1=3,5$ $h_1=0,25$	$v_2=3,6$ $h_2=0,28$	$v_3=3,48$ $h_3=0,26$
	Ств.3	$v_1=3,26$ $h_1=0,35$	$v_2=2,47$ $h_2=0,38$	$v_3=2,63$ $h_3=0,45$
	Ств.4	$v_1=2,9$ $h_1=0,95$	$v_2=3,2$ $h_2=1,1$	$v_3=2,5$ $h_3=0,97$
	Ств.5	$v_1=3,44$ $h_1=1,4$	$v_2=3,5$ $h_2=1,8$	$v_3=3,47$ $h_3=1,6$
	Ств.6	$v_1=3,5$ $h_1=0,35$	$v_2=3,6$ $h_2=0,34$	$v_3=3,53$ $h_3=0,36$

Анализ измеренных глубин показывает, что при высокоскоростном бурном течении потока неблагоприятный гидравлический режим (мощные косые прыжки и волны) наблюдаются на транзитном канале в зоне распределительного сооружения траншейного типа в створах № 4 и 5 (таблица 3.2) и за ними и распространяется на участке протяженностью более 10 м. В створе №5 глубина увеличивается в 1,5 раза (рисунок 3.2).

Самые большие возмущения свободной поверхности проявлялись на выходе из вододелителя (створ № 4) и на удалении 2,5 м от оси вододелителя вниз по течению (створ № 5) при увеличении коэффициента водоотбора. Здесь глубина потока h_{\max} при втором расходе $Q=4,53 \text{ м}^3/\text{с}$ и открытии затвора $a/a_{\max}=0,4$, достигала величины 1,8 м (створ № 5), что на 20 см ниже бровки канала (рисунок 3.2).

Причина возникновения таких значительных поверхностных возмущений при увеличении коэффициента водоотбора, заключается в лобовом столкновении высокоскоростного потока транзитного ИПК с нижней стенкой (створ № 4 на рисунок 3.2) колодца вододелителя траншейного типа. При этом проявляется эффект водобойного колодца, в котором при неполном гашении энергии бурного потока валец гидравлического прыжка размещается не в пределах водобойного колодца, а переваливает через его нижний уступ. [126].

Из-за гидравлических прыжков канал не пропускает расчетные расходы, в связи с чем пришлось нарастить дополнительно стенки канала для увеличения строительной высоты на 1,0 метр с обеих сторон, в зоне влияния водораспределительного сооружения (рисунок 3.3). Расход отбора по проекту для водовыпуска изменяется от 0,2 м³/с до 3,0 м³/с.



а)



б)

Рисунок 3.3- Дополнительное увеличение стенок канала ИПК на водораспределителе Жетиген: а) правый борт канала б) левый борт канала.

Расход в транзитном канале $Q = 3 \text{ м}^3/\text{с}$, $h_{\text{щ}} = 0,2 \text{ м}$



а)



б)



в)

Рисунок 3.4- Гидравлические прыжки при увеличении коэффициента водоотбора (открытие затворов $h_{\text{зт}} = 0.4$ м) а) вид с нижнего бьефа; б) гидравлические прыжки перед затворами; в) правый борт канала

Таким образом, проведенные исследования показали, что водовыпускное сооружение из ИПК в канал Жетиген не обладает проектной пропускной способностью, а также способствует нарушению гидравлического режима в транзитном канале на сооружении, приводящему к выплескам воды за пределы канала и подмыву русла.

3.3.2 Натурные исследования пропускной способности водораспределительных сооружений на канале Жетиген системы р. Иссык-Ата

В связи с необходимостью расширить область применения гидротехнических сооружений до сетевых, в разделе 1.3 из общей классификации ГТС нами выделены отдельно сетевые сооружения мелиоративных систем горно-предгорной зоны. Поэтому, кроме

магистральных каналов-быстротоков, были выполнены натурные исследования внутрихозяйственного канала Жетиген системы реки Иссык–Ата Иссык – Атинского района Чуйской области. Канал построен из блоков Г-120 прямоугольного сечения с шириной от 1,65 м. Водоподача в канал осуществляется из Иссык-Атинского подпитывающего канала. Канал построен по наибольшему уклону местности, скорость течения достигает до 6 м/с, при относительно малом наполнении 0,40 м. Число Фруда, характеризующее бурность потока, не превышает 10,0. Расчетный расход канала 3 м³/с, уклон канала изменяется 0,03 до 0,05.

Водораспределение во внутрихозяйственный канал Сынташ осуществляется традиционным способом с применением перегораживающих сооружений в виде плоских затворов на расширяющемся в плане водоприемнике.

Инструментальные измерения состояли из:

- регистрации расходов воды, поступившей в лоток, транзитных и идущих в отвод;
- определения скоростей воды в створе водовыпуска и в отводе;
- определения глубины потока в створах влияния водовыпуска и в отводе;

На рисунке 3.5 (а) видно, что узел работает в напряженном режиме, и с трудом справляется со своей основной функцией.



а)



б)



в)

Рисунок 3.5 - Водораспределительный узел на канале Жетиген:

а) вододелитель на ИПК в канал Жетиген; б) отводящий транзитный канал Жетиген; в) отводящий внутрихозяйственный канал Сынташ

Появляются резкие гидравлические прыжки и подпоры в пределах затвора, образуются косоструйные течения нарушающие режим равномерного и параллельноструйного течения воды в отводящих каналах, что резко снижает пропускную способность как подводящего, так и

отводящего каналов, а также расход водоподачи в отводы остается непостоянным, что ведет к затруднению учета воды. Затруднена автоматизация данного типа водораспределения, способная внести заметные качественные изменения в оперативную службу эксплуатации каналов-быстротоков. Также, недостатком этой конструкции водораспределительного узла является сложность его регулирования. Вместо одного вододелителя с одним затвором здесь сооружены три отдельных затвора, которые необходимо постоянно регулировать, причем два из них находятся на транзитном канале.

Из рисунков 3.5 (б) и 3.6(створ 1) видно, что даже небольшое открытие затворов ведет к образованию косых гидравлических прыжков в транзитном канале из-за наличия стенки сужения (рисунок 3.5 б). На свободной поверхности бурного потока в месте пересечения косых прыжков, образуется местное повышение свободной поверхности, так называемый гребень (рисунок 3.6 створ 1).

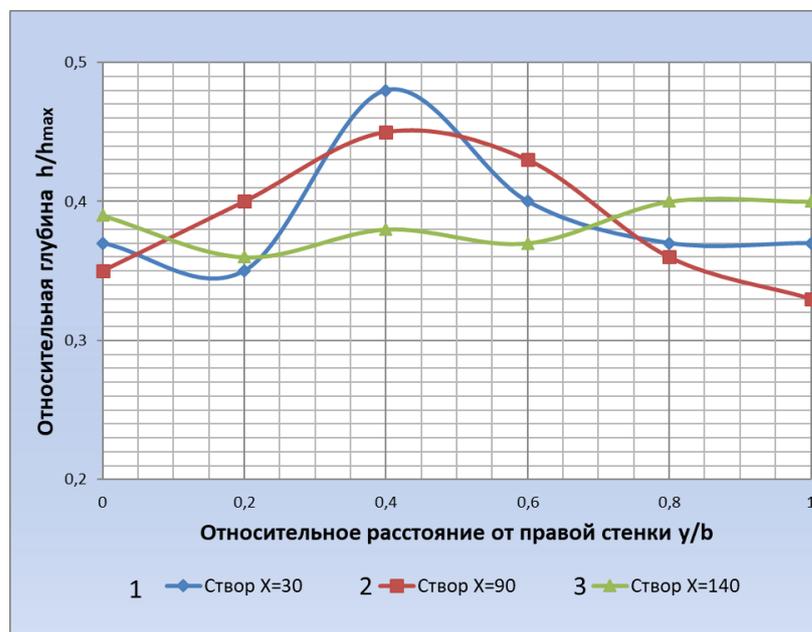


Рисунок 3.6- Эюра распределения глубины потока по поперечному сечению за водораспределителем Сынташ при $Q/Q_{max}=0,4$ и $a/a_{max}=0,3$

Локальные гребни образуются как на оси потока, так и около боковых стенок, которые ведут к образованию значительных всплесков косых

прыжков, резко изменяющие характеристики потока, которые успокаиваются на расстоянии 140 м (рисунок 3.6 створ 3). При этом нарушается закономерность в распределении глубин, скоростей и удельных расходов. Структура потока становится сильно раздробленной. Многочисленные выплески воды за борт канала привели к тому, что швы на стыках плит быстотока были раскрыты и под плитами прослушивались пустоты, которые приводят к разрушению канала. Поэтому эксплуатационники, чтобы частично уменьшить гидравлические прыжки и высоту гребня открытие затворов выполняют разной по величине (рисунок 3.5 а, в). Подобные технологические манипуляции – разные открытия затворов нередки при эксплуатации водораспределительных сооружений, например водовыпуск из АПК для Бишкекского ТЭЦ, который привел к исследованию и проектированию нового вододелителя[121].

Таблица 3.4 – Гидравлические характеристики потока в зоне водораспределительного сооружения 5+30 для отвода в канал Сынташ при открытии затвора $a/a_{\max}=0,4$

Расход воды в створе	Номер створа	Значения осредненных по глубине скоростей потока (м/с) и глубины на вертикалях, м		
		v_1	v_2	v_3
$Q = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}$ ($Q/Q_{\max}=0,4$)	Ств.1	$v_1=2,25$ $h_1=0,36$	$v_2=2,34$ $h_2=0,48$	$v_3=2,27$ $h_3=0,35$
	Ств.2	$v_1=2,3$ $h_1=0,33$	$v_2=2,6$ $h_2=0,45$	$v_3=2,65$ $h_3=0,32$
	Ств.3	$v_1=1,7$ $h_1=0,38$	$v_2=1,55$ $h_2=0,36$	$v_3=1,63$ $h_3=0,4$

Такие же гидравлические прыжки наблюдаются в отводящем канале Сынташ (рисунок 3.5 в).

Развивающаяся в потоке пульсация давления перед затворами приводит к вибрации элементов сооружения, что, в свою очередь, вызывает раскрытие заделки рабочих стыков затвора и ранний выход из строя сооружения.

Вышесказанное доказывает, что такие типы сооружений приводят к осложнению водораспределения.

Таким образом, одним из основных недостатков конструкций водораспределения с применением перегораживающих сооружений является их сложность и недостаточно эффективное использование в условиях бурных потоков, а также требование частой перерегулировки отводимого расхода из-за отсутствия функций стабилизации. Кроме прочего, водораспределительные узлы по сравнению с вододелителями занимают гораздо большую площадь, металлоемкость и объем затрат на строительство [121]. Это позволило сделать вывод о необходимости разработки усовершенствованной конструкции вододелительного сооружения для условий бурного режима течения, не только для магистральных, но и сетевых внутрихозяйственных каналов, который чаще всего имеет место на оросительных системах предгорной и горной зон Кыргызстана.

3.4 Пути совершенствования водораспределительных сооружений для каналов-быстротоков с бурным течением

На современном этапе возникла необходимость управления как межхозяйственным, так и внутрихозяйственным вододелением на каналах-быстротоках, что предполагает разработку новых средств вододеления, для каналов с уклонами больше критических, которые могут работать как в магистральных, так и в сетевых каналах. Новые вододелители должны обеспечивать улучшение технологии вододеления, быть более точными и надежными в работе.

Анализ применяемых конструкций водораспределительных сооружений на каналах с бурным режимом показал, что есть необходимость дальнейшего проведения исследовательских работ по созданию более совершенных сооружений, отвечающих предъявляемым к ним требованиям, описанными в разделе 1.4. При этом следует учитывать, что использование водораспределителей могут быть ограничены из-за:

- громоздкости и большой стоимости сооружений, низких эксплуатационных показателей (таблица 1.7 а-л; таблица 1.9 а-в);

-наличия в составе сооружений элементов, нарушающих структуру потока в основном канале (таблица 1.7о-с; таблица 1.8а-и)при небольших расходах, как в главных, так и в отводящих каналах в сетевых сооружениях.

Кроме того, для разработки новых усовершенствованных сооружений водораспределения на межхозяйственных и сетевых каналах-быстротоках следует руководствоваться следующими техническими условиями для них.

- 1) на сооружениях межхозяйственного и внутрихозяйственного водораспределения обязательно должны выполняться все требуемые технологические операции. Сооружения и их основные элементы должны быть надежно защищены от антропогенных воздействий.
- 2) Эксплуатация данных сооружений требует по возможности обеспечения мобильности при замене или реконструкции элементов водораспределительных сооружений, по вышедших разным причинам из строя.
- 3) Средства водораспределения на каналах-быстротоках должны быть достаточно простыми по конструкции и состоять по возможности из унифицированных деталей, не иметь лишних элементов, создающих дополнительные сопротивления транзитному высокоскоростному потоку.
- 4) При разработке вододелителей для быстротечных каналов следует применять законы гидродинамики высокоскоростных потоков.
- 5) Усовершенствованные водораспределительные сооружения должны полноценно обеспечивать пропуск по главному каналу плавающих предметов, мусора и мельчайших наносов.
- 6) Необходимость применимости разработанных средств вододеления как при частичной, так и при комплексной автоматизации водораспределительного узла.

- 7) Оптимальная стоимость проектов внедрения модернизированных конструкций водораспределительных сооружений, способных обеспечить технологический процесс вододеления на высоком уровне.
- 8) Сравнительная простота и удобство обслуживания водораспределительных устройств не должна вызывать завышенных финансовых затрат при изготовлении и монтаже сооружений.

На основании вышеизложенного следует, что необходимо разработать новые улучшенные конструкции водораспределительных сооружений, позволяющих обеспечивать водоподачу из межхозяйственных и сетевых каналов-быстротоков, и отвечающих современным требованиям потребителей. Причем многолетний опыт проектирования, строительства и эксплуатации водораспределителей на каналах с бурным режимом движения показывает на перспективность сооружений траншейного типа. Поэтому необходимо решить задачу устранения основных недостатков таких водораспределителей с созданием условий для широкого внедрения их на оросительных системах горно-предгорной зоны.

Для выполнения намеченных условий требуется решение ряда задач научного и технического характера:

1. Провести научно-обоснованный анализ технологических приемов водораспределения на каналах горно-предгорной зоны. Обосновать технологию управления водораспределением с применением средств гидравлической автоматизации на каналах-быстротоках с бурным течением.
2. Систематизировать результаты проведенных ранее модельных и натурных исследований вододелителей для каналов с бурным течением.
3. Произвести натурное обследование и дополнительные исследования процессов водораспределения на существующих водораспределительных сооружениях на каналах-быстротоках с бурным течением на Иссык-Атинском подпитывающем канале (ПК 7+16) Иссык-Атинского района Чуйской области КР при водоподаче в водовыпуск канала Жетиген.

Выполнить натурные исследования на ИПК сооружения типа ВКСТ (ПК 36+82) Иссык-Атинского района Чуйской области Кыргызстана при подаче воды в водовыпуск канала Ивановский.

4. На основе изучения существующих средств вододеления на каналах с уклонами больше критического, разработать и исследовать новые конструкции вододелителей для данных условий.
5. Расширить теоретическое обоснование применительно к бурностремительным гидравлических процессов вододеления в сооружениях усовершенствованного типа вододелителя, опираясь на результаты проведенных лабораторных и производственных исследований.
6. С учетом существующих, разработать методы расчета модернизированных конструкций вододелителей для каналов с бурным течением.
7. Провести апробацию в натуральных условиях на сетевых и межхозяйственных каналах горно-предгорной зоны. Составить рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации сооружений водораспределения для каналов-быстротоков внутрихозяйственного и межхозяйственного значения.

3.5 Усовершенствованный вододелитель для каналов с бурным и сврхбурным течением

Для улучшения эксплуатационных характеристик была разработана улучшенная конструкция вододелителя для каналов-быстротоков со сверхбурным и бурным течениями (ВКСТ) [124]. «Новый вододелитель разработан на основе известных ранее вододелителей для каналов-быстротоков» [124] (таблица 1.7 м, н; таблица 1.8 к, л).

ВКСТ – вододелитель траншейного типа, причем донная траншея размещена в транзитном лотке. Вход в отводящий канал регулируется плоскими затворами. Донная траншея разделена по длине поперечными

«перегородками с отсекающими поток горизонтальными козырьками и Г-образными козырьками, расположенными в центральной части внутренней стенки» [9] (рис. 3.7).

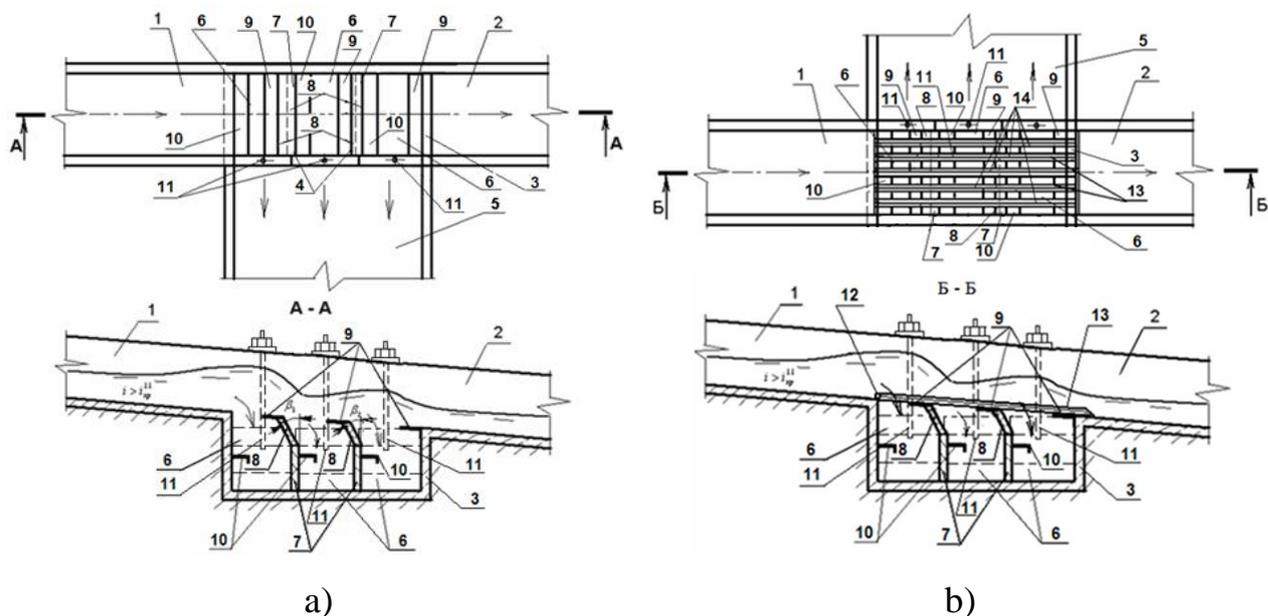


Рисунок 3.7 - «Схема вододелителя для каналов со сверхбурным течением» [124]; а) без решетки; б) решетка показана: 1, 2 – главный канал; 3 – донная траншея; 4, 7, 8 – перегородки с их составляющими; 5 – канал II порядка; 6 – камера; 9 – горизонтальный козырек; 10 – Г-образный козырек; 11 – затвор плоский; 12 – шарниры; 13 – решетка

«Перегородки делят донную траншею на камеры, по количеству зависящие от расхода, таким образом, что площадь входного отверстия в каждую из них увеличивается вниз по течению. Вододелитель сверху накрыт решеткой, прутья которой с ромбовидным сечением, для лучшего обтекания прутьев потоком» [124].

«Перегородки в донной траншее выполнены с изломом по вертикали, причем верхние наклоненные части сделаны под некоторыми углами β_1 и β_2 по отношению к их нижним частям. Данные углы β_1 и β_2 являются функцией величины водоотбора $\alpha_g = Q_{отв}/Q$, где $Q_{отв}$ – расход отвода, Q – расход транзитного лотка. Углы β_1 и β_2 рассчитываются при проектировании вододелителя» [124].

Конструктивное решение вододелителя позволяет обеспечить равномерность истечения в отвод, не допуская размывов русла канала II порядка выполняемого в грунте.

«Предлагаемый вододелитель ВКСТ трансформирует бурный и сверхбурный потоки в транзитном лотке в спокойное течение в отводящем канале без установки дополнительных гасителей энергии потока» [124].

«В процессе эксплуатации ВКСТ бурный (сверхбурный) поток из транзитного быстротечного лотка через решетку попадает в каждую из камер донной траншеи. Далее взаимодействуя с Г-образными козырьками, поток переходит из винтового движения в поступательное, направляясь в отводящий канал. Регулирование величины отводящего расхода осуществляется затворами»[124].

Для разработки методики расчета ВКСТ ранее Аджыгуловой Г.С.совместно с К.К. Бейшекеевым [120, 122] были проведены модельные исследования этой конструкции и получена предварительная методика расчета вододелителя. Вододелитель был внедрен в производство на канале Иссык-Атинском подпитывающем на водовыпуске в канал Ивановский в 2012 г., где успешно функционирует по настоящее время.

Для подтверждения результатов исследований К.К. Бейшекеева и уточнения методики расчета ВКСТ необходимо было провести натурные исследования этого вододелителя.

3.6 Натурные исследования вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ) на Иссык-Атинском подпитывающем канале при стационарном (безволновом) течении

Вододелитель конструкции Лаврова Н.П., Бейшекеева К.К., Аджыгуловой Г.С.и др. (ВКСТ) был построен в 2012 г. на ИПК на водовыпуске в Ивановский канал с целью улучшения вышеописанной гидравлики потока на водораспределителе [124].

Основные параметры ВКСТ на ИПК таковы: размеры отверстия в дне канала: $3,37 \times 1,20 \times 3,65$ (м), донная траншея включает две камеры, длина решетки $l_k = 3,65$ м, ширина Г-образного козырька $b_{zk} = 0,17$ м, длина отсекающего козырька $a_k = 0,25$ м. Водораспределительное сооружение подает воду из ИПК в канал Ивановский для орошения земель АВП «Эпки́н-Суу». Максимальный расход, подаваемый в канал Ивановский $Q_{отв} = 2,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Поскольку створ водораспределительного сооружения расположен достаточно близко (ПК 36+82) к голове канала, катящиеся волны в канале на месте данного створа не образуются. Это позволило ограничиться устройством только двух камер в составе донной траншеи (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Вододельитель конструкции Лаврова Н.П., Бейшекеева К.К., Аджыгуловой Г.С. и др. (ВКСТ)

В состав натурных исследований входило следующее:

- 1) установление глубин и изменений положения свободной поверхности воды на водораспределительном сооружении при различных расходах воды и значениях коэффициента водоотбора;

- 2) исследование пропускной способности вододелителя, заключающееся в определении по результатам эксперимента коэффициента расхода;
- 3) определение скоростей потока в ИПК и в голове отводящего канала Ивановский. Методика натурных исследований была аналогичной на вододелителе Жетиген.

Отводящий расход воды замерялся на речном водомерном посту в голове канала Ивановский.

Полученные замеры параметров потока на вододелителе были обработаны следующим образом. По результатам замеров глубин воды в ИПК рассчитывались значения относительного действующего напора m_v . Полученные значения придонных и поверхностных скоростей течения по вертикалям дали возможность установить неравномерность распределения местных скоростей в ИПК в зоне влияния сооружения и в головной части отводящего канала Ивановский.

Исследования гидравлических характеристик потока в ИПК в зоне влияния сооружения проводились при расходах воды в старшем канале $Q = 6,0; 7,3; 10,1 \text{ м}^3/\text{с}$. Значения отводимых расходов воды принимались от $Q_{отв} = 0,12 \text{ м}^3/\text{с}$ до $Q_{отв} = 1,82 \text{ м}^3/\text{с}$ в зависимости от открытий затворов, назначаемых $a = (0,15; 0,24; 0,43; 0,74)a_{\max}$. На максимальную расчетную величину a_{\max} затворы открыть не представилось возможным ввиду необходимости соблюдения требований службы эксплуатации оросительной системы. Расположение поперечных створов на сооружении, в которых проводились замеры глубин и скоростей потоков показано на схеме на рисунке 3.9.

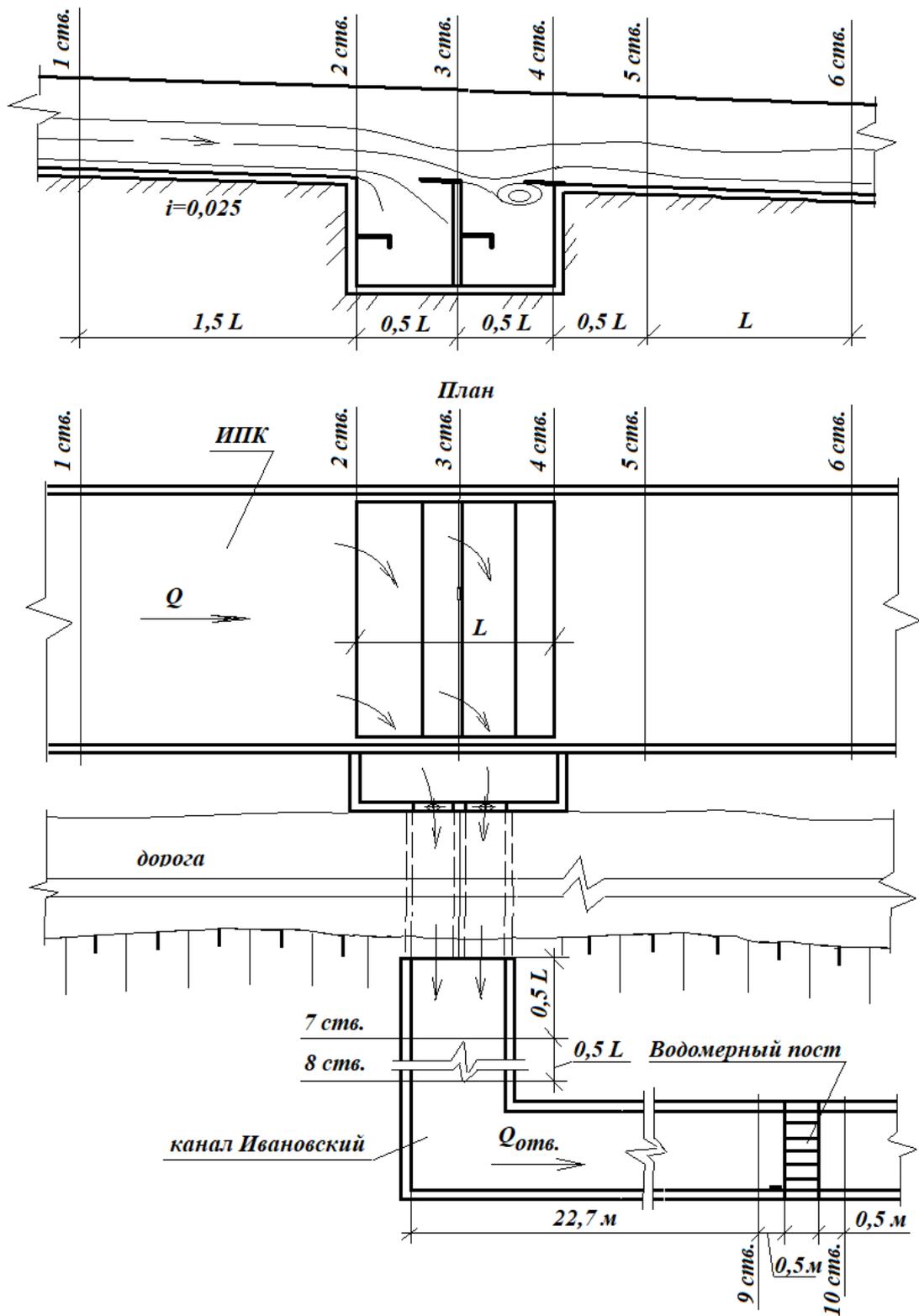


Рисунок 3.9 – Схема размещения створов для проведения замеров гидравлических параметров на ИПК в канале Ивановский

Исследование пропускной способности сооружения заключались в установлении по результатам натурного эксперимента коэффициента расхода вододелителя. Для расчета коэффициента расхода использовалась формула:

$$\mu = \frac{Q}{pl_n b \sqrt{2gH_{cp}}}, \quad (3.1)$$

где p – доля площади $F_{отв}$ просветов в решетке по отношению к общей площади $F_{общ}$ решетчатой плиты, $p = F_{отв}/F_{общ}$; l_n – длина решетки; b – ширина ИПК; H_{cp} – средний напор над решеткой, $H_{cp} = (H_n + H_k)/2$ (H_n – средний напор в поперечном створе 2, H_k – средний напор в створе 4). Напоры H_n и H_k замерялись в ИПК на сооружении в нескольких точках указанных створов в начале и конце донной траншеи. В процессе исследований пропускной и стабилизирующей способностей сооружения открытия затворов на выходе из ИПК в канал Ивановский изменялись от $a = 0,1$ м до $a = 0,5$ м. Это дало возможность обеспечить изменение отводимых расходов воды от $Q_{отв} = 0,12$ м³/с до $Q_{отв} = 1,82$ м³/с.

Для оценки стабилизирующей способности вододелителя в натуральных условиях необходимо было установить на сколько изменяется величина относительного отводимого расхода $Q_{отв}/Q_{отв.max}$ при изменении относительного расхода Q/Q_{max} воды в ИПК.

Для проведения исследований кинематических характеристик потока в ИПК в зоне влияния вододелителя и в головной части канала Ивановский в каждом из обозначенных (см. рисунок 3.9) створов было выбрано по пять вертикалей, на которых и замерялись глубины и скорости потока. Скорости потока воды в створах 7÷10 (см. рисунок 3.9) в канале Ивановский измерялись при помощи гидрометрической вертушки ГР-99. Результаты замеров этих характеристик течения позволили сформировать картину кинематики потока на водораспределительном сооружении.

В результате исследований была установлена связь между относительным действующим напором $m_g = H_k/H_n$ и коэффициентом

водоотбора $\alpha_g = Q_{омг}/Q$. Результаты замеров и расчетов действующего напора приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты натурального эксперимента изменения относительного напора m_g над решеткой вододелителя ВКСТ

$\alpha_g = Q_{омг}/Q$	0,02	0,036	0,08	0,18
$Q=6,0 \text{ м}^3/\text{с}, Q/Q_{max}=0,24$				
m_g	0,92	0,93	0,89	0,77
$Q=7,3 \text{ м}^3/\text{с}, Q/Q_{max}=0,29$				
m_g	1,0	0,95	0,94	0,74
$Q=10,1 \text{ м}^3/\text{с}, Q/Q_{max}=0,40$				
m_g	0,97	0,97	0,86	0,82
m_g^*	1,03	1,0	0,94	0,81
$\Delta m_g, \%$	6,5	5,3	4,8	4,3

m_g^* – значения действующего напора, рассчитанные по зависимости, полученной ранее по результатам модельных исследований; Δm_g – отклонения средних значений действующего напора от расчетных по модельным зависимостям.

Уточненная в натуральных условиях на конкретном объекте зависимость для определения $m_g = f(\alpha_g)$ имеет следующий вид:

$$m_g = 0,418\alpha_g^2 - 1,339\alpha_g + 0,994 . \quad (3.2)$$

Отклонения Δm_g натуральных значений m_g от ранее полученных Бейшекеевым К.К. [117] в результате модельных исследований не превышали 6,5%.

Установленные в процессе исследований коэффициенты расхода μ изменялись от 0,24 до 0,41 при разных значениях параметра Фруда и открытиях боковых затворов. Параметр Фруда $Fr_{cp} = \alpha v_{cp}^2 / gh_{cp}$ рассчитывался для среднего сечения решетки (h_{cp} - глубина, v_{cp} - средняя скорость потока над решеткой вододелителя). Наименьшие по абсолютной величине значения коэффициентов расхода составляли от 0,24 до 0,27 и

наблюдались при малых открытиях боковых затворов $a = 0, 1$ м. При наибольшем из реализованных в исследованиях открытии боковых затворов $a_{наиб.} = 0,71a_{max} = 0,5$ м коэффициент расхода изменялся от 0,394 до 0,41. Установленные в результате эксперимента величины коэффициентов расхода μ в функции параметра Фруда Fr_{cp} представлены в таблице 3.6, а полученные опытным путем зависимости для расчета коэффициентов расхода показаны в таблице 3.7.

Таблица 3.6 – Результаты расчета коэффициента расхода μ ВКСТ от параметра Фруда Fr_{cp}

$a/a_{max} = 0,16$		$a/a_{max} = 0,23$		$a/a_{max} = 0,44$		$a/a_{max} = 0,72$	
Fr_{cp}	μ	Fr_{cp}	μ	Fr_{cp}	μ	Fr_{cp}	μ
8,5	0,27	8,8	0,3	9,1	0,37	9,8	0,41
9,5	0,25	9,9	0,288	10,3	0,358	11,2	0,4
10,2	0,24	11	0,28	11,4	0,35	12,3	0,394

Таблица 3.7 – Коэффициенты расхода вододелителя

a/a_{max}	Зависимости для расчета μ
0,16	$\mu = 0,0034Fr_{cp}^2 - 0,0806Fr_{cp} + 0,712$
0,23	$\mu = 0,0018Fr_{cp}^2 - 0,0417Fr_{cp} + 0,546$
0,44	$\mu = 0,0011Fr_{cp}^2 - 0,034Fr_{cp} + 0,573$
0,72	$\mu = 0,0011Fr_{cp}^2 - 0,031Fr_{cp} + 0,595$

Полученные зависимости (см. таблицу 3.7) для определения коэффициента расхода μ по своему виду аналогичны модельным зависимостям, однако, отличаются от модельных значениями коэффициентов уравнений. Это объясняется тем, что построенное сооружение на ИПК имеет свои конструктивные особенности, например, боковой карман на выходе из ИПК в канал Ивановский.

Анализ цифровых данных в таблице 3.6 показывает, что с увеличением параметра Фруда Fr_{cp} коэффициент расхода μ несколько уменьшается. Эта закономерность прослеживается для всех открытий затворов вододелителя.

Такое же явление имеет место и у других конструкций вододелителей траншейного типа. Это объясняется увеличением вертикальной составляющей давления с уменьшением скорости потока. Таким образом, при уменьшении скорости потока в канале старшего порядка удельный расход воды, подаваемый в донную траншею, увеличивается, способствуя обеспечению эффекта дополнительного гашения энергии бурного потока [12, 16, 45].

Результаты изменения относительного расхода водозабора в зависимости от относительного расхода воды в ИПК $Q_{отв}/Q_{отв. max} = f(Q/Q_{max})$ показаны в таблице 3.8 и на рисунке 3.10.

Таблица 3.8 – Изменения расходов $Q_{отв}/Q_{отв. max} = f(Q/Q_{max})$

Q/Q_{max}	0,24	0,29	0,40
$a/a_{max}=0,15$			
$Q_{отв}/Q_{отв. max}$	0,16	0,17	0,18
$a/a_{max}=0,24$			
$Q_{отв}/Q_{отв. max}$	0,25	0,26	0,28
$a/a_{max}=0,43$			
$Q_{отв}/Q_{отв. max}$	0,35	0,38	0,42
$a/a_{max}=0,71$			
$Q_{отв}/Q_{отв. max}$	0,64	0,67	0,73

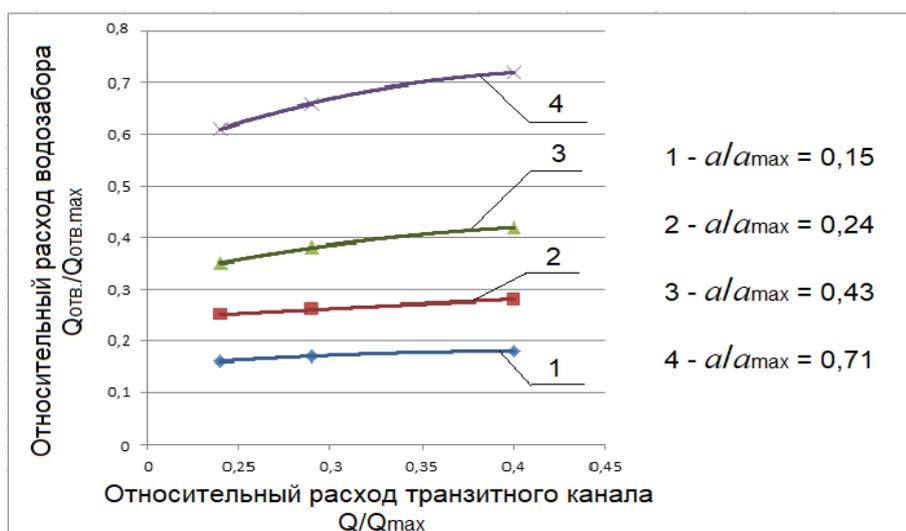


Рисунок 3.10 - Зависимость относительного расхода водозабора $Q_{отв}/Q_{отв. max}$ от относительного расхода в быстротоке Q/Q_{max}

График на рисунке 3.10 показывает, что при открытиях затворов $a/a_{max}=0,15$ и $0,24$ (линии 1 и 2), расход отвода изменяется на незначительную величину $Q_{отв}/Q_{отв.max} \leq 5 \div 7\%$ при изменении транзитного расхода воды в канале-быстротоке. Это свойство наиболее явно проявляется при расходах воды в канале старшего порядка равных $Q/Q_{max} > 0,35$. Сказанное подтверждает предположение о том, что при малых отводимых расходах воды исследуемый вододелитель может использоваться в качестве стабилизатора расхода воды отвода.

При проведении исследований кинематических характеристик потока в ИПК в зоне расположения водораспределительного сооружения были выполнены замеры глубин и скоростей потока в транзитном и отводящем каналах. Результаты замеров глубин приведены на рисунке 3.11 и в таблице 3.9.

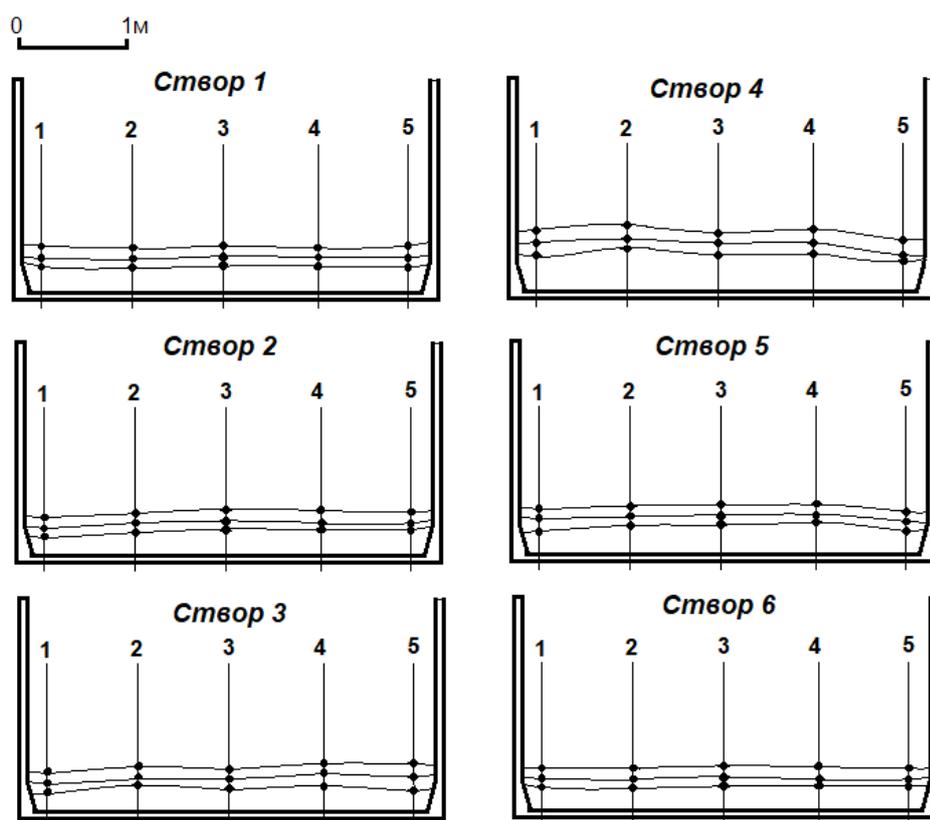


Рисунок 3.11 – Поперечные профили свободной поверхности потока в ИПК при $Q/Q_{max}=0,24; 0,29; 0,4$ и $a/a_{max}=0,15$ (сечения расположены по направлению течения)

Таблица 3.9 – Глубины на водораспределительном сооружении (вертикаль № 3 – вдоль оси канала)

Q, м ³ /с	Q _{отв} , м ³ /с	Максимальный уровень, м/ Минимальный уровень, м						Макс. диапазон колебаний , м / %
		1 створ	2 створ	3 створ	4 створ	5 створ	6 створ	
6,0	0,4	0,3/0,29	0,29/0,28	0,29/0,27	0,33/0,27	0,32/0,28	0,29/0,27	0,05/16,6
6,0	0,55	0,3/0,29	0,28/0,26	0,27/0,25	0,34/0,28	0,32/0,29	0,28/0,26	0,06/19,3
6,0	0,88	0,3/0,29	0,28/0,26	0,27/0,25	0,33/0,26	0,32/0,28	0,26/0,24	0,07/23,3
6,0	1,60	0,3/0,28	0,27/0,26	0,25/0,24	0,32/0,26	0,3/0,26	0,25/0,23	0,06/20,6
7,3	0,43	0,35/0,34	0,34/0,33	0,33/0,31	0,42/0,36	0,38/0,34	0,33/0,30	0,06/15,3
7,3	0,65	0,35/0,34	0,34/0,32	0,33/0,30	0,40/0,37	0,38/0,32	0,32/0,29	0,03/7,6
7,3	0,95	0,35/0,33	0,33/0,30	0,31/0,30	0,39/0,36	0,37/0,30	0,30/0,27	0,04/10,6
7,3	1,68	0,35/0,33	0,32/0,29	0,29/0,27	0,39/0,34	0,36/0,29	0,29/0,26	0,05/13,6
10,1	0,45	0,45/0,44	0,45/0,44	0,43/0,42	0,50/0,42	0,48/0,44	0,44/0,42	0,08/17,3
10,1	0,70	0,45/0,44	0,44/0,43	0,43/0,41	0,48/0,41	0,46/0,44	0,42/0,39	0,07/15,7
10,1	1,05	0,45/0,43	0,44/0,41	0,42/0,40	0,49/0,43	0,46/0,42	0,39/0,35	0,06/13,0
10,1	1,82	0,45/0,43	0,43/0,41	0,39/0,36	0,47/0,39	0,44/0,37	0,37/0,34	0,08/9,3

Картина изменения глубин на сооружении аналогична той, что была получена в результате модельных исследований ВКСТ в 2008 г. [114]. Основным отличием является меньшая на 8÷11% глубина волны прыжка в 5 створе на выходе из сооружения. При этом следует отметить отсутствие косой волны в ИПК за сооружением. Сбойность течения в створе 6 и ниже по каналу не наблюдалась. При этом имела место достаточно симметричная картина свободной поверхности воды в назначенных створах ИПК относительно продольной оси канала.

Анализ полученных замеров глубин на сооружении в ИПК позволил прийти к заключению об отсутствии в потоке катящихся волн, что характерно для бурного режима течения [13, 117]. Помимо этого, образующиеся на водораспределительном сооружении колебания уровней поверхности воды ниже по течению затухают и практически исчезают уже на расстоянии 5,5 м (1,5L) за сооружением.

Проведенные исследования скоростной структуры потока в ИПК в зоне влияния изучаемого водораспределительного сооружения позволили

установить значения местных скоростей потока на каждой из пяти мерных вертикалей (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Данные измерений местных скоростей потока в ИПК в зоне влияния водораспределительного сооружения при транзитном расходе $Q=6,0$ м³/с и открытиях боковых затворов $a_1=a_2=0,1$ м

№ створа	№ мерной вертикали	Скорости в точках вертикали $v_n, \text{м/с}$	
		На глубине $h=0,2h$	На глубине $h=0,8h$
1	1	$v_{1-1}^{0,2h}=4,83$	$v_{1-1}^{0,8h}=4,48$
	2	$v_{1-2}^{0,2h}=5,33$	$v_{1-2}^{0,8h}=5,06$
	3	$v_{1-3}^{0,2h}=5,33$	$v_{1-3}^{0,8h}=5,11$
	4	$v_{1-4}^{0,2h}=5,31$	$v_{1-4}^{0,8h}=4,94$
	5	$v_{1-5}^{0,2h}=4,75$	$v_{1-5}^{0,8h}=4,46$
2	1	$v_{2-1}^{0,2h}=5,12$	$v_{2-1}^{0,8h}=5,05$
	2	$v_{2-2}^{0,2h}=5,60$	$v_{2-2}^{0,8h}=5,41$
	3	$v_{2-3}^{0,2h}=5,52$	$v_{2-3}^{0,8h}=5,37$
	4	$v_{2-4}^{0,2h}=5,63$	$v_{2-4}^{0,8h}=5,38$
	5	$v_{2-5}^{0,2h}=5,09$	$v_{2-5}^{0,8h}=5,11$
3	1	$v_{3-1}^{0,2h}=5,15$	$v_{3-1}^{0,8h}=5,10$
	2	$v_{3-2}^{0,2h}=5,64$	$v_{3-2}^{0,8h}=5,48$
	3	$v_{3-3}^{0,2h}=5,71$	$v_{3-3}^{0,8h}=5,62$
	4	$v_{3-4}^{0,2h}=5,63$	$v_{3-4}^{0,8h}=5,46$
	5	$v_{3-5}^{0,2h}=5,03$	$v_{3-5}^{0,8h}=5,07$
4	1	$v_{4-1}^{0,2h}=4,62$	$v_{4-1}^{0,8h}=4,57$
	2	$v_{4-2}^{0,2h}=4,65$	$v_{4-2}^{0,8h}=4,59$
	3	$v_{4-3}^{0,2h}=4,74$	$v_{4-3}^{0,8h}=4,62$
	4	$v_{4-4}^{0,2h}=4,71$	$v_{4-4}^{0,8h}=4,01$
	5	$v_{4-5}^{0,2h}=4,75$	$v_{4-5}^{0,8h}=4,68$
5	1	$v_{5-1}^{0,2h}=5,14$	$v_{5-1}^{0,8h}=5,12$
	2	$v_{5-2}^{0,2h}=5,54$	$v_{5-2}^{0,8h}=5,38$
	3	$v_{5-3}^{0,2h}=5,60$	$v_{5-3}^{0,8h}=5,32$
	4	$v_{5-4}^{0,2h}=5,59$	$v_{5-4}^{0,8h}=5,36$
	5	$v_{5-5}^{0,2h}=5,62$	$v_{5-5}^{0,8h}=5,41$
6	1	$v_{6-1}^{0,2h}=4,82$	$v_{6-1}^{0,8h}=4,51$
	2	$v_{6-2}^{0,2h}=5,36$	$v_{6-2}^{0,8h}=5,10$
	3	$v_{6-3}^{0,2h}=5,35$	$v_{6-3}^{0,8h}=5,09$
	4	$v_{6-4}^{0,2h}=5,32$	$v_{6-4}^{0,8h}=4,93$
	5	$v_{6-5}^{0,2h}=4,79$	$v_{6-5}^{0,8h}=4,48$

Полученные в результате замеров значения скоростей течения на сооружении в ИПК с отклонением в 5÷8% по оси канала и с отклонением 3÷4 % ближе к бортам канала повторяли результаты проведенного в 2008 г. модельного эксперимента. Измеренные на натурном объекте скорости

течения в транзитном канале также подтвердили достаточную равномерность распределения скоростной структуры потока за сооружением. При чем тенденция изменения скоростей в ИПК в зоне влияния сооружения идентична для всех трех принятых в исследованиях расходов воды в канале старшего порядка при расходах воды $Q = 6,0; 7,3; 10,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

Замеры скоростей были также проведены в канале Ивановский в створах 7-10 (см. рисунок 3.9), на пяти мерных вертикалях в каждом створе. Для наглядности распределения скоростей в плане построены плановые эпюры местных скоростей потока.

Плановые эпюры скоростей на выходе из труб в канал Ивановский приведены на рисунке 3.12.

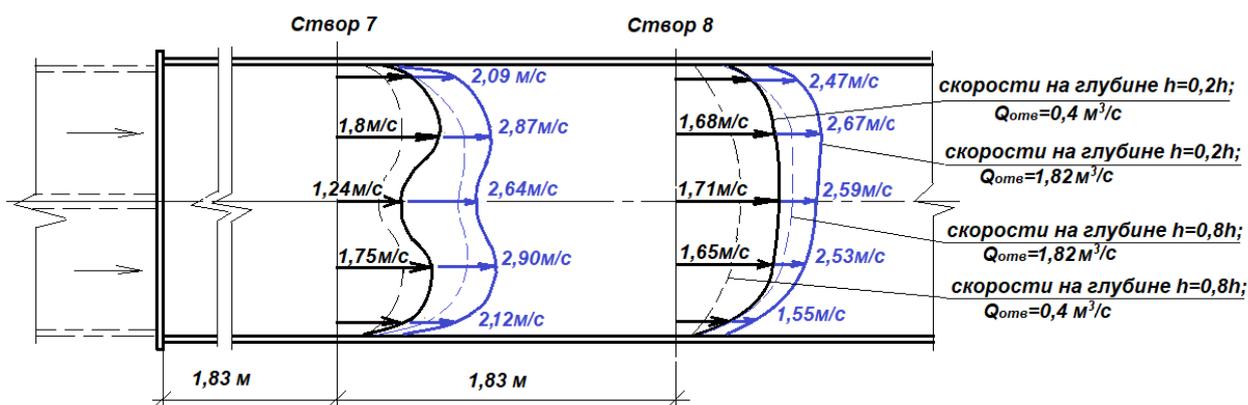


Рисунок 3.12 – Плановые эпюры местных скоростей потока в головной части канала Ивановский

Эпюры на рисунке 3.12 в створе 7 демонстрируют достаточно симметричное относительно оси истечение в канал Ивановский. В створе 8 наблюдалось уменьшение скоростей потока ближе к правому борту канала при расходах отвода $Q_{ome}/Q_{ome.max} > 0,35 \div 0,38$. Это явление вполне объяснимо изменением структуры потока вблизи поворота канала на 90° , при котором имеет место подпертый гидравлический прыжок, оказывающий влияние на основной поток перед поворотом в большей степени с правой стороны. Следует отметить, что за поворотом наблюдается появление косой волны, которая частично сглаживается на подходе к измерительному створу 9 (т.е. через 22,7 м).

Замеры скоростей потока в створах 9 и 10 позволили построить плановые эпюры для всех исследуемых расходов от $Q_{oms} = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$ до $Q_{oms} = 1,82 \text{ м}^3/\text{с}$. На рисунке 3.13 приведены плановые эпюры осредненных по глубине местных скоростей потока при расходах воды в канале $Q_{oms} = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_{oms} = 1,82 \text{ м}^3/\text{с}$.

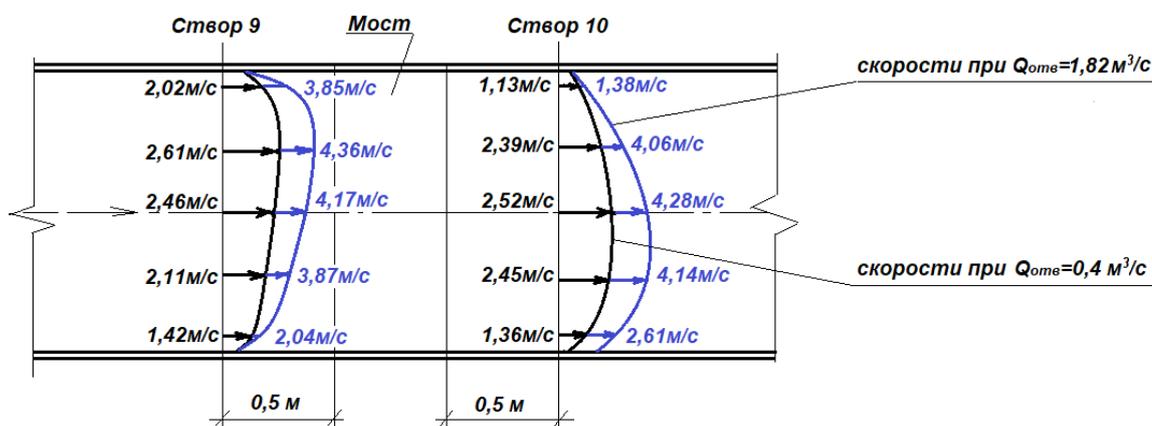


Рисунок 3.13 – Плановые эпюры осредненных местных скоростей потока на водомерном посту канала Ивановский при $Q_{oms}/Q_{oms.max} = 0,16; 0,73$

Форма эпюр в плане на рисунке 3.13 подтверждает несимметричность течения в плане в канале за поворотом на угол 90^0 [117]. Поскольку в данном случае отсутствует специальное поворотное сооружение, позволяющее обеспечить симметричное относительно оси канала течение за поворотом, на этом участке наблюдается наличие кривой волны возмущения, распространяющейся на расстояние более 0,5 км, и практически ликвидируемой на первом водовыпускном сооружении из канала Ивановский. Наблюдаемое явление кривой волны возмущения в канале Ивановский крайне нежелательно особенно в створе водомерного поста. Поэтому в качестве одной из рекомендаций Районному управлению водного хозяйства Иссык-Атинского района учеными КРСУ было предложено установить в месте поворота канала Ивановский поворотное сооружение усовершенствованной конструкции, позволяющей исключить появление кривой волны и обеспечить симметричное в плане течение воды в канале за поворотом. При этом следует отметить, что состояние потока в створах 9 и

10 никак не отражается на работе водораспределительного сооружения, подающего воду в канал Ивановский.

По результатам натурных исследований были сделаны следующие **выводы**. Проведенные натурные исследования водораспределительного сооружения на подпитывающем ВБЧК канале Иссык-Ата позволяют утверждать о положительной работоспособности вододелительного устройства. Для распределения бурностремительного потока вполне достаточно 2-х камер в донной траншее.

Изучение зависимости относительного действующего напора $m_g = H_k/H_n$ от коэффициента водоотбора $\alpha_g = Q_{отб}/Q$ водораспределительного сооружения на Иссык-Атинском подпитывающем канале позволило уточнить ранее полученную лабораторным экспериментом зависимость $m_g = f(\alpha_g)$. Отклонения натуральных значений m_g от модельных не превышали 6,5%.

Установленные в процессе исследований коэффициенты расхода μ изменялись от 0,24 до 0,41 при разных значениях параметра Фруда и открытиях боковых затворов. Полученные в результате натурального эксперимента зависимости $\mu = f(Fr_{cp})$ по своему виду аналогичны модельным зависимостям, однако, отличаются от модельных значениями коэффициентов уравнений. Это объясняется наличием на натурном объекте дополнительных конструктивных элементов, отсутствовавших на модели. При этом установлено, что с увеличением параметра Фруда Fr_{cp} коэффициент расхода μ несколько уменьшается.

При расходах воды в ИПК равных $Q/Q_{max} > 0,35$ и открытиях боковых затворов $a/a_{max} \leq 0,24$ данный вододелитель обеспечивает постоянство отводимых расходов воды с погрешностью в пределах $\pm 7\%$.

Исследования глубин потока в ИПК в зоне расположения водораспределительного сооружения показали отсутствие косой волны в ИПК за сооружением, а также достаточно симметричную картину свободной поверхности воды во всех выбранных створах ИПК относительно

продольной оси канала. Установлено, что в ИПК на ПК 36+82 имеет место бурный (а не сверхбурный, как полагали ранее [114]) режим течения, о чем свидетельствует отсутствие в потоке катящихся волн. Образующиеся непосредственно на сооружении колебания уровней поверхности воды ниже по течению затухают и практически исчезают уже на расстоянии 1,5L за сооружением.

Измеренные скорости течения в транзитном канале подтвердили достаточную равномерность распределения скоростной структуры потока за сооружением.

Замеры скоростей в канале Ивановский на выходе из водораспределительного сооружения в створе 7 показали симметричную ($\pm 3 \div 6\%$) в плане картину истечения относительно оси канала. В створе 8 скорости потока вблизи правого борта канала уменьшались при расходах отвода $Q_{отв}/Q_{отв.max} > 0,35 \div 0,38$, что объясняется изменением структуры потока вблизи поворота канала на 90° .

Скорости потока в створах 9 и 10 канала Ивановский показали наличие косой волны возмущения за поворотом канала, распространяющейся на расстояние более 0,5 км. Для ликвидации этого явления нужна реконструкция поворотного сооружения с использованием элементов, обеспечивающих отсутствие косой волны и симметричное в плане течение воды в канале за поворотом.

3.7 Методика проведения лабораторных исследований вододелителей для каналов с бурностремительным стационарным течением

Реализация поисковых лабораторных исследований двусторонних вододелителей бурных потоков включало:

- 1) наблюдение за турбулентными характеристиками подхода потока к вододелителю в ЭГЛ при разных расходах и долях водозабора;
- 2) уточнение коэффициентов расхода решетки и решетчатой плиты вододелителя при истечении через них в колодец и боковые затворы

устройства в зависимости от параметра Фруда в ЭГЛ, в дополнение построение функции $\mu = f(Fr)$;

- 3) изучение пропускной способности устройств для вододеления с сопоставлением результатов с другими авторами;
- 4) изучение влияния напора над решеткой и решетчатой плитой на коэффициент расхода вододелительного устройства;
- 5) оценка влияния изменения расхода в ЭГЛ на коэффициенты водоотбора младшего канала;
- 6) изучение влияния элементов вододелительных устройств и расходов на его стабилизирующие свойства;
- 7) статистическая обработка выполненных измерений для обобщения результатов исследований, разработка практических рекомендаций по гидравлическому расчету рассматриваемых вододелителей.

Лабораторные модели опытных двусторонних вододелителей рассчитывались по рекомендациям [127] на максимальный расход экспериментального лотка. Линейный масштаб моделирования выбирался в соответствии с размерами ЭГЛ с учетом обеспечения автомодельности по Рейнольдсу. Модели двусторонних вододелительных устройств устанавливались в ЭГЛ в лаборатории техноцентра КРСУ.

Экспериментальная установка ЭГЛ, своевременно проходящая метрологическую аттестацию (см. рис. 3.14, 3.15) подробно описана в работах Исабекова Т.А., Бейшекеева К.К. и «представляет собой закольцованную систему, в которой размещен водонапорный бак-успокоитель 1, гидравлический лоток 2 с моделью вододелителя 3, отводящие каналы 4 с мерными водосливами 5, водоприемная камера 6, соединенная трубопроводами 7 с баком-успокоителем. Вода в бак-успокоитель подается насосом 8. Левый отвод модели выполнен для пропуска большего расхода воды, чем правый, т.е. $Q_1 > Q_2$ » [12, 45].

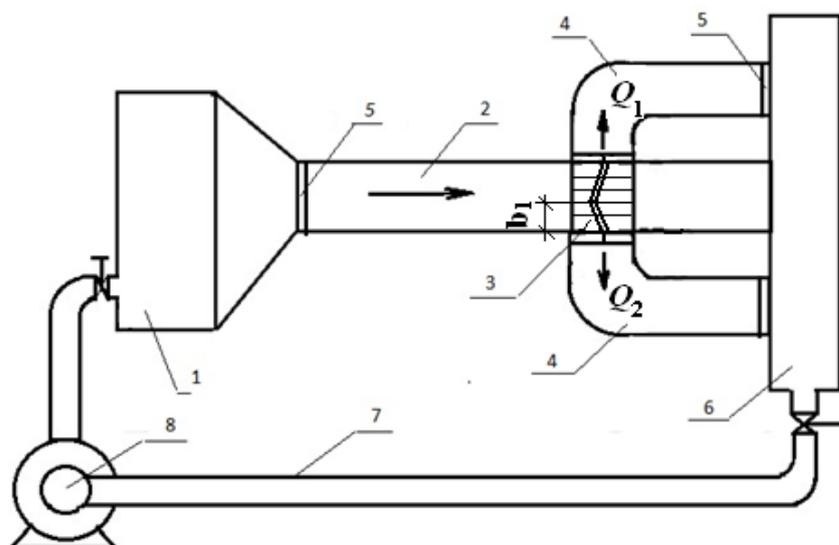


Рисунок 3.14 -Экспериментальный лоток для проведения поисковых исследований: 1 – успокоит.бак; 2 – ЭГЛ; 3 – модель вододелителя; 4 – каналы младшего порядка; 5 –водослив; 6 –сбросная камера; 7 – трубопроводы; 8 – насос



Рисунок 3.15 - ЭГЛ с моделью вододелителя в процессе исследований в лаборатории техноцентра КРСУ

В условия исследований входили измерение входящих в ЭГЛ и каналы младшего порядка расходов воды водосливами Томсона. Для измерения

глубин воды использовали шпитценмасштабы, а для измерения скоростей потока – микровертушку.

3.8 Лабораторные исследования гидравлических показателей модернизированных конструкций вододелителей для быстротечных каналов.

Конструкцией с достаточно хорошими показателями из вододелителей бурных потоков считается вододелитель для каналов-быстротоков с бурным режимом течения (ВКБТ)[128]. Дальнейшее совершенствование вододелителей требовало проведение детальных исследований этой конструкции для установления ее достоинств и недостатков.

Особенностью ВКБТ является размещение разделительной перегородки 1 не параллельно направлению отводящего потока, а под некоторым углом β к оси отводящего канала 5. Это позволяет уменьшить площадь истечения ω_1 в первой секции 3 колодца и увеличить площадь истечения ω_2 во второй секции 4, обеспечив, тем самым, равенство удельных расходов истечения на выходе из обеих секций в отводящий канал 5 (рисунок 3.16). Достоинство и значимость такой технологии конструкции приведена в[38].

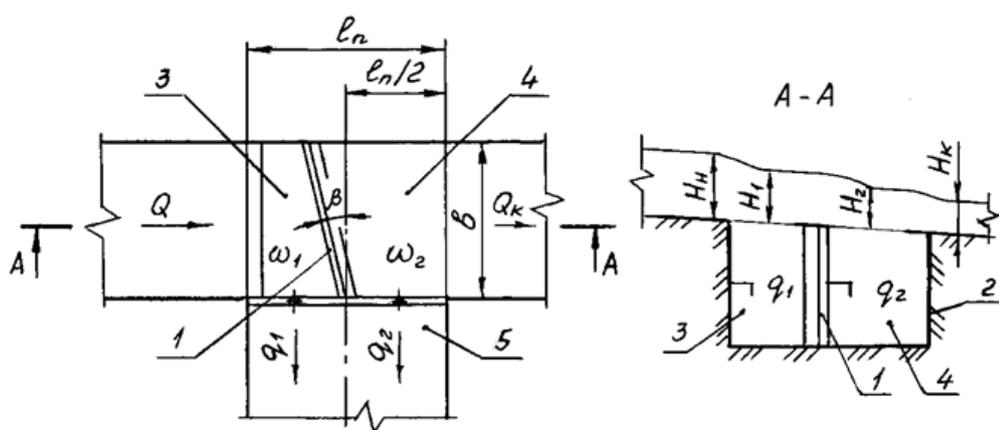


Рисунок 3.16 - Схема вододелителя для каналов с бурным течением (Патент КР № 748): 1 – перегородка; 2 – траншея; 3 – передняя камера; 4 – задняя камера; 5 - отвод

Однако опыт внедрения показал, что для улучшения технологичности изготовления и строительства вододелителя, перегородку предложено оставить параллельно направлению отводящего потока 5, а разные площади истечения ω_1 и ω_2 достичь путем разной ширины просвета между прутьями поверхностной решетки, причем прутья решетки располагаются поперек течения или параллельно перегородке (рисунок 3.17). Усовершенствование заключается в рациональном применении донной решетки – основного фактора водоприема. Если рассматривать распределение расхода Q по отверстиям решетки над секциями, то отверстия первого ряда решетки над первой секцией (со стороны набегающего потока) нагружены наиболее интенсивно и равномерно, так как через них поступает основная часть отводящего расхода, а отверстия второго ряда решетки над второй секцией колодца принимают меньший расход воды. Уравнять удельный расход воды в секциях колодца можно за счет уменьшения ширины просвета решетки над первой секцией, что достигается увеличением количества прутьев решетки над первой секцией.

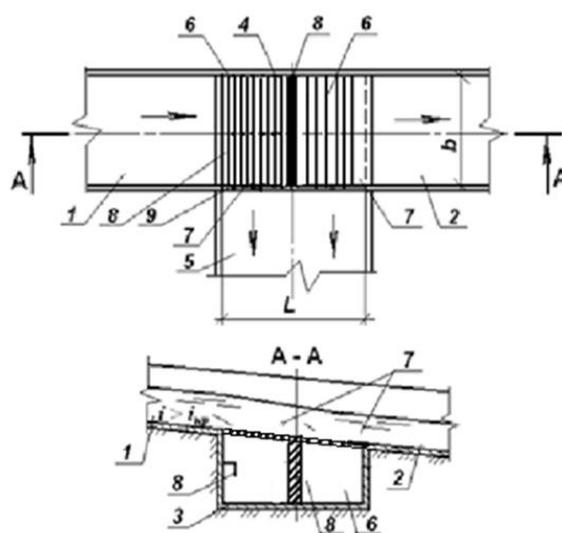


Рисунок 3.17 - Схема «вододелителя для каналов с бурным течением с поперечными решетками (ВКБТПР)»[45]: 1,2 – главный канал; 3 – траншея; 4,6 – прутья решетки; 5 – отвод; 7 – затворы; 8 – козырьки; 9 – шарнир решетки

Опыт эксплуатации показывает, решетки большей частью не оправдывают своего назначения ввиду недостаточной изученности рационального конструктивного решения их формы, размеров и расстановки стержней, а также числа рядов решетки и их взаиморасположения.

Преимущество поперечного расположения решеток детально изучено в лабораторных и полевых условиях на быстротечных каналах в работе [46] и заключаются в том, что влияние расположения стержней решетки на структуру и потерю избыточной энергии потока в галерее показано в таблице 3.11. Из этого сопоставления вытекает преимущество решетки со стержнями, размещенными поперек течения. Поэтому Г.Б. Руруа рекомендует такой решеткой перекрывать входное отверстие галереи распределителя с зазорами между стержнями 20-30 мм [34].

Таблица 3.11 - Влияние расположения стержней решеток на потери энергии и структуру потока в галерее

Стержни донной и боковых решеток расположены	
Вдоль по течению	Поперек течения
<p>Отбираемая часть потока разбивается на продольные струйки, которые поступают в галерею под углом β (рис.3.18) без существенного изменения их продольных скоростей.</p> <p>Поток, поступающий в галерею, ударяется в низовую стенку, у которой создается зона повышенного давления в виде водяного бугра; в галерее возникает винтовое движение, с центром вращения в виде воздушного вихревого в середине галереи. Полное гашение избыточной энергии отбираемого потока не происходит, наблюдается выплескивание воды из галереи в транзитный поток, вследствие чего уменьшается пропускная способность сооружения.</p>	<p>Стержни решеток замедляют скорость и изменяют направление движения струек, поступающих в водоприемную галерею (см.рис.3.18).</p> <p>Стержни решеток гасят избыточную энергию отбираемого потока, вода в галерею поступает расщепленной на отдельные вертикальные струйки. В галерее отсутствует винтовое движение; нет водяного бугра у низовой стенки.</p>

Так как отводимый расход попадает в галерею через решетку, расщепляющую поток на отдельные струи, теряющие большую часть

избыточной энергии, то строительные размеры водобойного колодца в составе этого сооружения уменьшаются.

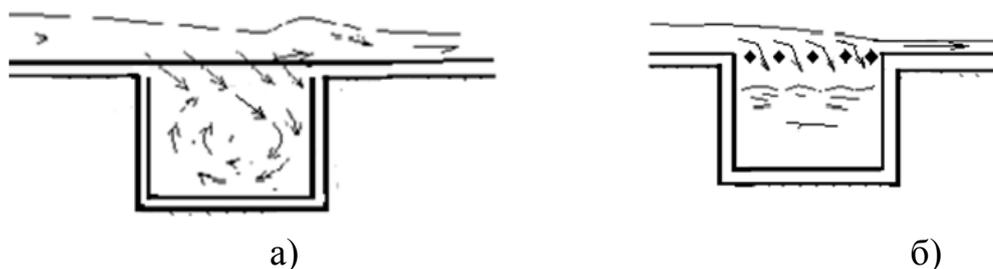


Рисунок 3.18 - Гидравлические условия входа воды в донную галерею, перекрытую решеткой со стержнями: а) вдоль по течению б) поперек течения

Экспериментальные исследования выполнялись в лаборатории Водных ресурсов и инженерных дисциплин КРСУ, на модельной установке лотка, в которой можно получить бурный поток. Для обеспечения требуемой точности исследований, исходя из необходимости соблюдения условия подобия гидравлических явлений, вытекающих из законов подобия (моделирование выполнялось по критерию гравитационного подобия Фруда и Рейнольдса [118]), учитывая данные технической характеристики межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов предгорной зоны и водовыпусков на них, а также возможности лаборатории и производительности насосной установки, масштаб модели принят $M 1:10$. Учитывая вышеизложенное, была изготовлена модель участка канала с размерами: $b=0,3$ м, $i=0,02$.

Цель лабораторных исследований состояла в следующем:

1. Установление рациональных параметров сооружения.
2. Установление гидравлических характеристик сооружения, т.е. определение его пропускной способности.
3. Установление области применения одностороннего вододелителя.
4. Разработка методики расчета и основных правил эксплуатации вододелителя.

Условия эксперимента по исследованию пропускной способности и кинематической структуры потока в зоне влияния вододелителя в основном оставались неизменными по сравнению с модельными исследованиями такого типа вододелителей [12,45].

В исследованиях фиксировались следующие величины:

- а) глубина наполнения воды в верхнем бьефе;
- б) величина открытия щитового отверстия a
- в) расход отвода;
- г) ширина отверстия ($b=40$ см);

Измерение глубины воды в верхнем и нижнем бьефах осуществлялось шпигенмасштабом, открытие щита – специально изготовленным шаблоном, а расход измерялся тарированным треугольным водосливом.

В задачу исследований распределителя входило определение пропускной способности водозахватных решеток (коэффициента расхода μ) при безнапорном течении воды в водоприемной галерее.

Исходными формулами для определения коэффициента расхода решетки приняты формулы, предложенные Е.А.Замариным[43]:

$$Q = \mu_3 \omega_p \sqrt{2gh_{cp}}, \quad (3.3)$$

и М.А. Мостковым:

$$Q = \mu_m \omega_p \sqrt{2g(h_1 + \frac{\vartheta_1^2}{2g})}, \quad (3.4)$$

«где μ_3 μ_m – коэффициенты расхода,

ω_p – совокупная площадь зазоров решетки,

$h_{cp} = \frac{h_1 + h_2}{2}$ – осредненный напор над решеткой,

ϑ_1 – скорость потока перед решеткой»[43].

«Суммарная площадь зазоров решетки принята в долях от общей площади решетчатой плиты и составляет $p_1 = 0,5$ » [43] для первой галереи и $p_2 = 0,75$ для второй галереи.

На рисунке 3.19 приведены полученные экспериментальным путем формулы коэффициентов расхода μ в функции от числа Фруда, для осредненного значения напора над решеткой одностороннего вододелителя (ВКБТПР) при различных относительных открытиях боковых затворов a/a_{max} . Величина коэффициента расхода устройства колебалась в пределах $\mu = 0.2 \div 0.3$ в зависимости от кинетичности потока и открытия боковых затворов.

Для сравнения при этих же условиях коэффициенты расхода для вододелителя ВКБТ составляют $\mu = 0,25 - 0,37$ [38]. Пропускная способность решетки с продольными стержнями чуть больше, чем решетки с поперечными стержнями, что совпадает с выводами исследований других авторов [113].

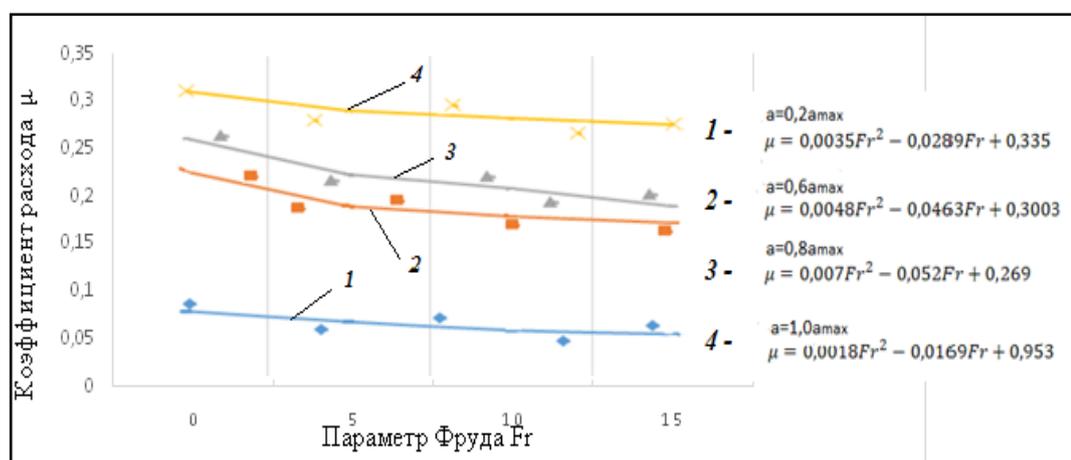


Рисунок 3.19 - Зависимость коэффициента расхода μ от числа Фруда Fr_{cp} для одностороннего вододелителя с решеткой поперечными прутьями

Проведенные исследования показали, что:

- с увеличением параметра Фруда коэффициент расхода уменьшается, что соответствует полученным результатам других исследователей;
- пропускная способность решетки с продольными стержнями больше, чем решетки с поперечными стержнями;
- гидравлические условия входа в донную галерею через решетки с поперечными стержнями лучше, чем с продольными, однако, применение каждого из этих вариантов размещения стержней индивидуально для определенных конструкций вододелителей.

3.9 Усовершенствованный двухсторонний вододелитель с асимметричной решеткой (решетчатой плитой) для каналов-быстротоков с бурным течением

Необходимость обеспечения надежного водораспределения из канала-быстротока с двухсторонним командованием потребовала создания новой конструкции двухстороннего вододелителя с «асимметричной решеткой для каналов с бурным течением (рисунок 3.20)» [129].

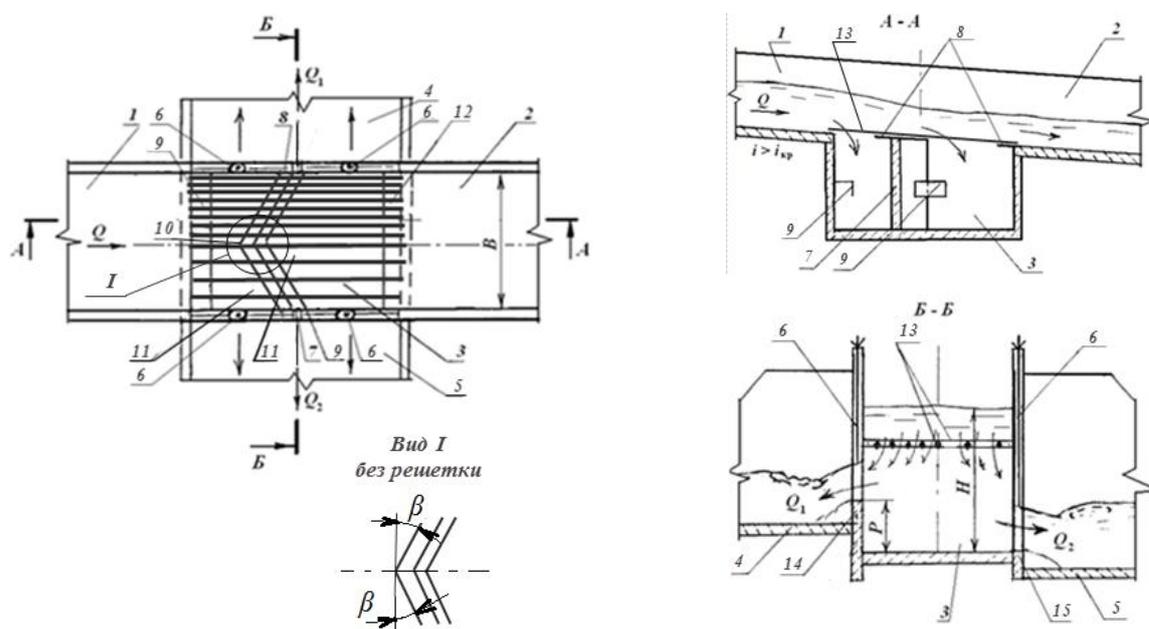


Рисунок 3.20– «Вододелитель двухсторонний с асимметричной решеткой (решетчатой плитой) для каналов с бурным течением» [129]: «1, 2 – канал старшего порядка; 3 – донная траншея; 4, 5 – отводы; 6 – затворы плоские; 7 – ломаная разделительная перегородка; 8 – отсекающие козырьки; 9 – Г-образные козырьки; 10 – излом перегородки; 11 – камеры; 12 – решетка асимметричная; 13 – плита решетчатая; 14, 15 – порог» [129]

Вертикальная перегородка в донной траншее выполнена с изломом и симметричной относительно продольной оси сооружения. При этом пропорция вододеления между боковыми отводящими каналами обеспечивается за счет разной ширины просветов между прутьями входной решетки с левой и правой сторон вододелителя. Новый двухсторонний вододелитель может быть выполнен в 2-х модификациях: первая – когда решетка на входе в донную траншею выполнена асимметричной (ВДКБТ-

АР) (рисунок 3.21); вторая – когда на входе в донную траншею размещается ассиметричная решетчатая плита (ВДКБТ-АП) (рисунок 3.22), а в концевой части плиты размещен горизонтальный водоотсекающий козырек (рисунок 3.20).

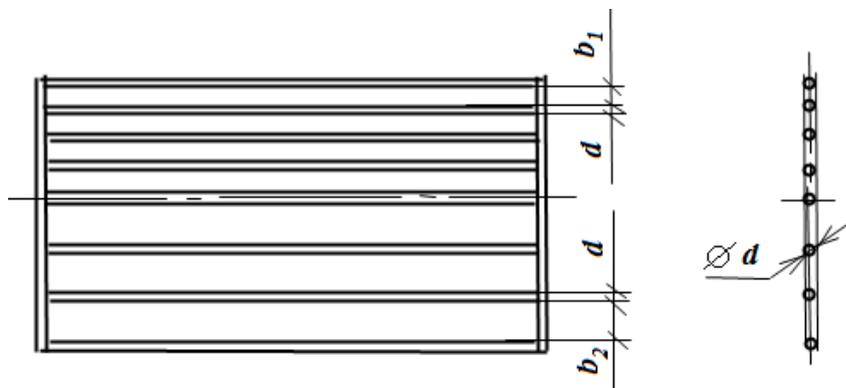


Рисунок 3.21– «Ассиметричная решетка с разным зазором между прутьями»[129]



Рисунок 3.22 – «Ассиметричная решетчатая плита с продольными отверстиями одинаковой ширины, но с разной шириной пластин (прутьев)»[129]

Двусторонний вододелитель с ассиметричной решеткой для бурных потоков (рисунок 3.20), включает размещенный на канале старшего порядка в месте водовыпуска колодец в форме донной траншеи 3. Внутри траншеи установлена разделительная ломаная в плане перегородка 7 с отсекающим козырьком 8. Камера 11 делится перегородкой 7 на с возрастающие по течению площадки. Донная решетка 12, шарнирно закрывающая траншею,

может быть выполнена двумя способами: а) имеющий увеличивающийся зазор между прутьями решетки 12 (рис. 3.21), «который зависит от соотношения расходов воды в отводы 4 и 5; б) представляющий собой решетчатую плиту 13 с разным размером самих прутьев в левой и правой части плиты» [129], но с одинаковыми продольными отверстиями. Размеры прутьев решетчатой плиты зависят от соотношения расходов воды в отводы 4 и 5 (рисунок 3.22).

Вариант вододелителя с решетчатой плитой ВДКБТ-АП (рисунок 3.22) наиболее предпочтителен в том случае, когда расходы левого и правого отводов заметно отличаются по величине. Если при таких условиях установить ВДКБТ-АР ширина зазоров может быть недостаточной, и решетка будет быстро засоряться мусором и плавником.

Конструктивное исполнение порога 14 выполнен таким образом, что на «входном оголовке в отводящий канал с меньшим расходом водоотбора Q_1 предполагает, что он размещен выше порога 15 оголовка отводящего канала с большим расходом водоотбора Q_2 на высоту P . Превышение порогов P зависит от величины $(Q_2/Q_1)^2$ и напора H над донным отверстием бокового затвора 6 вододелителя» [129] (см.рис. 3.20).

Новый «вододелитель с ассиметричной решеткой (решетчатой плитой) способствует повышению эксплуатационных свойств водораспределительного сооружения» [129] при меньших капитальных вложениях в его строительство, благодаря устройству симметричной относительно продольной оси сооружения ломаной перегородки в донной траншее.

Новый вододелитель с ассиметричной решеткой (решетчатой плитой) преобразует бурный поток на подводящем участке канала старшего порядка в спокойный поток в отводящих руслах без дополнительного устройства на сооружении гасителей энергии бурного потока.

Проверка работоспособности новых распределителей воды типа ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП проводилась в лаборатории техноцентра КРСУ. Для

этого были разработаны и изготовлены модели ВДКБТ-АР (рисунок 3.23 а) и ВДКБТ-АП (рисунок 3.23 б).



а)

б)

Рисунок 3.23 - Установка вододелителей: а) ВДКБТ-АР с увеличивающимися зазорами между прутьями решетки; б) ВДКБТ-АП с продольными одинаковыми по ширине отверстиями, но с разной шириной пластин решетки

3.10 Модельные исследования двухсторонних вододелителей с ассиметричной решеткой (плитой)

3.10.1 Модельные исследования гидравлических характеристик вододелителей

Проведение модельных исследований ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП необходимы были для «определения, в первую очередь, пропускной способности вододелителя» [120]. «Пропускная способность новой конструкции является основным фактором оптимизации данного типа сооружений и определяется в зависимости от ряда ее параметров» [121].

Поисковые исследования моделей ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП проводились при уклонах ЭГЛ, равных $i=0,02$, что соответствует возникновению бурного режима течения. Расход Q в ЭГЛ менялся в пределах

1,6 ÷ 16,5 л/с, что для производственных каналов соответствовало расходам 3,4 м³/с ÷ 29,5 м³/с. Коэффициенты водозабора принимались $\alpha_g = Q_{отв}/Q = 0,1 \div 1,0$, причем для каждого намеченного расхода Q устанавливалось одинаковое открытие каждого из четырех затворов.

В лаборатории находились три отдельных аттестованных водослива Томсона с мерными баками, с помощью которых определялись расходы воды в подводящем и двух отводящих каналах и шпитценмасштабы для определения напоров.

С помощью полученных в лабораторных условиях результатов были получены зависимости относительных действующих напоров $m_g = H_k/H_n$ от коэффициента водоотбора. Напоры воды над решеткой моделей ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП H_n и H_k замерялись в начальном и конечном точках колодца.

Результаты измерений представлены в таблицах 3.12 и 3.13. Графические изображения $m_g = f(\alpha, Q/Q_{max})$ для ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП показаны на рисунках 3.24 и 3.25. Кривые 1–5 (рисунки 3.24 и 3.25) построены $\alpha_g = Q_{отв}/Q$ для расходов в ЭГЛ, равных $Q = (0,2 \div 1,0)Q_{max}$ соответственно.

Таблица 3.12 – Значения m_g на вододелителе ВДКБТ-АР

$\alpha_g = \frac{Q_{отв}}{Q}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$Q=2,93 \text{ л/с}, Q/Q_{max}=0,15$										
$m_g = \frac{H_k}{H_n}$	0,79	0,66	0,55	0,43	0,32	0,2	0,13	0,07	0,04	0
$Q=3,9 \text{ л/с}, Q/Q_{max}=0,2$										
m_g	0,80	0,69	0,58	0,45	0,33	0,22	0,14	0,09	0,05	0
$Q=8,8 \text{ л/с}, Q/Q_{max}=0,45$										
m_g	0,84	0,76	0,64	0,52	0,37	0,27	0,19	0,13	0,07	0
$Q=11,7 \text{ л/с}, Q/Q_{max}=0,6$										
m_g	0,85	0,77	0,65	0,55	0,38	0,28	0,19	0,14	0,07	0
$Q=15,6 \text{ л/с}, Q/Q_{max}=0,8$										
m_g	0,86	0,79	0,67	0,57	0,41	0,31	0,21	0,15	0,08	0

$\Delta m_g \%$	4,8%	11,2%	12,3%	17,2%	13,1%	28,0%	32,3%	65,7%	55,0%	0
-----------------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	---

Таблица 3.13 – Значения m_g на вододелителе ВДКБТ-АП

$\alpha_g = \frac{Q_{отв}}{Q}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$Q=2,93 \text{ л/с}, Q/Q_{max}=0,15$										
$m_g = \frac{H_\kappa}{H_n}$	0,76	0,66	0,55	0,43	0,3	0,19	0,12	0,07	0,04	0
$Q=3,9 \text{ л/с}, Q/Q_{max}=0,2$										
m_g	0,82	0,68	0,59	0,46	0,35	0,23	0,15	0,1	0,05	0
$Q=8,8 \text{ л/с}, Q/Q_{max}=0,45$										
m_g	0,86	0,74	0,62	0,51	0,38	0,27	0,19	0,13	0,07	0
$Q=11,7 \text{ л/с}, Q/Q_{max}=0,6$										
m_g	0,84	0,78	0,66	0,55	0,38	0,28	0,18	0,14	0,07	0
$Q=15,6 \text{ л/с}, Q/Q_{max}=0,8$										
m_g	0,87	0,78	0,67	0,57	0,41	0,31	0,21	0,15	0,08	0
$\Delta m_g \%$	9,2%	10,3%	12,3%	17,2%	21,3%	34,7%	41,6%	68,5%	55,0%	0

«Для изучения пропускной способности ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП экспериментально находили коэффициент расхода каждого из вододелителей по формуле» [121, 122]:

$$\mu = \frac{Q_{отв}}{p l_n b \sqrt{2gH_{cp}}}, \quad (3.5)$$

«где p —доля площади отверстий в решетке (решетчатой плите), $p = F_{отв}/F_{общ}$, $F_{отв}$ — площадь отверстий, $F_{общ}$ — площадь решетки; l_n – длина решетки (решетчатой плиты); b – ширина ЭГЛ; H_{cp} – осредненный напор на вододелителе»[121, 122].

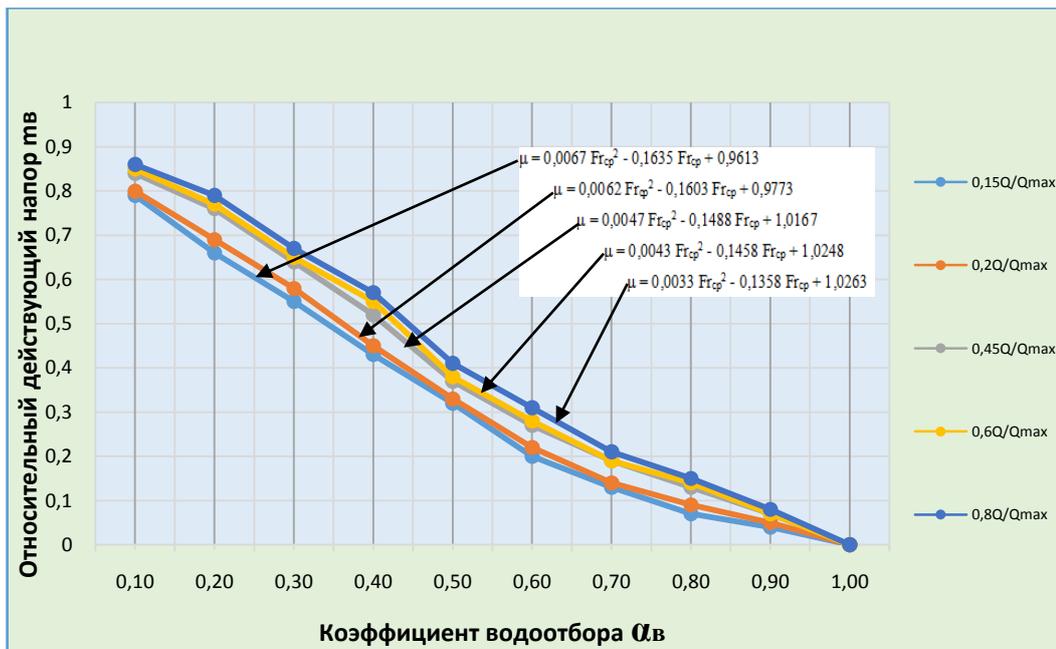


Рисунок 3.24 - Зависимости $m_v = f(\alpha, Q/Q_{max})$ на ВДКБТ-АР.

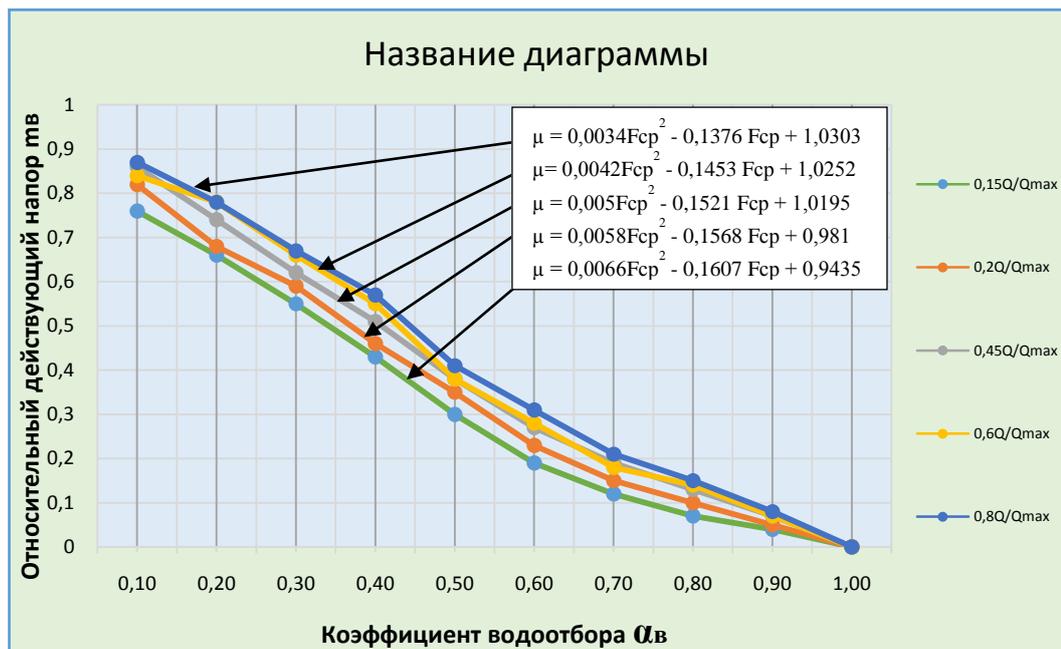


Рисунок 3.25 - Зависимости $m_v = f(\alpha, Q/Q_{max})$ на ВДКБТ-АП.

Площадь отверстий в решетке или решетчатой плите составила 60% от ее общей площади, а длина решетки (плиты) - $l_n = 0,475$ м. Размеры по ширине вододелителей равнялись ширине ЭГЛб=0,3 м.

Глубины воды в начальном и H_n конечном H_k створах на

вододелителях измерялись шпиценмасштабом.

Параметр Фруда транзитного потока и величины открытий боковых затворов вододелителя оказывали влияние на коэффициенты расхода, которые были определены экспериментальным путем и колебались в пределах $\mu = 0,16 \div 0,46$

«Параметр кинетичности Фруда $Fr_{cp} = \alpha v_{cp}^2 / gh_{cp}$ (h_{cp} – глубина, а v_{cp} – средняя скорость воды) определяли расчетом для среднего сечения решетки (решетчатой плиты) на вододелителе» [152]. Минимальные (по абсолютному значению) коэффициенты расхода (0,16 ÷ 0,35) были зарегистрированы при открытии затворов $a = 1$ см. При максимальных из принятых открытий $a_{max} = 5$ см μ менялся в пределах 0,29 ÷ 0,46.

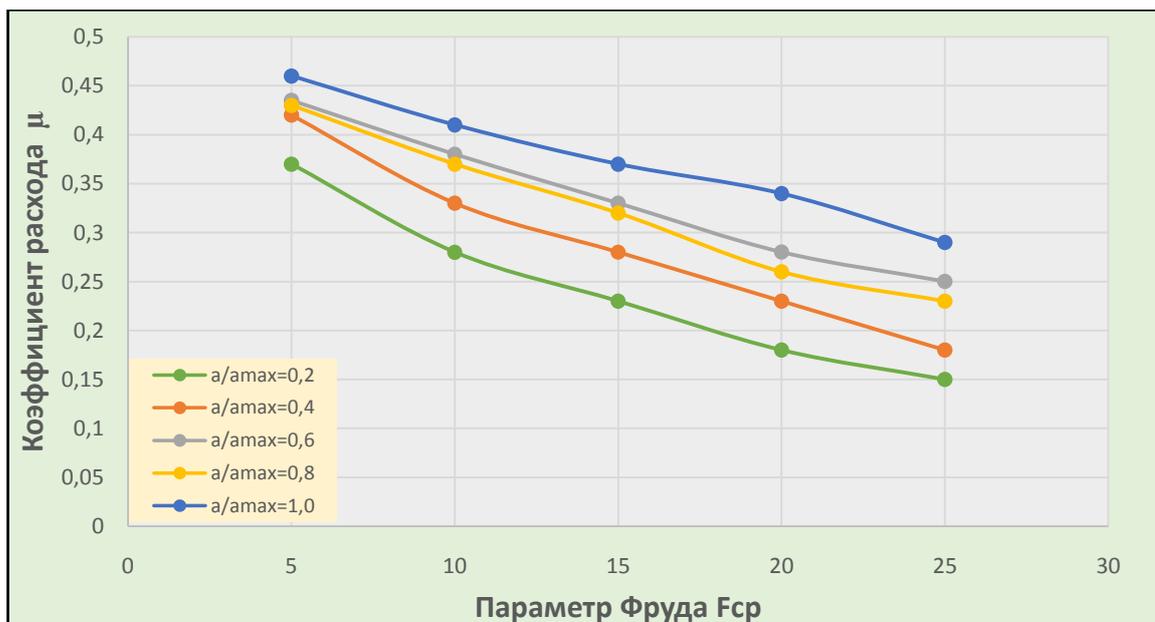
Функции коэффициентов расхода от параметра кинетичности приведены в таблицах 3.14, 3.15, и на графиках на рисунке 3.26. Экспериментальные зависимости $\mu = f(Fr_{cp})$ также приведены на рис. 3.26.

Таблица 3.14 – Коэффициенты расхода $\mu = f(Fr_{cp})$ ВДКБТ-АР

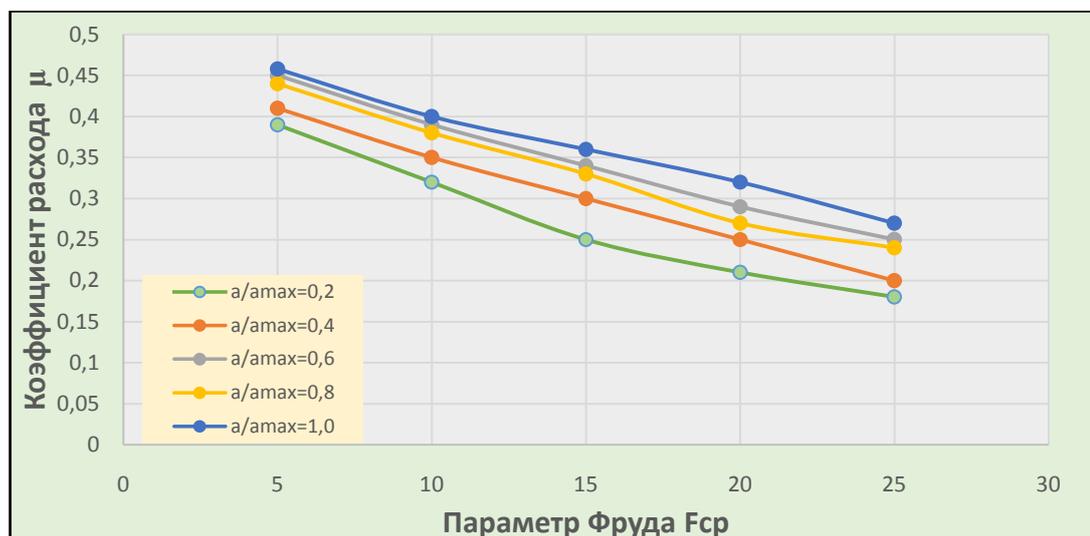
$a/a_{max} = 0,2$		$a/a_{max} = 0,4$		$a/a_{max} = 0,6$		$a/a_{max} = 0,8$		$a/a_{max} = 1,0$	
Fr_{cp}	μ								
5	0,371	5	0,422	5	0,434	5	0,432	5	0,461
10	0,282	8	0,331	9	0,382	15	0,371	14	0,412
15	0,232	13	0,281	15	0,331	20	0,322	18	0,372
20	0,181	20	0,232	19	0,282	23	0,262	22	0,341
25	0,161	25	0,182	25	0,252	25	0,231	25	0,292

Таблица 3.15 – Коэффициенты расхода $\mu = f(Fr_{cp})$ ВДКБТ-АП

$a/a_{max} = 0,2$		$a/a_{max} = 0,4$		$a/a_{max} = 0,6$		$a/a_{max} = 0,8$		$a/a_{max} = 1,0$	
Fr_{cp}	μ								
5	0,39	5	0,41	5	0,45	5	0,44	5	0,458
10	0,32	8	0,35	9	0,39	15	0,38	14	0,4
15	0,25	13	0,3	15	0,34	20	0,33	18	0,36
20	0,21	20	0,25	19	0,29	23	0,27	22	0,32
25	0,18	25	0,2	25	0,25	25	0,24	25	0,27



а)



б)

Рисунок 3.26 - Коэффициенты расхода в зависимости от параметра Фруда: а) ВДКБТ-АР; б) ВДКБТ-АП

Анализ зависимостей на рисунках 3.26 позволил прийти к заключению об уменьшении значений μ при увеличении параметра Фруда Fr_{cp} для данного типа вододелителей, что характерно для всех значений открытых затворов. Таким образом имеет место увеличение силы вертикальной составляющей давления с уменьшением скорости воды в лотке. Другими

словами, при уменьшении скорости течения в транзитном канале удельный расход воды, который поступает в траншею, увеличивается.

«Пропускную способность боковых затворов, в отводящие лотки можно определить из формулы для расчета истечения из-под затвора» [129, 131]:

$$Q = \mu_3 ab \sqrt{2g(H_0 - h_c)} = \mu_3 ab \sqrt{2g\bar{H}}, \quad (3.6)$$

«где μ_3 – коэффициент расхода затвора; H_0 – напор с учетом скорости подхода; h_c – глубина в сжатом сечении; \bar{H} – средний действующий напор, равный $H = \frac{H_n + H_k}{2} + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$ » [131].

«Модельный эксперимент позволил установить значения коэффициента расхода плоского затвора на боковом отводе с большим расходом, который рассчитывался по формуле (3.6), и составил $\mu_{из} = 0,57 \dots 0,61$. Коэффициент расхода затвора на отводе с меньшим расходом составил $\mu_{из} = 0,47 \dots 0,52$. Таким образом, эксперимент показал, что μ_3 плоского затвора с меньшим расходом отвода и более высоким порогом на 14-16 % меньше коэффициента расхода затвора с большим расходом и более низким порогом» [136].

Следующее исследование проводилось на модели ВДКБТ-АР с целью изучения относительного расхода водоотвода $Q_{отв} / Q_{max}$, определения коэффициентов водозабора $\alpha_{в1} = Q_{отв1} / Q$, $\alpha_{в2} = Q_{отв2} / Q$ значений относительных отводимых расходов $Q_{отв} / Q_{max}$.

«Значение наибольшего расхода Q_{max} в ЭГЛ принято из возможностей лотка равным 19,5 л/с, а наибольшее открытие затворов выбрано $a_{max} = 0,04$ м. Отводимые расходы воды принимались: левый – $Q_{отв} = 10,5 \div 12,8 \text{ м}^3/\text{с}$, правый – $Q_{отв} = 4,6 \div 8,7 \text{ м}^3/\text{с}$.

Результаты исследований позволили построить зависимости $\alpha_v = f(a/a_{max})$, показанные на рисунке 3.27» [152].

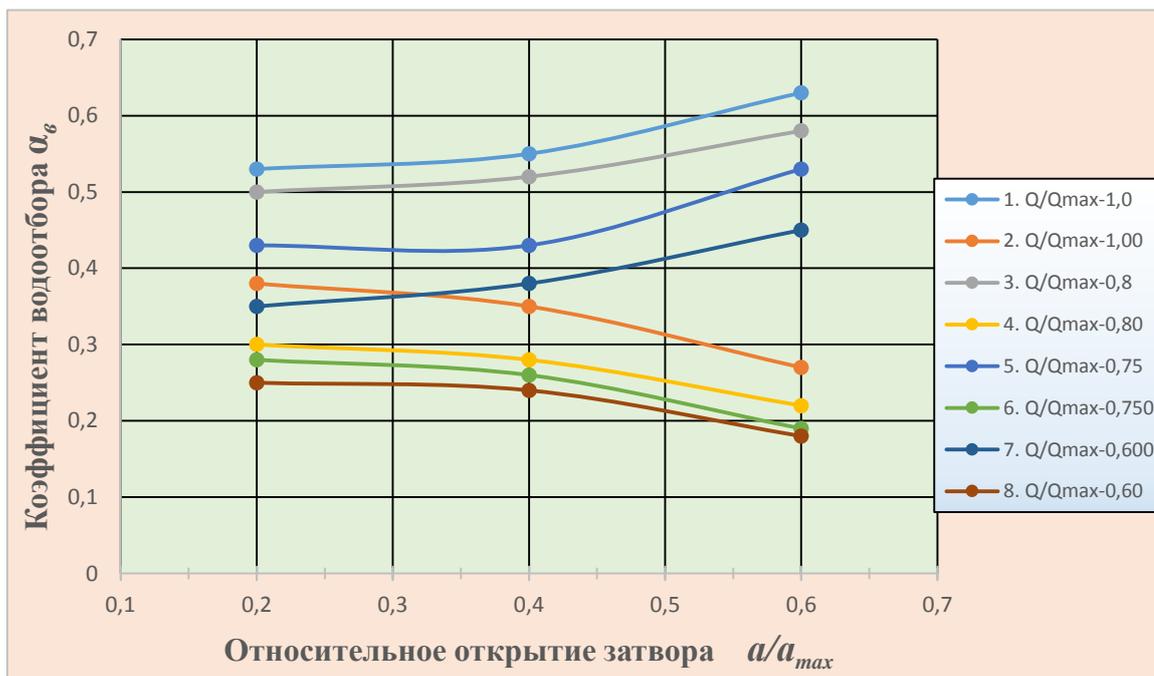


Рисунок 3.27 – Коэффициенты водоотбора в зависимости α_6 от открытий затворов ВДКБТ – АР и относительных расходов в лотке

Исследованиями выявлено, что при условии одинакового открытия затворов в левый и правый отводы изучаемого вододелителя, коэффициенты водоотбора отличаются

Так при открытии $a/a_{max}=0,2$ коэффициент водозабора правого отводящего канала составляет 0,25, а левого – 0,36 при $Q/Q_{max}=0,6$. Такой эффект получается из-за разной площади отверстий в ассиметричной решетке справа и слева.

3.10.2 Проверка стабилизирующей способности усовершенствованных двухсторонних вододелителей

Дальнейший этап лабораторных исследований посвящен установлению стабилизирующей способности ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП. Это потребовало установления изменения относительного отводимого расхода $Q_{отв}/Q_{max}$ от относительного расхода Q/Q_{max} в гидравлическом лабораторном лотке.

Графические зависимости $Q_{отв}/Q_{max} = Q/Q_{max}$ представлены на рисунках 3.29 и 3.30. Расходы воды, полученные в результате эксперимента, показаны в таблицах 3.16 и 3.17.

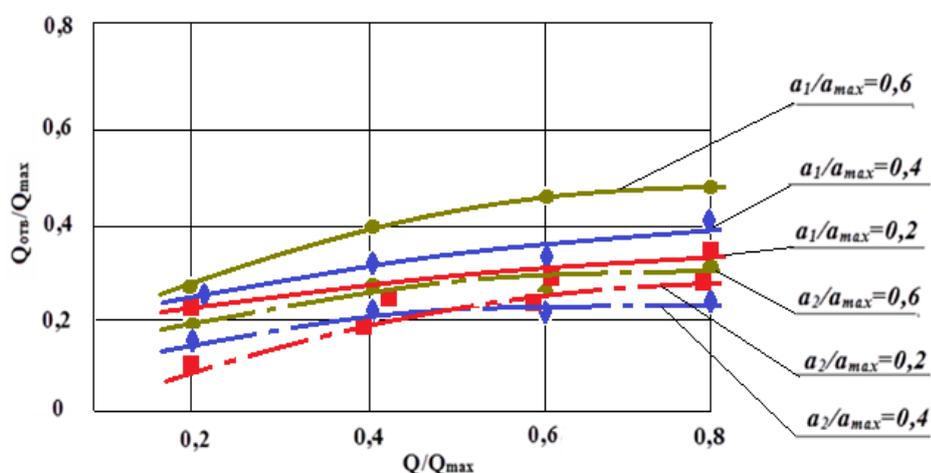


Рисунок 3.29 - Зависимость относительных отводящих расходов воды $Q_{отв} / Q_{max}$ от относительных расходов Q / Q_{max} в ЭГЛ (сплошная линия - отвод с большим расходом, штриховая линия – с меньшим) при работе модели ВДКБТ-АР

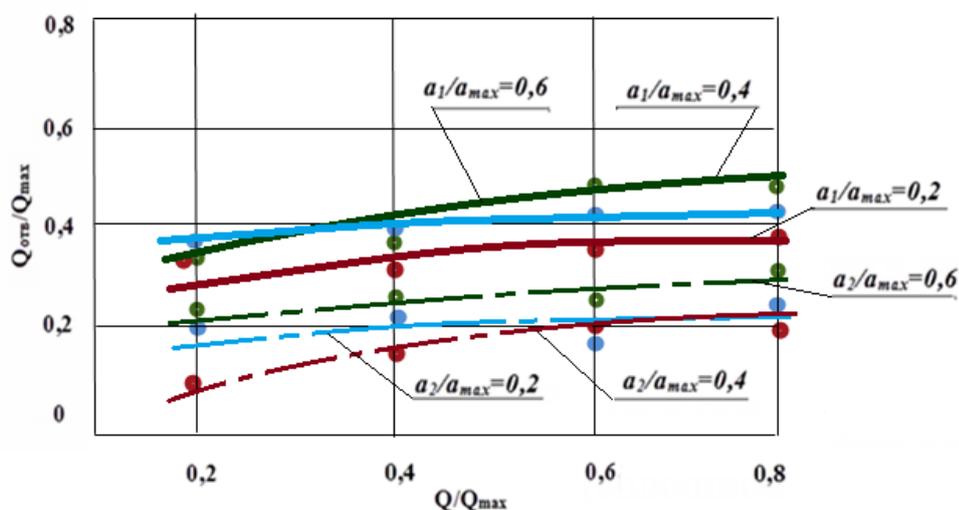


Рисунок 3.30 - Изменения относительных расходов воды $Q_{отв} / Q_{max}$ отводящих от относительных расходов Q / Q_{max} ЭГЛ (сплошная линия - отвод с большим расходом, штриховая линия – с меньшим) при работе модели ВДКБТ-АП

Исследования показали, что зависимости $Q_{отв} / Q_{max} = Q / Q_{max}$ новых двухсторонних вододелителей с ассиметричной решеткой (плитой) аналогичны подобным зависимостям ранее исследованных вододелителей

типа ВДКБТ. Также прослеживаются явные стабилизирующие свойства данных конструкций при малых открытиях затворов $a/a_{\max} < 0,4$ и расходах $Q/Q_{\max} < 0,46$.

Таблица 3.16 – Результаты исследований ВДКБТ-АР $Q_{ome}/Q_{\max}=f(Q/Q_{\max})$

Отводы	Левый				Правый			
Q/Q_{\max}	0,22	0,4	0,6	0,78	0,22	0,4	0,6	0,78
$a/a_{\max} = 0,2$								
Q_{ome}/Q_{\max}	0,135				0,095			
		0,175				0,125		
			0,185				0,145	
				0,195				0,155
$a/a_{\max} = 0,3$								
Q_{ome}/Q_{\max}	0,155				0,15			
		0,215				0,175		
			0,245				0,195	
				0,255				0,195
$a/a_{\max} = 0,4$								
Q_{ome}/Q_{\max}	0,225				0,165			
		0,265				0,195		
			0,285				0,215	
				0,295				0,235
$a/a_{\max} = 0,5$								
Q_{ome}/Q_{\max}	0,265				0,185			
		0,295				0,215		
			0,345				0,255	
				0,385				0,275
$a/a_{\max} = 0,6$								
Q_{ome}/Q_{\max}	0,265				0,195			
		0,425				0,215		
			0,455				0,265	
				0,495				0,285

Таблица 3.17 – Результаты исследований ВДКБТ-АП $Q_{ome}/Q_{\max}=f(Q/Q_{\max})$

Отводы	Левый	Правый
--------	-------	--------

Q/Q_{\max}	0,22	0,4	0,6	0,78	0,22	0,4	0,6	0,78
$a/a_{\max} = 0,2$								
$Q_{\text{отб}}/Q_{\max}$	0,135				0,095			
		0,175				0,125		
			0,185				0,145	
				0,195				0,155
$a/a_{\max} = 0,3$								
$Q_{\text{отб}}/Q_{\max}$	0,155				0,15			
		0,215				0,175		
			0,245				0,195	
				0,255				0,195
$a/a_{\max} = 0,4$								
$Q_{\text{отб}}/Q_{\max}$	0,225				0,165			
		0,265				0,195		
			0,285				0,215	
				0,295				0,235
$a/a_{\max} = 0,5$								
$Q_{\text{отб}}/Q_{\max}$	0,265				0,185			
		0,295				0,215		
			0,345				0,255	
				0,385				0,275
$a/a_{\max} = 0,6$								
$Q_{\text{отб}}/Q_{\max}$	0,265				0,195			
		0,425				0,215		
			0,455				0,265	
				0,495				0,285

В процессе исследований затворы изменяли свои открытия от $a=0,015$ м до $a=0,035$ м, что соответствовало относительным открытиям $a/a_{\max} = 0,2$ и $a/a_{\max} = 0,6$. При этом относительные расходы отводов изменялись $Q_{\text{отб}}=2,85 \div 12,55 \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствовало изменению $Q_{\text{отб}}/Q_{\max}$ от 0,135 до 0,58. На графиках (рисунки 3.29 и 3.30) показаны зависимости $Q_{\text{отб}}/Q_{\max} = Q/Q_{\max}$ при нескольких открытиях затворов – $a/a_{\max}=0,25; 0,35; 0,45$. Именно при этих значениях открытий отводимые расходы изменялись незначительно, не смотря на значительные изменения расходов воды в ЭГЛ. Проведенный эксперимент позволил прийти к заключению, что постоянство

отводимых расходов наступает при $Q/Q_{max} < 0,45$. При открытиях затворов $a/a_{max} < 0,45$ и $Q/Q_{max} > 0,45$ погрешность расхода отвода с меньшим водозабором составляет 3,6–6%, а погрешность расхода отвода с большим водозабором составляет 7,5 – 11,6%. Реализованные исследования подтверждают тот факт, что при небольших расходах отвода ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП являются стабилизаторами водоподдачи.

3.10.3 Реализация лабораторных исследований глубин и скоростей воды в районе влияния предложенных двухсторонних вододелителей

В гл.1 отмечались основные технологические приемы, положенные в основу вододеления бурных потоков. Это, прежде всего, деление потока по вертикали, и деление потока в горизонтальной плоскости (в плане). Наиболее оправданным на сегодня является способ вододеления по вертикали, поскольку при рациональном размещении по потоку отсекающих козырьков и пластинок, не создает сопротивления основному бурному потоку. Указанное способствует повышению надежности конструкции и безопасности ее эксплуатации. Оценить влияние предложенных вододелителей на состояние потока в транзитном и отводящих каналах возможно только по результатам проведения экспериментальных исследований. Для этого были реализованы модельные исследования глубин и скоростей воды в районе влияния предложенных двухсторонних вододелителей.

При выполнении эксперимента по ЭГЛ проходили расходы воды в пределах $4,45 \div 19,0$ л/с, и были выполнены замеры глубин в семи створах (рис. 3.31). I, II, III створы выбраны над входом в вододелительное устройство, остальные – в отводящих лотках на расстоянии 0,25 м и 0,65 м от продольной оси вододелителя.

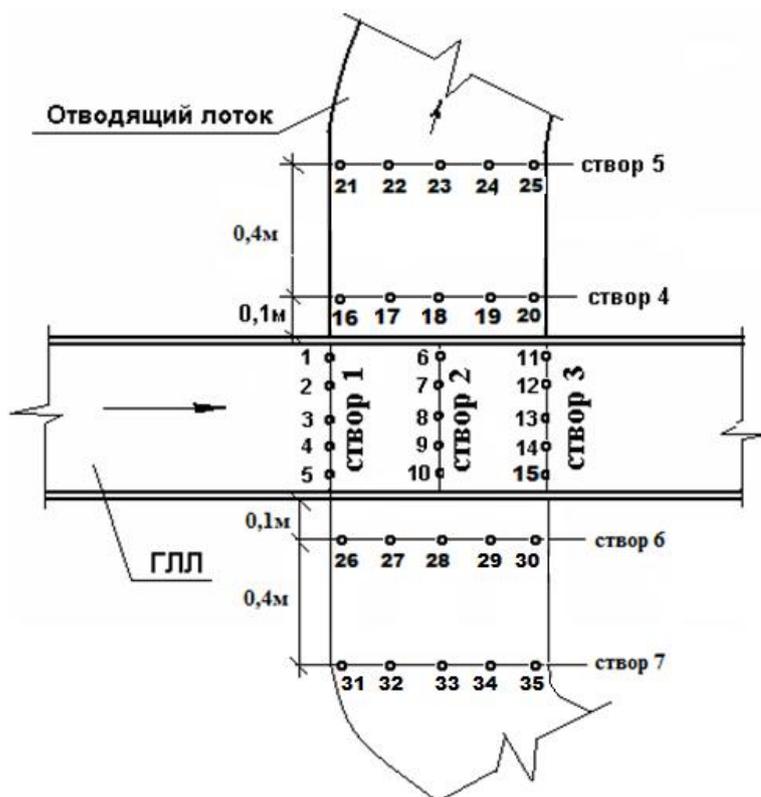


Рисунок 3.31 - Схема размещения измерительных створов на моделях двухсторонних вододелителей для замеров глубин скоростей потока

Замеры скоростей потока в ЭГЛ, а также в отводящих лотках, выполнялись микровертушкой марки Precision Measuring Instruments, серии P700, предназначенных для измерения скорости потока [124]. Итоги замеров скоростей и глубин на модели заносились в лабораторный журнал.

По результатам замеров глубин в ЭГЛ и отводящих каналах (левом и правом) на моделях ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП построены эпюры глубин, показанные на рисунках 3.32 и 3.33.

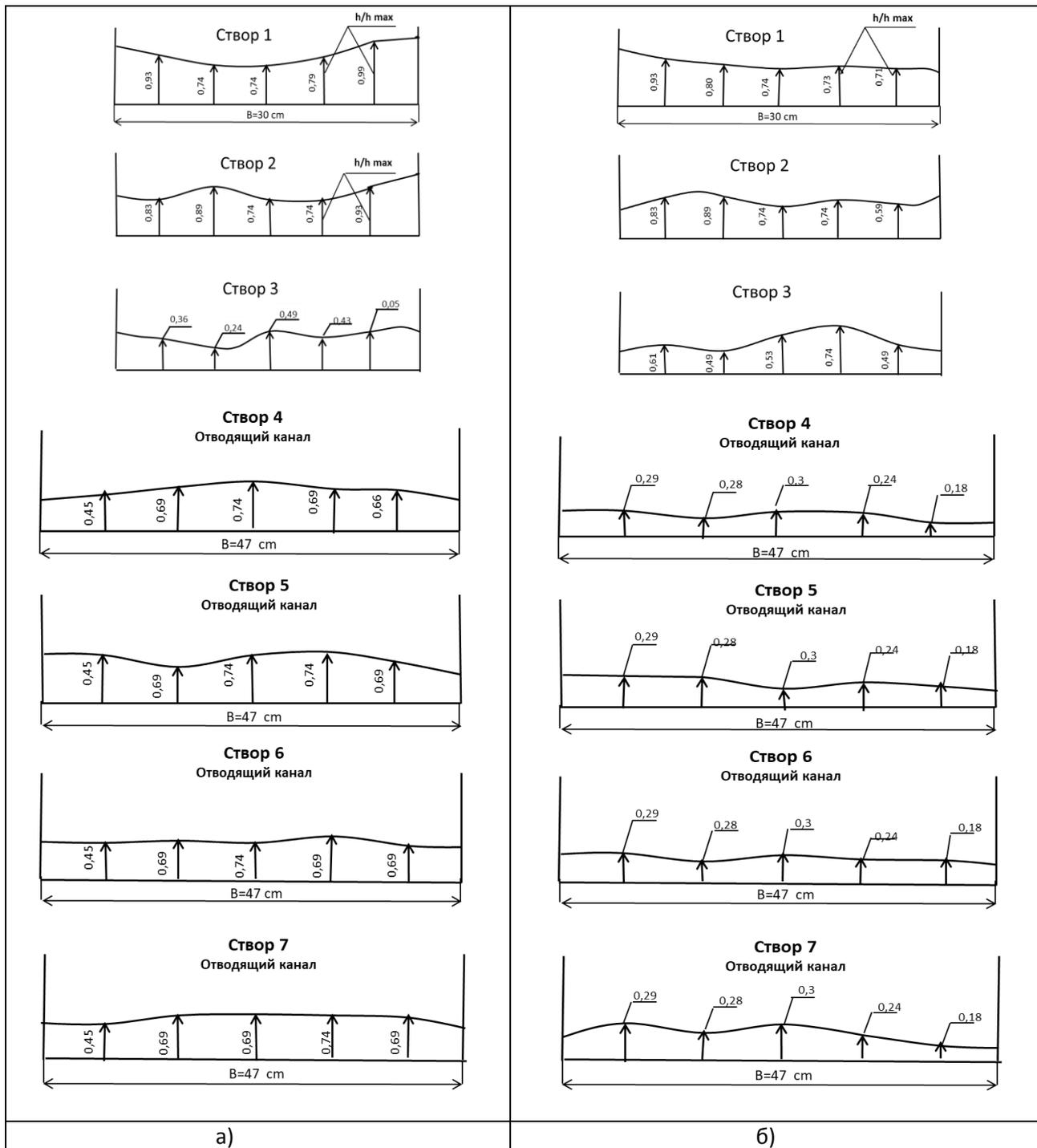


Рисунок 3.32 –Эпюры глубин потока в ЭГЛ над ВДКБТ-АР и в отводящих лотках: а) при $Q = 12,4 \text{ л/с}$ и $a = 0,052 \text{ м}$; б) при $Q = 10,4 \text{ л/с}$ и $a = 0,02 \text{ м}$

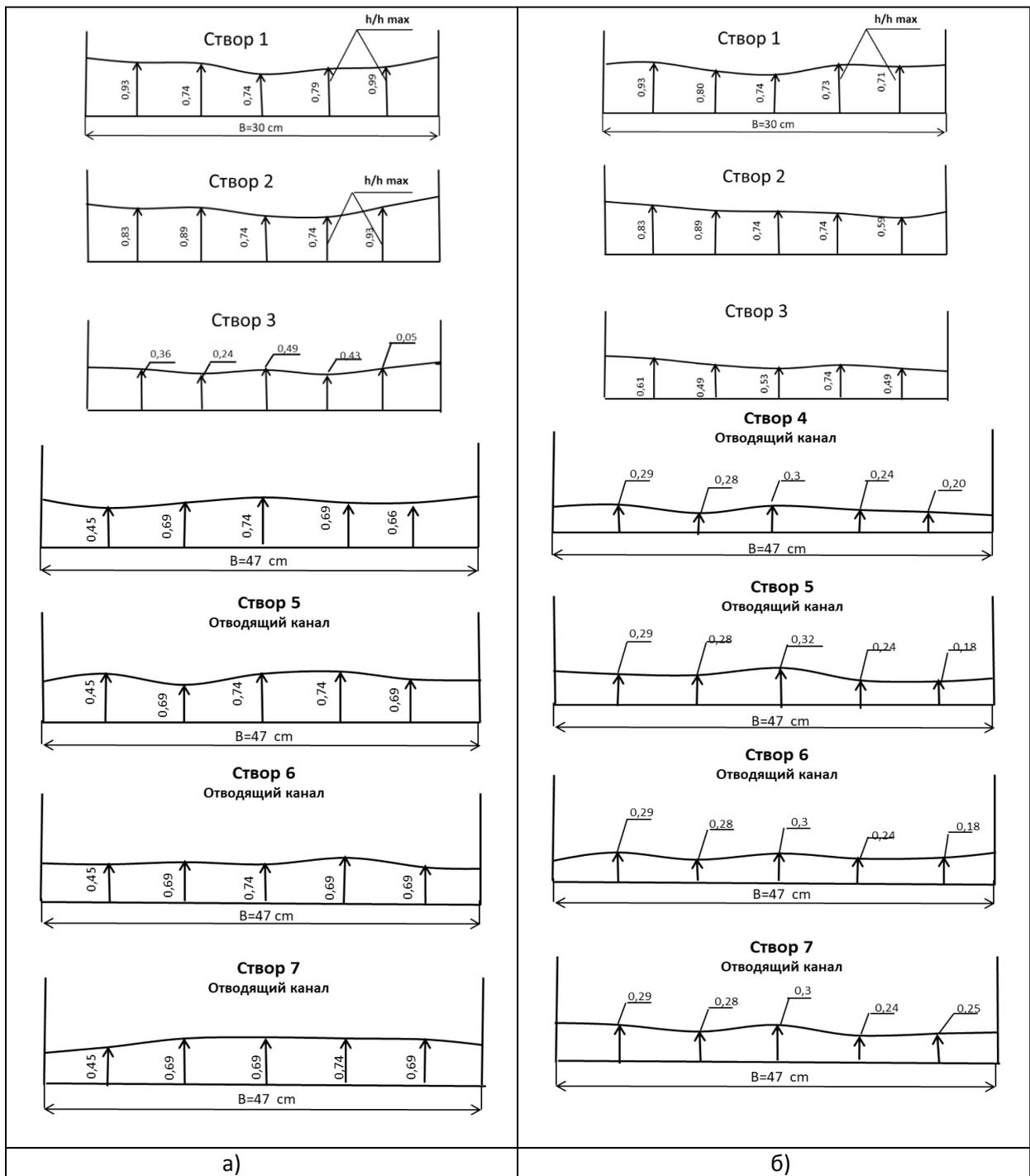


Рисунок 3.33 –Эпюры глубин потока в ЭГЛ над ВДКБТ-АП и в отводящих лотках: а) при $Q = 12,3$ л/с и $a = 0,05$ м; б) при $Q = 10,3$ л/с и $a = 0,025$ м

Результаты замеров скоростей на изучаемых моделях в ЭГЛ и отводящих лотках позволили прийти к заключению о достаточно равномерном распределении скоростей на выходе из каждого исследованного вододелителя.

Замеренные скорости потока в створах на модели вододелителей ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП и на заданных вертикалях (рисунок 3.31) приведены в таблицах 3.18 и 3.19. По данным таблиц 3.18 и 3.19 построены эпюры скоростей, показанные на рисунках 3.34 и 3.35.

Таблица 3.18 – Местные скорости потока на модели ВДКБТ-АР при расходе воды в ЭГЛQ=6,1л/с и открытиях $a_1=a_2=0,015$ м

№ ств.	№ вертикали	Скорости в точках вертикали $v_{пм}/с$	
		На глубине $h=0,2h$	На глубине $h=0,8h$
1	1	$v_1^{0,2h} = 1,18$	$v_1^{0,8h} = 1,2$
	2	$v_2^{0,2h} = 1,24$	$v_2^{0,8h} = 1,25$
	3	$v_3^{0,2h} = 1,15$	$v_3^{0,8h} = 1,17$
2	4	$v_4^{0,2h} = 1,15$	$v_4^{0,8h} = 1,18$
	5	$v_5^{0,2h} = 1,21$	$v_5^{0,8h} = 1,22$
	6	$v_6^{0,2h} = 1,11$	$v_6^{0,8h} = 1,13$
3	7	$v_7^{0,2h} = 1,13$	$v_7^{0,8h} = 1,15$
	8	$v_8^{0,2h} = 1,19$	$v_8^{0,8h} = 1,2$
	9	$v_9^{0,2h} = 1,1$	$v_9^{0,8h} = 1,11$
4	10	$v_{10}^{0,2h} = 1,058$	$v_{10}^{0,8h} = 0,06$
	11	$v_{11}^{0,2h} = 0,066$	$v_{11}^{0,8h} = 0,067$
	12	$v_{12}^{0,2h} = 0,068$	$v_{12}^{0,8h} = 0,067$
	13	$v_{13}^{0,2h} = 0,056$	$v_{13}^{0,8h} = 0,061$
	14	$v_{14}^{0,2h} = 0,06$	$v_{14}^{0,8h} = 0,063$
5	15	$v_{15}^{0,2h} = 0,05$	$v_{15}^{0,8h} = 0,055$
	16	$v_{16}^{0,2h} = 0,064$	$v_{16}^{0,8h} = 0,068$
	17	$v_{17}^{0,2h} = 0,066$	$v_{17}^{0,8h} = 0,065$
	18	$v_{18}^{0,2h} = 0,058$	$v_{18}^{0,8h} = 0,065$
	19	$v_{19}^{0,2h} = 0,057$	$v_{19}^{0,8h} = 0,058$
6	20	$v_{20}^{0,2h} = 0,051$	$v_{20}^{0,8h} = 0,054$
	21	$v_{21}^{0,2h} = 0,058$	$v_{21}^{0,8h} = 0,063$
	22	$v_{22}^{0,2h} = 0,06$	$v_{22}^{0,8h} = 0,065$
	23	$v_{23}^{0,2h} = 0,052$	$v_{23}^{0,8h} = 0,057$
	24	$v_{24}^{0,2h} = 0,053$	$v_{24}^{0,8h} = 0,055$
7	25	$v_{25}^{0,2h} = 0,05$	$v_{25}^{0,8h} = 0,054$
	26	$v_{26}^{0,2h} = 0,051$	$v_{26}^{0,8h} = 0,058$
	27	$v_{27}^{0,2h} = 0,056$	$v_{27}^{0,8h} = 0,061$
	28	$v_{28}^{0,2h} = 0,056$	$v_{28}^{0,8h} = 0,06$

	29	$v_{29}^{0,2h} = 0,054$	$v_{29}^{0,8h} = 0,056$
--	----	-------------------------	-------------------------

Таблица 3.19 – Местные скорости потока на модели ВДКБТ-АПпри расходе воды в ЭГЛQ=6,2л/с и открытиях $a_1=a_2=0,015$ м

№ ств.	№ вертикали	Скорости в точках вертикали v_{nm}/c	
		На глубине $h=0,2h$	На глубине $h=0,8h$
1	1	$v_1^{0,2h} = 1,17$	$v_1^{0,8h} = 1,22$
	2	$v_2^{0,2h} = 1,23$	$v_2^{0,8h} = 1,24$
	3	$v_3^{0,2h} = 1,15$	$v_3^{0,8h} = 1,16$
2	4	$v_4^{0,2h} = 1,14$	$v_4^{0,8h} = 1,17$
	5	$v_5^{0,2h} = 1,20$	$v_5^{0,8h} = 1,21$
	6	$v_6^{0,2h} = 1,1$	$v_6^{0,8h} = 1,12$
3	7	$v_7^{0,2h} = 1,12$	$v_7^{0,8h} = 1,14$
	8	$v_8^{0,2h} = 1,18$	$v_8^{0,8h} = 1,19$
	9	$v_9^{0,2h} = 1,11$	$v_9^{0,8h} = 1,10$
4	10	$v_{10}^{0,2h} = 1,057$	$v_{10}^{0,8h} = 0,062$
	11	$v_{11}^{0,2h} = 0,065$	$v_{11}^{0,8h} = 0,066$
	12	$v_{12}^{0,2h} = 0,067$	$v_{12}^{0,8h} = 0,066$
	13	$v_{13}^{0,2h} = 0,055$	$v_{13}^{0,8h} = 0,06$
	14	$v_{14}^{0,2h} = 0,06$	$v_{14}^{0,8h} = 0,062$
5	15	$v_{15}^{0,2h} = 0,049$	$v_{15}^{0,8h} = 0,054$
	16	$v_{16}^{0,2h} = 0,062$	$v_{16}^{0,8h} = 0,067$
	17	$v_{17}^{0,2h} = 0,063$	$v_{17}^{0,8h} = 0,064$
	18	$v_{18}^{0,2h} = 0,057$	$v_{18}^{0,8h} = 0,064$
	19	$v_{19}^{0,2h} = 0,056$	$v_{19}^{0,8h} = 0,057$
6	20	$v_{20}^{0,2h} = 0,05$	$v_{20}^{0,8h} = 0,053$
	21	$v_{21}^{0,2h} = 0,056$	$v_{21}^{0,8h} = 0,062$
	22	$v_{22}^{0,2h} = 0,058$	$v_{22}^{0,8h} = 0,063$
	23	$v_{23}^{0,2h} = 0,051$	$v_{23}^{0,8h} = 0,058$
	24	$v_{24}^{0,2h} = 0,05$	$v_{24}^{0,8h} = 0,054$
7	25	$v_{25}^{0,2h} = 0,046$	$v_{25}^{0,8h} = 0,051$
	26	$v_{26}^{0,2h} = 0,05$	$v_{26}^{0,8h} = 0,056$
	27	$v_{27}^{0,2h} = 0,052$	$v_{27}^{0,8h} = 0,06$
	28	$v_{28}^{0,2h} = 0,05$	$v_{28}^{0,8h} = 0,055$
	29	$v_{29}^{0,2h} = 0,48$	$v_{29}^{0,8h} = 0,054$

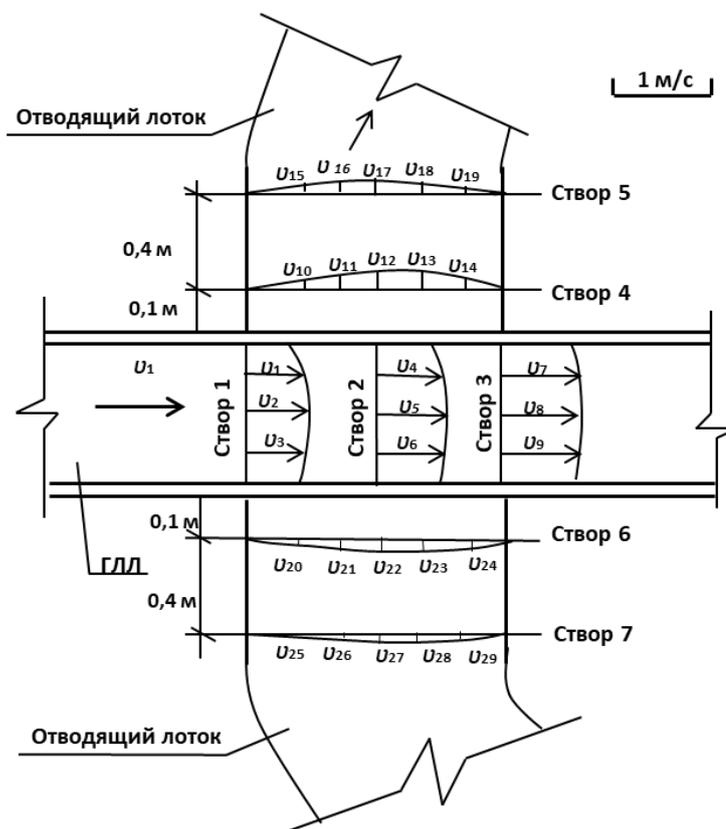


Рисунок 3.34 - Эпюры распределения местных скоростей потока на модели ВДКБТ-АР при расходе подводящего канала $Q=0,3Q_{\max}=6,1$ л/с и открытиях всех четырех затворов $a=0,35a_{\max}$.

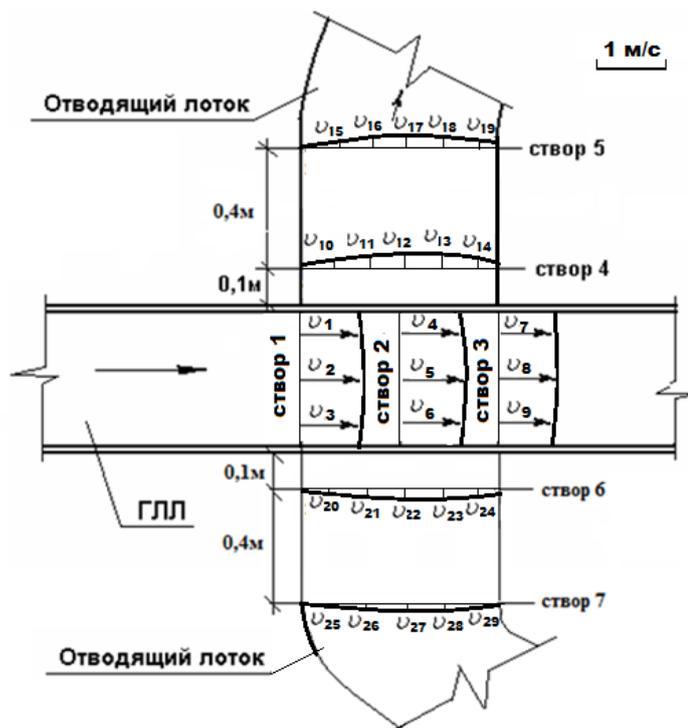


Рисунок 3.35 - Эпюры распределения местных скоростей потока на модели ВДКБТ-АП при расходе подводящего канала $Q=0,3Q_{max}=6,2$ л/с и открытиях всех четырех затворов $a=0,35a_{max}$.

Анализ скоростей потока на моделях в ЭГЛ и отводах подтвердил достаточную равномерность распределения скоростей в головных участках обеих отводов как на модели ВДКБТ-АР, так и на модели ВДКБТ-АП. На эпюрах (рисунки 3.34 и 3.35) показаны значения скоростей потока на трех вертикалях в ЭГЛ и пяти вертикалях в отводах при расходах воды в ЭГЛ $Q = 6,1$ л/с для ВДКБТ-АР и $Q = 6,2$ л/с для ВДКБТ-АП.

В качестве выводов следует отметить:

- коэффициенты расхода новых конструкций двухсторонних вододелителей составляют: ВДКБТ-АР - $\mu = 0,34-0,46$, при среднем значении $\mu_{cp} = 0,38$; ВДКБТ-АП - $\mu = 0,35-0,45$, при осредненном значении $\mu_{cp} = 0,38$;
- из-за симметричного расположения угла излома вертикальной перегородки, предназначенные для бурностремительных потоков модернизированные конструкции двусторонних вододелителей обладают несколько большей пропускной способностью (8,5..9,6 %), чем его прототип ВКБТ.
- Модернизированные конструкции вододелителей имеют стабилизирующие свойства при относительных открытиях затворов $a/a_{max} < 0,35$ расходах в канале-быстротоке $Q/Q_{max} > 0,45$;
- ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП обеспечивают равномерное (без косых волн) истечение в отводящие каналы, что особенно важно для обеспечения надежной работы конструкций.

3.11 Методики расчета вододелителей для каналов с бурным течением

3.11.1 Уточненная методика расчета ВКСТ при работе на стационарных бурных потоках

Расчет габаритных размеров донной траншеи ВКСТ при водораспределении бурного потока сведем в таблицу 3.20 [12]:

Таблица 3.20

Элементы ВКСТ	Расчетные зависимости	Примечание
Количество камер донной траншеи (n)	$Q_{отв} \leq 3,0$	Принимается одна камера
	$Q_{отв} \geq 3,0$	Принимается две камеры
Общая длина (по течению) вододелителя	$l_{пл} = \sum a_i + t + a_k$	a_i - ширина камер между перегородками по верху; t - толщина перегородки с учетом верхнего горизонтального козырька; a_k - ширина верхнего горизонтального козырька на задней стенке траншеи
Расход воды в одной камере	$\Delta Q_i = Q_{отв} / n,$	n – количество принятых секций вододелителя
Длина входного отверстия в первую секцию вододелителя при максимальном расходе водозабора	$a_1 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_1 \cdot \rho_1 \cdot b \sqrt{2g \cdot H_1}}$	μ_1, μ_2 – коэффициенты расхода ρ_1, ρ_2 – доля площади отверстий b – ширина вододелителя, равная ширине лотка
Длина входного отверстия во вторую секцию вододелителя при максимальном расходе водозабора	$a_2 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_2 \cdot \rho_2 \cdot b \sqrt{2g \cdot H_2}}$	
Коэффициент расхода вододелителя	$\mu = 0,0034Fr_{cp}^2 - 0,0805Fr_{cp} + 0,711$	Принимается по таблице 3.7

Параметр Фруда первой секции	$Fr_1 = \frac{\alpha \cdot v_a^2}{g \cdot h_1}$	h_1, h_2 - глубина воды в середине первой и второй секции вододелителя
Параметр Фруда второй секции	$Fr_2 = \frac{\alpha \cdot v_a^2}{g \cdot h_2}$	v_B -скорость подхода α -коэффициент Кориолиса
Действующий напор над первой и второй секцией ВКСТ	$H_1 = h_a + \frac{\alpha \cdot v_a^2}{2 \cdot g}$	v_B -скорость подхода α -коэффициент Кориолиса
	$H_2 = h_2 + \frac{\alpha \cdot v_a^2}{2 \cdot g}$	
Суммарная длина входных отверстий обеих секций	$\sum a_i = a_1 + a_2$	a_1, a_2 - длина входного отверстия в первую и во вторую секцию
Длина отсекающих горизонтальных козырьков, размещенных в концевой части камеры	$a_k = 0,2 \cdot a_2$	a_2 - длина входного отверстия во вторую секцию
Ширина Г-образных козырьков	$b_{г.к.} = 0,1 \div 0,12 \cdot l_1$	l_1 -длина камер траншеи
Расстояние от дна канала до Г-образного козырька	$h_{расп.г.к.} = 0,5 \cdot h_{мп}$	
Длина камер траншеи в низовой части	$l_1 = l_2 = \frac{\sum a_i + \sum a_k}{n}$	$\sum a_i$ - Суммарная длина входных отверстий обеих секций
Глубина донной траншеи	$h_{мп} = h_{кр.мп} + \Delta h$	$h_{кр.мп} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot \Delta Q^2}{g \cdot l_i^2}}$ Δh – строительный запас, $\Delta h = 0,15 \div 0,2$ м.

На основании проведенных исследований были дополнены разработанные Бейшекеевым К.К. рекомендации по расчету и проектированию ВКСТ.

3.11.2 Уточненная методика расчета двухстороннего вододелителя с асимметричной решеткой и асимметричной решетчатой плитой

Расчетная схема двухстороннего вододелителя с асимметричной решеткой (асимметричной решетчатой плитой) приведена в подразделе 3.10.

Основные этапы методики расчета ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП включают следующее:

1. Длина водоприемной траншеи $l_{пл}$ по направлению течения в старшем канале:

$$l_{пл} = \frac{Q_{омс}}{\mu \cdot b \sqrt{2g\bar{H}}}, \quad (3.7)$$

где μ – коэффициент расхода, $\mu = 0,0066Fr_{cp}^2 - 0,1607Fr_{cp} + 0,9435$;

b – ширина водоприемной траншеи, принимается равной ширине подводящего канала; \bar{H} – осредненный напор:

$$\bar{H} = \frac{H_H + H_K}{2}, \quad (3.8)$$

«где H_H – гидродинамический напор в начале решетки (решетчатой плиты); H_K – гидродинамический напор в конце решетки (решетчатой плиты)» [127].

2. Глубина водоприемной траншеи в начальной точке (по течению канала) определяется как:

$$h_k = \frac{Q_{омс}}{l_{пл} \cdot v_k} + \Delta h, \quad (3.9)$$

«где – v_k скорость движения воды в траншее, определяемый по формуле Шези при уклоне траншеи равным критическому; Δh – строительный запас, равный $\Delta h = 0,2 \div 0,4 м$ » [163]

3. «Ширина каждого горизонтального отсекающего козырька равна $a_k = 0,2a_i$ (a_i – величина ширины камеры)» [150].

4. Длина Г-образных козырьков L_k :

$$L_k = b_1 - \frac{Q_{отв}}{a \cdot v} \quad (3.10)$$

где a - открытие затворов; v - скорость потока на входе в секцию; b_1 - ширина отводящей траншеи, равной ширине отводящего канала.

5. «Расстояние от дна колодца до Г-образного козырька» по результатам исследований Т.А. Исабекова:

$$h^1 = \frac{a_{\max}}{2} + h_k, \quad (3.11)$$

где a_{\max} - наибольшее открытие затвора отвода с большим расходом.

6. Вершина угла излома ломаной разделительной перегородки размещается на продольной оси симметрии сооружения.

7. Углы излома разделительной перегородки β (рисунок 3.21) определяются по формуле Н.П. Лаврова и Т.А. Исабекова [126]:

$$\beta = \arctg \left[\frac{2l_{nl}}{b} \cdot \frac{1 - \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}}}{1 + \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}}} \right], \quad (3.12)$$

где $H_1; H_2$ - напоры над каждой из секций траншеи; l_{nl} - длина решетчатой части траншеи; b - ширина канала.

8. Расстояние между стержнями левой части ассиметричной решетки или ассиметричной решетчатой плиты:

$$s_1 = \frac{Q_1 d}{0,8 \mu L_{реш} v_{реш} \sqrt{2gh_{cp}} - Q_1}, \quad (3.13)$$

Где Q_1 - расход левого отвода; μ - коэффициент расхода решетки (решетчатой плиты), уточняется экспериментально; h_{cp} - средняя глубина на решетке, $h_{cp} = 0,4(h_1 + h_2)$, h_1 и h_2 - глубина переливающегося слоя воды в начале и в конце решетки; $L_{реш}$ - половина ширины быстротока.

9. Расстояние между стержнями правой части ассиметричной решетки или ассиметричной решетчатой плиты:

$$s_2 = \frac{Q_2 d}{0,8 \mu L_{\text{реш}} \epsilon_{\text{реш}} \sqrt{2gh_{\text{ср}}} - Q_2}, \quad (3.14)$$

где Q_2 – расход правого отвода вододелителя.

10. Ширина прутьев решетки (решетчатой плиты) с левой стороны вододелителя:

$$d_1 = \frac{(0,8 \mu L_{\text{реш}} \epsilon_{\text{реш}} \sqrt{2gh_{\text{ср}}} - Q_1) s}{Q_1}, \quad (3.15)$$

где s – левый зазор между пластинами решетчатой плиты,

11. Ширина прутьев решетки (решетчатой плиты) с правой стороны вододелителя:

$$d_2 = \frac{(0,8 \mu L_{\text{реш}} \epsilon_{\text{реш}} \sqrt{2gh_{\text{ср}}} - Q_2) s}{Q_2}. \quad (3.16)$$

Проведенные модельные исследования ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП и разработанные методики гидравлического расчета вододелителей позволили выработать рекомендации по расчету, по проектированию и по эксплуатации предложенных двухсторонних вододелителей, обеспечивающих гарантированное двухстороннее командование на каналах-быстротоках.

«При расчете рассматриваемого вододелителя с ассиметричной решеткой необходимо учесть, что пропорция вододеления между отводами изменяется путем разной ширины просвета между прутьями решетки над левой и правой перегородками» [129]. «Для определения необходимого зазора между прутьями или стальными полосами s_1 в левой и зазора s_2 в правой части решетки воспользуемся формулой Е.Е. Замарина» [43]:

$$Q_{\text{зал}} = K_{\text{зас}} \rho \mu L_{\text{реш}} \epsilon_{\text{реш}} \sqrt{2gh_{\text{ср}}}, \quad (3.17)$$

«где $K_{\text{зас}}$ – коэффициент засоренности решетки, для предварительных расчетов $K_{\text{зас}}=0,8$; ρ – коэффициент просветов решетки, $\rho = \frac{s}{s+d}$, s – зазор между стержнями решетки диаметром d ; μ – коэффициент расхода решетчатой плиты, определяется экспериментально» [121]; $h_{\text{ср}}$ – осредненная

глубина над решеткой, h_1 и h_2 – глубина потока в начале и в конце решетки;
 $L_{реш}$ – длина решетки. $h_{cp}=0,405(h_1+h_2)$

ГЛАВА 4

ПОВОРОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА КАНАЛАХ С БУРНЫМ РЕЖИМОМ ТЕЧЕНИЯ

4.1 Натурные исследования поворота бурного потока в открытом канале

4.1.1 Программа и методика натурных исследований поворотного сооружения на каналах-быстротоках

Натурные исследования поворотных участков каналов-быстротоков проводят как на построенных, так и на строящихся гидротехнических сооружениях. Так же как и лабораторные исследования, они заключаются в основном в изучении гидравлических, русловых и других условий работы сооружений.

Поток воды, движущийся на повороте канала, обладает отличительными особенностями по сравнению с прямолинейным потоком. К этим особенностям относятся [12]: а) наличие поперечного уклона поверхности потока; б) появление поперечных, радиальных и вертикальных составляющих скорости; в) перераспределение продольных скоростей по течению, обусловленных поперечными течениями. Влияние этих особенностей на характеристики потока в канале усиливаются в виду турбулентности потока на быстротечных каналах.

Для определения пропускной способности сооружения достаточно измерения: уровней и уклонов свободной поверхности, средних скоростей и основных размеров живого сечения. Но для обоснования методов измерения этих элементов необходимо исследовать взаимодействие приборов и среды и,

следовательно, необходимо учитывать, как внешнюю, так и внутреннюю структуру потока.

Методика натурных исследований зависит от намеченной цели и вида исследований. В нашем случае цель состояла в установлении структуры потока на поворотном участке канала-быстротока. Задачи, направленные на достижение цели, включали: анализ кинематической структуры потока (глубины, скоростей) для определения закономерностей распределения удельных расходов на выходе из поворотного сооружения; выявление характера изменения параметров бурного потока при разных гидравлических параметрах.

Наиболее достоверную информацию о распределении скоростей можно получить только путем непосредственного измерения скоростей. В настоящее время существует много методов измерения фактических скоростей потока с помощью различных приборов и устройств [Бейшекеев, Железняков, Филиппов, Филончиков и др.].

Поскольку замер местных скоростей потока на канале-быстротоке наиболее распространенным методом при помощи гидрометрической вертушки является проблематичным и небезопасным по причине высокой кинетичности потока, рекомендуется использовать поплавковый метод замера поверхностных скоростей потока или с помощью трубки Пито. При проведении научных исследований в натуральных условиях широко применяется поплавковый метод. Поверхностные поплавки изготавливаются в соответствии с рекомендациями [125]. Измерения необходимо выполнять в безветренную погоду. Замер глубин воды в быстротоке необходимо выполнять с помощью гидрометрической штанги, по методике, принятой в классической гидрометрии [124].

Для изучения во всем многообразии факторов эффективности различных конструкций гидротехнических сооружений для управления бурными потоками и разработки наиболее рациональных конструкций, исследования были запланированы в следующей последовательности:

1. Исследование некоторых известных типов и конструкций поворотных сооружений и участков, и условий их работы на современном этапе.

2. Разработка на основании первого этапа нового типа сооружений или модернизация известных конструкций, поисковые лабораторные исследования гидравлических характеристик потока с целью определения работоспособности как отдельных элементов ГТС, так и сооружений в целом.

3. Сравнение опытных данных с имеющимися или полученными теоретическими и эмпирическими зависимостями, в том числе:

а) изучение скоростной и кинематической структуры потока в зоне действия сооружений;

б) выборочные исследования эффективности отдельных сооружений по размывающей способности в нижнем бьефе;

в) комплексная оценка возможности применения исследуемых гидротехнических сооружений при различных условиях режима потока, выбор наиболее эффективной конструкции.

Указанное поэтапное проведение натурного эксперимента позволяет получить результаты исследований структуры бурного потока на быстротечном канале.

4.1.2. Результаты исследований поворотных сооружений на каналах в натуральных условиях

Для характеристики работы ирригационных быстротечных каналов Кыргызской Республики нами был проведен анализ и осуществлены натурные обследования оросительных систем предгорья Кыргызстана. Традиционно трасса канала-быстротока прокладывается исходя из условия обеспечения минимальной длины и соответствия естественному уклону местности с целью уменьшения объема земляных работ. По длине канал-

быстроток может иметь постоянный или переменный уклон. Поперечное сечение его проектируют преимущественно прямоугольным или трапецеидальным.

Большинство быстротечных каналов Кыргызстана построены в 1970-80 г.г. В качестве одного из объектов обследования был выбран канал-быстроток «Ташрабат-Шырыкты», расположенный в Ат-Башинском районе Нарынской области. Подвешенная под каналом площадь орошения составляет 1638 га.

Рассматриваемый канал «Ташрабат-Шырыкты» построен в 1986 году и имеет следующие параметры: форма сечения прямоугольная с шириной по дну $B=2$ м, протяженность $L=1,4$ км, пропускная способность $Q=5,0$ м³/с, максимальный уклон дна канала $i=0,026$.

Выбор данного канала для проведения его обследования продиктован следующими соображениями:

- канал компактен, имеет уклон дна больше критического и нуждается в реконструкции всех видов гидротехнических сооружений имеющихся на нем, включая одежду канала-быстротока;
- канал расположен в предгорной зоне, в связи с чем агроклиматические, геологические, гидрологические и технологические характеристики его местоположения являются наиболее типичными для Кыргызской Республики и стран, расположенных в зоне формирования стока Аральского моря;
- интенсивная водохозяйственная деятельность позволяют получить существенный экономический эффект, с последующим распространением опыта эксплуатации, отработанных решений и рекомендаций на другие регионы республики.

Водозабор в канал-быстроток «Ташрабат-Шырыкты» осуществляется из р. Шырыкты. Скорость воды в канале при пропуске форсированного расхода может достигать, согласно расчетам, величины 8,5 м/с и более, число Фруда колеблется в пределах 3,5-9,3. В настоящее время канал пропускает

только $2 \text{ м}^3/\text{с}$, т.е. менее половины проектного расхода. На некотором участке перед водораспределительным сооружением уменьшается уклон, что приводит к уменьшению скорости течения воды, вследствие чего резко увеличивается глубина потока в канале. Выплески воды за борта канала, а также гидродинамические нагрузки на стенки из-за появления гидравлических прыжков и переполнения канала привели к разрушению канала-быстротока (рис.4.1).

Ранее (в 1990-х годах) была попытка увеличить строительную высоту канала перед водораспределительным сооружением, за счет поднятия бортов, что привело еще к худшим результатам. Г-образные блоки начали еще более активно разрушаться, все более наклоняясь внутрь канала. В настоящее время борта канала поддерживаются упорами из бревен (рис.4.1б). Через деформированные блоки бортов канала происходит утечка воды.



а)



б)

Рис.4.1. Канал-быстроток «Ташрабат-Шырыкты» и водовыпускное сооружение на нем: а) надстроенные борта канала по высоте; б) укрепление бортов канала бревнами, и фильтрация воды за пределы канала

В настоящее время эксплуатация рассматриваемой оросительной системы осуществляется без оперативного планирования и управления.

Забор, распределение и подача воды осуществляются вручную. В связи с тем, что ближайшие населенные пункты находятся в пределах 20 км от головного и распределительных узлов системы, регулирование расходов воды происходит с большим запаздыванием во времени. Все это приводит к существенным потерям воды в процессе транспортирования, в том числе непроизводительных сбросов, к несоответствию водоподдачи потребностям хозяйств. Недостаточной является точность измерения и подачи воды в фермерские и крестьянские хозяйства.

Обследование показало, что участок поворота канала-быстротока на ПК-1+27 также находится не в лучшем состоянии. Глубина гидравлического прыжка на поворотном участке в 2-2,5 раза превышает нормальную глубину водного потока (рис. 4.2), что отрицательно влияет на форму свободной поверхности ниже по течению и уменьшает пропускную способность канала.



Рисунок 4.2 – Поворотный участок канала-быстротока «Ташрабат-Шырыкты»

Из данных таблицы 1 видно, что уже при расходе $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$ высота прыжка в створе 2 достигают 0,98 м при строительной глубине канала 1,2 м, что показывает о работе канала в предельном состоянии.

Таблица 4.1 – Гидравлические характеристики потока поворотного сооружения на пикете 1+27 канала «Ташрабат-Шырыкты»

Расход воды в створе	Номер створа	Значения осредненных по глубине скоростей потока и глубины на вертикалях, м/с			
		v_1	v_2	v_3	v_4
Q = 1,0 м ³ /с (Q/Q _{max} =0,2)	Ств.1	$v_1=3,05$; $h_1=0,22$	$v_2=3,10$; $h_1=0,21$	$v_3=3,1$ $h_1=0,23$	$v_4=3,0$ $h_1=0,23$
	Ств.2	$v_1=3,8$ $h_1=0,65$	$v_2=3,27$ $h_1=0,57$	$v_3=3,26$ $h_1=0,45$	$v_4=3,09$ $h_1=0,38$
	Ств.3	$v_1=3,68$ $h_1=0,5$	$v_2=3,6$ $h_1=0,4$	$v_3=3,72$ $h_1=0,3$	$v_4=3,36$ $h_1=0,25$
	Ств.4	$v_1=2,01$ $h_1=0,32$	$v_2=2,15$ $h_1=0,3$	$v_3=2,24$ $h_1=0,28$	$v_4=2,10$ $h_1=0,24$
Q = 1,5 м ³ /с (Q/Q _{max} =0,3)	Ств.1	$v_1=3,4$ $h_1=0,25$	$v_2=3,45$ $h_1=0,26$	$v_3=3,66$ $h_1=0,26$	$v_4=3,7$ $h_1=0,25$
	Ств.2	$v_1=3,42$ $h_1=0,71$	$v_2=3,46$ $h_1=0,62$	$v_3=3,37$ $h_1=0,58$	$v_4=3,26$ $h_1=0,52$
	Ств.3	$v_1=3,86$ $h_1=0,65$	$v_2=3,5$ $h_1=0,56$	$v_3=3,04$ $h_1=0,44$	$v_4=3,07$ $h_1=0,4$
	Ств.4	$v_1=3,23$ $h_1=0,45$	$v_2=3,64$ $h_1=0,35$	$v_3=3,63$ $h_1=0,33$	$v_4=3,38$ $h_1=0,33$
Q = 2,0 м ³ /с (Q/Q _{max} =0,4)	Ств.1	$v_1=3,62$ $h_1=0,31$	$v_2=3,91$ $h_1=0,34$	$v_3=3,86$ $h_1=0,32$	$v_4=3,61$ $h_1=0,36$
	Ств.2	$v_1=3,84$ $h_1=0,98$	$v_2=3,54$ $h_1=0,91$	$v_3=3,12$ $h_1=0,43$	$v_4=2,53$ $h_1=0,41$
	Ств.3	$v_1=3,16$ $h_1=0,96$	$v_2=3,54$ $h_1=0,86$	$v_3=3,11$ $h_1=0,45$	$v_4=2,89$ $h_1=0,4$
	Ств.4	$v_1=3,21$ $h_1=0,62$	$v_2=3,69$ $h_1=0,51$	$v_3=3,82$ $h_1=0,47$	$v_4=3,50$ $h_1=0,41$

Пункты замеров глубин и скоростей потока в канале «Ташрабат-Шырыкты» на поворотном участке показаны на схеме (рисунок 3).

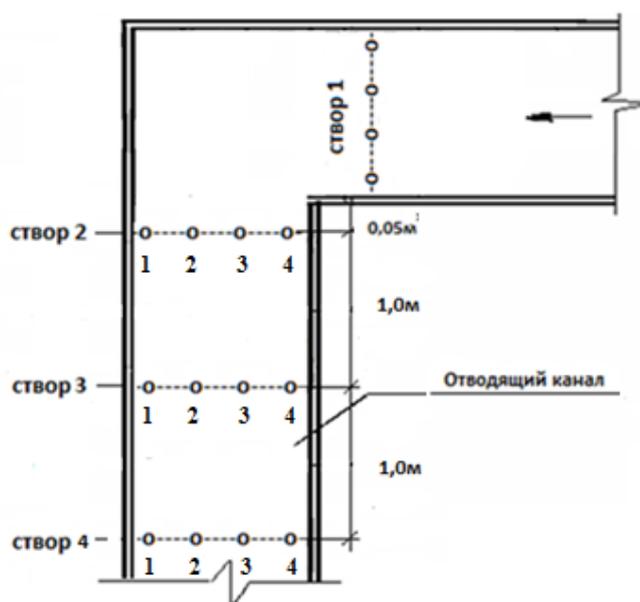


Рисунок 4.3– Номера створов на поворотном участке канала «Гашрабат-Шырыкты»

Проведенное натурное обследование каналов с бурным течением в горно-предгорной зоне, в т.ч. канала-быстротока «Гашрабат-Шырыкты», показало важность совершенствования существующих конструкций гидротехнических сооружений для повышения надежности и обеспечения требуемых технологических режимов работы каналов оросительных систем.

Натурные исследования были проведены также на канале «Жетиген» системы реки Иссык-Ата Кантского района Чуйской области. Канал построен из блоков Г-120 прямоугольного сечения с шириной от 1,65 м. Водоподача в канал осуществляется из Иссык-Атинского подпитывающего канала. Прямо за водовыпускным сооружением на пикете 0+5,5 трасса канала поворачивает на 90° по ломаной линии. На протяжении 700 м канал имеет прямолинейный участок без сооружений, на пикете 9+0,5 трасса поворачивается на 73° с радиусом закругления $R=146$ м. Далее канал имеет еще три поворотных участка с углами поворота 80° , 30° и 60° соответственно. Канал построен по наибольшему уклону местности, скорость течения достигает до 6 м/с, при относительно малом наполнении 0,20 м. Число Фруда, характеризующее бурность потока, не превышает 14,0. Расчетный расход канала $3 \text{ м}^3/\text{с}$, уклон канала изменяется 0,03 до 0,05. Из-за гидравлических прыжков

образующихся на поворотном сооружении и косых волн за сооружением (рис.4) максимальная пропускная способность канала «Жетиген» составляет $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$. Здесь также наблюдаются гидродинамические нагрузки из-за появления гидравлических прыжков, которые привели к полному разрушению стенки канала с вогнутой стороны длиной 27 м. По информации эксплуатационников данный участок приходится ремонтировать после каждой вегетации, который требует немало материальных затрат и рабочих сил. Характер протекания потока в отводящем русле за поворотом определялся вначале визуально, а затем путем измерения глубин потока.



а)



б)

Рисунок 4.4 – Поворотный участок канала-быстротока «Жетиген»
а) вид с верхнего бьефа, б) вид с нижнего бьефа

Для определения скорости течения перед сооружением и за ним, на зафиксированных створах и вертикалях были сняты скоростные характеристики поплавковым методом, одновременно были сняты максимальные и минимальные глубины на данных вертикалях (рисунок 5).



Рисунок 4.5 – Измерение глубин на поворотном участке канала «Жетиген»

Пункты замеров глубин и скоростей потока в канале «Жетиген» на поворотном участке показаны на схеме (рисунок 6).

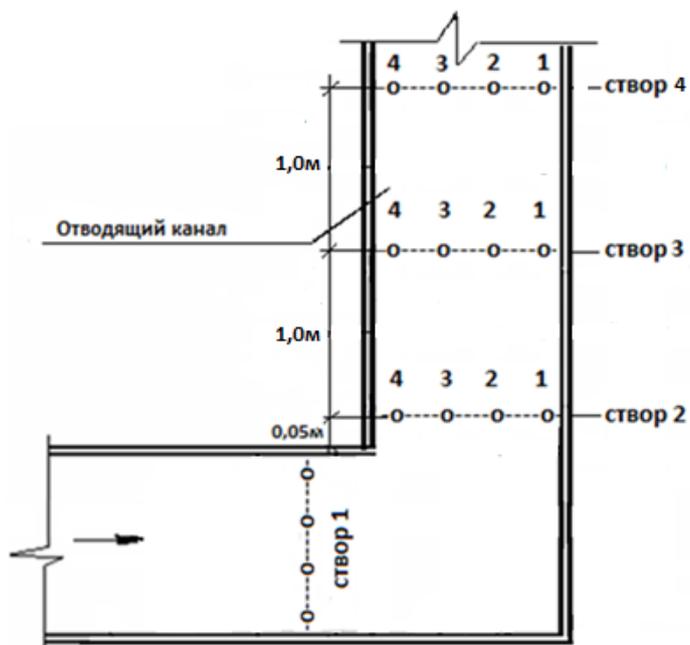


Рисунок 4.6 – Номера створов на поворотном участке канала «Жетиген»

Данные натурных исследований приведены в таблице 2, где наглядно видно, что уже при расходе $Q=1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ($Q/Q_{\text{max}}=0,5$) глубина в вогнутой

стороне канала достигает $h = 0,98$ м. Т.е при строительной глубине $h = 1,2$ м канал не может пропустить более $Q=1,5$ м³/с, не помогает даже небольшое увеличение строительной глубины (0,2 м). Это приводит к уменьшению обеспечиваемой орошаемой площади, что часто является причиной конфликтных ситуаций в АВП.

Таблица 4.2 – Гидравлические характеристики потока поворотного сооружения на пикете 0+5,5 канала «Жетиген»

Расход воды в створе	Номер створа	Значения осредненных по глубине скоростей потока и глубины на вертикалях, м/с			
		v_1	v_2	v_3	v_4
$Q = 0,5$ м ³ /с ($Q/Q_{\max}=0,17$)	Ств.1	$v_1=2,15$; $h_1=0,2$	$v_2=2,10$; $h_2=0,21$	$v_3=2,17$ $h_3=0,23$	$v_4=2,0$ $h_4=0,23$
	Ств.2	$v_1=2,8$ $h_1=0,45$	$v_2=2,67$ $h_2=0,4$	$v_3=1,96$ $h_3=0,25$	$v_4=1,89$ $h_4=0,18$
	Ств.3	$v_1=2,68$ $h_1=0,4$	$v_2=2,6$ $h_2=0,3$	$v_3=1,92$ $h_3=0,2$	$v_4=1,86$ $h_4=0,25$
	Ств.4	$v_1=2,01$ $h_1=0,32$	$v_2=2,15$ $h_2=0,3$	$v_3=2,24$ $h_3=0,2$	$v_4=2,10$ $h_4=0,23$
$Q = 1,0$ м ³ /с ($Q/Q_{\max}=0,33$)	Ств.1	$v_1=2,4$ $h_1=0,32$	$v_2=2,7$ $h_2=0,29$	$v_3=2,75$ $h_3=0,35$	$v_4=2,53$ $h_4=0,3$
	Ств.2	$v_1=2,9$ $h_1=0,68$	$v_2=2,46$ $h_2=0,63$	$v_3=2,38$ $h_3=0,35$	$v_4=2,16$ $h_4=0,32$
	Ств.3	$v_1=2,86$ $h_1=0,6$	$v_2=2,5$ $h_2=0,46$	$v_3=2,04$ $h_3=0,4$	$v_4=2,07$ $h_4=0,3$
	Ств.4	$v_1=2,33$ $h_1=0,42$	$v_2=2,86$ $h_2=0,32$	$v_3=2,83$ $h_3=0,35$	$v_4=2,38$ $h_4=0,33$
$Q = 1,5$ м ³ /с ($Q/Q_{\max}=0,5$)	Ств.1	$v_1=2,62$ $h_1=0,43$	$v_2=2,91$ $h_2=0,4$	$v_3=2,86$ $h_3=0,42$	$v_4=2,61$ $h_4=0,39$
	Ств.2	$v_1=2,84$ $h_1=0,97$	$v_2=2,54$ $h_2=0,91$	$v_3=2,12$ $h_3=0,4$	$v_4=1,53$ $h_4=0,42$
	Ств.3	$v_1=2,16$ $h_1=0,98$	$v_2=2,57$ $h_2=0,86$	$v_3=2,91$ $h_3=0,45$	$v_4=1,89$ $h_4=0,4$
	Ств.4	$v_1=2,41$ $h_1=0,56$	$v_2=2,69$ $h_2=0,5$	$v_3=2,82$ $h_3=0,46$	$v_4=2,50$ $h_4=0,4$

Пути дальнейшего совершенствования каналов с бурным течением и сооружений на них требуют проведения мероприятий, которые должны включать следующее:

- 1) подробный анализ технологических режимов водораспределения на оросительных системах, включающих каналы-быстротоки;

- 2) разработка, исследование и обоснование новых конструкций водораспределительных (водовыпускных) сооружений для каналов с бурным течением;
- 3) детальное исследование особенностей водоучета бурного потока на быстротечных каналах (в головной части и вдоль трассы канала), разработка и исследование усовершенствованных конструкций водомерных сооружений для каналов-быстротоков;
- 4) разработка и исследование улучшенных конструкций поворотных сооружений для каналов с бурным течением;
- 5) разработка рекомендаций по совершенствованию водопроводящих сооружений на каналах-быстротоках для улучшения их технологических параметров;
- 6) теоретическое обоснование процессов управления бурными потоками на каналах-быстротоках в горно-предгорной зоне, сравнительный анализ теоретических выводов с практическими результатами исследований.

Таким образом, проведенное обследование показало, что совершенствование конструкций водораспределительных и водомерных сооружений должно осуществляться с учетом требований к конструкциям водовыпусков, вододелителей и водомеров [114,126,127]. При проектировании поворотных участков быстротоков необходимо учитывать повышение нормальной глубины из-за косых прыжков. В случае, когда происходит резкое возрастание глубины у бортов быстротока необходимо предусматривать на поворотном участке специальные сооружения [128].

Реализация перечисленных выше мероприятий позволит в перспективе достичь требуемого качества водораспределения на оросительных системах в горно-предгорной зоне, повысить надежность сооружений на каналах-быстротоках, обеспечить экономию оросительной воды. Все это будет способствовать повышению эффективности использования орошаемых земель в Кыргызской Республике.

4.2 Совершенствование сооружений для изменения направления бурного потока в открытом канале

Учитывая важность разработки конструкций поворотных сооружений, «обеспечивающих поворот бурного потока на угол $\alpha=90^0$, нашей задачей было решить эту проблему в рамках данной работы. При ее разработке основной упор был сделан на совершенствование конструкций сооружения с предъявлением к ним требований описанных в разделе 1.5» [126].

Рассматриваемая ниже конструкция сооружения разработана исходя из принципов его конструирования.

«Самым простым и надежным принципом, который используется для поворота бурного потока является принцип, основанный на гашении кинетической энергии. Он предполагает строительство колодцев-гасителей, в которых целиком гасится кинетическая энергия, а из колодцев вода поступает в отводящий канал. Этот принцип часто используется для поворота потока в лотковых каналах» [126].

«Наиболее часто для поворота бурного потока в каналах с прямоугольным сечением используется принцип деления потока, изменения направления течения с последующим слиянием в начале отводящего канала. Такой принцип используется при компоновке водозаборных сооружений» [17] на горных реках, водовыпусков и распределителей из каналов с бурным режимом течения. Деление потока может осуществляться как в плане, так и по вертикали

При делении потока в плане наблюдается тенденция к устранению взаимного их влияния при протекании воды в пределах поворота [17]. Примером деления потока по вертикали служат многочисленные конструкции распределительных сооружений из каналов с бурным режимом течения, разработанные отечественными специалистами на базе траншейных сооружений [4, 10, 34 и др.]. Забор воды в донную траншею осуществляется

из нижних слоев потока, а верхняя часть продолжает течь далее по транзитному каналу, не претерпевая при этом серьезных изменений.

На поворотных сооружениях после разделения потока на части, последние могут направляться в отводящие каналы при помощи: поперечных галерей, струенаправляющих стен, «полки, установленной параллельно плоскости дна подводящего канала, которая разделяет поток по вертикали на две части. После прохождения участка поворота разделенные на части струи соединяются и снова образуют единый поток.

Данный принцип наиболее приемлем для поворота бурного потока и принят нами за основу при конструировании поворотных сооружений на каналах»[59] с бурным режимом течения.

Еще один важный принцип, который используется в современных конструкциях, заключается в сохранении в пределах поворотных сооружений таких характеристик потока, которые обеспечили бы максимальную пропускную способность. Например, при заборе воды из каналов с бурным режимом течения при помощи водовыпусков траншейного типа в его галереях образуется винтовое движение с горизонтальной осью вращения, что уменьшает пропускную способность сооружения. Для устранения этого винта, специалисты включали в состав водовыпусков полку, под влиянием которой исчезает винт и гасится кинетическая энергия потока [10,32,129,130]. Указанный принцип, повышает пропускную способность водовыпусков траншейного типа на 10-15 % [31,129,130].

Для совершенствования конструкций поворотных сооружений на каналах с бурным течением было предложено техническое решение, создающее необходимые условия для увеличения пропускной способности и исключения выплесков воды за борта канала при повороте бурного потока. При разработке новой конструкции были использованы результаты исследований ведущих ученых в области гидротехники [4,10,32].

Совершенствованию конструкции способствовали следующие технические приемы и решения, повышающие пропускную способность поворотных сооружений:

- устройство скоса в дне канала перед сооружением, в результате чего создаются условия для деления потока на части по вертикали при помощи полки, устанавливаемой параллельно плоскости дна подводящего канала;
- выполнение внешней вогнутой стенки сооружения в виде сектора;
- устройства (козырьки, крышки), устраняющие выплескивание воды через борта сооружений.

На основании описанных принципов разработаны новые поворотные сооружения для каналов с бурным течением.

Учитывая недостатки существующего поворотного сооружения [131], описанные в п.1.5., основными из которых являются ограниченность применения по пропускной способности, низкая надежность за счет создания лобового сопротивления подводящему потоку вертикальной стенкой с короткими козырьками, что приводит к выплескам воды за пределы сооружения, подмыву и разрушению канала в зоне влияния сооружения, а также на основании анализа таблицы 1 (п.1.5), для усовершенствования, было выбрано поворотное сооружение для каналов с бурным режимом течения, включающее подводящий и отводящий каналы, сопряженные наклонным участком, и криволинейную разделительную стенку с горизонтальной полкой, установленной в отводящем канале ниже уровня дна подводящего канала[132].

Недостатком данного устройства являются выплески воды через заднюю стенку отводящего канала при столкновении с ней бурного потока, а также неравномерность распределения потока по ширине отводящего канала при малых и средних расходах на выходе из поворотного сооружения, что приводит к выплескам воды за пределы сооружения, снижая его надежность.

В нашу задачу входило улучшение эксплуатационных характеристик поворотного сооружения путем увеличения области применения по пропускной способности, повышения надежности за счет уменьшения выплесков воды при повороте бурного потока.

Указанная задача решена в поворотном сооружении [142] за счет следующих конструктивных признаков. Во-первых, сооружение, включающее подводящий и отводящий каналы, сопряженные наклонным участком, включает также разделительную стенку, которая имеет ломаную в плане форму (рис.4.7). Во-вторых, прикрепленная к разделительной стенке горизонтальная полка выполнена в виде решетчатой плиты с продольными сквозными прорезями. В-третьих, за горизонтальной полкой к верхней части боковой стенки отводящего канала установлен трапециевидальный в плане горизонтальный козырек.

Предложенное «поворотное сооружение (ПСБТ-1) (рисунок 4.7) включает подводящий 1 и отводящий 2 каналы, сопряженные наклонным участком 3, разделительную стенку 4 ломаной в плане формы и горизонтальную полку 5, прикрепленную в верхней части разделительной стенки 4. Разделительная стенка 4 выполнена ломаной в плане и делит отводящий канал 2 на поворотном участке на два отсека – внешний отсек 6 и внутреннюю галерею 7. Горизонтальная полка 5 представляет собой решетчатую плиту 8 с продольными сквозными прорезями 9, в которые проходит бурный поток при повороте из подводящего 1 в отводящий 2 канал. В верхней части боковой стенки 10 отводящего канала 2 установлен горизонтальный козырек 11 трапециевидальный в плане формы, препятствующий выплескам воды за пределы отводящего канала 2» [142].

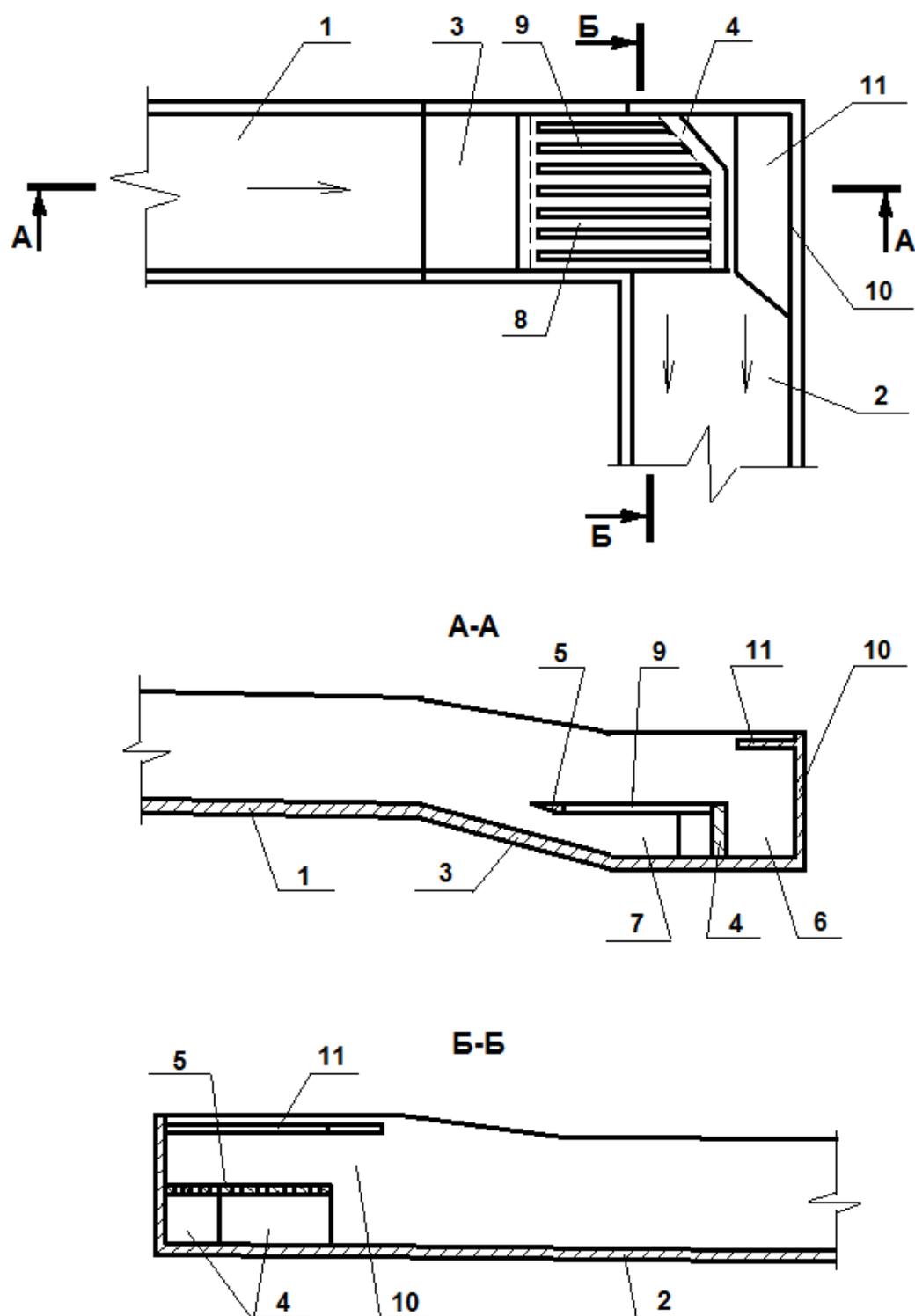


Рисунок 4.7 - Поворотное сооружение для каналов с бурным течением ПСБТ-1

Поворотное сооружение для каналов с бурным течением работает следующим образом.

Бурный поток, поступающий из подводящего канала 1 по наклонному участку 3 к разделительной стенке 4, делится горизонтальной полкой 5 на две части – верхнюю и нижнюю. Верхняя часть бурного потока попадает на горизонтальную полку 5, выполненную в виде решетчатой плиты 8 с продольными сквозными прорезями 9, частично истекает через отверстия прорезей 9 во внутреннюю галерею 7 отводящего канала 2, расположенную под полкой 5, и частично поступает, протекая по полке 5, во внешний отсек 6 отводящего канала 2. «Такое деление потока по вертикали способствует равномерному истечению его в отводящий канал 2: нижней части потока – из внутренней галереи 7, верхней части потока – из внешнего отсека 6» [142]. При соударении бурного потока, стекающего с горизонтальной полки 5 во внешний отсек 6, с боковой стенкой 10, горизонтальный козырек 11, прикрепленный к боковой стенке 10, не допускает перелива воды через борт сооружения, увеличивая тем самым пропускную способность поворотного сооружения.

Такое конструктивное исполнение поворотного сооружения для каналов с бурным течением позволяет повысить равномерность истечения через сооружение в отводящий канал, исключая тем самым сбойность отводящего потока, увеличить пропускную способность поворотного сооружения и повысить его надежность за счет не допущения подмывов и просадки грунта у стенок канала, приводящих к разрушению поворотного сооружения.

Для расширения функциональных возможностей отмеченных поворотных сооружений по пропускной способности, области применения, повышения надежности за счет уменьшения выплесков воды при повороте бурного потока предлагается еще одно поворотное сооружение для каналов с бурным режимом течения (ПСБТ-2) [143] (рисунок 4.8).

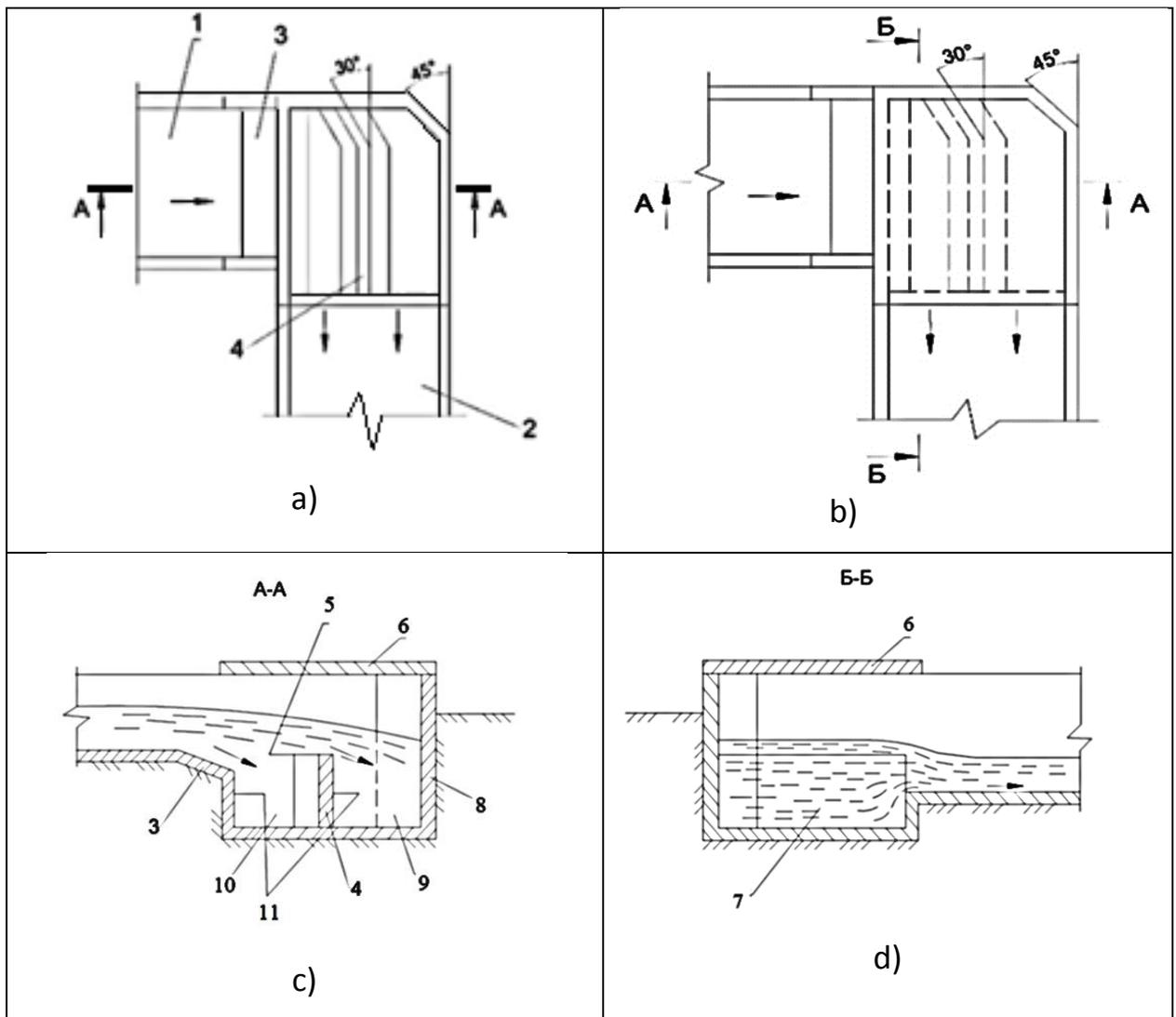


Рисунок 4.8 – Поворотное сооружение для каналов с бурным режимом течения ПСБТ-2

Предложенное поворотное сооружение для каналов с бурным течением, показанное на рисунке 4.8 и содержащее между подводящим и отводящим каналами камеру, дно которой расположено ниже дна подводящего канала, и сама камера разделена на галереи стенкой с козырьком в верхней части, направленным в сторону подводящего канала, при этом передние стенки галерей снабжены горизонтальными козырьками, закрепленными к средней части каждой из них, а дно подводящего канала перед камерой выполнено со скосом под острым углом к горизонту, причем разделительная стенка и задняя стенки отводящего канала на сооружении выполнены ломаными в плане из двух частей, причем одна из частей каждой

стенки параллельна оси отводящего канала, а вторая расположена в плане под углом 30^0 к разделительной стенке и под углом 45^0 к задней стенке отводящего канала. Дно камеры расположено ниже дна отводящего канала на глубину $H_{стр.кам.} = 1,3H_{отв.кан.}$, где $H_{стр.кам.}$ - строительная глубина камеры, $H_{отв.кан.}$ - строительная глубина отводящего канала. Верхняя часть камеры накрыта горизонтальной плитой, трапецеидальной в плане.

Выполнение разделительной стенки, состоящая из двух частей, причем одна из частей стенки параллельна оси отводящего канала, а вторая расположена в плане под углом 30^0 к разделительной стенке и 45^0 к задней стенке отводящего канала, позволяет исключить сбойность потока на выходе из сооружения и тем самым повысить его пропускную способность.

Расположение дна камеры ниже дна отводящего канала на глубину $H_{стр.кам.} = 1,3H_{отв.кан.}$ способствует улучшению гашения избыточной энергии бурного потока на повороте и повышает надежность работы сооружения. Наличие трапецеидальной плиты, выполненной трапецеидальной в плане, не допускает перелива воды за пределы сооружения, увеличивает его пропускную способность и повышает его надежность за счет исключения размывов грунта у стенок канала, приводящих к разрушению поворотного сооружения.

Поворотное сооружение для каналов с бурным течением работает следующим образом. Бурный поток, поступающий из подводящего канала 1 по наклонному участку 3, делится разделительной стенкой 4 и горизонтальным козырьком 5 на две части и далее разделенные потоки соединяются в отводящем канале 2. При поступлении воды из подводящего канала в галерею 10 и внешний отсек 9, поступательное движение, с которым движется поток, переходит в винтовое с горизонтальной осью вращения. Устроенные полки 11 во внутренней части галереи и разделительной стенке разрушают воздушный шнур, образованный винтовым движением, за счет чего отсеки камеры поворотного сооружения работают полным сечением.

Разделительная стенка 4 и боковая стенка 8 отводящего канала 2 выполняют функцию струенаправляющей системы, из-за ломаной в плане формы. Кроме того, разный угол расположения в плане разделительной стенки 4 и боковой стенки 8 отводящего канала позволяют перераспределить расход потока между галереей 10 и внешним отсеком 9, выравнивая в них величину удельного расхода, за счет чего достигается симметричность на выходе из поворотного сооружения в отводящий канал 2, что особенно важно при пропуске малых и средних расходов. При соударении бурного потока, с разделительной стенкой 4 и боковой стенкой 8 отводящего канала 2, горизонтальная плита 6, прикрепленная к боковой стенке 8, не допускает перелива воды через борт сооружения, увеличивая тем самым пропускную способность поворотного сооружения.

«Для разработки методики расчета данных конструкций поворотных сооружений необходимо провести гидравлические исследования физической модели с разработкой методики лабораторных исследований» [144].

4.3. Состав и методика экспериментальных исследований поворотных сооружений бурного потока

Испытание разработанных поворотных сооружений намечено осуществить на ранее описанной лабораторной установке (рис.3.15). «Обычно при моделировании гидротехнических сооружений модельной жидкостью является вода той же плотности и вязкости, что и в натурном потоке, кроме того, обычно ведутся в условиях одного и того же значения g ($g_n = g_m$), поэтому масштабные коэффициенты плотности, вязкости и ускорения свободного падения равны единице $g_m=1$, $\alpha_m=1$, $\alpha_g=1$. Но для достижения практически достаточной близости подобия натурного потока к модельному необходимо соблюдение следующих условий:

- 1) геометрическое подобие;
- 2) подобие начальных и граничных условий на модели;

3) равенство на модели и в натуре критериев динамического подобия, которые для проведения опытов должны быть выбраны в соответствии с основными силами, формирующими данный натуральный поток» [144].

Таким образом, геометрический масштаб моделирования рассчитывался исходя из условия соблюдения «автомодельности по Рейнольдсу. Автомодельность по критерию Рейнольдса выполняется, если числа Рейнольдса для натурального потока и на модели соответствуют зоне квадратичного сопротивления, т.е. $Re \geq Re_{гр}$, где $Re_{гр}$ — граничное значение числа Рейнольдса, соответствующее началу зоны квадратичного сопротивления»[144].

«Граничное значение числа Рейнольдса для натурального и модельного потока определяли по»[144] рекомендациям М.А. Михалева. Для натурального потока при скорости течения воды 2,86 м/с, глубине потока 0,18 м и высоте выступов шероховатости стенок бетонного канала $\Delta=0,0045$ м, величина коэффициента гидравлического трения составляет $\lambda_0 = 0,0095$. «Граничное значение числа Рейнольдса, соответствующее началу зоны квадратичного сопротивления $Re_{г} = 2,07 \cdot 10^4$, а число Рейнольдса для натурального потока $Re_{н} = 4,15 \cdot 10^5$, таким образом, натуральный поток соответствует зоне квадратичного сопротивления. Принимая на модели число Рейнольдса равным $Re_{г}$, нашли масштабный коэффициент числа Рейнольдса $Re_{н}/Re_{м} = Re/Re_{г} = 20$. Следовательно линейный масштабный коэффициент равен $k_l = 20^{2/3} = 7,37$. Поэтому линейный масштабный коэффициент был выбран $k_l = 5$. При выбранном масштабном коэффициенте скорость течения на модели равна $v_m = v_n / \sqrt{k_l} = 1,28$ м/с, а число Рейнольдса $Re_m = 3,84 \cdot 10^5$. При высоте выступов шероховатости на модели 0,1 мм граничное значение числа Рейнольдса составило $Re_{гм} = 1,9 \cdot 10^4$. Таким образом, поток на модели тоже соответствует зоне квадратичного сопротивления»[166], поскольку $Re_m = 3,84 \cdot 10^5 \geq Re_{гм} = 1,9 \cdot 10^4$.

Как было сказано выше, гидравлические исследования были выполнены с двумя моделями усовершенствованных поворотных сооружений, устроенные «поочередно в экспериментальном гидравлическом лотке (ЭГЛ) лаборатории Техноцентра КРСУ, который выполнен в виде закольцованной системы, включающей напорный успокоительный бак 1, лоток лабораторный 2 с установленной на нем моделью 3 поворотного сооружения, лоток отводящий 4, треугольные мерные водосливы 5, приемную емкость 6, которая соединяется системой трубопроводов 7 с успокоительным баком 1. Вода из приемной емкости 6 перекачивается в успокоительный бак насосным агрегатом 8 (см. рисунок 1)» [122].

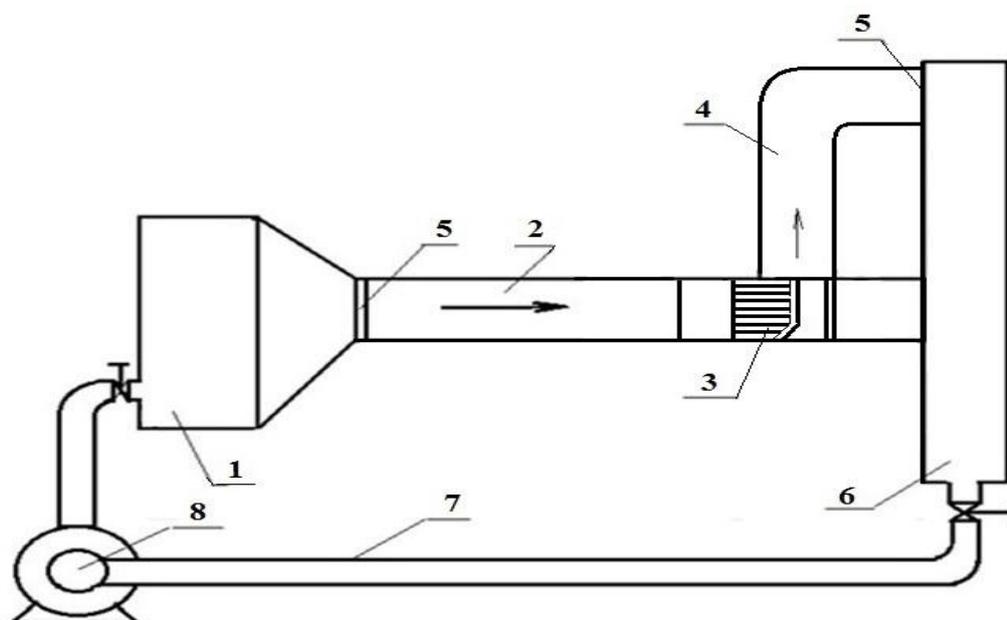


Рисунок 4.9 Схема ЭГЛ: 1 – стабилизирующий резервуар; 2 – экспериментальный лоток; 3 - модель поворотного сооружения; 4 – канал младшего порядка; 5 – водослив; 6 – приемный резервуар; 7 – трубопроводы; 8 – насос.

Экспериментальная установка прошла метрологическую аттестацию и имеет аттестационное свидетельство. Она оборудована устройствами, необходимыми для «измерения уровня и расхода воды, а также скорости течения воды. Расход воды на модели определялся мерными водосливами Томсона, перед каждым из которых установлен сотовый гаситель энергии

потока. Суммарная средняя квадратичная относительная погрешность измерения расхода 2,5 %, что соответствует Предельная относительная погрешность измерения расхода не превышала» [121] ± 5 %. Для измерения глубин воды на модели сооружения использовались шпигтенмасштабы с ценой деления мерной шкалы 0,1 мм, то есть точность отсчетов по ней составляла 0,1 мм. При замерах глубин шпигтенмасштабом относительная ошибка измерений составила 2,6-4,8% (в створах 2 и 3 отводящего лотка), и 2,3-3,6 % (в створах 4-6 отводящего лотка).

Скорости потока в лотке измерялись микровертушкой ГМЦМ – «Микро-1» с цифровой индикацией скорости. Относительная погрешность измерения скоростей микровертушкой составляла 2,0-3,4%, что соответствовало техническим характеристикам паспорта данного прибора.

ЭГЛ (см. рисунок 4.9) «имеет прямоугольное сечение. Его размеры на подводящем к модели участке ЭГЛ были неизменными и составляли: длина 3,5 м, ширина 0,3 м, высота боковых стенок 0,3 м, уклон дна равен 0,0216. Отводящий лоток модели имеет геометрические размеры и форму сечения такие же, как и подводящий лоток» [122].

На поворотном сооружении под действием ряда факторов в потоке могут возникать возмущения, изменяющие различные параметры течения (скорость, отметку свободной поверхности, давление и др.). В связи с этим, требованиями к качеству управления и регулирования процессами в бурных потоках могут служить условия отсутствия или сглаживания косых волн и прыжков на свободной поверхности, безотрывное обтекание дна и стенок сооружения, подача заданного расхода потребителям [13].

Для изучения эффективности разработанных конструкций поворотных сооружений исследования проводились в следующем порядке:

а) лабораторные исследования новых типов поворотных сооружений для бурного режима течения, исследование кинематических характеристик потока с целью определения работоспособности сооружения.

б) изучение распределения скоростей и кинематической структуры потока в зоне влияния сооружения при бурном характере потока.

в) комплексная оценка пропускной способности исследуемых сооружений в условиях бурного потока и подбор предельно эффективной конструкции.

4.4 Гидравлическое обоснование оптимальных параметров и компонок поворотных сооружений бурных потоков

«Чтобы обеспечить условия надежной работы как самой конструкции, управляющей движением бурного потока, так и последующих участков канала, нужно разработать такие рациональные и соответствующие геометрические формы искусственных русел, которые обеспечили бы движение бурного потока с наперед заданными его характеристиками (кинематическими, геометрическими и т.п.)» [15].

Рациональное и целесообразное проектирование компонентов сооружения позволит существенно сэкономить средства и повысить надежность конструкции. В условиях массового строительства внедрение удачной конструкции приведет к многократной суммарной экономии средств.

Гидравлическое обоснование рациональных параметров и компонок усовершенствованных поворотных сооружений [133,134] для крутых участков поворота ирригационных каналов-быстротоков с бурным течением, должно прежде всего основываться на соблюдении технологических требований к данному классу сооружений [52] основными из которых являются: изменение направления течения бурного потока без существенного уменьшения пропускной способности быстротока; осуществление поворота потока без образования сбойности далее по течению и выплесков через борт сооружения; обеспечение надежности работы сооружения независимо от величины пропускаемых расходов и переменного (степень бурности) характера течения на подводящем участке быстротока.

4.4.1 Гидравлическое обоснование рациональных параметров ПСБТ-1

Вышеописанные особенности бурных потоков (образование выплесков, косых волн и прыжков) приходится строго учитывать при компоновке и конструировании гидротехнических сооружений.

Расчет пропускной способности быстротечных каналов производится по известной формуле Шези:

$$Q = \omega c \sqrt{Ri} \quad (4.1)$$

По данной формуле также определяют скорость v_0 и h_0 на подходе к поворотному сооружению. Расход воды в отводе равен расходу подводящего канала $Q_0 = Q_k$. При заборе воды в донную галерею в подводящем канале образуется кривая спада, с минимальной глубиной потока h_1 на уступе сооружения (рис. 4.10). По своей величине h_1 меньше бытовой глубины h_0 при безнапорном режиме течения в галерее. Данная величина определена и известна и применительно к горному водозабору, и к поворотным сооружениям [10, 14, 34].

Для определения глубины воды на уступе сооружения h_1 используем формулу Гачечиладзе Г.А. [50].

$$h_1 = h_0 + \frac{g_0^2}{2g} - \left(\left(\frac{g_0^2}{2g} + h_0 \right)^{\frac{3}{2}} - \frac{3q}{2\sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (4.2)$$

q – погонный расход воды в подводящем канале.

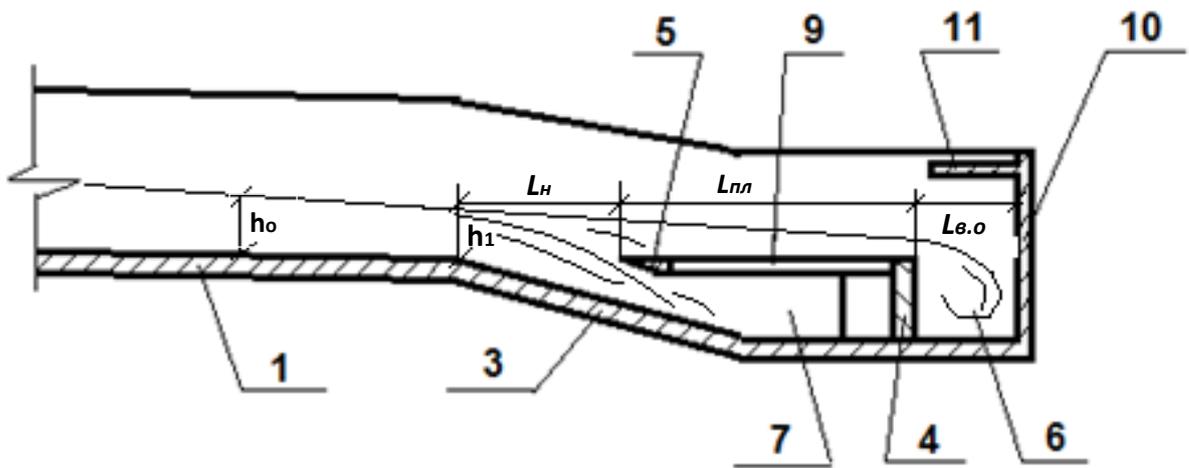


Рис. 4.10 Схема ПСБТ – 1 для расчета элементов поворотного сооружения.

Глубину колодца назначаем, исходя из условия затопления гидравлического прыжка на повороте.

В разделе 2.6.2 данной диссертации получено выражение для определения относительного приращения глубины потока за поворотом, при повороте трассы канала-быстротока на 90° :

$$\Delta h_{2-1}^{90^{\circ}} = \frac{\sqrt{1+8Fr_1}}{2} - 0,5. \quad (4.3)$$

Поскольку строительная высота канала назначается исходя из нормальной глубины потока, то при конструировании колодца мы должны учесть размеры возможного прыжка на повороте. Следовательно, предварительно глубина колодца из условия размещения этого прыжка, будет равна:

$$h_k = h_0 + \Delta h_{2-1}^{90^{\circ}} \quad (4.4)$$

«Полученную глубину следует проверить из условия пропуска всего расхода в отвод по формуле» [131]:

$$h_k = \frac{Q_p}{\ell_{nl} \cdot g_k} + \Delta h \quad (4.5)$$

Где Q_p – расчетный расход в подводящем канале, v_k – скорость течения воды в колодце, устанавливается по формуле Шези для уклона траншеи $i_{mp} = i_{kp}$;

Δh – запас, равный 0,2...0,4 м

Длину галереи назначаем из условий обеспечения равномерного распределения погонных расходов подводящего потока. Поэтому, величина расстояния l_n и размеры внутренней галереи 7 назначаются таким образом, чтобы через эти элементы захватить и повернуть примерно 2/3 расхода воды, а остальное – подать во внешний отсек 6, таким образом, весь расчетный расход делится поровну между каждым из этих элементов (рис.4.10). Тогда общая длина колодца может определяться по формуле:

$$l_{\text{кол}} = l_n + l_{\text{пл}} + l_{\text{в.о.}} \quad (4.6)$$

Где, l_n – расстояние от начала наклонного участка до начала горизонтальной плиты;

$l_{\text{пл}}$ – длина горизонтальной решетчатой плиты;

$l_{\text{в.о.}}$ – длина внешнего отсека

Величина расстояния l_n и размеры внутренней галереи.

Поток набегающий на разделительную стенку 4 разбивается на две части: на верхнюю часть, переваливающую через горизонтальную полку 5 и попадающая во внешний отсек 6 и нижнюю часть, направленную во внутреннюю галерею 7 (рис.4.10). Полка размещена на уровне дна подводящего канала и на расстоянии l_n от начала наклонного участка 3.

Для улучшения гидравлики потока при входе во внутреннюю галерею 7 и «направления потока в отвод, разделительная стенка 4 выполнена ломаной в плане формы под углом 45° , ломаная часть по длине составляет 1/3 часть длины разделительной стенки» [59].

Величина расстояния l_n и размеры внутренней галереи 7 назначаются таким образом, чтобы обеспечить захват из основного русла донного слоя одинаковой толщины по всей ширине основного русла.

Для решения поставленной задачи, необходимо учесть условия, в которых работает внутренняя галерея.

1) для равномерности захвата жидкости в галерею из основного русла необходимо, чтобы вертикальная составляющая скорости в щели, через которую жидкость входит в галерею, на всем протяжении щели была одинакова независимо от горизонтальной составляющей этой скорости вдоль галереи. Считаем, что поток в основном русле направлен перпендикулярно к направлению лотка.

2) вдоль по щели гидростатическое давление приблизительно одинаково по всей ее длине, если щель горизонтальна.

3) расход во внутреннюю галерею обусловлен напором свободной поверхности в основном русле.

4) при незатопленной галерее графически течение может быть представлено гидродинамической сеткой, состоящей из горизонтальных и вертикальных прямых линий, при этом вертикальные линии представляют линии тока, а горизонтальные прямые – линии равного потенциала.

Для выяснения толщины захвата жидкости щелью из основного русла будем рассматривать течение в основном русле как сложное, состоящее из течения поступательного вдоль по руслу и движения потока, направленного в щель. Так как предполагается, что захват равномерный, то задачу можно рассматривать как плоскую в плоскости, перпендикулярной к плоскости галереи и совпадающей с плоскостью поперечного сечения галереи и вертикалью. Если щель узкая, то в плоском сечении ее можно изобразить точкой в начале координат в области комплексного переменного $Z = X + iy$ [139]. В этой точке расположен сток. Направим оси координат в области как показано на рис.4.11. Чтобы получить картину течения, изображенную на рисунке 4.11 нужно поместить сток еще в точку $-2h_i$, а также в точку $2h_i$; $\pm 4h_i$... и т.д.

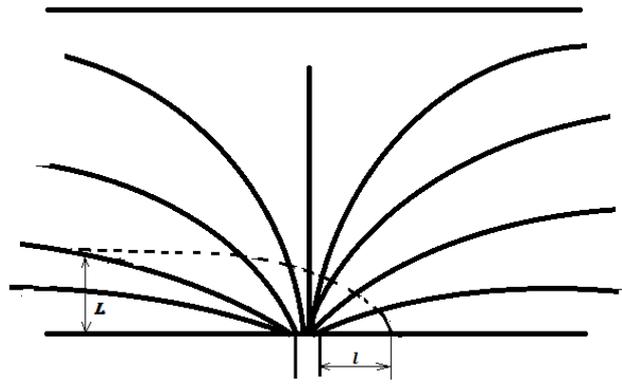


Рис.4.11 Кривая захвата щелью донной галереи жидкости из основного русла.

Накладывая еще поступательный поток ϑ_0 параллельно положительному направлению оси Ox , получим общий комплексный потенциал

$$\omega = \left(-\frac{q}{2\pi} \ln shz \right) + v_0 z \quad (4.7)$$

Где q – расход на единицу длины щели. При этом наибольшая абсцисса точек, куда заходит жидкость из стоков равна:

$$l = \frac{v}{2\pi} \ln \frac{v+1}{v-1} \quad (4.8)$$

а область, заполненная жидкостью из стока $Z=0$, ограничена кривою (пунктир на рис. 4.11)

$$cthx \cdot tgy = tg(vy) \quad (4.9)$$

Расстояние между ветвями, т.е. ширина захвата стремится к

$$L = \frac{q}{v+1} \quad (4.10)$$

Если переменить направления осей координат и считать, что движение происходит в области $-\frac{\pi}{2} < x < \frac{\pi}{2}$, а сток находится в точке $(0,0)$ мощности q при наличии $\vartheta_0 iz$

$$\omega(z) = iv_0 z + \frac{q}{2\pi} \ln \sin z \quad (4.11)$$

Если вместо щели в галерею поставим лоток шириною $2a$, то, поместив начало координат посередине ширины лотка, а через q обозначить расход через единицу длины лотка и единицу его ширины, функция течения представится в виде

$$\omega(z) = v_0 z + \frac{q}{2\pi} \int_{-a}^a \ln(z - \xi) d\xi = v_0 z + \frac{q}{2\pi} (z + a) \ln(z + a) - z(z - a) \ln(z - a) - 2a \quad (4.12)$$

Если распределение стоков вдоль лотка равномерное, а по ширине лотка неравномерное и является функцией от ζ , то функция течения получает вид:

$$\omega = v_0 z + \frac{1}{2\pi} \int_{-a}^a \ln(z - \xi) f(\xi) d\xi \quad (4.13)$$

Толщину захвата l определим из формулы:

$$l = \frac{q}{v_0} \quad (4.14)$$

Где l – толщина захвата, q – расход на единицу длины лотка, v_0 – скорость вдали выше от лотка по руслу.

Полученная толщина захвата l равно расстоянию от начала наклонного участка до начала горизонтальной плиты l_n .

$$l_n = l = q/v_0 \quad (4.15)$$

Длина горизонтальной плиты $l_{пл}$:

$$l_{пл} = \frac{Q_{в.г.}}{\mu \cdot b \sqrt{2g\bar{H}}}, \quad (4.16)$$

«где $Q_{в.г.} = 1/3 Q_p$, - расход внутренней галереи, μ – коэффициент расхода решетчатой плиты, b – ширина колодца (равна ширине подводящего канала по дну); \bar{H} – осредненный напор над решеткой»[52]:

$$\bar{H} = \frac{H_H + H_K}{2}, \quad (4.17)$$

где H_H – гидродинамический напор в начале плиты; H_K – гидродинамический напор в конце плиты.

Площадь сквозных прорезей в горизонтальной плите Q определяется по формулам К.И. Арсенишвили и Е.А.Замарина [29, 43]

$$Q_{nl} = \mu p b l_{nl} \sqrt{g(H'_H + H'_K)} \quad (4.18)$$

«где μ - коэффициент расхода решетчатой плиты, определяется экспериментально»[43];

$$p = \frac{\omega_{oms}}{\omega_{nl}} - \text{«доля площади отверстий по отношению к общей площади}$$

плиты, обусловленная прочностью плиты. Применяется в зависимости от материала плиты: для металла $P = 0,7 \div 0,8$, для железобетона $P = 0,5 \div 0,7$;

l_{nl} - длина плиты,

b - ширина решетчатой плиты, равная ширине подводящего канала»

[29];

H'_H и H'_K - «действующие напоры в начале и в конце плиты

соответственно, из условия пропуска через эти отверстия всей или части»[43] массы воды находящейся над плитой.

Горизонтальный козырек 11 оказывает существенное влияние на улучшение гидравлики потока в отводящем канале и увеличение пропускной способности донных галерей. Козырек имеет трапецеидальную в плане формы, малое основание которой назначаем конструктивно равной ширине подводящего канала b . Ширина козырьков с учетом рекомендаций К.К.Бейшекеева [14] назначается в пределах $(0,2-0,25)b_r$.

Длина внешнего отсека $l_{в.о.}$ после ряда лабораторных исследований была определена равной $0,3b$ [52], эти данные также подтверждаются рекомендациями в работах [4,9,14].

4.4.2 Гидравлическое обоснование рациональных параметров ПСБТ-2

Основная задача гидравлического расчета (ПСБТ-2) [143] заключается в установлении размеров водоприемной камеры и, в частности, ее длины, ширины и высоты. В принципе, такие задачи решались применительно к водоприемным камерам водозаборов с донной решеткой и водовыпусков из

каналов с бурным режимом течения. В конструктивном отношении водоприемные галереи поворотных сооружений почти не отличаются от таковых водозаборов из горных рек и водовыпусков из каналов с бурным режимом течения.

«Постоянство расхода воды, попадающего в каждую камеру донного колодца, обеспечивается за счет выполнения одной из частей разделительной стенки, в плане под углом 30^0 к разделительной стенке и 45^0 к задней стенке отводящего канала. Обоснование параметров разделительной стенки и камер донного колодца выполним на основе равенства удельных расходов истечения на выходе из обеих галерей в отводящий канал» [143] (рис.4.8). «Поскольку, действующий напор над 1-й камерой колодца H_n^1 будет большим, необходимо устраивать здесь меньшую площадь отверстия. По мере продвижения потока далее высота волны и, следовательно, напор будет уменьшаться и поэтому необходимо будет соответственно увеличивать площадь входа в камеры для пропуска той же доли расхода ΔQ , что и в начале» [143].

Таким образом, удельный расход q_1 , проходящий через первую галерею, должен быть равен удельному расходу истечения через вторую галерею q_2 , то есть $q_1 = q_2 = \frac{Q_{омв}}{2}$, где $Q_{омв}$ - расход отвода.

Величины удельных расходов истечения могут быть определены по известным формулам истечения из затопленных больших отверстий [107]:

$$q_1 = \mu_1 \omega_1 \sqrt{2gH_1}; \quad (4.19)$$

$$q_2 = \mu_2 \omega_2 \sqrt{2gH_2}, \quad (4.20)$$

где μ_1 и μ_2 - коэффициенты расхода отверстий первой и второй галерей, соответственно; ω_1 и ω_2 - площади отверстий первой и второй галерей, соответствующие площади решетки над этими камерами; H_1 и H_2 - напоры над центрами отверстий первой и второй галерей колодца.

На основании того, что величина параметра Фруда для первой и второй секций колодца $Fr_1 \approx Fr_2$, можно сделать допущение о том, что и коэффициенты расхода приблизительно равны $\mu_1 \approx \mu_2$.

В соответствии с расчетной схемой (рис.4.12) общая площадь истечения в камеру составит:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 = b_k \cdot l_k, \quad (4.21)$$

где b_k - ширина камеры; l_k - длина камеры.

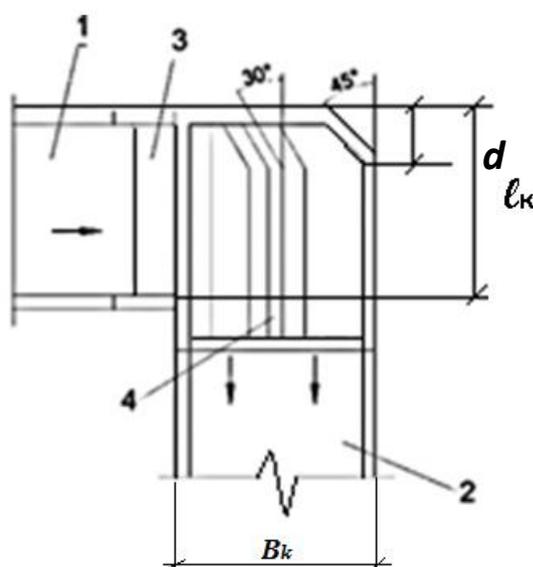


Рис. 4.12. Расчетная схема ПСБТ-2

Для определения длины излома разделительной стенки 4 и задней стенки отводящего канала (рис.4.12) принимаем, что ширина камеры b_k равно длине камеры l_k , $b_k = l_k$ так как истечение в камеру происходит только на этой площади отверстия $\omega = b_k \cdot l_k = b_k^2$

Для обеспечения равномерного истечения в отводящий канал необходимо соблюдение условия $q_1 = q_2$ или

$$\mu_1 \omega_1 \sqrt{2gH_1} = \mu_2 \omega_2 \sqrt{2gH_2}. \quad (4.22)$$

С учетом сделанных допущений перепишем уравнение (4.22) в следующем виде:

$$\omega_1 \sqrt{H_1} = \omega_2 \sqrt{H_2} \quad \text{или} \quad \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}}. \quad (4.23)$$

Подставим в выражение (4.23) зависимости для определения площадей секций колодца ω_1 и ω_2 :

$$\omega_1 = \frac{b_k^2}{2} - \frac{d^2 \operatorname{tg} 30^\circ}{2}; \quad (4.24)$$

$$\omega_2 = \frac{b_k^2}{2} - \frac{d^2 \operatorname{tg} 45^\circ}{2}; \quad (4.25)$$

d – длина до излома

Решая совместно уравнения (4.23), (4.24) и (4.25) получим:

$$\frac{\frac{b_k^2}{2} - \frac{d^2 \operatorname{tg} 30^\circ}{2}}{\frac{b_k^2}{2} - \frac{d^2 \operatorname{tg} 45^\circ}{2}} = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} \quad (4.26)$$

где H_1 - напор в начале колодца, H_2 – напор в конце колодца.

Определим зависимость длину излома d от величины $\sqrt{\frac{H_2}{H_1}}$:

$$\begin{aligned} \frac{b_k^2 - d^2 \operatorname{tg} 30^\circ}{b_k^2 - d^2 \operatorname{tg} 45^\circ} &= \sqrt{\frac{H_2}{H_1}} \\ \sqrt{H_1} (b_k^2 - d^2 \operatorname{tg} 30^\circ) &= \sqrt{H_2} (b_k^2 - d^2 \operatorname{tg} 45^\circ) \\ \sqrt{H_1} b_k^2 - \sqrt{H_1} d^2 \operatorname{tg} 30^\circ &= \sqrt{H_2} b_k^2 - \sqrt{H_2} d^2 \operatorname{tg} 45^\circ \\ \sqrt{H_1} b_k^2 - \sqrt{H_2} b_k^2 &= d^2 (\sqrt{H_1} \operatorname{tg} 30^\circ - \sqrt{H_2} \operatorname{tg} 45^\circ) \\ d^2 &= \frac{\sqrt{H_1} b_k^2 - \sqrt{H_2} b_k^2}{\sqrt{H_1} \operatorname{tg} 30^\circ - \sqrt{H_2} \operatorname{tg} 45^\circ} \\ d &= \sqrt{\frac{\sqrt{H_1} b_k^2 - \sqrt{H_2} b_k^2}{\sqrt{H_1} \operatorname{tg} 30^\circ - \sqrt{H_2} \operatorname{tg} 45^\circ}} \quad (4.27) \end{aligned}$$

Определение длины излома для конкретного канала приведена ниже в пункте 4.7.

Наклонный участок 3 (рис.4.8,в) в дне канала перед поворотным сооружением осуществляет сопряжение подводящего канала с дном галереи

10. Скос в дне канала перед поворотным сооружением ПСБТ-2 отличается от скоса перед сооружением ПСБТ-1 тем, что скос делается более коротким, чем создается благоприятное условие для входа в сооружение. Величина угла скоса принимается таким, чтобы поток прижимался к плоскости скоса и обеспечивал условия для пропуска расчетных расходов.

При назначении угла скоса целесообразно руководствоваться рекомендациями Акимжанова А.А., направленными на нахождение их оптимальных значений. Его исследованиями, проведенные применительно к водовыпускам из каналов с бурным течением, была получена следующая формула [140]:

$$\varphi = \operatorname{arctg} K \left(\frac{2}{2 + Fr_0} \right)^{0.4} \quad (4.28)$$

Fr_0 – число Фруда, в подводящем канале;

K – коэффициент, равный 0,7...0,8.

Приведенной формулой можно определить оптимальную величину угла скоса, при которой обеспечивается устойчивый режим потока у входа во внутреннюю галерею поворотного сооружения.

Размеры полки 11 назначаются из условий устранения винтового движения потока в галерее, уменьшающего ее пропускную способность. Оптимальная ширина полки, по исследованиям Бейшекеева К.К.[14], из условий пропуска максимального расхода воды через галерею $b_{\text{п}}/b_{\text{г}} = 0,12 - 0,24$, поэтому ширину полки принимаем равной $b_{\text{п}} = 0,2b_{\text{г}}$. Сама полка, в соответствии с рекомендациями М.К.Акрамова [155], устанавливается на уровне $\frac{1}{2} = h_{\text{г}}$, где $h_{\text{г}}$ – высота галереи.

4.5 Модельные исследования новых поворотных сооружений бурных потоков

4.5.1 Модельные исследования поворотного сооружения для нестационарного сверхбурного потока

В результате анализа существующих поворотных сооружений для горно-предгорной зоны Средней Азии и особенно для условий Кыргызстана в Кыргызской аграрной академии было разработано поворотное сооружение, предназначенное для резкого поворота нестационарного сверхбурного потока [144]. Данный тип конструкции рекомендуется для углов поворота трассы, равных 90° при уклоне дна более 0,02. Основные лабораторные эксперименты по испытанию данного сооружения были выполнены для условий сверхбурного режима и недостаточно апробировано в «условиях бурного потока. В связи с тем, что большинство каналов со сверхбурным течением потока работают в двойном режиме (сверхбурный-бурный) возникает необходимость проверки данного поворотного сооружения для условий бурного потока. Поэтому было решено провести испытания данной конструкции с целью определения кинематических характеристик в зоне влияния» [57] поворотного сооружения в условиях бурного потока, как наиболее близкое по технической сущности к разработанному поворотному сооружению.

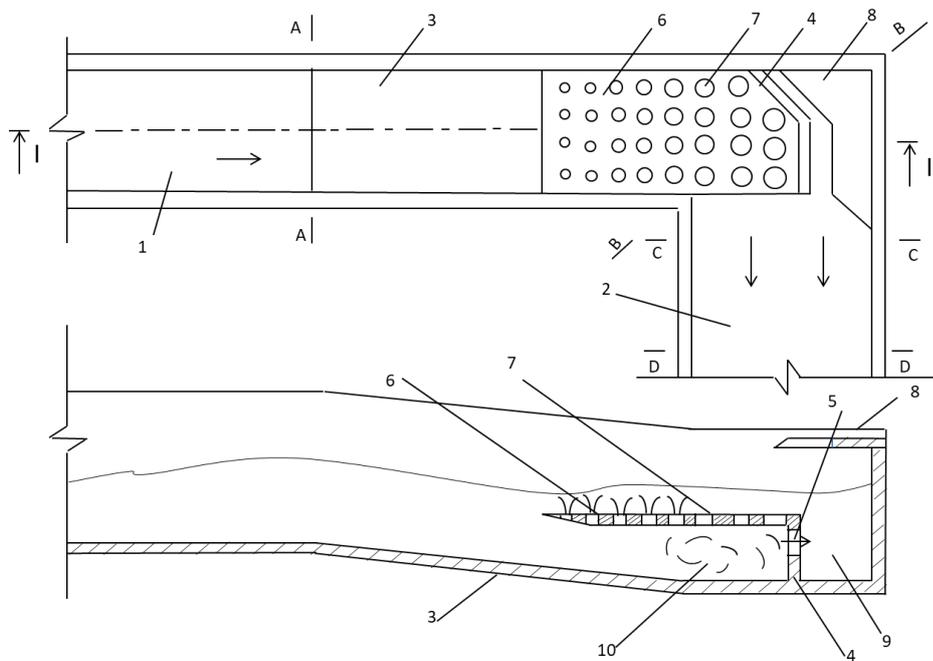


Рис. 4.13 Поворотное сооружение для каналов с высокоскоростным волновым течением конструкции Кыргызской аграрной академии

Модельные исследования кинематической структуры в зоне действия данного сооружения выполнялись в лаборатории ГТСиВР КРСУ в соответствии с методикой описанной в пункте (4.3) при 4-х расходах модели $Q = 2,51; 4,97; 7,5$ и $9,7$ л/с и уклоне дна прямоугольного лотка $i = 0,02$. Модель поворотного сооружения была изготовлена в привязке к ширине вставного лотка, имеющего ширину $b = 0,3$ м.

Регистрация колебаний уровня свободной поверхности проводилась шпиген-масштабом по известным методикам, в двух створах до поворотного сооружения и трех створах за ним.

В процессе испытания сооружения изучалось следующее: форма свободной поверхности потока в подводящем и отводящем каналах, а также в пределах самого сооружения, изменение скоростей течения по длине водотока и их пульсаций. Характерные формы свободной поверхности потока на поворотном участке представлены в виде безразмерных продольных профилей $\frac{h}{h_{кр}} = f\left(\frac{l}{b}\right)$ пропускаемого расхода (рис.4.14). Здесь h –

измеренная глубина на вертикалях, располагаемых у правого и левого борта и на оси поворота, $h_{кр}$ - критическая глубина, для прямоугольного сечения.

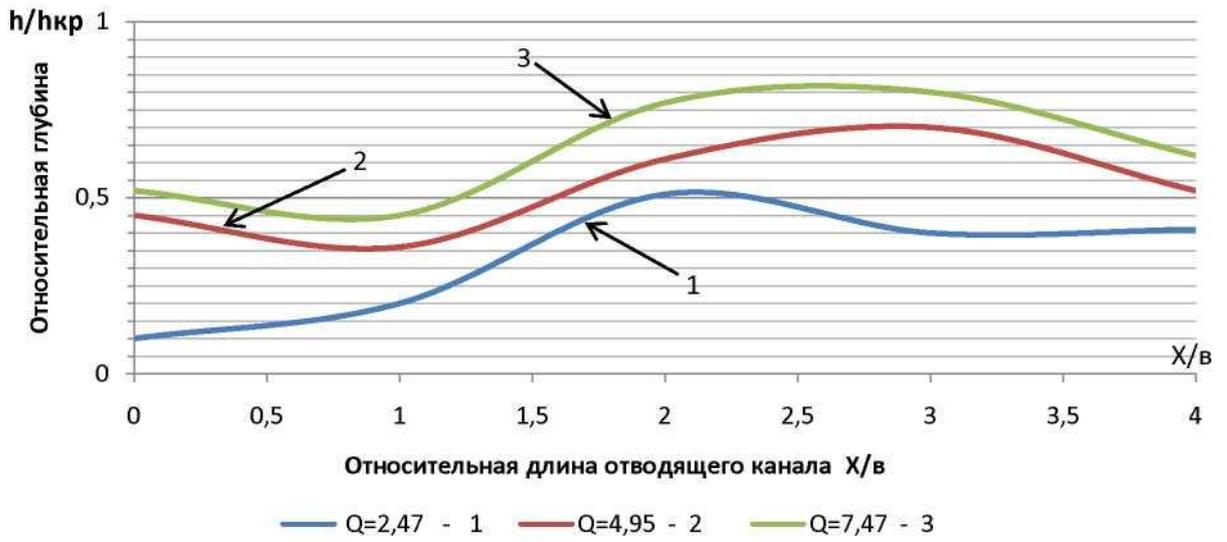
$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} \quad (4.29)$$

X – расстояние от начального створа до створа измерений глубины, b – ширина поворотного участка, равная ширине канала-быстротока. Данные измерений свидетельствуют о том, что на входе и выходе из поворотного сооружения при расходах до $0,8 Q_{max}$ глубина потока не превышала $h_{кр}$, тогда как у правого (вогнутого) борта и по оси сооружения она достигала для максимального расхода величины $1,6h_{кр}$, что было соразмерно с высотой стенки. У левого (выпуклого) борта растекание потока было более плавным и максимальная ордината свободной поверхности не выходила за пределы $0,9h_{кр}$. Вход в поворотное сооружение (створ 1) осуществляется без прыжковых явлений.

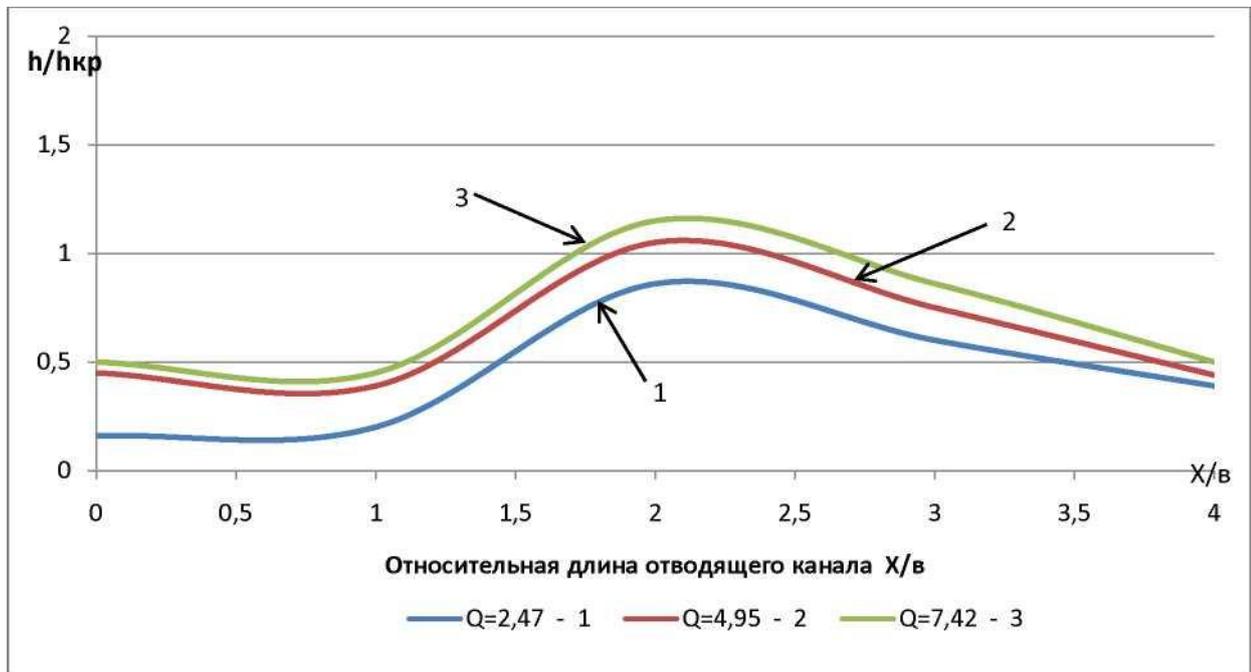
При выходе в отводящий канал части потока, разделенные перфорированной полкой и разделительной стенкой, сливаются и соединение сопровождается небольшим сбойным течением по оси канала.

Из профилей видно, что при пропуске расходов $0,8Q_{max}$ и Q_{max} сооружение работает на пределе пропускной способности, но перелива вблизи излома внешней стенки через борт канала не замечается.

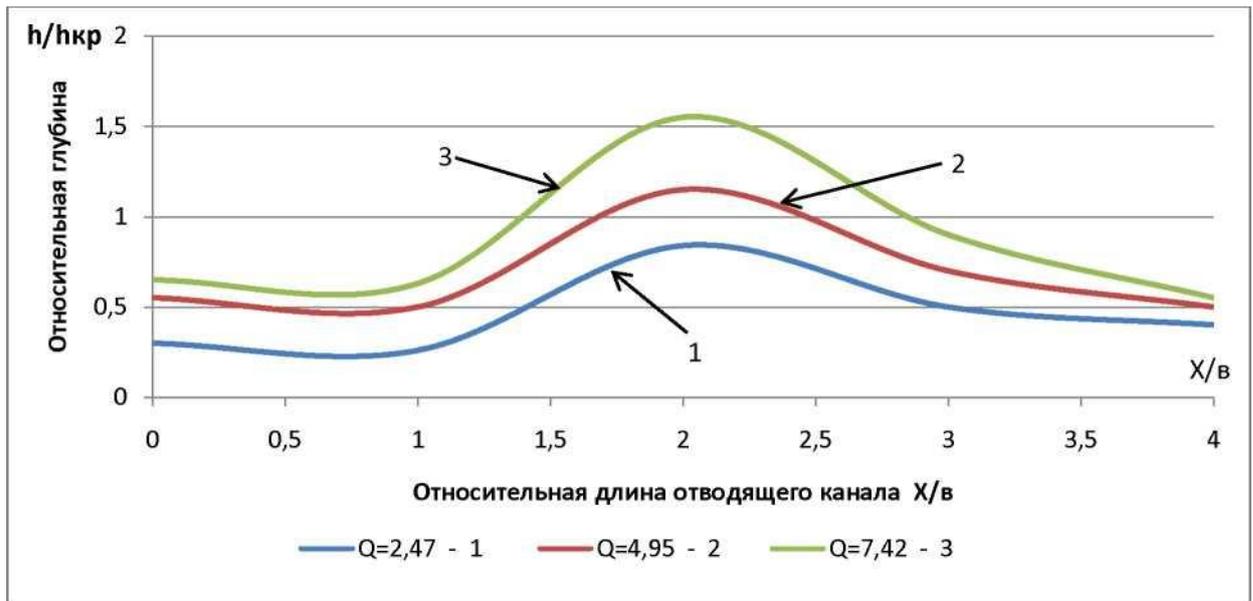
По составленным графикам изменения относительной глубины в зависимости безразмерного расстояния от начала сооружений можно проследить трансформацию потока в зоне действия исследуемого типа поворотного сооружения.



a)

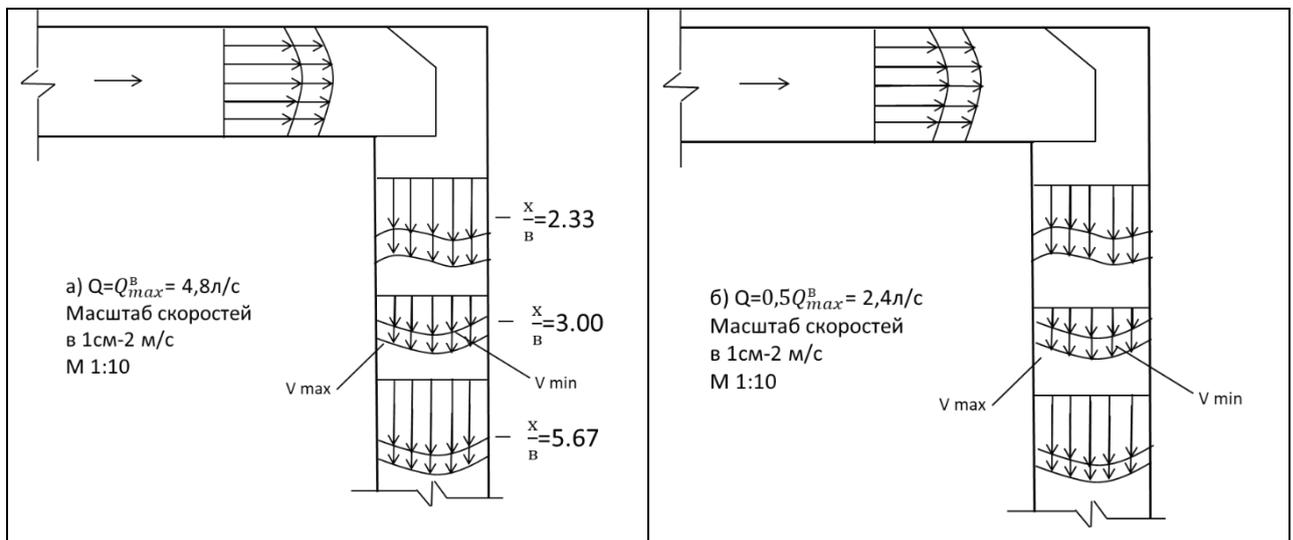


б)

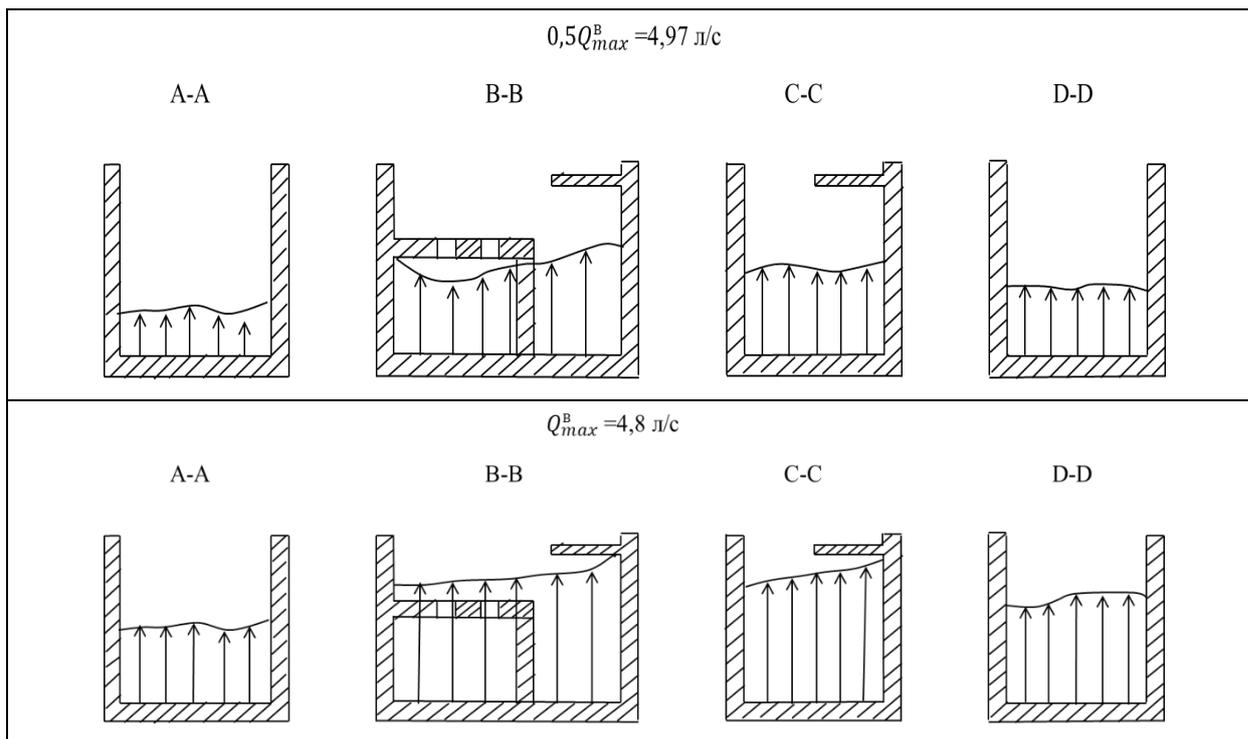


в)

Рис.4.14 Форма свободной поверхности по длине отводящего канала при расходах $Q=2,47$ л/с, $Q=4,95$ л/с, $Q=7,42$ л/с; а) у левого борта канала, б) посередине лотка; в) у правого борта канала.



4.15 Эпюры распределения придонных максимальных и минимальных скоростей в верхнем и нижнем бьефе поворотного сооружения для сверхбурных потоков



4.16 Профили свободной поверхности потока на поворотном сооружении для сверхбурных потоков

Графики показывают, что максимум глубины наблюдается в угловой части и сразу за ней (рис.4.14 б,в), причем у правого борта поворотного сооружения, затем образуется кривая спада на расстоянии длиной $2,0x/b$, которая заканчивается уже на расстоянии $3,0 x/b$ (рис.4.15). Это является следствием резкого поворота бурного потока и набегания последнего на наружную стенку сооружения.

Величина возмущения над уровнем воды в подводящем канале составляет $h/h_{кр} = 0,6-0,9$, где $h_{кр}$ –глубина подводящего канала соответствующая критической скорости (рис.4.16). Аналогичные данные наблюдались при прохождении через указанное сооружение сверхбурного потока ($h/h_{кр} = 0,56-0,85$).

Гидравлические исследования конструкции показали, что переход режима от сверхбурного к бурному не оказывает значительного влияния на работу

сооружения. Отличием в работе сооружения при бурном режиме течения было то, что отсутствовал эффект фонтанирования, который наблюдался при сверхбурном режиме, поэтому на основе выполненных экспериментальных исследований, можно сделать вывод о том, что данное сооружение удовлетворительно может работать как в бурном, так и сверхбурном режиме течения потока.

4.5.2 Модельные исследования усовершенствованных поворотных сооружений для бурных потоков

Гидравлические исследования с целью обоснования основных размеров элементов поворотных сооружений (ПСБТ-1) [133] и (ПСБТ-2) [134] были проведены для усовершенствованных поворотных сооружений, исходя из их функционального назначения и перечисленных выше технологических требований к его работе.

Основным параметром оценки гидротехнического сооружения является его пропускная способность. Пропускную способность поворотного сооружения оценивали на основе изучения коэффициента расхода.

Для определения потери напора составим уравнение Бернулли всего потока для двух сечений, одно из которых размещено перед поворотом, второе – за ним, где установился равномерный режим течения. Это уравнение имеет вид [107]:

$$h_0 + \frac{\alpha v_0^2}{2g} + P = h_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g} + h_{mp} \quad (4.30)$$

где h_0, v_0 - глубина и скорость потока перед сооружением в сечении I – I, в м и м/с;

h_1, v_1 - глубина и скорость потока за сооружением в сечении II – II, в м и м/с;

P - высота уступа, м;

h_{mp} - потери напора от сечения I – I до сечения II – II, в м.

Из уравнения 4.30 определим

$$h_{mp} = (h_0 - h_1) + \frac{\alpha(v_0^2 - v_1^2)}{2g} + P \quad (4.31)$$

Тогда коэффициент гидравлического сопротивления определяется:

$$\xi_{coop} = \frac{2gh_{mp}}{v_1^2} \quad (4.32)$$

Зная коэффициент сопротивления сооружения ξ_{coop} , можно определить коэффициент расхода поворотного сооружения по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi_{coop}}} \quad (4.33)$$

Расчеты приведены в таблицах 4.3 и 4.4.

Таблица 4.3 – Данные лабораторных исследований по определению коэффициента расхода поворотного сооружения ПСБТ-1

Укло н i	Расх од Q л/с	Наполн ение в сечени и I-I h_0 см	Напо лнен ие в сече нии II-II h_1 см	Пере пад Р см	Осред ненна я ско рость в сечен ии I-I v_0 (м/с)	Скор ость в сече нии II-II v_1 (м/с)	Поте ри напо ра h_{mp} см	Коэфф ициент сопрот ивлени я ξ	Коэф фицие нт расхо да соору жения μ
0,01	4,98	2,48	3,62	6	1,05	0,69	8,37	3,45	0,48
	9,97	3,76	5,42	6	1,32	0,92	5,8	1,18	0,68
	15,03	5,06	10,9	6	1,48	0,692	7,0	2,88	0,51
0,02	4,98	2,04	3,30	6	1,22	0,75	7,4	2,56	0,53
	9,97	3,30	4,42	6	1,51	1,04	8,7	1,59	0,62
	15,03	4,34	11,50	6	1,73	0,65	10,0	3,6	0,47
0,03	4,98	1,94	3,76	6	1,28	0,66	8,4	3,73	0,46
	9,97	3,08	6,1	6	1,62	0,81	11,0	3,22	0,49
	15,03	4,2	11,2	6	1,79	0,67	11,1	3,81	0,457

Таблица 4.4 – Данные лабораторных исследований по определению коэффициента расхода поворотного сооружения ПСБТ-2

Уклон i	Расход Q л/с	Наполнение в сечении I-I h_0 см	Наполнение в сечении II-II h_1 см	Перепад P см	Осредненная скорость в сечении I-I v_0 (м/с)	Скорость в сечении II-II v_1 (м/с)	Потери напора h_{mp} см	Коэффициент сопротивления ξ	Коэффициент расхода сооружения μ
0,01	10,0	2,9	3,72	6	1,37	0,69	13,03	5,37	0,4
	15,6	4,2	5,52	6	1,478	0,75	13,7	4,8	0,42
	20,2	4,8	10,82	6	1,588	1,04	8,05	1,46	0,63
0,02	10,0	2,7	3,52	6	1,22	0,76	10,29	3,49	0,47
	15,6	4,0	5,32	6	1,51	1,08	10,9	1,83	0,62
	20,2	4,6	10,8	6	1,73	0,67	14,06	6,13	0,37
0,03	10,0	2,5	3,52	6	1,28	0,68	11,57	4,94	0,41
	15,6	3,9	5,32	6	1,62	0,83	15,4	4,39	0,43
	20,2	4,6	10,6	6	1,79	0,71	0,15	5,94	0,38

Расчетные значения коэффициентов ξ и μ , полученные на основе данных лабораторных исследований, приведены в таблицах 4.3 и 4.4, из которых следует, что величина коэффициента расхода изменяется в пределах от 0,45 до 0,68 для ПСБТ-1 и 0,37-0,63 для ПСБТ-2.

Для сравнения отметим, что коэффициент расхода улучшенной конструкции поворотного сооружения с поперечными галереями Бейшекеева К.К. [14] изменяется в пределах 0,41...0,62. Это указывает на то, что пропускная способность предложенной конструкции (ПСБТ-1) на 9,7% выше, чем поворотного сооружения с поперечными галереями.

Полученные на основе лабораторных исследований значения μ могут быть использованы при проектировании сооружения.

4.6 Результаты модельных исследований кинематики бурного потока на повороте и в зоне влияния поворотного сооружения

4.6.1 Модельные исследования кинематических характеристик бурного потока на повороте и в зоне влияния поворотного сооружения ПСБТ-1

Как было отмечено в п. 4.2. с целью создания более надежных и унифицированных сооружений разработано «усовершенствованное поворотное сооружение для каналов с бурным течением» [142].

Разработанное поворотное сооружение для каналов с бурным течением может быть применено для регулирования бурного потока на повороте открытого канала, с уклоном дна больше критического, в ирригационных и гидроэнергетических системах. Предложенная конструкция позволяет улучшить эксплуатационные характеристики поворотного сооружения путем увеличения области применения по пропускной способности, обеспечить экономию оросительной воды и повысить надежность сооружения за счет уменьшения выплесков при повороте бурного потока.

Обеспечение экономии воды и увеличения пропускной способности на сооружении решается за счет нескольких конструктивных признаков: во-первых, сооружение, включающее подводящий и отводящий каналы, сопряженные наклонным участком, имеет также разделительную стенку ломаной в плане формы; во-вторых, прикрепленная к разделительной стенке горизонтальная полка выполнена в виде решетчатой плиты с продольными сквозными прорезями; в-третьих, за горизонтальной полкой в верхней части боковой стенки отводящего канала установлен трапецеидальный в плане горизонтальный козырек.

Эффективность работы сооружения оценивалась гидравлическими характеристиками потока на самом сооружении и в отводящем канале, прежде всего: формой свободной поверхности потока; скоростями потока; наличием (отсутствием) сбойности течения в отводящем лотке. Кроме того, изучалась пропускная способность сооружения, а также наличие

нежелательных явлений, таких как выплескивание воды через борта сооружения и др. Глубины в поперечных сечениях отводящего лотка измерялись в четырех точках пяти створов: у правого борта, вдоль разделительной стенки поворотного сооружения, на середине между разделительной стенкой и левым бортом, и у левого борта (см. рисунок 4.17).

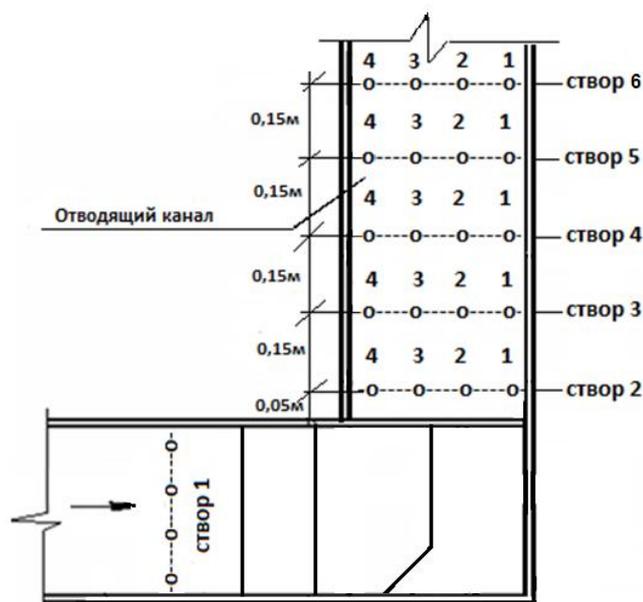


Рисунок 4.17 – Схема мерных створов на модели для замеров глубин и скоростей

Картина истечения через поворотное сооружение в отводящий лоток при расходах воды в лотке $Q = Q_{\max}$ и $Q = 0,54Q_{\max}$ показана на рисунке 4.18.

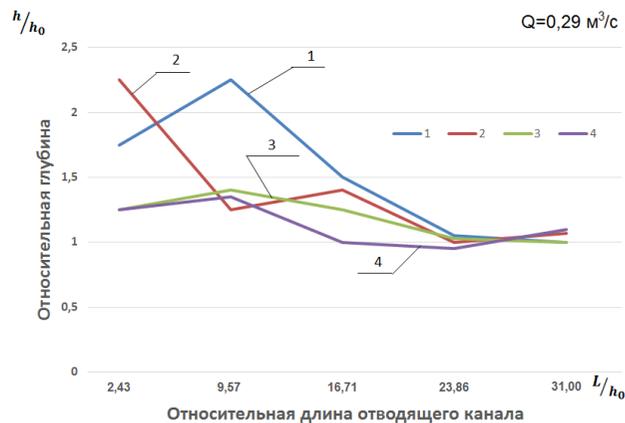


a)

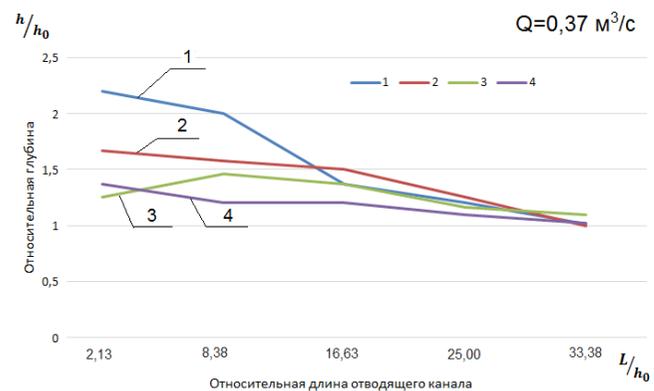


b)

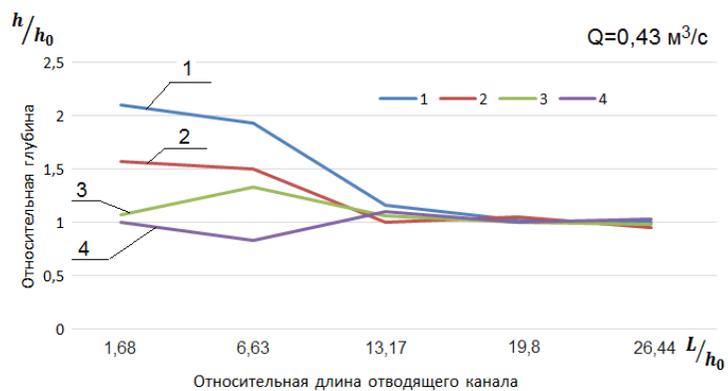
Рисунок 4.18– Картина истечения через поворотное сооружение в отводящий лоток при расходах воды: а) при $Q = Q_{\max}$; б) $Q = 0,54Q_{\max}$



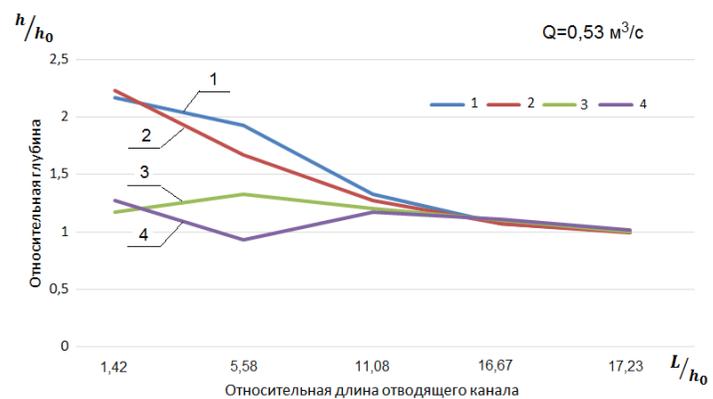
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.19 – Изменения относительных глубин потока по длине отводящего лотка: 1 – у правого борта; 2 – вдоль разделительной стенки; 3 – по середине лотка; 4 – у левого борта; а) при расходе воды в лотке $Q = 0,54Q_{\max}$; б) при расходе воды $Q = 0,7Q_{\max}$; в) при расходе воды $Q = 0,82Q_{\max}$; г) при расходе воды $Q = Q_{\max}$

Установленные в результате исследований относительные глубины потока в отводящем лотке и их изменения по длине лотка представлены на рисунке 4.19. Анализ картины истечения через модель поворотного сооружения в отводящий лоток показал, что части потока, разделенные на сооружении разделительной стенкой и горизонтальной полкой, на выходе из сооружения соединяются воедино, причем их слияние имеет достаточно симметричную картину в плане относительно оси отводящего лотка, и не приводит к сбойным течениям и образованию косых волн в отводящем лотке за поворотом канала. При этом отмечается некоторое увеличение глубины воды вдоль стенок отводящего лотка за сооружением на расстоянии от $1,5 L/h_0$ до $9,6 L/h_0$ (здесь L – расстояние от сооружения до рассматриваемого створа, h_0 – «нормальная глубина воды в канале), которое, по данным измерений, составляет $h_{om}^{max} = (1,7 \div 2,2)h_0$ (это положение должно будет учитываться при назначении высоты отводящего канала). Максимальная глубина воды в отводящем лотке при минимальном расходе наблюдается на участке» [144] $(8,0 \div 10,5)L/h_0$, далее глубина воды уменьшается и достигает бытовой глубины на участке длиной $L_1 = (26,0 \div 27,2)h_0$. Наибольшая глубина потока воды при максимальном расходе лотка непосредственно за сооружением наблюдается на оси отводящего лотка у разделительной стенки (см. рисунок 4.19, г) $h_{om}^{max} = 2,2h_0$. По мере удаления от сооружения глубина воды в лотке динамично убывает на участке длиной L_2 от $1,5 h_0$ до $17,2 h_0$ (рисунок 4.19).

Следующим этапом изучения структуры потока на модели поворотного сооружения было исследование изменения скоростей воды в ЭГЛ. Замеры скоростей потока в точках, створов (см. рисунок 4.17) позволили построить графические зависимости относительных скорости v_c/v_0 по длине отводящего канала, показанные на рисунке 4.20. Здесь приведены осредненные значения скоростей по глубине потока.

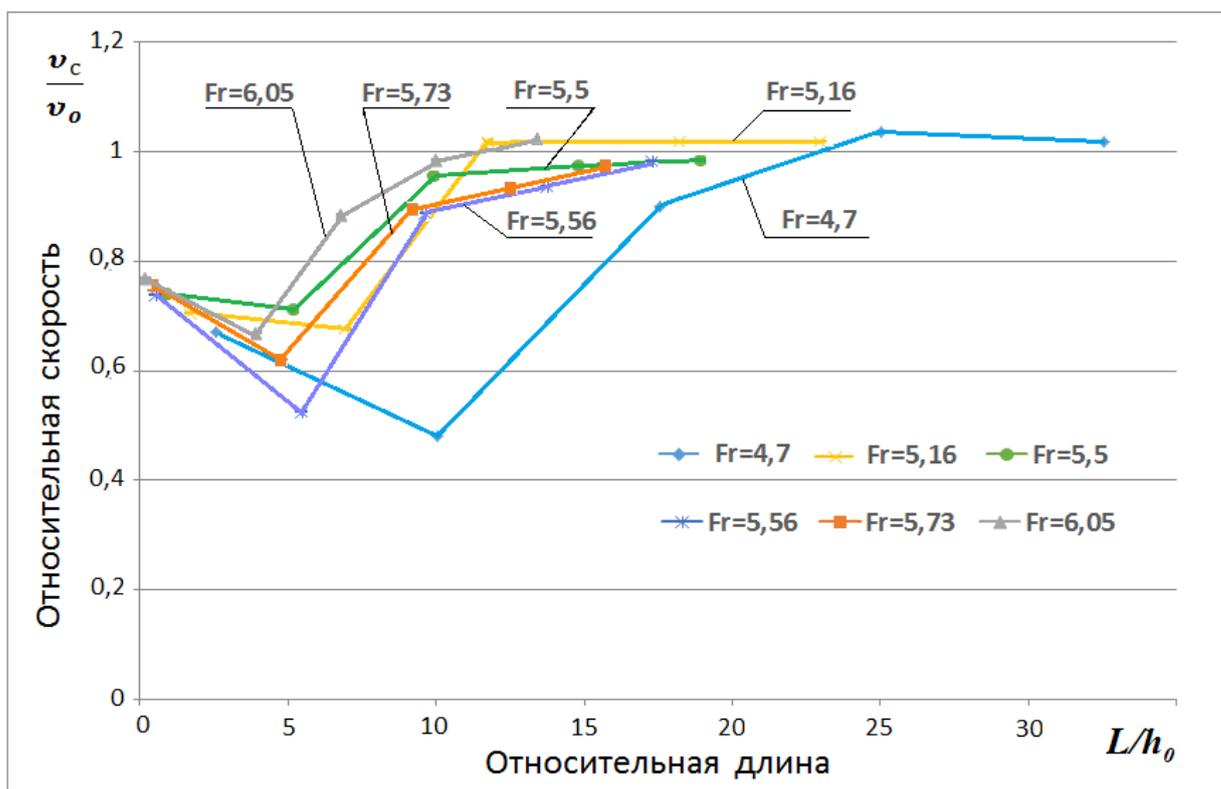


Рисунок 4.20 – Изменение соотношения скорости v_c/v_0 по длине отводящего канала $v_c/v_0 = f(L/B)$

Измерение скоростей потока воды в лотке показало, что с увеличением расстояния вдоль отводящего канала от поворотного сооружения от 0 до $(4,0 \div 10,1)h_0$ скорости течения уменьшаются в $1,1 \div 1,4$ раза, что объясняется гашением кинетической энергии потока в результате соударения струй о разделительную и боковую стенки поворотного сооружения. Это подтверждают графики изменения относительных скоростей v_c/v_0 потока за сооружением (см. рисунок 4.20) $v_c/v_0 = f(L/h_0)$, где v_c – средняя скорость в рассматриваемом сечении отводящего канала; v_0 – скорость потока в канале. При дальнейшем удалении створов от поворотного сооружения вдоль отводящего лотка скорости начинают возрастать. При этом на участке отводящего лотка, на расстоянии $(4,5 \div 9,6)h_0 \leq L \leq (14,5 \div 19,0)h_0$ от сооружения, скорости интенсивно возрастают. Далее с удалением от сооружения на расстояние $L/h_0 > 19,0$ относительные средние скорости $v_c/v_0 \approx 1,0$, что говорит

об «установившемся равномерном движении потока воды в лотке. Результаты замеров скоростей в указанных створах при расходах воды в лотке $Q = (0,54; 0,7; 0,82; 1,0)Q_{\max}$ приведены в таблице 4.5» [173].

Таблица 4.5 – Абсолютные значения скоростей потока (приведенные к натурным значениям)

Расход воды в створе	Номер створа	Значения осредненных по глубине скоростей потока, м/с			
		v_1	v_2	v_3	v_4
$Q = 0,29 \text{ м}^3/\text{с}$ ($Q/Q_{\max}=0,54$)	Ств.1	$v_1=2,25$	$v_2=2,41$	$v_3=2,37$	$v_4=2,28$
	Ств.2	$v_1=0,16$	$v_2=1,30$	$v_3=1,95$	$v_4=1,89$
	Ств.3	$v_1=1,29$	$v_2=1,26$	$v_3=1,92$	$v_4=1,86$
	Ств.4	$v_1=2,01$	$v_2=2,15$	$v_3=2,24$	$v_4=2,10$
	Ств.5	$v_1=2,16$	$v_2=2,28$	$v_3=2,31$	$v_4=2,22$
	Ств.6	$v_1=2,27$	$v_2=2,39$	$v_3=2,40$	$v_4=2,26$
$Q = 0,37 \text{ м}^3/\text{с}$ ($Q/Q_{\max}=0,7$)	Ств.1	$v_1=2,39$	$v_2=2,91$	$v_3=2,95$	$v_4=2,50$
	Ств.2	$v_1=0,49$	$v_2=2,46$	$v_3=4,38$	$v_4=2,36$
	Ств.3	$v_1=1,17$	$v_2=1,59$	$v_3=2,04$	$v_4=2,07$
	Ств.4	$v_1=2,33$	$v_2=2,86$	$v_3=2,83$	$v_4=2,38$
	Ств.5	$v_1=2,38$	$v_2=2,88$	$v_3=2,87$	$v_4=2,44$
	Ств.6	$v_1=2,44$	$v_2=2,92$	$v_3=2,93$	$v_4=2,46$
$Q = 0,43 \text{ м}^3/\text{с}$ ($Q/Q_{\max}=0,82$)	Ств.1	$v_1=2,42$	$v_2=2,91$	$v_3=2,96$	$v_4=2,61$
	Ств.2	$v_1=0,94$	$v_2=1,54$	$v_3=2,84$	$v_4=1,53$
	Ств.3	$v_1=1,16$	$v_2=1,57$	$v_3=1,91$	$v_4=1,89$
	Ств.4	$v_1=2,41$	$v_2=2,69$	$v_3=2,82$	$v_4=2,50$
	Ств.5	$v_1=2,45$	$v_2=2,74$	$v_3=2,86$	$v_4=2,51$
	Ств.6	$v_1=2,50$	$v_2=2,87$	$v_3=2,91$	$v_4=2,53$
$Q = 0,53 \text{ м}^3/\text{с}$ ($Q/Q_{\max}=1,0$)	Ств.1	$v_1=2,66$	$v_2=3,05$	$v_3=2,91$	$v_4=2,82$
	Ств.2	$v_1=2,84$	$v_2=2,14$	$v_3=2,08$	$v_4=2,68$
	Ств.3	$v_1=2,44$	$v_2=2,24$	$v_3=2,50$	$v_4=2,72$
	Ств.4	$v_1=2,64$	$v_2=2,77$	$v_3=2,84$	$v_4=2,73$
	Ств.5	$v_1=2,67$	$v_2=2,90$	$v_3=2,91$	$v_4=2,75$
	Ств.6	$v_1=2,74$	$v_2=2,98$	$v_3=2,96$	$v_4=2,75$

По итогам измеренных точек построены плановые эпюры (рис.4.21) скоростей в указанных створах при расходах воды в лотке $Q = (0,54; 0,7; 0,82; 1,0)Q_{\max}$.

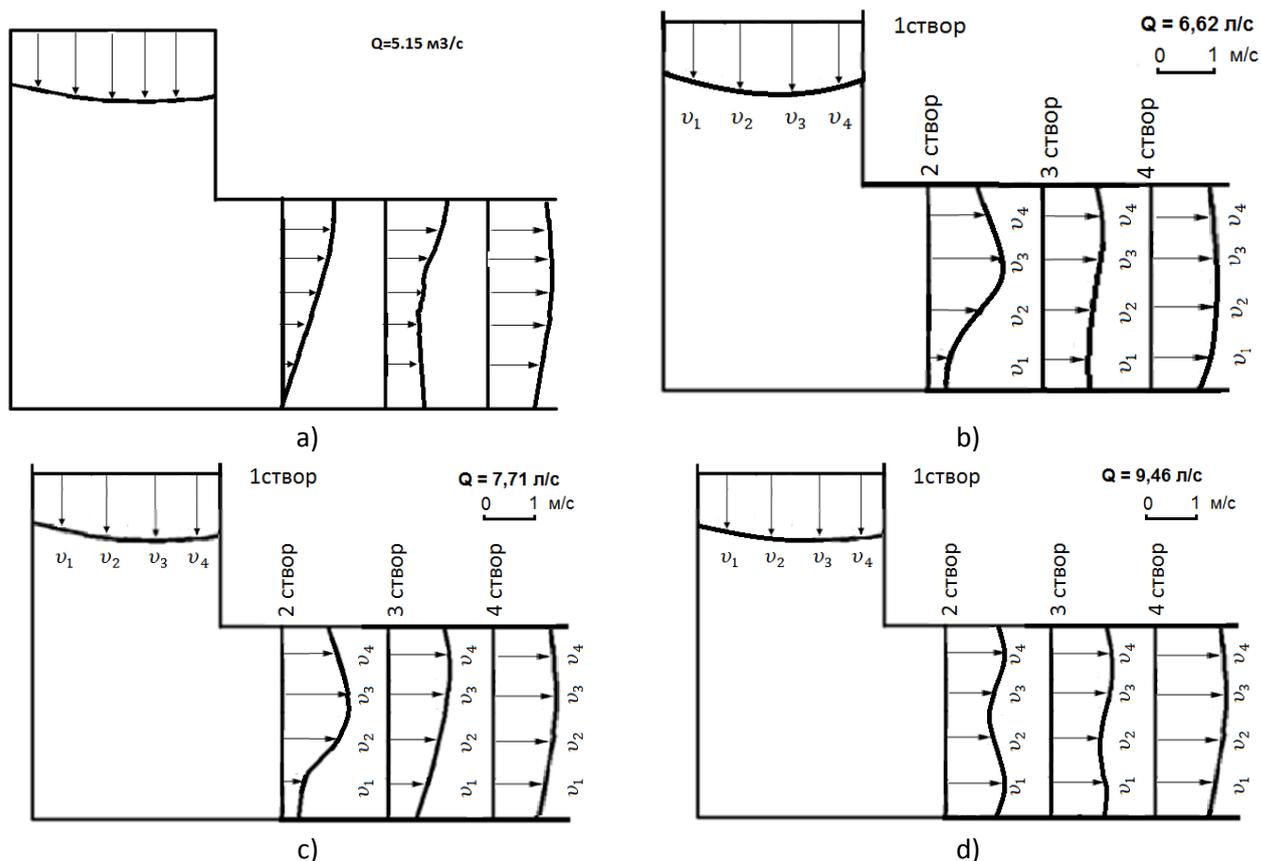


Рисунок 4.21 – Эпюры местных скоростей потока на поворотном сооружении при расходах воды в лотке: а) $Q = 0,54Q_{\max}$; б) $Q = 0,7Q_{\max}$; в) $Q = 0,82Q_{\max}$; д) $Q = Q_{\max}$

Приведенные значения осредненных по глубине скоростей потока на подходном участке ЭГЛ и в отводящем лотке демонстрируют изменение скоростной структуры потока при различных величинах расходов воды в лотке. Некоторую неравномерность истечения сразу за сооружением в створе 2 при расходах воды $Q \leq 0,7Q_{\max}$ можно объяснить тем, что при малых величинах расходов воды в канале основная ее часть попадает во внутреннюю галерею и не подвергается ощутимому соударению со стороны части потока, прошедшей во внешний отсек сооружения. Однако даже в этом случае поток направляется разделительной стенкой в отводящий лоток, где скорости выравниваются уже через $2,5 \div 4,0$ м, что в относительных величинах $L/h_0 = 17,8 \div 25,0$.

Выводы

Проведенные лабораторные гидравлические исследования предлагаемого поворотного сооружения для каналов с бурным течением позволили сформулировать следующие выводы:

1. Вход потока в поворотное сооружение осуществляется без прыжковых явлений и выплесков воды за пределы сооружения. Это подтверждает первоначальное предположение об экономии оросительной воды за счет использования предложенной конструкции.
2. Проходящий через сооружение бурный поток при величинах расходов воды в канале $Q = (0,72 \div 1,0)Q_{\max}$ делится на две части разделительной стенкой и горизонтальной полкой. Это способствует равномерному гашению избыточной кинетической энергии бурного потока, обе части которого соединяются на выходе из сооружения, не образуя сбойных течений и косых волн. При этом происходит увеличение глубины потока за сооружением максимум в 2,2 раза, что необходимо учитывать на стадии проектирования при назначении строительной глубины отводящего лотка непосредственно за сооружением. При расходах воды в канале в пределах $Q = (0,1 \div 0,7)Q_{\max}$ основной объем (85÷60%) воды в канале проходит только через внутреннюю галерею, что несколько нарушает симметрию истечения в отводящий лоток. Однако за счет того, что разделительная стенка выполнена со скосом под углом в плане и направляет поток по оси отводящего канала, поворачиваемый поток с удовлетворительной равномерностью вытекает в отводящую часть канала. При этом наблюдается увеличение глубины отводящего потока вдоль оси лотка до значений $(1,7 \div 2,2)h$, что не превышает глубин при значении расхода воды Q_{\max} .
3. На предлагаемом поворотном сооружении наблюдается достаточно равномерное гашение скоростного напора бурного потока. При этом скорости течения уменьшаются в 1,1÷1,4 раза, что приводит к увеличению глубин непосредственно за сооружением. Однако благодаря

тому, что увеличение глубин имеет место, главным образом, вдоль оси отводящего лотка, выплесков воды за пределы сооружения не наблюдается. На расстоянии $L/h_0 = 17,8 \div 25,0$ скорости воды в отводящем канале принимают свои расчетные для данного канала значения.

4. С увеличением расхода воды в подводящем канале наблюдается тенденция уменьшения «сглаживание» процесса гашения кинетической энергии потока: при $Fr = 4,7 (Q = 0,54Q_{\max}) v_c/v_0 = 0,67 \div 0,476$, а при $Fr = 5,5 (Q = Q_{\max})$ отношение скоростей потока $v_c/v_0 = 0,735 \div 0,702$. Это явление имеет положительный эффект, поскольку уменьшение величины гашения энергии бурного потока исключает резкое переполнение канала.
5. Гидравлические исследования модели поворотного сооружения типа ПСБТ-1 для каналов с бурным течением показали удовлетворительные результаты работы. Внедрение данного сооружения на каналах-быстротоках позволит улучшить как технические параметры, так и эксплуатационные характеристики поворотного сооружения, обеспечив экономию оросительной воды и улучшив надежность сооружения за счет уменьшения выплесков при повороте бурного потока.

4.6.2 Модельные исследования кинематических характеристик бурного потока на повороте и в зоне влияния поворотного сооружения ПСБТ-2

Испытание разработанного сооружения осуществлялось на ранее описанной универсальной гидравлической лабораторной установке (рис.4.8, раздел 4.3). Модельные размеры поворотного сооружения приняты из соображений, что на оросительных системах Кыргызской Республики массовое распространение получила водоприемная камера квадратного сечения [34], что и принято за основу при конструировании поворотного сооружения для испытания его на модельной установке. Опыты проводились при расходах 5,10, 15, 20, 25 л/с.

Гидравлические параметры потока, устанавливаемые на модели характеризуются: глубиной от 2,0 до 6,0 см, скоростью течения от 1,0 до 2,0 м/с, числом Фруда от 4,0 до 10,0.

Работа сооружения оценивалась теми же показателями, как и для предыдущего поворотного сооружения (раздел 4.6.1):

- форма свободной поверхности потока над сооружением и в пределах его влияния в отводящем канале в широком диапазоне относительной глубины потока;
- изменение скорости течения потока по длине водотока;
- пропускная способность сооружения.

Измерение параметров потока, а именно напор воды определялся с помощью шпигел-масштаба, а расход – по мерному водосливу, использовалась также металлическая линейка.

Исследования проводились при различных напорах в верхнем бьефе и различных расходах. Глубина, скорости течения и параметр кинетичности потока при характерных расходах изменялись следующим образом (см.табл.4.6).

Для снятия характеристик потока в пределах влияния сооружения были разбиты створы, с расстояниями между ними, указанными в таблице 4.7.

Характерные формы свободной поверхности потока представлены на рис.4.

Таблица 4.6

Гидравлические характеристики потока на модельной установке

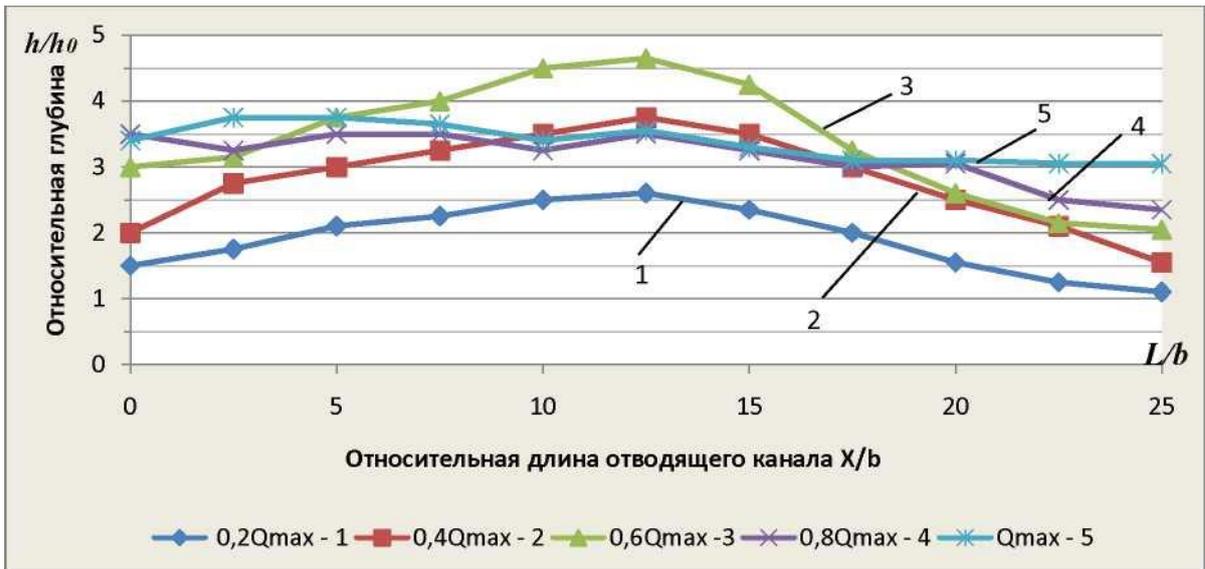
Расход Q (л/с)	Глубина h ₀ (см)	Скорость v ₀ (см/с)	ЧислоФруда Fr ₀
5,0	2,2	108,1	5,4
10,0	2,9	137,3	6,63
15,6	4,2	147,8	5,31
20,2	4,8	158,8	5,36
25,1	5,4	167,7	5,31

Таблица 4.7

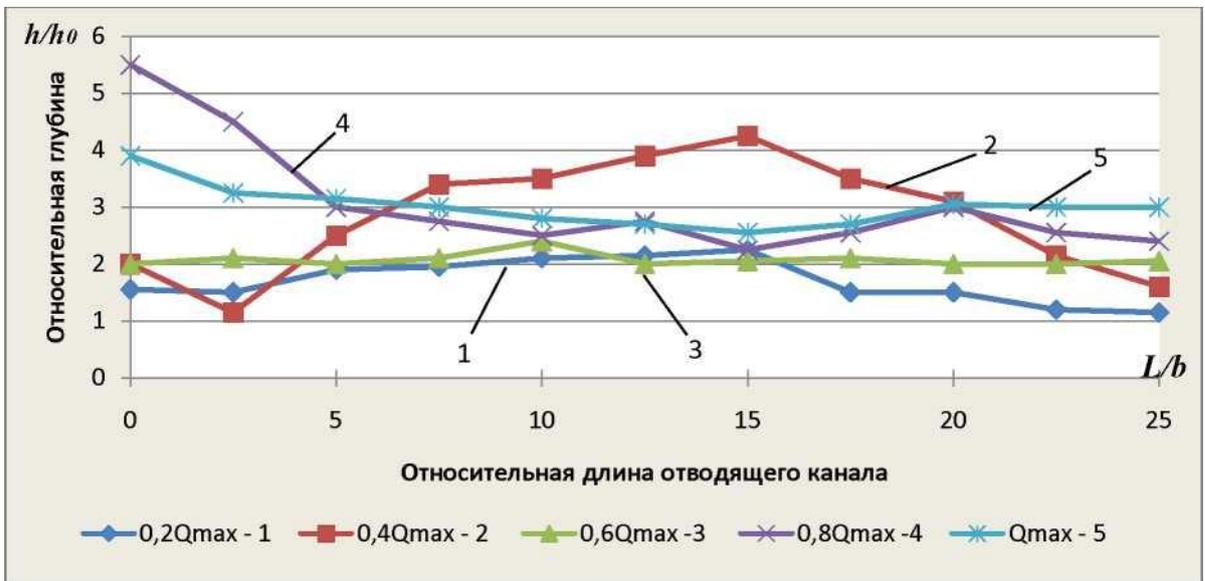
Результаты исследований форм свободной поверхности потока на поворотном сооружении

Расход Q/Q_{\max}	Место положения	Относительная глубина в створах (h/h_0)										
		0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25
0,2 Q_m ах	Правая	1,5	1,75	2,1	2,25	2,5	2,6	2,35	2,0	1,55	1,25	1,1
	Середина	1,55	1,5	1,9	1,95	2,1	2,15	2,25	1,5	1,5	1,2	1,15
	левая	2,55	2,25	2,15	2,0	2,9	2,8	2,4	2,15	1,6	1,15	1,15
0,4 Q_m ах	Правая	2,0	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	3,5	3,0	2,5	2,1	1,55
	Середина	2,0	1,5	2,5	3,4	3,5	3,9	4,25	3,5	3,1	2,15	1,6
	левая	4,0	3,5	3,0	2,5	4,5	4,25	3,6	3,05	2,4	2,1	1,5
0,6 Q_m ах	Правая	3,0	3,15	3,75	4,0	4,5	4,65	4,25	3,25	2,6	2,15	2,05
	Середина	2,0	2,1	2,0	2,1	2,4	2,0	2,05	2,1	2,0	2,0	2,05
	левая	5,25	5,0	4,0	2,75	2,5	2,0	1,9	2,0	2,05	2,05	2,0
0,8 Q_m ах	Правая	3,5	3,25	3,5	3,5	3,25	3,5	3,25	3,0	3,05	2,5	2,35
	Середина	5,5	4,5	3,0	2,75	2,5	2,75	2,25	2,55	3,0	2,55	2,4
	левая	7,0	6,0	4,0	3,2	3,25	3,0	2,9	2,6	2,95	2,6	2,3
Q_{\max}	Правая	3,4	3,7	3,7	3,6	3,4	3,55	3,3	3,1	3,1	3,0	3,0
	Середина	3,9	3,2	3,1	3,0	2,8	2,7	2,55	2,7	3,05	3,0	3,0
	левая	4,2	3,3	2,9	3,0	3,15	3,2	3,25	3,15	3,05	3,0	3,0
		5	5	5	5					8	5	

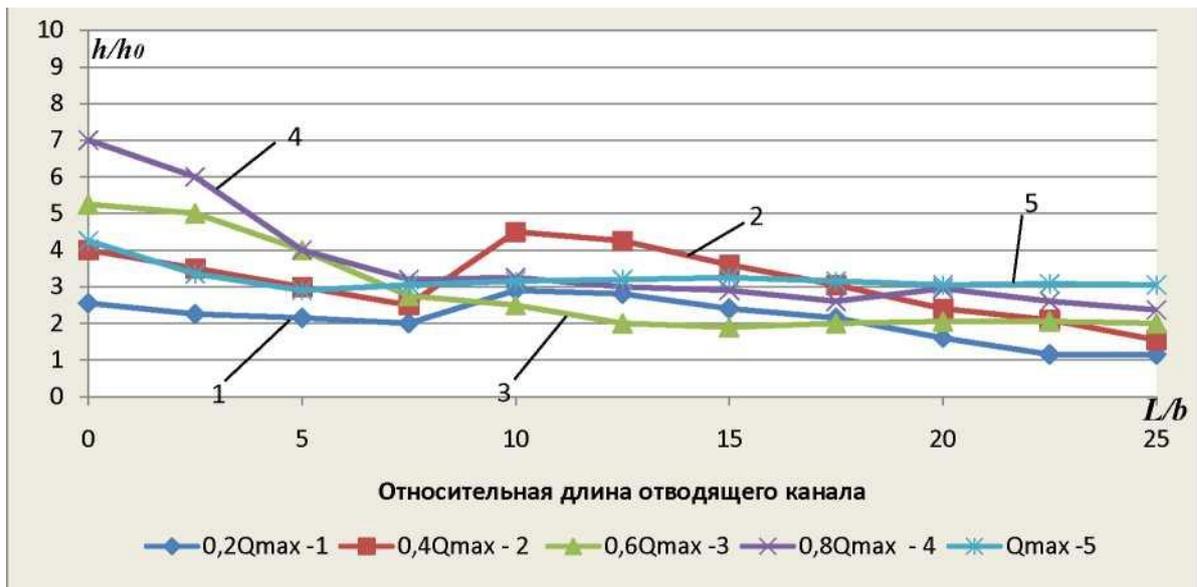
Данные экспериментов, обработанные в виде графиков относительных величин, представлены на рис.4.22.



a)



б)



в)

Рис.4.22 Изменения относительных глубин потока по длине отводящего лотка: а) – у правого борта; б) – по середине лотка; в) – у левого борта; 1- при расходе воды в лотке $0,2Q_{max} = 5,0$ л/с; 2- при расходе воды $0,4Q_{max} = 10,0$ л/с; 3- при расходе воды $0,6Q_{max} = 15,6$ л/с; 4- при расходе воды $0,8Q_{max} = 20,2$ л/с; 5- при расходе воды $Q_{max} = 25,1$ л/с;

Перемещение основной массы расхода происходит к выпуклому берегу, но глубина воды у вогнутого берега за поворотом увеличивается всего на $1,5h_0$. Но такое явление происходит при небольших расходах, когда весь поток вливается в первую галерею и равномерное распределение потока наступает уже через 35 см от поворотного сооружения или $L/b = 17,5$ (рис.4.22). Это показывают графики на рисунке 4.22, когда относительная глубина за поворотным сооружением при маленьких расходах выше, чем при больших расходах, также при больших расходах течение потока равномерное (кривые 4 и 5 на рис.4.22). При средних и больших расходах исследуемое поворотное сооружение работает достаточно надежно, то есть в отводящем канале не образуется сбойное течение, и погонный расход почти равномерно распределяется по всей ширине отводящего канала (рис.4.23). Таким образом, для этого типа поворотного сооружения ПСБТ-2, также наблюдается тенденция уменьшения «сглаживания» процесса гашения кинетической энергии потока, с увеличением расхода воды в подводящем канале

Испытываемое поворотное сооружение обеспечивает пропускную способность канала без перелива воды через его вогнутый и выпуклый берега при всех пропускаемых расходах.



Рисунок 4.23 – Истечения через поворотное сооружение в отводящий лоток при расходах воды: а) при $Q = 0,54Q_{max}$; б) $Q = Q_{max}$

По итогам проведенных лабораторных исследований поворотного сооружения типа ПСБТ-2, предназначенных для каналов с бурным течением можно сформулировать следующие выводы:

1. Наклонный участок на входе в колодец, а также расположение дна колодца ниже дна подводящего канала улучшает характер втекания при бурном режиме и увеличивает запас пропускной способности. При таких условиях, наибольшая глубина на входе оказывается на 20-30% меньше, чем при нормальном входном звене.
2. Протекающий через сооружение бурный поток при величинах расходов воды в канале $Q = (0,75 \div 1,0)Q_{max}$ делится на две части разделительной

стенкой и горизонтальным козырьком, после чего почти ровным слоем вода изливается в отводное русло. Выполнение разделительной стенки, состоящей из двух частей, причем когда одна из частей стенки параллельна оси отводящего канала, а вторая расположена в плане под углом 30° к разделительной стенке и 45° к задней стенке отводящего канала, позволяет исключить сбойность потока на выходе из сооружения и тем самым еще более повысить его пропускную способность.

3. В результате действия на поток сил реакции разделительной стенки и дна колодца поток теряет значительную долю энергии, что ведет к увеличению глубины в отводящем канале на величину $(1,5 \div 1,9)h_0$.
4. Лабораторные опыты показали значительную эффективность поворотного сооружения типа ПСБТ-2, за счет увеличения пропускной способности и функциональных возможностей, которые можно применить на каналах-быстротоках горно-предгорной зоны.
5. Основными преимуществами разработанных поворотных сооружений ПСБТ-1 и ПСБТ-2 являются: меньшая длина участка поворота и поворот потока без образования косых волн при пропуске всех расчетных расходов.

4.7 Методики расчета поворотных сооружений для каналов с бурным течением типа ПСБТ-1 и ПСБТ-2

4.7.1.Методика практического расчета ПСБТ-1

Методика расчета усовершенствованных конструкций поворотных сооружений для каналов с бурным течением была разработана на основе их гидравлического обоснования и экспериментальных исследований.

Для проектирования разработанной конструкции поворотного сооружения на каналах с бурным режимом течения, конструкция и схема которой приведена в разделе 4.2, исходными данными являются: пропускная способность канала (Q_0), уклон подводящего канала (i_n), скорость течения

потока (v_0 при Q_0), число Фруда (Fr_0), наполнение канала (h_0), ширина подводящего канала (b_0).

Поскольку основные расчетные данные определены в гидравлическом обосновании (раздел 4.4) и проверены лабораторными исследованиями (разделы 4.5 и 4.6), приведем основополагающие моменты методики расчета поворотного сооружения ПСБТ-1.

1. Наполнение на грани уступа рассчитываем по формуле (4.2).
2. Величину гидравлического прыжка за поворотом для определения глубины колодца определяем по формуле (4.3).
3. Глубина донного колодца определяется из условия затопления гидравлического прыжка на повороте по формуле (4.4).
4. Полученная глубина проверяется из условия пропуска всего расхода в отвод по формуле (4.5).
5. Длина галереи определяется по формуле (4.6).
6. Величина расстояния от начала скоса в колодец до начала горизонтальной плиты l_n определяется по формуле (4.15).
7. Длина горизонтальной плиты определяется по формуле (4.16).
8. Площадь сквозных прорезей в горизонтальной плите определяется по формуле (4.18).
9. Ширина трапециевидального козырька принимается равной:

$$b_k = (0,2 - 0,25)b_r$$

10. Длина внешнего отсека $l_{в.о.}$ на основе изучения поворотного сооружения на лабораторной установке принимается равной:

$$l_{в.о.} = 0,3b$$

4.7.2. Методика расчета ПСБТ-2

Исходными данными для этой конструкции принимаются такие же, как для ПСБТ-1.

1. В соответствии с расчетной схемой (рис.4.12) общая площадь камеры определяется по формуле (4.21).

2. В соответствии с инженерным решением конструкции поворотного сооружения приняты две галереи.
3. Угол скоса перед поворотным сооружением определяется по формуле (4.28).
4. Размер входной части галереи определяется по формуле свободно падающей струи [14] при $Q/2$:

$$l_{вх} = \sqrt{\frac{2h_1 \cdot v_1^2}{g}} \quad (4.34)$$

5. Горизонтальный козырек на разделительной стенке и полки оказывают важное влияние на улучшение гидравлики потока в транзитном канале, тем самым увеличивая пропускную способность галерей. Размеры козырька определяются исходя из рекомендаций, разработанных для назначения основных размеров козырька на водовыпусках из каналов с прямоугольным сечением[154]:

$$b_k = (0,15 - 0,2)b_r \quad (4.35)$$

6. Горизонтальный козырек размещается на уровне разделительной стенки, а горизонтальная плита устанавливается на уровне высоты боковой стенки поворотного сооружения (рис.4.8).
7. Оптимальная ширина полки принимается равной $b_{п} = 0,2b_r$.
8. Сама полка, устанавливается на уровне $\frac{1}{2} = h_r$, где h_r – высота галереи.
9. Длина водоприемной камеры l_k принята 1,2-1,5 длинее ширины камеры b_k . Эти размеры установлены на основании лабораторных исследований, проведенных с одинаковой шириной и длиной камеры $l_k = b_k$ и когда длина водоприемной камеры l_k меняется от $1,0b_k$ до $2,0b_k$. Винтовой шнур и выплески за борт сооружения не наблюдаются при длине галерей, равной $(1,2 - 1,5)b_k$, в связи с чем, $l_k = (1,2 - 1,5)b_k$.

ГЛАВА 5. ВОДОУЧЕТ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ

5.1 Натурные исследования существующих сооружений водоучета на каналах с бурным течением

5.1.1 Программа и методика производственных исследований водомерного сооружения на канале Жетиген системы реки Иссык-Ата.

Служба учета воды на гидромелиоративных системах является составной и обязательной частью работ по правильной эксплуатации современных систем. Эта служба оперативно обеспечивает систему необходимыми гидрометрическими данными для составления и осуществления планов водопользования, их корректировки, выявления эффективности мероприятий, которые выполняются на этих системах, а также количественный и качественный контроль над рациональным использованием воды.

Межхозяйственные и сетевые каналы горно-предгорной КР, на которых возводятся водомерные сооружения отличаются широким диапазоном измеряемых уровней, скоростей течения потока и «расходов воды, а также широким диапазоном изменения параметров каналов и их форм поперечного сечения, что осложняет работу по выбору средств измерения расходов воды»[9] (таблица 1.3, раздел 1.2).

С целью изучения эксплуатационных показателей функционирующих водомерных сооружений на каналах – быстротоках и выявления их недочетов и проблем, необходимо было выполнить производственное обследование существующих ВМС на мелиоративных системах горно-предгорной зоны Кыргызстана.

В ходе натурального обследования уточнялись гидравлические режимы работы характерных и типичных водорегулирующих и водомерных сооружений, наличие и возможность их тарировки, эксплуатационные показатели технического состояния самого сооружения, регулирующих органов (затворов), гидромеханического оборудования (подъемников) и средств

дистанционного или местного контроля и управления. Но основной задачей производственного «обследования было рассмотреть количественную характеристику или пропускную способность ВМС, коэффициент расхода водомеров и качественную характеристику или режимы работы гидростов» [9].

Измерение местных скоростей потока на каналах-быстротоках вертушечным методом является проблематичным и небезопасным по причине высокой кинетичности потока, поэтому использован метод замера поверхностных скоростей потока поплавками. Поверхностные скорости потока поплавковым методом определяют с точностью 2-3 %. Замер глубин воды в быстротоке выполнялся с помощью тарированной гидрометрической штанги. Чтобы упростить технологию измерения скорости и вместе с тем получить результат с высокой точностью, предусматривалось включить в ее состав следующие этапы работ:

1. Уточнение участка замера скоростей и ее маркирование.
2. Определение поверхностных скоростей на маркированном участке.
3. Измерение глубин воды в быстротоке.
4. Обработка измеренных материалов.

В связи с тем, что «замеры скоростей потока и уровней воды производились для нескольких значений расходов воды, пропускаемых по каналу-быстротоку» [126], а изменение расходов было проблематичным во время вегетационного периода, необходимо было маркирование участка замера параметров потока, с тем чтобы в другие дни при других расходах выполнить все виды этих измерений.

Основные работы по обследованию состояния водомерных сооружений, проводились на водных объектах Чуйской долины, в частности, на межхозяйственном канале-быстротоке Туш. При натурном обследовании канала Туш были изучены, гидрометрические средства измерения расхода, характеристика которых дана в таблице 5.1.

Руководствуясь «Указаниями по проведению натуральных наблюдений и исследований на гидротехнических сооружениях водохозяйственных систем» [146] натурные наблюдения и исследования применительно к сооружениям водоучета проводились по следующей программе:

а) визуальные наблюдения

- проводилась систематическая фиксация уровней воды в успокоительном колодце существующего гидропоста;
- проверялась форма сопряжения, наличие и степень сбойности в нижнем бьефе с характеристикой ширины потока;
- наличие или отсутствие поперечной раскочки потока в камере водомерного сооружения;
- образование стоячих волн или косоного прыжка;
- наличие выплесков или инфильтрации за облицовку;
- наличие вибрации гасящих элементов, абразивного или кавитационного износа;
- наличие наносов и засорения в успокоительном колодце водомерного сооружения;

б) инструментальные замеры

- измерение уровня свободной поверхности на вертикалях;
- измерение средней скорости в точках мерных вертикалей;
- оценка состояния сопряжения с нижним бьефом;
- измерение расходов воды, оценка точности существующего водомерного сооружения.

Таблица 5.1

Характеристика средств измерений расхода воды на канале «Жетиген»

Расположение СИ (№№ пикетов)	Назначение	Тип	Состав гидрометрического оборудования	Сведения о метеорологической аттестации

1	2	3	4	5
В балансовых створах	Учет водозабора	Фиксированное русло	Гидрометрический мостик, успокоительный колодец, уровнемерная линейка	А№217
На отводах:				
к-л Тогузак	Учет воды	Фиксированное русло	Гидрометрический мостик, успокоительный колодец, уровнемерная линейка	Не аттестован
к-л Сынташ	Учет воды	Нет	-	-
к-л Тельман	Учет воды	Нет	-	-
к-л Юрьевка	Учет воды	Нет	-	-
к-л Кировка	Учет воды	Нет	-	-

Как видно из таблицы 5.1, основным средством измерения расхода водоподачи является «фиксированное русло», причем они устроены только в голове канала Жетиген для балансового учета воды (рис.5.1) и на отводе в первый канал Тогузак, на расстоянии 10 м от водовыпуска. На остальных отводах во внутрихозяйственные каналы средства измерения отсутствуют, так как вся внутрихозяйственная сеть находится на балансе ассоциаций водопользователей, которые не имеют финансовых возможностей устраивать средства измерений в каждом отводе.



Рис.5.1. Водомерное сооружение в голове канала Жетиген (балансовый створ)

Таким образом, кроме учета вод на крупных межхозяйственных каналах, сегодня назрела необходимость водоучета на внутрихозяйственных каналах, вновь созданных ассоциаций водопотребителей, фермерских хозяйств и др., а это влечет за собой изменение периодичности замеров расхода на водомерных сооружениях каналов.

В водохозяйственном секторе Центральноазиатских республик принята суточная, декадная, ежемесячная и годовая отчетность по объемам поданной воды сельхозпотребителям, в национальных водохозяйственных организациях принято трехразовое измерение расходов воды – утром, в полдень, вечером. В зависимости от времени года и распорядка дня, время и количество замеров может меняться, например, в связи с частой перерегулировкой водоподачи небольшим водопотребителям (иногда по несколько раз в сутки), соответственно участились и замеры расхода. Все замеры выполняются наблюдателями вручную, что существенно затрудняет согласование водоподачи потребителям.

В большинстве случаев, даже те водомерные устройства, которые были метрологически аттестованы путем индивидуальной градуировки, не всегда отвечают предъявляемым требованиям, что требует тщательной проверки (таблица 5.1).

5.1.2 Результаты исследований водомерного сооружения на канале Жетиген системы реки Иссык-Ата в натуральных условиях.

Для натуральных исследований были выбраны два водомерных сооружения, один расположен вначале канала Тогузак, другой на канале-быстротоке Жетиген сразу за водовыпуском в канал Тогузак. Исследования водомерного сооружения проводили с целью установления соответствия между показаниями существующего водомерного сооружения и действительным

расходом. Согласно выше описанной программы натуральных наблюдений, сначала были проведены визуальные наблюдения водомерного сооружения на канале Тогузак.

Учет воды на данном канале ведется при помощи фиксированного русла.

Гидрометрический створ размещен на прямолинейном участке канала сразу за водовыпуском. На середине выбранного участка канала ложе и откосы облицованы монолитным бетоном (Рис.5.2). Ширина по дну фиксированного участка составляет $b=0,6$ м, что достаточно для обеспечения равномерного течения воды в створе гидрометрического поста, заложение откосов $m = 1,5$; уклон $i = 0,0008$. Форма поперечного сечения фиксированного русла трапецеидальная. Гидрометрический створ фиксированного русла оборудован уровнемерной рейкой, но нет гидрометрического мостика. Уровнемерная рейка была установлена в специальном колодце, имеющий размеры $0,45 \times 0,35 \times 0,6$ м, соединенный с каналом при помощи соединительной трубки. Дефектов облицовки и прочих повреждений на участке расположения средства измерения не наблюдалось.

Для сопоставления расходной характеристики были проведены контрольные замеры расходов воды. Градуировку фиксированного русла обычно производят путем измерения расходов воды в диапазоне от Q_{\min} до Q_{\max} . Но в вегетационный период у нас не было возможности производить измерения от минимального до максимального расхода. Но мы получили достаточное количество измерений расходов воды (не менее 5 – 6 раз) для построения расходной кривой $Q = f(H)$, в разный период времени.

Принцип выполнения измерений был следующим:

- «измерялась глубина воды на оси русла при помощи рейки с погрешностью не более 1 см;
- измерение проводилось дважды и принимался их средний результат»[147];
- скорость воды измерялась при помощи вертушки на осевой вертикали фиксированного русла на глубине h в соответствии с таблицей 5.1.

Таблица 5.1

Данные для выбора количества точек установки преобразователя скорости (гидрометрической вертушки)

Глубина потока на вертикали, м	Допускаемое количество точек установки первичного преобразователя вертушки на вертикали, шт	Координаты установки первичного преобразователя вертушки на вертикали (при отсчете от дна канала)
Менее 0,30	1	0,40 h_n
От 0,30 до 0,50	2	0,20 h_n ; 0,80 h_n
От 0,50 до 0,80	3	0,20 h_n ; 0,40 h_n ; 0,80 h_n
Более 0,80	5	0,10 м от дна; 0,20 h_n ; 0,40 h_n ; 0,80 h_n и у поверхности ($h_{пов}$)

Измерение скорости потока производилось при помощи аттестованной гидрометрической вертушки ГР – 99. Результаты измерений и вычислений глубины, скорости и расхода воды, а также дата их проведения записывались в журнал измерения расходов воды. При осуществлении измерений одновременно проводили оперативный контроль точности измерений. При появлении сомнительных значений измеряемых параметров (глубина, скорость, расстояние, уровень) они уточнялись и исправлялись или проводились повторные измерения.

По результатам градуировки построена графическая зависимость $Q = f(H)$, которая сравнивалась с расчетной зависимостью для данного гидростата.

Основной комплекс работ по измерению геометрических размеров русла был проведен при отсутствии воды в канале, т.е. до начала вегетации (Рис.5.2). Измерения указанных размеров, производился не менее двух раз с помощью металлических рулеток с погрешностью не более 0,5 % от нормальных величин.



Рис.5.2 Водомерное сооружение в канале Тогузак.

Таблица 5.2

Расчетные расходы воды на гидропосте Тогузак.

№ п.п.	Даты измерений	Уровни воды (см)	Н	Расход воды (м ³ /с) Q
1	06.04.16	12		0,0422
2	09.04.16	26		0,1718
3	20.08.16	40		0,3965
4	21.08.16	43		0,4586
5	27.06.16	54		0,731
6	15.07.16	64		1,046
7	17.06.16	66		1,12
8	18.06.16	70		1,267

Расчет погрешности гидропоста Тогузак

Число измерений	Уровни воды Н (см)	Расход воды Q_i (м ³ /с)	Расход воды Q_i^0 , (м ³ /с)	$\frac{Q_i - Q_i^0}{Q_i^0}$	$\left(\frac{Q_i - Q_i^0}{Q_i^0}\right)^2$
1	12	0,03	0,0422	0,289	0,08
2	26	0,12	0,1718	0,302	0,09
3	40	0,304	0,3965	0,092	0,008
4	43	0,35	0,4586	0,237	0,056
5	54	0,46	0,731	0,271	0,073
6	64	0,7	1,046	0,33	0,11
7	66	0,73	1,12	0,348	0,12
8	70	0,85	1,267	0,329	0,12
Σ					0,657

Расчет основной ошибки расчетной расходной характеристики производим по зависимости [147]:

$$\delta_r = \sqrt{\frac{1}{i-1} \Sigma \left(\frac{Q_i - Q_i^0}{Q_i^0}\right)^2} \cdot 100 \quad (5.1)$$

где Q_i – значение расхода воды, измеренное при натуральных условиях

Q_i^0 – значение расхода воды, определенное по расчету;

i – число результатов измерений

$$\delta_r = \sqrt{\frac{1}{7} \cdot 0,657} \cdot 100 = 30\% \quad (5.2)$$

Из графика видны большие расхождения между измеренными расходами воды и показаниями расчетных расходных характеристик гидропоста (рис.5.3),

причем измеряемые расходы воды при заданных наполнениях значительно меньше расчетных значений.

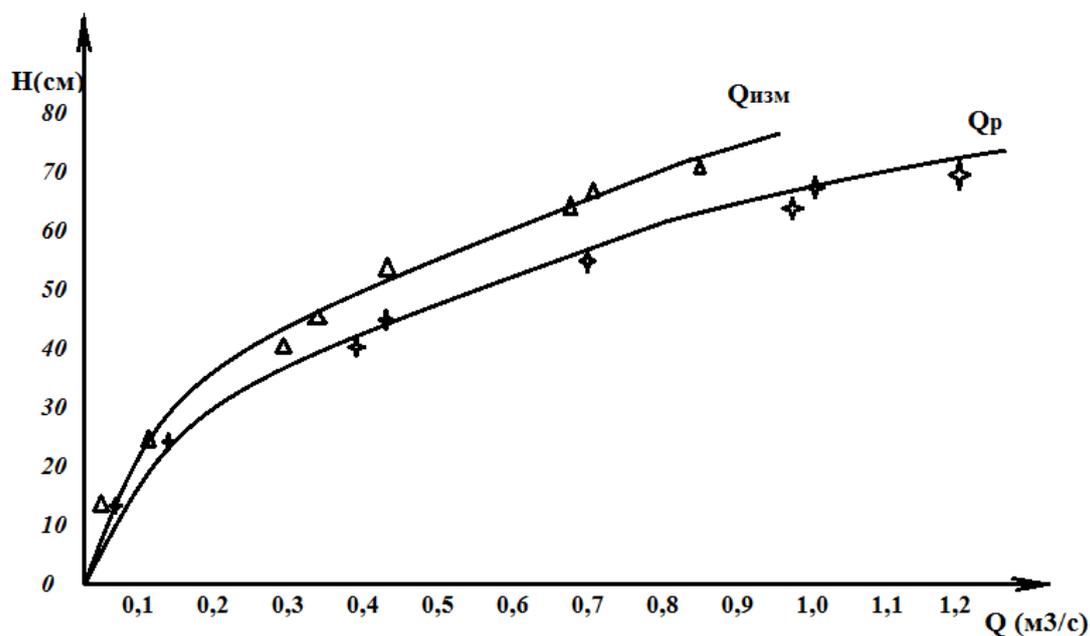


Рис.5.3 Расходная характеристика гидропоста на канале Тогузак

Показанную разницу между расчетной расходной характеристикой и измеренной доказывают также результаты расчета погрешности (табл. 5.3). Это может быть следствием следующих причин:

- уровень воды в колодце не отражает среднюю глубину потока по длине измерительного створа. При визуальном наблюдении ноль рейки не совпадал с отметкой дна канала в створе гидрометрического поста, что потребовало очистки колодца от ила и наносов;
- отсутствие гидрометрического мостика (скорость измерялась на автодорожном мосту)
- гидравлический расчет на пропускную способность канала выполнялся при коэффициенте шероховатости $n = 0,014$ для бетона, хотя заиливание канала наносами могли увеличить коэффициент шероховатости дна и привести к ухудшению параметров водного потока, что привело не только к уменьшению скорости потока, но и расхода воды.

Другое обследованное водомерное сооружение находится на канале-быстротоке Жетиген за водовыпуском в канал Тогузак (рис.5.4). Параметры канала подробно описаны в п. 4.1.2. Здесь также отсутствовал гидрометрический мостик. Скорость течения измерялась на автодорожном мосту, находящийся на 30 м ниже водомерного сооружения.



Рис.5.4 Водомерное сооружение на канале Жетиген

Расходная характеристика водомерного сооружения рассчитана для следующих параметров: $b = 1,65$; $i=0,04$

Таблица 5.4

Расчетные расходы воды на гидропосте Жетиген.

№ п.п.	Даты измерений	Уровни воды H_2 в колодце (см)	Расход воды Q (m^3/c)	Уровни воды H_1 в канале (см)	Расход воды Q (m^3/c)
1	06.04.16	18,5	1,31	19,7	1,56
2	09.04.16	20,0	1,519	21,3	1,75
3	20.08.16	23,0	1,88	24,2	2,12

4	21.08.16	24,0	1,997	25,1	2,23
5	27.06.16	29,0	2,64	30,5	2,94
6	15.07.16	33,0	3,19	34,5	3,56
7	17.06.16	35,0	3,47	36,8	3,93
8	18.06.16	38,0	3,9	39,5	4,3

Из-за постоянного колебания уровень воды в колодце ВМС, мы определяли осредненный из нескольких измеренных данных в колодце и также для проверки точности одновременно измеряли глубину воды в основном канале. Оказалось, что в соответствующем сечении, глубина воды в колодце и глубина воды в канале не равны. Такое положение также замечено в работе Сатаркулова С.С. [157] и службами эксплуатации на практике, например на канале Карагоо системы реки Аламудун, где глубина воды в траншее меньше, чем глубина в лотке. Из чего следует, что существующие гидропосты на каналах $ci > i_{кр}$ с соединительной трубкой не обеспечивают нормативной точности измерения расхода воды из-за того, что глубина воды в колодце h_2 меньше глубины воды в канале h_1 (табл. 5.4). Таким образом, по каналам-быстротокам проходят расходы больше, чем измеряемые по показаниям уровнемерных рек в успокоительных колодцах. Это связано с особенностями течения воды внутри самой соединительной трубки. Многие соединительные трубки на гидропостах напоминают насадки. Как известно, на входе в насадок происходит сжатие потока, при этом за сжатым сечением поток расширяется и на некоторой длине заполняет все сечение насадка, чем объясняется не только «пропуск воды без срывов, но и вытеснение воздуха из насадка (рис.5.5 а). Иначе говоря, зона сжатия в насадке изолируется от доступа воздуха через выходное отверстие, в ней возникает вакуум. Возникновению вакуума в головной части насадка (трубы)» [110] гидропостов способствует также затопленный режим истечения при выходе в успокоительные колодцы сооружений.

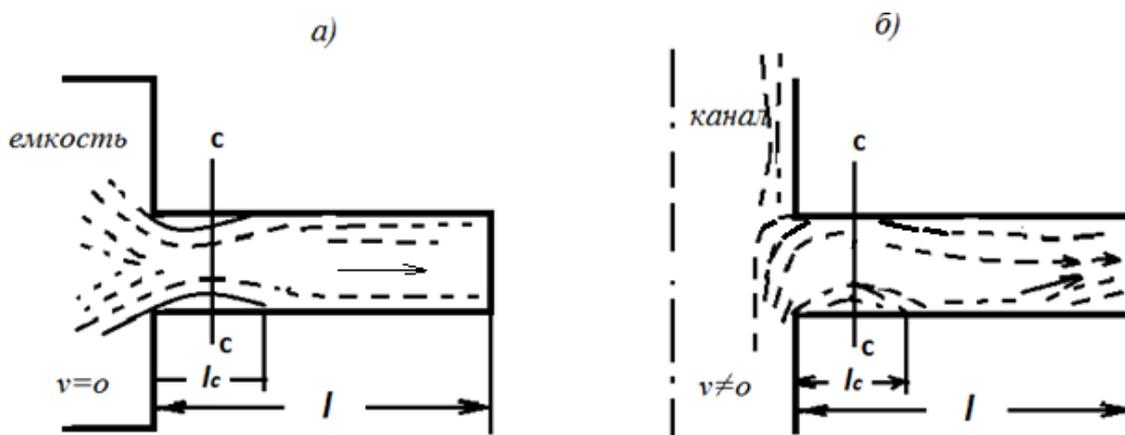


Рис. 5.5 Схема движения потока внутри насадка и внутри трубы.

На самом деле соединительные трубки отходят от дна каналов под углом 90° и поэтому течение воды внутри них будет немного другое, как на рис. (5.5 б), т.е. по всему периметру насадка отсутствует сжатие потока, и только имеется боковое сжатие со стороны верхней кромки отвода. Из-за того, что зона сжатия изолирована от доступа воздуха со стороны успокоительных колодцев, в ней также возникает вакуум. С возрастанием скорости потока в канале боковое сжатие будет увеличиваться, а с возрастанием скорости течения воды будет усиливаться и вакуум. При такой ситуации увеличение скорости течения воды в каналах при малых размерах трубы приводит к проскоку потока мимо него и отсосу воды вакуумом из успокоительных колодцев в трубу. Этим объясняется уменьшение глубины воды в колодцах по сравнению с глубиной потока в каналах. Следует отметить, что такое уменьшение ярко проявляется при больших скоростях течения воды в каналах.

Отсюда следуют два важных вывода при водоучете на быстротечных каналах:

1. Необходимо устранение вакуума во входной части соединительной трубки, которое обеспечивает равенство глубин в канале и колодце;
2. Необходим замер расходов при установившемся уровне воды в колодцах, а не при пульсирующей поверхности.

Далее, изучение режимов работы таких типов ВМС показало:

- из-за влияния бурностремительного потока на уровень воды в успокоительном колодце происходят пульсации уровня, что ведет к неточности отсчета уровней воды;
- уровень воды в успокоительном колодце часто не отражает осредненную глубину потока, особенно при широком канале и значительных скоростях течения воды в нем;
- успокоительный колодец заилен наносами, очистка которой осуществляется вручную.

5.2 Направление совершенствования средств водоучета бурных потоков в открытых каналах

«Методы «скорость-площадь» связаны с большим объемом дискретных измерений элементов расхода воды. Естественно стремление избежать этих трудоемких операций» [133,134], которые к тому же не всегда просто выполнить при бурном режиме течения потока.

В современных условиях эксплуатации ирригационных систем для выполнения стоящих перед ней задач, требующих оперативности и точности водораспределения, методы учета с помощью специальных измерительных сооружений занимают одно из первых мест.

Основными достоинствами метода учета водомерными сооружениями является несложность определения расхода, незначительная затрата времени и сравнительно высокая точность учета.

Эту задачу наиболее просто и точно решают водовыпуски постоянного расхода, способные автоматически сохранять постоянный заданный расход воды, независимо от изменения режима канала, и совмещающие функции регулирования и учета. Постоянство отпускаемого по плану расхода в пунктах распределения и выдела, поддерживаемого автоматически, исключает необходимость частого периодического наблюдения и перерегулирования, значительно упрощает учет воды на месте, вычисление стока и прочих действий, обязательных при применении других типов водомерных устройств [18].

Необходимо учитывать, что при выборе водомерных устройств на открытых водоводах редко удается обеспечить все необходимые условия без частичной реконструкции объекта. Иногда, стремление снизить затраты на строительные-монтажные и пуско-наладочные работы может привести к увеличению затрат на эксплуатацию.

Поэтому выбор типа ВМС должен производиться с учетом комплексной технико-экономической оценки, включающей кроме затрат на строительные-монтажные и пуско-наладочные работы и метрологическое обслуживание, также и негативные последствия организации на объекте пункта водоучета - снижение пропускной способности, затраты на очистку каналов, строительство струенаправляющих, мусорозащитных, энергогасящих сооружений, наращивание и крепление откосов каналов и т.п.

Выше было отмечено, что в настоящее время в республике получили широкое применение водомерные сооружения типов «фиксированное русло», «водосливы с тонкой стенкой» лотки САНИИРИ. В составе всех этих сооружений нет специальных элементов (водобойных колодцев, стенок, шашек и др.), служащих для гашения кинетической энергии потока в верхнем бьефе. Водомеры типа «фиксированное русло» применяются без гашения кинетической энергии потока. Лотки САНИИРИ используются боковым сжатием потока, при котором только частично гасится кинетическая энергия потока и это имеет место, в основном, при прохождении повышенных расходов воды. Водосливы сами создают подпоры (путем частичного перегораживания водотоков) без каких-либо специальных гасительных устройств. Поэтому в республике очень редко встречаются сооружения, функционирующие со специальными гасительными устройствами.

Весьма важно учесть, что в каналах с бурным режимом существующие средства измерения не обеспечивают стандартной точности измерений за счет пульсации водной поверхности. В таких случаях рекомендуется изменять скоростной режим потока за счет строительства специальных гасителей кинетической энергии на участке водомерного поста.

5.3 Совершенствование конструкций водомерных сооружений для каналов-быстротоков с бурным течением

Проведенный в разделе 1.6 диссертационной работы анализ характеристик существующих конструкций водоучета на оросительных системах, а также натурные исследования средств водоучета в п. 5.1 привели к заключению о совершенствовании конструкций водомерных сооружений для каналов-быстротоков с бурным течением, «поскольку большинство устройств предназначены для водоучета спокойного потока при вододелении отводимых расходов воды. Поэтому они включают конструктивные элементы, которые перегораживают поток (затворы, водосливы и др.). При установке таких водомеров» [111] создается высокое сопротивление основному потоку, появляется неравномерность распределения скоростей и удельных расходов воды в отверстиях затвора колодца из-за высокой скорости воды перед входом в отверстие затвора, что влечет пульсацию поверхности воды в колодце.

Для быстротечных каналов нами было разработано водомерное сооружение (ВСКСТ), содержащее измерительный участок, измерительный створ, успокоительный колодец, сообщенный с измерительным участком донной траншеей, ширина которой равна длине измерительного колодца и разделенной на равные камеры перегородками, при этом камеры снабжены отсекателями в виде горизонтальных козырьков, направленных встречно потоку и преобразователями в виде Г-образных козырьков, направленных встречно отсекателям [158]. (см.рис.5.6)

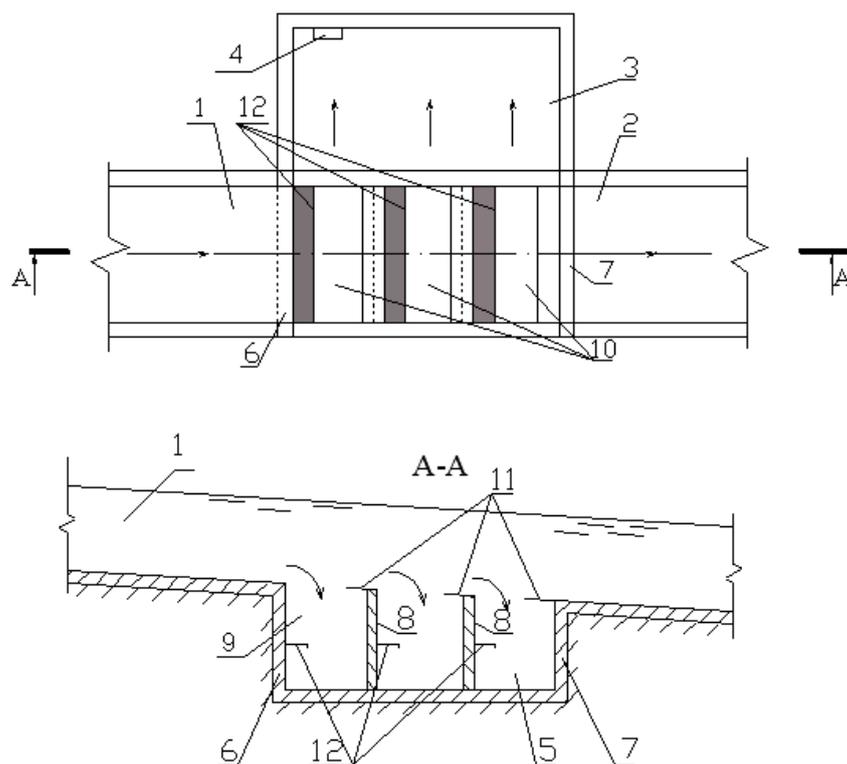


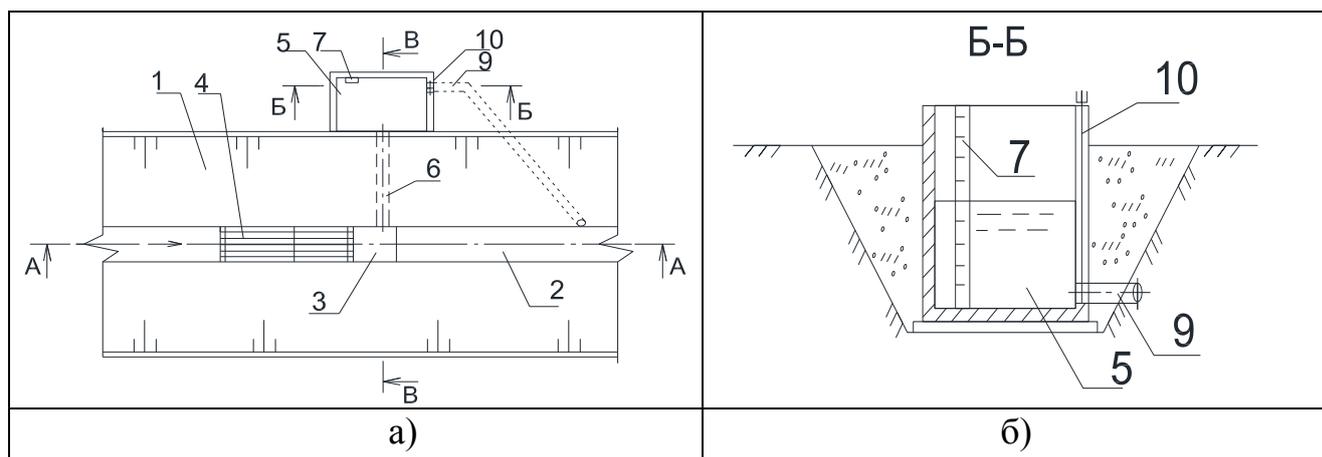
Рис.5.6 «Схема водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ)» [158]

Результаты исследований данного сооружения легли в основу отчета [150]. Недостатками этого устройства является громоздкость сооружения, предназначенного для нестационарных (волновых) потоков, из-за равенства ширины измерительного створа, ширины донной траншеи и длины измерительного колодца. Наличие в канале бурного безволнового потока не требует устройства донной траншеи из нескольких массивных камер, строительство которых вызывает неоправданное удорожание сооружения. Кроме того, недостатком является невозможность опорожнения воды из измерительного колодца и донной траншеи в конце вегетационного периода, что приводит к снижению надежности и разрушению сооружения в холодное время года.

С целью улучшения технико-экономических показателей водомерного сооружения путем уменьшения расхода материалов на строительство, повышения надежности в условиях высокоскоростного бурного потока за счет исключения пульсации уровня воды в успокоительном колодце, увеличив тем

самым точность водомера, повышения долговечности сооружения за счет опорожнения колодца в конце периода вегетации, предложена новая конструкция водомерного сооружения для каналов со бурным течением.

Водомерное сооружение для каналов с бурным течением (ВМСБТ-1) [151] содержит подводящий 1 и отводящий 2 каналы, измерительный участок, измерительный створ, донную траншею 3 в дне измерительного участка, покрытую съемной решеткой 4, выполненной из закрепленных на рамке продольных стержней, успокоительный колодец 5, соединенный с донной траншеей 3 при помощи соединительной трубки 6 и уровнемерную рейку 7 (рис.5.7). Донная траншея выполнена трапецевидной формы в продольном сечении со скосом передней по потоку стенки 12 на входе в траншею под углом 30° , вход в соединительную трубку 6 расположен у задней по потоку стенки 11 траншеи, к которой прикреплен горизонтальный козырек 8, отсекающий часть потока для направления его через трубку в успокоительный колодец 5. Успокоительный колодец соединен с нижним бьефом измерительного участка 2 канала сливной трубкой 9, на входе в которую размещен затвор 10 для опорожнения успокоительного колодца 5.



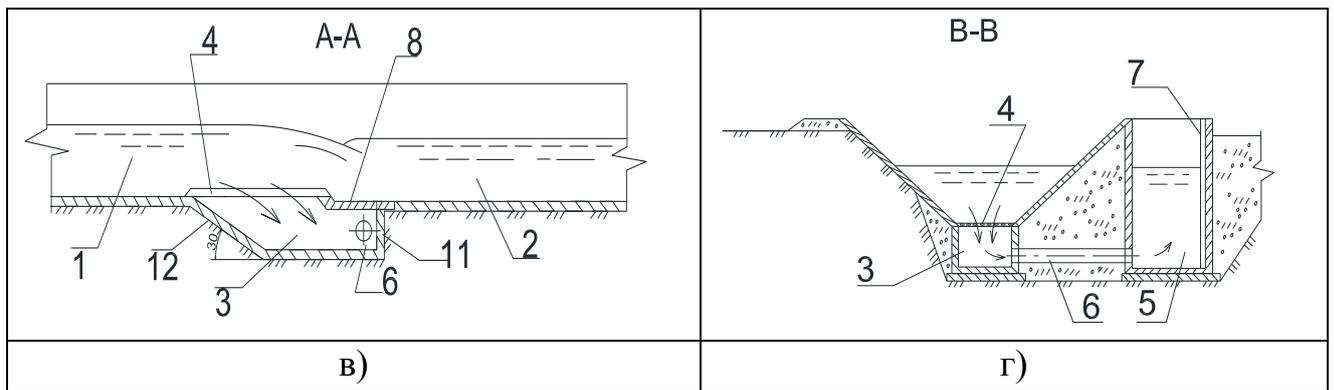


Рис.5.7 Водомерное сооружение (ВМСБТ-1) - а) в плане, б) разрез А-А в) разрез Б-Б, разрез В-В.

Водомерное сооружение для каналов с бурным течением (ВМСБТ-1) работает следующим образом (рис.5.7). Бурный поток, поступающий из подводящего канала 1 по наклонной передней стенке 12 донной траншеи, делится горизонтальным козырьком 8 на две части. Отсеченная нижняя часть потока направляется к задней стенке донной траншеи 11, образуя перед отверстием соединительной трубки 6 зону винтового движения жидкости постоянной массы воды. Форма и размеры донной траншеи имеют возможность отсекаемому потоку создавать закручивание - винтовое движение жидкости, направленное в обратную сторону движения потока в подводящем канале (в силу влияния передней со скосом по потоку стенки траншеи 12), что увеличивает сопротивление основному потоку по длине траншеи, которое положительно сказывается на изменении структуры высокоскоростного потока на входе в траншею.

Создание вращения перед задней стенкой траншеи 11 и отверстием соединительной трубки 6, сжатие и дальше потеря энергии на создание вращения потока, который образуется в начале траншеи, создает условие для равномерного и стабильного течения воды в соединительной трубке. Кроме того, образование по длине донной траншеи гидравлических сопротивлений основному потоку приводит к полной ликвидации сбойного течения в конце соединительной трубки, что обеспечивает равномерное втекание потока в

успокоительный колодец 5, что повышает точность водоучета. В свою очередь, донная траншея 3 покрыта съемной решеткой 4, выполненной из закрепленных на рамке продольных стержней, которые предохраняют отверстие соединительной трубки от мусора и плавающих предметов. Успокоительный колодец 5 соединен с нижним бьефом измерительного участка канала 2 сливной трубкой 9, оборудованной затвором 10 для опорожнения успокоительного колодца.

Такое конструктивное исполнение водомерного сооружения для каналов с бурным течением позволяет повысить равномерность истечения через сооружение в колодец, исключая пульсацию уровня воды в успокоительном колодце, увеличив, тем самым, точность водомера, а также повысить надежность и долговечность сооружения за счет опорожнения колодца в конце вегетации. На предложенную конструкцию водомерного сооружения «был получен Патент КР» [160].

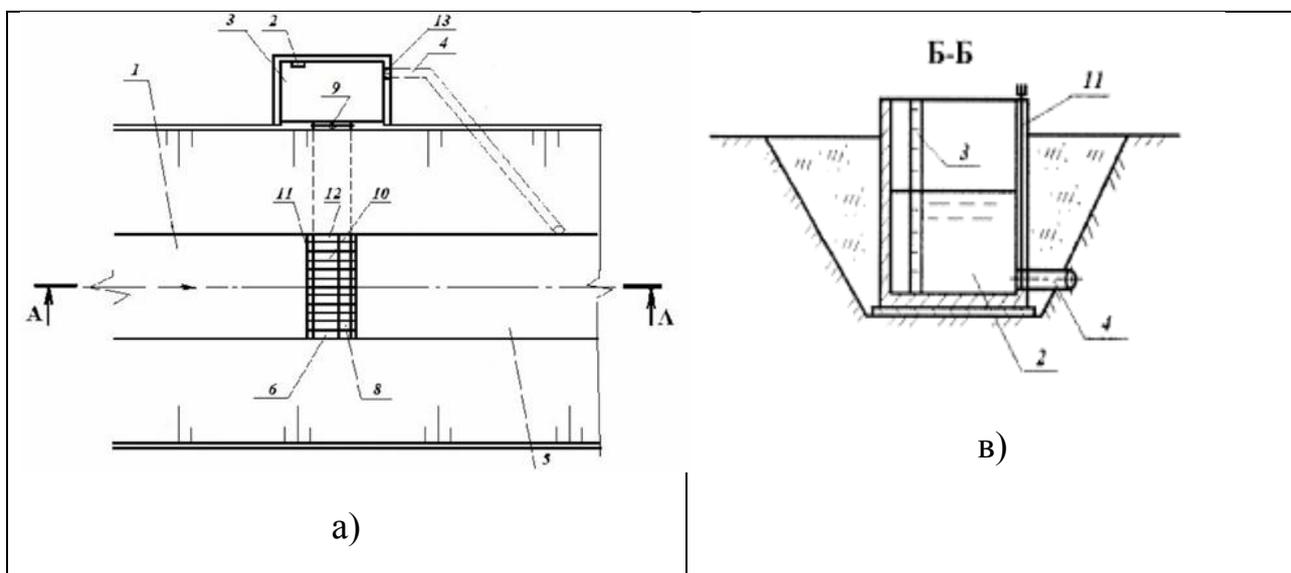
«Для разработки методики расчета усовершенствованной конструкции ВМС необходимо было провести гидравлические исследования физической модели ВМС в соответствии с методикой лабораторных исследований, изложенной в разделе» [166] 5.4.

Согласно разработанным требованиям, а также опираясь на известные разработки отечественных и зарубежных авторов, был разработан еще один другой тип конструкции водомерного сооружения.

«Сооружение для водоучета на каналах с бурным течением (ВМСБТ-2)» [161]. «Оно включает измерительный лоток 1, сообщающуюся с измерительной емкостью 2, оборудованной измерительным средством 3 (например, уровнемером или водомерной рейкой) и сообщенной при помощи отводящего трубопровода 4 с водотоком 5 ниже сооружения (рис.5.8)» [161]. Сооружение для водоучета содержит отводящую траншею 6 прямоугольного сечения, расположенную в дне измерительного лотка 1 и сообщающуюся с измерительной емкостью 2. «Отводящая траншея 6 покрыта съемной горизонтальной решеткой 7 и снабжена отсекающим козырьком 8,

размещенным на задней по направлению потока стенке 9 траншеи 6. Измерительная емкость 2 на входе оборудована вертикальной решеткой 10, а на выходе в отводящий трубопровод 4 – затвором-регулятором 11» [161].

«Съемная горизонтальная решетка 7 выполнена из закрепленных на раме 12 продольных стержней 13 ромбовидного сечения, обеспечивающих эффект дегурбулизации потока. Отсекающий козырек 8 расположен под углом $5-6^{\circ}$ к потоку, что» [161] дает возможность направить нижний слой воды из лотка 1 в отводящую траншею 6, не создавая при этом недопустимого сопротивления основному потоку. При размещении отсекающего козырька 8 к потоку под углом меньшим 5° не будет обеспечен достаточный захват потока в отводящую траншею, и потребуются увеличение ее габаритных размеров, а как следствие, и стоимости сооружения. При расположении отсекающего козырька 8 к потоку под углом большим 6° будет иметь место создание дополнительного сопротивления основному потоку в измерительном лотке 1, что может вызвать кавитационные разрушения измерительного лотка 1 в придонной области и, тем самым понизит надежность сооружения.



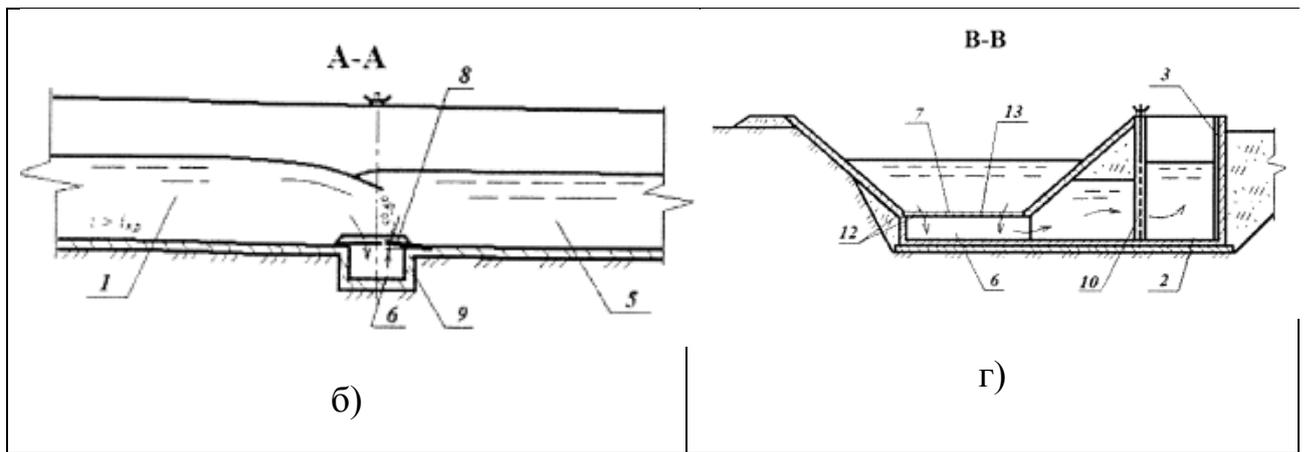


Рис.5.8 Водомерное сооружение (ВМСБТ-2) - а) в плане, б) разрез А-А в) разрез Б-Б, разрез В-В.

Сооружение для водоучета на каналах с бурным течением (ВМСБТ-2) работает следующим образом. «Бурный поток, проходя по измерительному лотку 1, имеющему уклон дна $i > i_{кр}$, через отверстия между стержнями 13 горизонтальной решетки 7, отделяемый отсекающим козырьком 8, поступает в отводящую траншею 6, по которой направляется к вертикальной решетке 10, и далее, проходя через отверстия вертикальной решетки 10, которая гасит кинетическую энергию потока, он уже в спокойном состоянии поступает в измерительную емкость 2, где обеспечивается измерение уровня воды при помощи измерительного средства 3»[161].

«В течение периода эксплуатации сооружения затвор-регулятор 11, размещенный на входе в отводящий трубопровод 4, остается закрытым, и открывается только по окончании периода эксплуатации для опорожнения измерительной емкости 2 и проведения текущих ремонтов»[161].

Плавник и крупные фракции донных наносов благодаря продольным стержням 13 съемной горизонтальной решетки 7 не попадают в отводящую траншею 6 и в измерительную емкость 2, а проносятся транзитным потоком вниз по течению.

«Предлагаемая конструкция сооружения для водоучета позволяет переводить поток из бурного состояния в измерительном лотке 1 в спокойное состояние в измерительной емкости 2 без устройства специальных гасителей

энергии бурного потока, снижая погрешность измерения расходов воды в измерительном лотке 1 путем повышения точности измерения уровня воды в измерительной емкости 2, а также способствует экономии воды за счет исключения выплесков воды за пределы измерительного лотка 1, исключает разрушение выступающих в лотке элементов бурным потоком, что продлевает долговечность сооружения, минимизирует затраты на текущие ремонты и повышает эксплуатационную надежность сооружения в целом» [161]. .

5.4 Программа и методика проведения лабораторных исследований сооружений водоучета для каналов с бурным течением

5.4.1 Конструкция экспериментальной установки для исследования усовершенствованных водомерных сооружений

Экспериментальные исследования модернизированных конструкций сооружений водоучета были выполнены на базе техноцентра КРСУ.

«Лабораторная установка для исследований (ЭГЛ) размещена в гидравлическом лотке прямоугольного поперечного сечения с гладким дном и предназначена для модельных исследовательских работ»[12]. «Она представляет собой закольцованную систему, которая состоит из следующих основных элементов: напорный бак-успокоитель 1, лабораторный лоток 2, на лотке установлена модель водомера 3, отводящий канал 4 с мерным водосливом 5, приемная камера 6, соединяющаяся с помощью системы трубопроводов 7 с баком-успокоителем, вода в который перекачивается при помощи насосного агрегата 8 (рис. 5.9, 5.10)»[12].

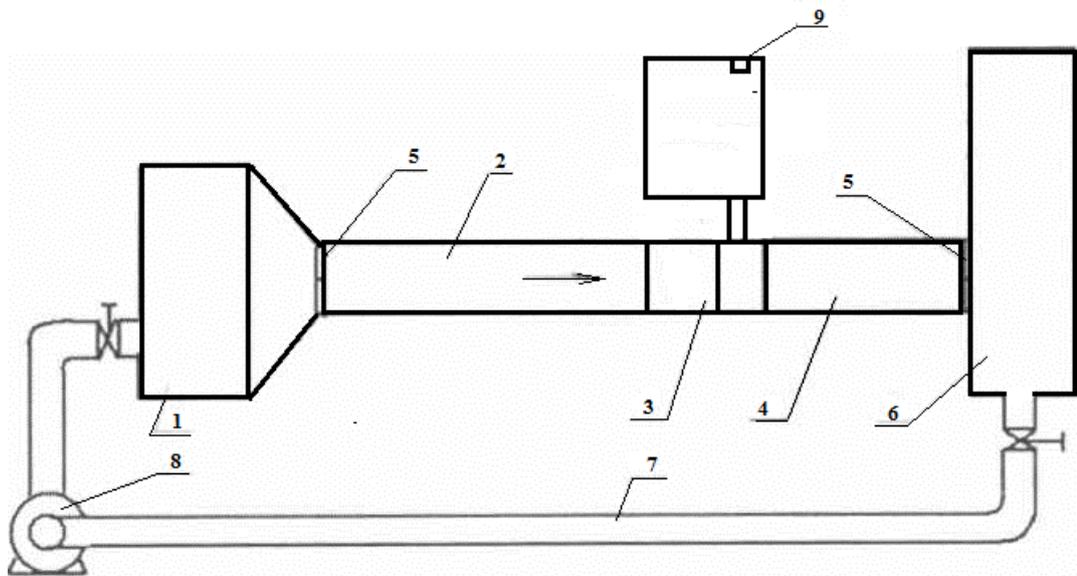


Рис. 5.9 Схема экспериментальной установки для выполнения гидравлических исследований ВМС для каналов с бурностремительным режимом: 1 – стабилизирующий резервуар; 2 – лоток; 3 - модель ВМ; 4 – отвод; 5 – водослив; 6 – сбросной резервуар; 7 – система ТБ; 8 – насос; 9 – уровнемерная рейка.



Рис. 5.10 Экспериментальный гидравлический лоток (ЭГЛ) в лаборатории техноцентра КРСУ.

«Расход воды, поступающий из бака 1 в ЭГЛ 2, измерялся с помощью мерного треугольного водослива Томсона 5. Для гашения энергии потока, поступающего от насоса 8 к мерному водосливу 5, в баке-успокоителе 1 устраивался сотовый гаситель. Для измерения уровней воды в успокоительном колодце к его задней стенке была прикреплена металлическая линейка 9»[12].

«Регулирование поступающего в ЭГЛ расхода воды производилось верхней задвижкой. Уклон ЭГЛ изменялся от нулевого до критического (более 0,02) с помощью специального винтового подъемника. Стенки гидравлического лабораторного лотка и успокоительного колодца выполнены прозрачными из стекла для фотографирования и видеосъемки гидравлических процессов. Шероховатость дна лотка рассчитана и выполнена по правилам физического моделирования в соответствии с шероховатостью бетонного покрытия каналов-быстротоков. Для измерения глубины воды и колебания уровня свободной поверхности использовался шпитценмасштаб (мерная игла)»[12].

«Лабораторные модели усовершенствованных конструкций водомерных сооружений были рассчитаны и запроектированы исходя из соображений учета расхода воды, проходящего по ЭГЛ, а также соизмеримые с лотком»[12].

5.4.2. Гидравлическое моделирование течения жидкости на канале-быстротоке.

Модели ВМС были спроектированы и изготовлены на базе техноцентра КРСУ. «Как известно, при моделировании безнапорного установившегося неравномерного движения жидкости основным критерием подобия явлений на модели и в натуре является выполнение равенства чисел подобия»[144]:

- Числа Фруда $Fr = \frac{v^2}{gL} = idem$

- Числа Рейнольдса $Re = \frac{vL}{\nu} = idem$

- Числа Эйлера $Eu = \frac{p}{\rho v^2} = idem$

- Числа Струхала $Sh = \frac{L}{vt} = idem$

Где L – линейный размер; v – скорость; ν – кинематический коэффициент вязкости воды; p – давление; t – время; ρ – плотность воды.

В случае течения жидкости по каналу доминирующими силами являются силы тяжести. Поэтому основным условием подобия является выполнение критерия Фруда. В связи с чем, моделирование проводилось по критерию Фруда, а масштаб модели выбирался таким образом, чтобы можно было пренебречь силами вязкости без ущерба для снижения точности экспериментальных данных. И как следствие, допустимые значения чисел Рейнольдса для модели Re_m должны удовлетворять следующему условию

$$Re_m \geq Re_d \quad (5.3)$$

«Где Re_d – пороговое значение числа Рейнольдса.

Данное значение рассчитывается по зависимости»[144]:

$$Re_d = 14 \frac{R_m}{K \lambda_m^{0,5}} \quad (5.4)$$

«где R_m – гидравлический радиус живого сечения потока на модели; K – расчетная высота выступов шероховатости» [144] на поверхности модели; λ_m – коэффициент гидравлического трения модельного русла».

При расчете порогового значения Re_d скорость потока жидкости принимается равной скорости, допустимой по условию обеспечения режима течения, относящегося к автомодельной области квадратичного сопротивления или близкой к области докватратичного сопротивления турбулентного режима. Коэффициент гидравлического трения λ_m выражается формулой А.П.Зегжды [162]:

$$\frac{1}{\lambda_m^{0,5}} = \frac{4}{K} \lg R_m + 4,25 \quad (5.5)$$

Минимальный линейный масштаб модели, который обеспечивает соблюдение условия (5.3), определяется зависимостью:

$$\alpha_{I_{min}} = \left(\frac{Re_d}{Re_H} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (5.6)$$

где Re_H - число Рейнольдса для натурального канала.

Результаты вычислений для различных параметров натурального потока приведены в табл. 5.5.

В качестве натурального сооружения был выбран канал «Жетиген» шириной 1,65 м. Определяемый подбором линейный масштаб моделирования принят равным $\alpha_l=5,5$. Как видно из данных табл. 5.5, числа Рейнольдса для модели Re_M значительно больше их порогового значения Re_d , т.е. силы вязкости можно не моделировать. Минимальный масштаб модели $\alpha_{I_{min}}$, обеспечивающий соблюдение условия (5.3) лежит в «пределах 0,005 - 0,0083 (табл.5.5). Поскольку, линейный масштаб моделирования, принятый 1:5,5 значительно больше минимально допустимого, обеспечивается автомодельность по Рейнольдсу»[153].

Следует отметить, что расчеты выполнены для вязкости воды $\nu= 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при температуре $t= 16^{\circ}\text{C}$ и для высоты выступов шероховатости $\kappa = 0,01$ применительно к модели из стекла со стыками.

Таблица 5.5

Характеристики натурального и модельного потока

Гидравлическая характеристика	Величина характеристики для глубины натурального потока жидкости h_n , м			
	0,2	0,4	0,6	0,8
<i>Натурный поток</i>				
Гидравлический радиус потока R_n , м	0,161	0,269	0,347	0,4
Скорость потока v_n , м/с	1,7	2,5	3,2	3,6
Число Рейнольдса Re_n	25044642	36830357	47142857	53035714
<i>Модельный поток</i>				
Глубина потока	3,6	7,27	10,9	14,5

h , см				
Гидравлический радиус потока R_m , см	2,9	4,9	6,3	7,37
Скорость потока v_m , см/с	0,935	1,375	1,76	1,98
Число Рейнольдса Re_m	25044,642	36830,357	47142,857	53035,714
Коэффициент гидравлического трения русла $\lambda_m^{-0,5}$	22,74	31,8	36,22	38,95
Пороговое значение числа Рейнольдса Re_d	9233	21815	31945,5	40188,55
Мин. линейный масштаб $\alpha_{I_{min}}$	0,00515	0,00706	0,0078	0,0084

Масштабы параметров моделирования по числу Фруда (скорости, расхода) других гидравлических величин бурностремительного потока даны в табл. 5.6.

Таблица 5.6 – Масштабные коэффициенты моделирования водомерного устройства по числу Фруда

Наименование величин	Обозначение величин	Формулы пересчета	Масштабн. коэффициенты
1	2	3	4
Линейные размеры (длина, ширина, высота)	l	λ	5,51
Скорость воды	V	$\lambda^{0,5}$	2,344
Расход воды	Q	$\lambda^{2,5}$	70,95
Время	t	$\lambda^{0,5}$	2,344
Ускорение	a	λ	5,52

Сила	F	λ^3	166,376
Мощность	N	$\lambda^{3,5}$	390,178

«Используя линейный масштаб, был выполнен пересчет размеров сооружения с натуры на модели по формуле $l_m = \frac{l_n}{\lambda}$, где l_n и l_m – соответственно линейные размеры элементов сооружения на натуре и на модели, λ - линейный масштаб гидравлического моделирования. Как уже было отмечено, в качестве натурального объекта был принят участок быстротечного канала «Жетиген» с прямоугольной формой поперечного сечения» [12].

Величины размеров ЭГЛ были следующими: длина $L=3,6$ м, ширина прямоугольного лотка $B=0,3$ м, строительная высота или высота бортов $0,3$ м, уклон дна равен $i=0,0216$, что в масштабе соответствует размерам объекта в натуральную величину.

Размеры модели колодезной части ВМС $400 \times 300 \times 300$ (мм). Величины успокоительного колодца составляли $400 \times 400 \times 500$ (мм).

Для визуального наблюдения уровня воды успокоительный колодец был выполнен из прозрачного оргстекла, к стенке которой прикреплена измерительная линейка для замеров уровней воды в колодце (рис. 5.9).

«Шпитценмасштаб на модели был передвижным, что позволяло выполнять измерения глубин бурного потока в отмеченных фиксированных створах, в том числе контролировать измерения уровня в успокоительном колодце» [12].

«Точность измерения расходов на экспериментальной установке контролировался балансовым методом расходов» [12], измеренных водосливами головной и концевой части. Потери воды на протечку составляли не более 3...5 % общего объема расхода благодаря герметичной изоляции ЭГЛ. Для «выполнения поисковых лабораторных исследований был произведен расчет и проектные чертежи модели ВМС, по которым из металла и оргстекла изготовлена модель водомерного сооружения. С учетом имеющейся

измерительной аппаратуры и технических средств, разработан объем, последовательность лабораторных исследований, и этапы проведения модельных исследований» [45].

В гидравлические исследования ВМС были включены:

а) Подтверждение экспериментальными исследованиями свойства водоучета усовершенствованной конструкцией;

б) Изучение режима работы в ЭГЛ при работе усовершенствованного ВМС, изучение факторов определяющие параметры ВМС ;

в) Изучение динамики изменения уровня воды в стабилизирующем колодце в функции расхода воды, пропускаемого по транзитному каналу;

Исключительная сложность гидравлических явлений происходящих в бурностремительных потоках дает необходимость выполнения методики (задач) для исследования аналогичные [45]:

- «Изучение модели ВМС для каналов с бурным течением проводить при наполнениях в ЭГЛ равных или меньших критической глубине соответствующей критическому уклону лабораторного лотка»[45].
- «Оценка эффекта водоучета при различных величинах расходов Q_i в магистральном лотке (ЭГЛ). Расходы на входе в ЭГЛ и на выходе из него измерялись аккредитованными водосливами Томсона» [45].
- «Измерение глубин и геометрических напоров на модели в силу пульсации на свободной поверхности потока выполнялись по методу Р.Брока с многократной повторностью ($n \geq 5$) шпигенмасштабом с точностью до 1 мм» [45].
- «Измерение глубин в успокоительном колодце проводились при помощи металлической мерной линейки с ценой деления 1 мм с контролем шпигенмасштабом и повторностью замеров $n \geq 3$ »[45].

Статистическая обработка результатов экспериментальных данных выполнялся методом наименьших квадратов регрессионного анализа.

5.5 Поисковые лабораторные исследования сооружений водоучета для каналов с бурным течением

5.5.1 Экспериментальные исследования водомерного сооружения типа ВМСБТ-1 для каналов с бурным течением

«Основная задача экспериментальных исследований – установление расходной характеристики водомерного сооружения»[57], установление закона распределения удельных расходов по ширине над сооружением.

Детализированные лабораторные исследования водомерных сооружений имели цель:

- 1) Установление водомерных свойств разработанного ВМС;
- 2) Определение функциональной связи показателей уровня воды в стабилизирующем колодце от расходов воды в поводящем канале;
- 3) Изучение водомерной характеристики нового ВМС составлением тарировочной кривой;
- 4) Определение как погрешности, так и точности учета расходов воды ВМС в транзитном канале;
- 5) Оценка качества измерения ВМС и определение его конструктивных параметров.

«Основной целью проводимого экспериментального исследования было установление наличия закономерности между наполнением в успокоительном колодце и расходом воды в транзитном лотке и ее описание» [110].

Для исключения грубых ошибок измерений и оценки погрешности эксперимента каждый опыт повторялся трижды. Во всех опытах в каждом створе производилось измерение:

- глубины потока h ;
- скорости потока v ;
- транзитный расход Q ;

Измерения характеристик течения выполнялись с помощью приборов и устройств, обеспечивающих достаточную точность в пределах 2...5 %. Глубина потока измерялась мерной иглой, укрепленной на подвижной деревянной

балке, скорость потока – универсальным инструментом Precision Measuring Instruments серии P700, которая идеально подходит для измерения операций, при которых требуется высокая точность подсчета (рис.5.11). Диапазон измерения скорости составляет 0,1...6,0 м/с. Точность измерения не превышает 1 % от конечного значения скорости. Проведение опытов сопровождалось фотосъемкой.



Рис.5.11 Универсальный инструмент Precision Measuring Instruments серии P700, для измерения скорости потока

Расход на подходе к участку с водомерным сооружением изменялся в диапазоне 2,0...15 л/с, средняя скорость потока v_0 в канале варьировал от 0,98 до 2,2 м/с. Для выбранного масштаба установки 1:5,5 это соответствует натурному значению расхода 0,15...1,2 м³/с при скорости 2,3...5,2 м/с. Такие значения расходов и скорости потока характерны для сетевых быстротечных каналов горно-предгорной зоны.

В процессе проводимого исследования основной целью было изучение зависимости изменения уровня воды в стабилизирующем колодце от изменения

расходов воды в транзитном канале, для чего «замерялись уровни воды в успокоительном колодце, соответствующие заданным расходам воды в подводящем канале, велись наблюдения и фотосъемка за структурой потока на выходе из донной траншеи в успокоительный колодец» [110].

Экспериментальные исследования выполнялись для подтверждения водомерных свойств ВМС. Поэтому в процессе «исследований устанавливалась, пропорциональность изменения наполнения в успокоительной камере изменению расходов воды в ЭГЛ. В рамках данной работы исследования проводились только для бурного или бурностремительного режима течения воды в транзитном канале» [110].

Исследования проводились при расходах воды по транзитному каналу в пределах $0,50 \div 14,0 \text{ л/с}$ что соответствует наполнениям $H=15,5 \text{ мм}$ до $H=45,2 \text{ мм}$ при бурном режиме в ЭГЛ. Уровни воды в стабилизирующем колодце изменялись в пределах $h=224,5 - 264 \text{ мм}$.

«Управление транзитными расходами воды в ЭГЛ осуществлялось вентилем на подводящем к стабилизирующему резервуару трубопроводе. Замер глубин на измерительном водосливе на входе» [110] в ЭГЛ (рис.5.12 а), и напоров в самом ЭГЛ выполнялось мерной иглой с точностью до 1 мм (рис.5.12 б).



a)



b)

Рис.5.12 Измерение уровней потока на мерном водосливе (а) и на транзитном лотке ЭГЛ в подводящем участке ВМС (b).

Результаты измерений наполнений в стабилизирующем колодце ВМС и расходов воды в магистральном лотке приведены в табл. 5.7.в соответствии с которой построен график, устанавливающий закономерность между уровнем в колодце и расходом в канале (рис. 5.13).

Так как режим потока в ЭГЛ был стационарный безволновой, то колебания уровня в успокоительной камере отсутствовали.

Таблица 5.7 – Изменения наполнений в успокоительной камере модели водомерного сооружения (ВСБТ-1) при изменении расходов воды в ЭГЛ

№ опыта	Транзитный расход воды Q , л/с	Наполнения в ЭГЛ, см	Наполнения в успокоительном колодце, см
1	0,51	0,56	22,46
2	2,94	2,1	23,86
3	4,1	2,25	24,32

4	6,14	3,1	24,91
5	8,38	3,35	25,52
6	10,46	3,85	25,92
7	12,03	4,1	26,21
8	12,47	4,53	26,31
9	13,06	4,55	26,42

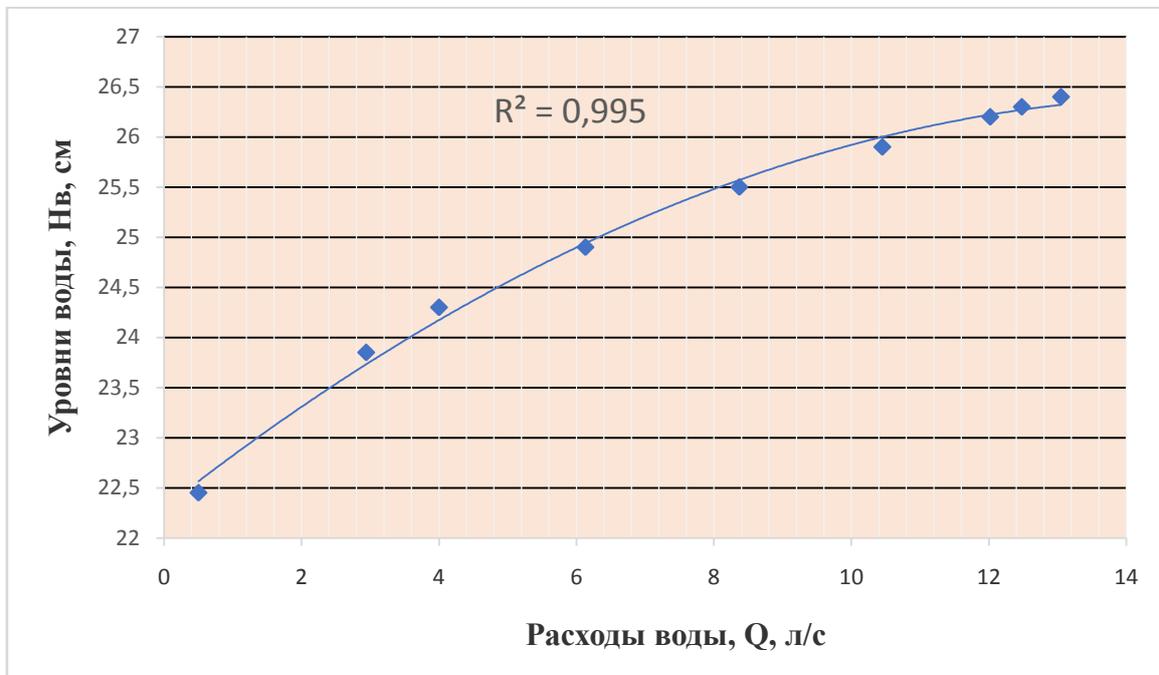


Рисунок 5.13 – Зависимость наполнений в успокоительном колодце от изменения транзитных расходов в лотке в абсолютных значениях .

«График на рисунке 5.13 убедительно свидетельствует монотонную правильную зависимость наполнения h_v успокоительном колодце от расхода воды в магистральном канале» [166] при бурностремительном режиме потока в магистральном канале.

Колебания уровня воды в магистральном канале с бурным течением не могут оказывать негативное воздействие на точность водоучета, поскольку в успокоительной камере колебаний уровня воды не замечается. Погрешность водоучета при таких условиях составила 4-5 %. Таким образом, высокая водомерная способность предложенной конструкции ВМС (ВМСБТ-1) неоспорима.

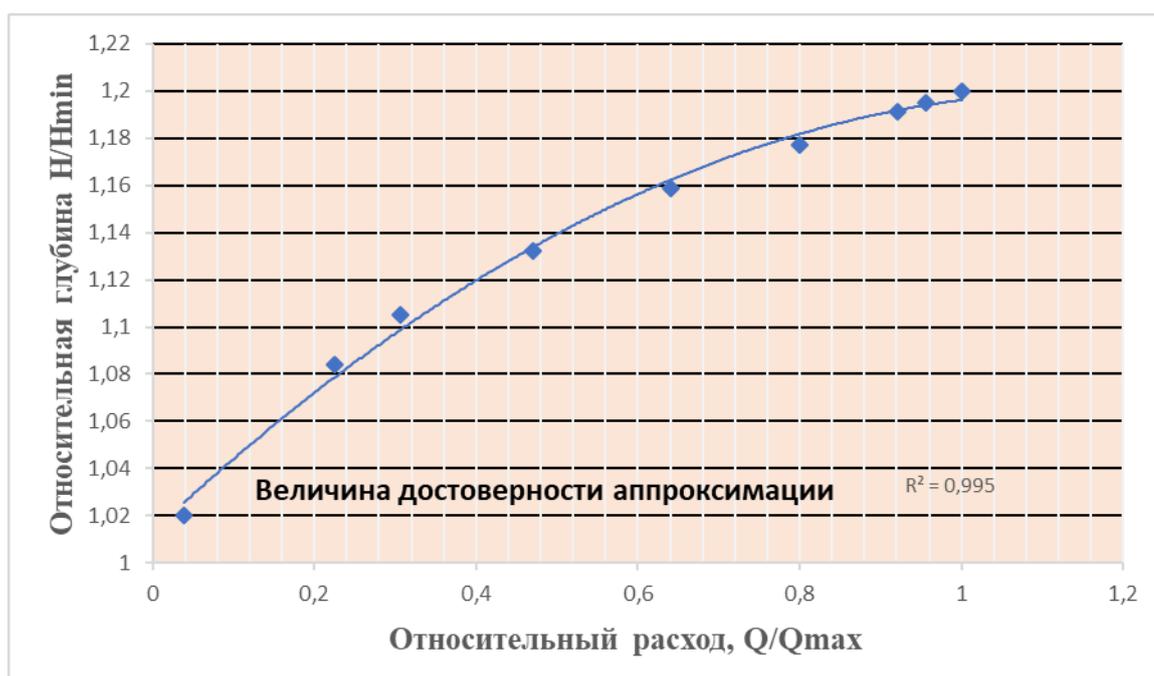
Донная траншея, выполненная в форме трапеции в продольном сечении со скосом передней по потоку стенки на входе в траншею под углом 30° (рис.5.7), а также съемная решетка 4, выполненная из закрепленных на рамке продольных стержней позволила исключить образование всплесков и сбойности на сооружении.

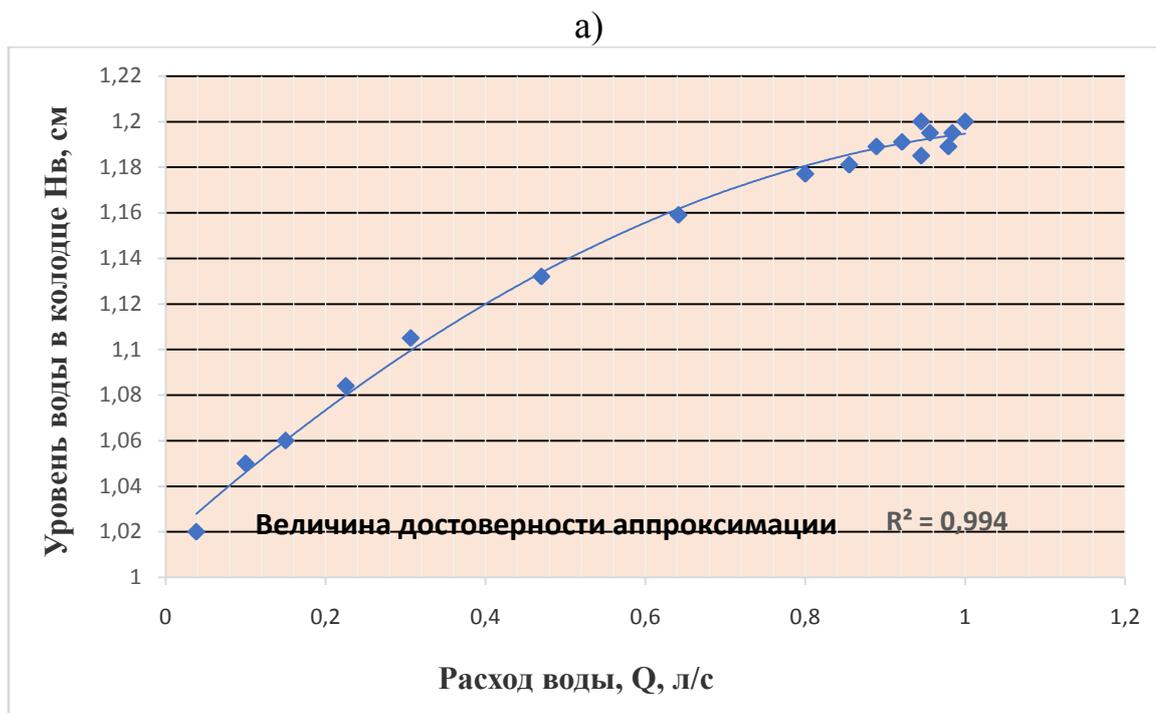
«Замеры расходов воды в лотке и глубин в гидравлическом лотке и успокоительном колодце дали возможность построить тарифовочную кривую, которую в натуральных условиях можно использовать для коммерческого водоучета» [12].

Анализ результатов замеров уровней, расходов воды и составления тарифовочной кривой проводились при расходах в транзитном лотке $Q = 0,5 \dots 14,0 \text{ л/с}$ при бурном режиме потока.

Тарифовочная кривая, в основу которой положены данные таблицы 5.7, представлена на рис. 5.14.

На графике тарифовочной зависимости, представленной в относительных единицах $Q/Q_{\max} = f(H/H_{\min})$, Q_{\max} - максимальный расход воды в канале, а H_{\min} - минимальная глубина воды в успокоительном колодце, при которой глубина воды в канале равна нулю, но донная траншея заполнена водой, $H_{\min} = 22,0 \text{ см}$.





б)

Рис.5.14 Тарировочная зависимость модели ВМС(ВМСБТ-1) для бурного потока:
а) в относительных единицах б) в абсолютных единицах.

«Обработка результатов лабораторных исследований модели водомерного сооружения и построение тарировочной кривой проводились с использованием персональной ЭВМ в программе MicrosoftExcel методом наименьших квадратов. Величины достоверности аппроксимации построенных тарировочных кривых составили» $R^2=0,994,5$;

Для модели ВМС типа ВМСБТ-1 наиболее оптимальная ширина стабилизирующей камеры составляет 0,40 м или 1,33b.

Диаметр соединительной трубы при $Fr \leq 0,5$ обычно применяется 0,05-0,1 м, поэтому для $Fr \geq 0,5$ принимаем 0,1-0,15 м, т.е 0,1b[148].

Выводы: В процессе наблюдений измеренная величина Н позволяет определять расход воды независимо от режима истечения при уклонах дна канала больше критического.

Основная относительная погрешность водомерного устройства не превышает величины $\pm 3\%$.

Погрешность измерения расхода снижается за счет выравнивания уровней воды в канале и колодце.

5.5.2 Исследование водомерной способности и конструктивных параметров (ВМСБТ-2)

Испытание другого разработанного водомерного сооружения (ВМСБТ-2), осуществлялось на выше описанной лабораторной установке при тех же модельных размерах (рис.5.15). Методика проведения исследований описана в разделе 5.4.



Рис. 5.15 Экспериментальный гидравлический лоток (ЭГЛ) в лаборатории техноцентра КРСУ.

В отличие от ВСКСТ [158] в рассматриваемой усовершенствованной конструкции предусматривается отводящая траншея с одной камерой, что целесообразно из экономических соображений.

Целью проводимого исследования данного «сооружения по аналогии с ранее проводимыми, было установление наличия закономерности между наполнением в успокоительном колодце и расходом воды в транзитном лотке, выявление водомерных характеристик конструкции водомера и обосновать возможность его применения для целей водоучета на быстротечных каналах.

В ходе лабораторных исследований по транзитному лотку пропускались расходы воды с параметрами в пределах $1,3 \div 4,0$ л/с, что соответствовало уровням в магистральном канале от $H=1,71$ см до $H=2,61$ см при стационарном режиме в магистральном канале, а уровни воды в успокоительной камере менялись в пределах $H_g=23,78 \dots 25,26$ см» [12].

Измеренные экспериментальные данные для нового ВМС типа (ВМСБТ-2) приведены в табл. 5.8., и в графике на рис. 5.16. На графике хорошо видна упорядоченная зависимость изменения наполнений в стабилизирующей камере при изменении расходов воды в быстротечном магистральном канале. Колебаний уровня воды в стабилизирующей камере также не наблюдалось.

Таблица 5.8 – Изменения наполнений в успокоительном колодце модели водомерного сооружения (ВМСБТ-2) при изменении расходов воды в ЭГЛ

№ опыта	Транзитный расход воды Q, л/с	Наполнения в ЭГЛ, см	Наполнения в успокоительном колодце, см
1	1,298	1,8	23,8
2	2,395	2,25	24,26
3	1,927	2,1	24,1
4	2,357	2,25	24,25
5	3,664	2,6	24,6
6	3,714	2,65	24,62
7	3,566	2,58	24,58
8	3,794	2,6	24,62
9	3,665	2,64	24,64
10	3,615	2,66	24,66
11	2,591	2,45	24,45
12	1,521	2,1	24,05
13	2,796	2,5	24,48
14	3,384	2,6	24,61

15	3,666	2,7	24,7
16	3,715	2,72	24,65
17	3,784	2,75	24,63

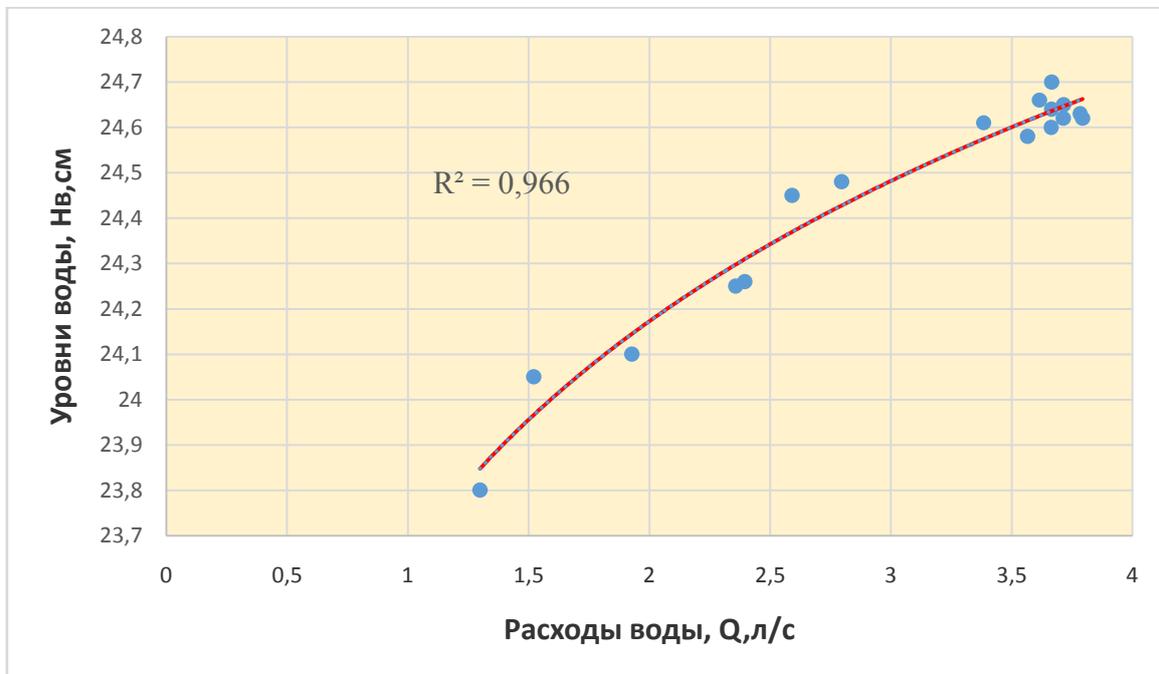


Рис. 5.16 Функция изменения наполнений в успокоительной камере ВМС типа ВМСБТ-2 при изменении расходов воды в магистральном канале

5.6 Исследование показателей качества водоучета новыми конструкциями водомеров

«Для рекомендации предложенных устройств в качестве водомерных сооружений на каналах оросительных систем, необходимо было экспериментальным путем проверить качество работы сооружений, обосновать их диапазон регулирования» [12], обеспечить достоверность контрольных измерений. Качество работы сооружения оценивается по степени точности, по признаку соответствия сооружения техническим и технологическим требованиям и эксплуатационной надежности.

Нами были проведены лабораторные исследования качества водоучета на моделях ВМСБТ-1 и ВМСБТ-2 по степени точности.

В процессе исследований по транзитному гидравлическому лотку пропускались расходы воды в пределах $Q=0,5 - 13,5$ л/с для ВМСБТ-1 и $Q=1,9 - 7,5$ л/с для ВМСБТ-2. При всех отмеченных расходах параметр Фруда был больше единицы.

В ЭГЛ глубины, изменялись в пределах $H=0,55 \div 4,5$ см для ВМСБТ-1 и в пределах $H=1,79$ см $\div 2,45$ см для ВМСБТ-2. Уровни воды в успокоительной камере изменялись от $H_г=22,4 \dots 26,4$ см до $H_г=23,8 \dots 25,4$ см. «Значение минимального уровня в успокоительном колодце $H_{в(min)}$ и максимального расхода воды Q_{max} в ЭГЛ принималось исходя из возможностей лабораторной установки равными $H_{min}=22,0$ см и $Q_{max}=30$ л/с» [159].

«Регулирование транзитных расходов воды в ЭГЛ осуществлялось задвижкой на трубопроводе, расположенной рядом с баком-успокоителем. Измерение наполнений на мерном водосливе на входе в гидравлический лоток выполнялось при помощи шпитценмасштаба с точностью до 1 мм» [159].

«Глубины в ЭГЛ в створе сооружения замерялись в соответствии с методикой выполнения лабораторных исследований, описанной выше в разделе 5.4.

Установление процента отклонений фактических расходов воды в ЭГЛ, от их расчетного значения, соответствующего определенному уровню воды в успокоительном колодце, было главной целью исследований. Поэтому для исследования качества функционирования действующих моделей ВМС типа ВМСБТ-1, ВМСБТ-2 в успокоительной камере замерялись наполнения и по расчетной тарировочной кривой определялись величины расходов Q_p воды в ЭГЛ. Параллельно при помощи водослива в голове ЭГЛ проводились замеры фактических значений расходов в момент замеров наполнений, затем значения расходов воды, установленных по тарировочной кривой и по глубинам на мерном водосливе сравнивались между собой для определения процента отклонения фактического значения расхода от расчетного» [159].

«Полученная зависимость $Q/Q_{max}=f(H_г/H_{г(min)})$, относительных значений расходов Q/Q_{max} от наполнений $H_г/H_{г(min)}$ в успокоительной камере рекомендуется для использования в практических целях» [159].

По результатам измерений была составлена табл. 5.9 и 5.10

Таблица 5.9 Динамика наполнений в успокоительном колодце модели ВМСБТ-1

№ опыта	Наполнение в успокоительном колодце, H_B , см	Расход в ЭГЛ по тарифовочной кривой Q_p , л/с	Относительное наполнение в успокоительном колодце, $H_B/H_{g(min)}$	Относительный расход воды, Q/Q_{max}	Измеряемый расход в ЭГЛ, Q , л/с	Относительная ошибка измерения расхода в ЭГЛ, %
1	22,45	0,5	1,02	0,0383	0,52	4,0
2	23,85	2,94	1,084	0,2253	2,8	- 4,76
3	24,3	4,0	1,105	0,3065	4,15	3,75
4	24,9	6,13	1,132	0,47	6,3	2,77
5	25,5	8,37	1,159	0,6414	8,5	1,55
6	25,9	10,45	1,177	0,8	9,96	- 4,7
7	26,2	12,02	1,191	0,921	12,34	2,7
8	26,3	12,48	1,195	0,956	12,7	1,7
9	26,4	13,05	1,2	1,0	13,5	3,4

Таблица 5.10 - Динамика наполнений в успокоительном колодце модели ВМСБТ-2

№ опыта	Наполнение в успокоительном колодце, H_B , см	Расход в ЭГЛ по тарифовочной кривой Q_p , л/с	Относительное наполнение в успокоительном колодце, $H_B/H_{g(min)}$	Относительный расход воды, Q/Q_{max}	Измеряемый расход в ЭГЛ, Q , л/с	Относительная ошибка измерения расхода в ЭГЛ, %
1	23,8	1,298	1,08	0,342	1,35	4,0
2	24,26	2,395	1,1	0,63	2,5	4,3
3	24,1	1,927	1,09	0,507	1,9	-1,4
4	24,25	2,357	1,102	0,62	2,45	3,9

5	24,6	3,664	1,118	0,964	3,6	-1,7
6	24,62	3,714	1,119	0,98	3,8	2,3
7	24,58	3,566	1,117	0,938	3,7	3,75
8	24,62	3,794	1,119	0,998	3,85	1,5
9	24,64	3,665	1,12	0,964	3,75	2,3
10	24,66	3,615	0,164	0,95	3,73	3,18
11	24,45	2,591	1,11	0,682	2,7	4,2
12	24,05	1,521	1,093	0,4	1,58	3,88
13	24,48	2,796	1,113	0,736	2,67	- 4,5
14	24,61	3,384	1,118	0,89	3,4	4,7
15	24,7	3,666	1,123	0,965	3,75	2,3
16	24,65	3,715	1,12	0,978	3,78	1,75
17	24,63	3,784	1,119	0,996	3,9	3,1

Относительная ошибка измерений расходов воды предложенным водомерным сооружением составляла 1,55 – 4,76 % для ВСБТ-1 и 1,4 – 4,7 % для ВМСБТ-2, что отвечает требованиям к средствам водоучета на каналах оросительных систем.

Полученные данные позволяют построить относительную тарировочную кривую $Q/Q_{max}=f(h/h_{min})$ (рис. 5.17 и 5.18), которая может использоваться при установке данного водомера на каналах-быстротоках с различными габаритными размерами.

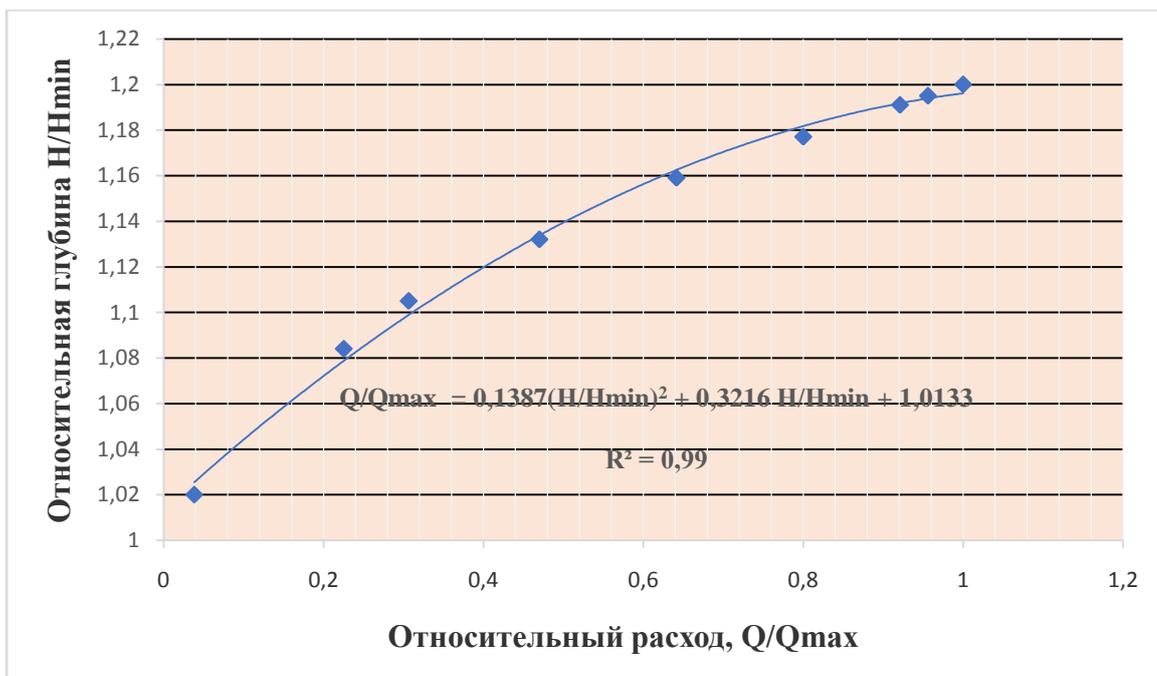


Рис. 5.17 Относительная тарифовочная кривая $Q/Q_{max}=f(H_{\phi}/H_{\phi min})$ для ВМСБТ-1.

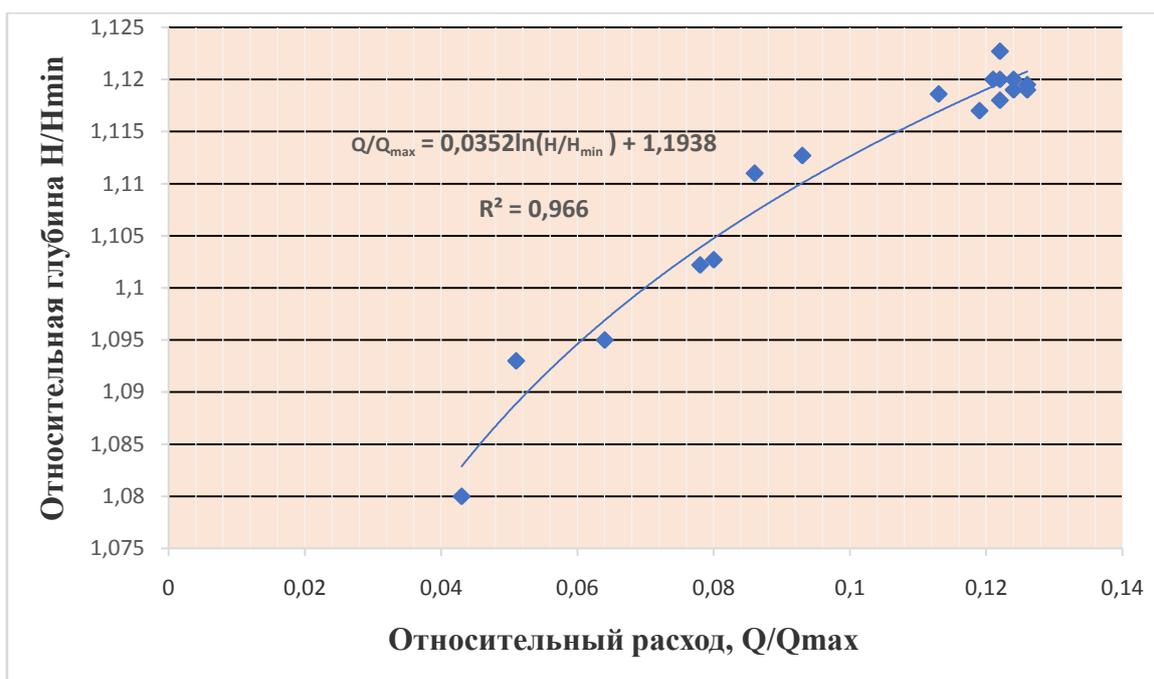


Рис. 5.18 Относительная тарифовочная кривая $Q/Q_{max}=f(H_{\phi}/H_{\phi min})$ для ВМСБТ-2.

«Выполненные исследования доказали водомерные свойства предложенных конструкций» [154] ВМС при стационарном режиме течения (см. табл. 5.9 и 5.10). Кроме того, исследования ВМСБТ позволили найти рекомендуемые пределы регулирования расходов воды предложенной конструкцией ВМС.

По данным табл. 5.9 и 5.10 были получены расчетные тарировочные зависимости:

для ВМСБТ-1 при бурном потоке воды в транзитном канале:

$$Q/Q_{\max} = 0,1298(H/H_{(\min)})^2 + 0,3196(H/H_{(\min)}) + 1,0123 \quad (5.7)$$

для ВМСБТ-2 при бурном потоке воды в транзитном канале:

$$Q/Q_{\max} = 0,0352 \ln(H/H_{(\min)}) + 1,1938, \quad (5.8)$$

где H – отсчет по водомерной рейке в успокоительном колодце водомерного сооружения; $H_{(\min)}$ – минимальная глубина воды в успокоительном колодце, после предварительного его заполнения, при отсутствии воды в транзитном канале;

На основании оценки итоговых результатов исследования качества водоучета и водомерных свойств ВМС для каналов с бурным течением типа (ВМСБТ-1 и ВМСБТ-2) сформулированы следующие **выводы**:

- Предлагаемые конструкции водомерных сооружений для каналов с бурным течением обеспечивают необходимую точность водоучета: для ВМСБТ-1 (1,5–4,8%) и для ВМСБТ-2 (1,4–4,7%) на каналах-быстротоках с интенсивным режимом течения.
- Относительная калибровочная зависимость для водоучета, определенная для предлагаемого водомерного сооружения ВМСБТ-1 при бурном течении в канале, представлена в следующем виде (5.17).
- Относительная калибровочная зависимость для водоучета, определенная для предлагаемого водомерного сооружения ВМСБТ-2 при бурном течении в канале, представлена в следующем виде (5.8).
- Рекомендуется применять предложенные водомерные сооружения в каналах с уклонами, превышающими критические, и с водными потоками, соответствующими указанным расходам $Q = 1 - 25,0 \text{ м}^3/\text{с}$, которые соответствуют расходам воды в природных условиях, исследованным на основе модельных значений.

5.7 Экспериментальное определение рационального местоположения сетевых сооружений на канале по отношению к водомерному сооружению

Известно, что одним из основных условий удовлетворительной работы водомерных сооружений является обеспечение равномерного (без «подпоров») режима течения в пределах сооружений.

На режим течения воды в пределах измерительного участка оказывают влияние многие факторы: наличие сетевых (распределительных, поворотных, сопрягающих, соединительных) сооружений в верхнем и нижнем бьефах» [157] – как источников возмущения водного потока, особенности (земляной, бетонированный, заросший, заиленный и т.д.) подводящего и отводящего каналов, особенности (короткий, длинный и др.) самого измерительного участка и многое другое. Поэтому, при проведении сопоставительной работы, должны быть выявлены все факторы, оказывающие свое влияние на режим течения воды в пределах измерительного участка и подготовлены необходимые материалы, способствующие определению возможности использования гидропоста в качестве рабочего средства для измерения расходов воды.

В связи с чем, при проектировании сооружений водоучета в комплексе с объектами регулирования системы, необходимо решить задачу наиболее рационального их размещения по отношению друг к другу, с целью минимизации их влияния на режим течения потока. Для решения подобной задачи необходимо провести анализ изменения режима потока при возникновении возмущающих воздействий в различных створах системы или исключить сами возмущающие воздействия.

Местоположение и компоновка пунктов водоучета во многом определяется схемой расположения и подключения потребителей, которая подробно рассмотрена в разделе 2.2 диссертации, где отмечено, что наиболее приемлемой технологической схемой для автоматического регулирования процесса водораспределения на каналах-быстротоках является схема «непосредственным

отбором расходов по длине» канала. Для быстротечных каналов младших порядков основная схема водозабора и водоучета следующая:

- вода, проходя по каналу старшего порядка, через гаситель энергии бурного потока поступает к регулирующему устройству.
- вода поступает через отводящее отверстие в отводящий канал в количестве, заданном планом водопользования (вододеления).
- расход водоподдачи регулируется затворами на выходе в отводящий канал.
- для определения отводимого расхода устраивается водомерное сооружение.

Наличие поворотного сооружения на канале-быстротоке вносит изменения в структуру основного потока и влияет на кинематику жидкости в зоне влияния указанного сооружения.

В разделе 2.6 данной работы обоснованы параметры бурного потока при плавном и резком повороте. В таблице 2.2 даны зависимости для определения Δh_{2-1} от величины угла поворота канала-быстротока, что облегчает определение относительного приращения глубины бурного потока за поворотом.

Таким образом, при попытке отклонения потока с помощью поворота происходит искажение параметров потока. Причем нарушения в распределении глубин, скоростей и удельных расходов стойко сохраняются на определенном протяжении в отводящем русле. Определение данного расстояния имеет важное значение для нахождения местоположения сооружений находящихся за поворотным сооружением.

«При рассмотрении обтекания вогнутой стенки механизм образования «косого гидравлического прыжка был в основном выяснен. Это явление возникает в бурном потоке в тех случаях, когда его струи относительно резко отклоняются на конечный угол внутрь потока. Внешне косой прыжок проявляется в резком, почти скачкообразном повышении свободной поверхности»[96], весьма

сходным с прыжком-волной. Наши натурные исследования также показывают, что профиль косого прыжка в плоскости, нормальной к его фронту, аналогичен профилю прыжка-волны, что соответствует измерениям других исследователей А.Иппена, С.М. Слисского [96]. Уравнение прямого прыжка при $\delta = 90^0$, когда фронт прыжка расположен нормально к вектору скорости в подводящем канале приводится в разделе 2.6 (2.70) данной работы.

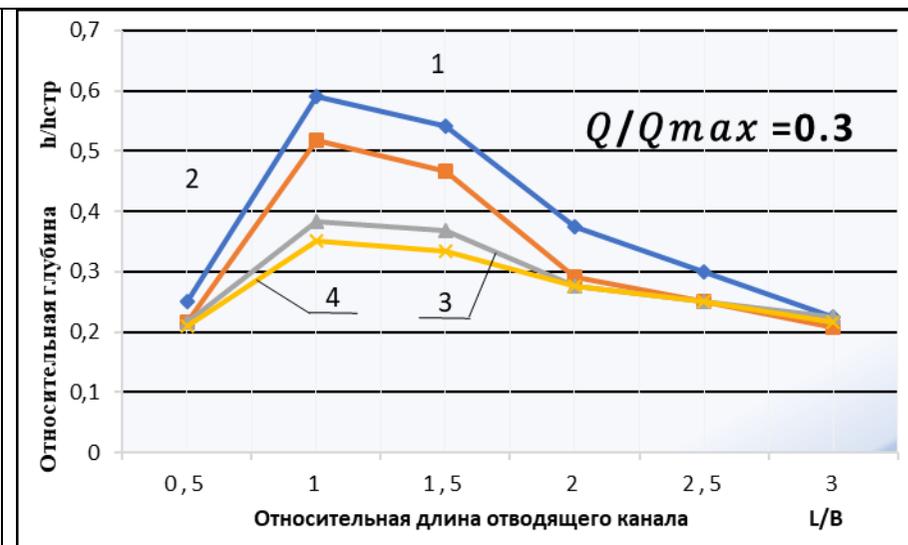
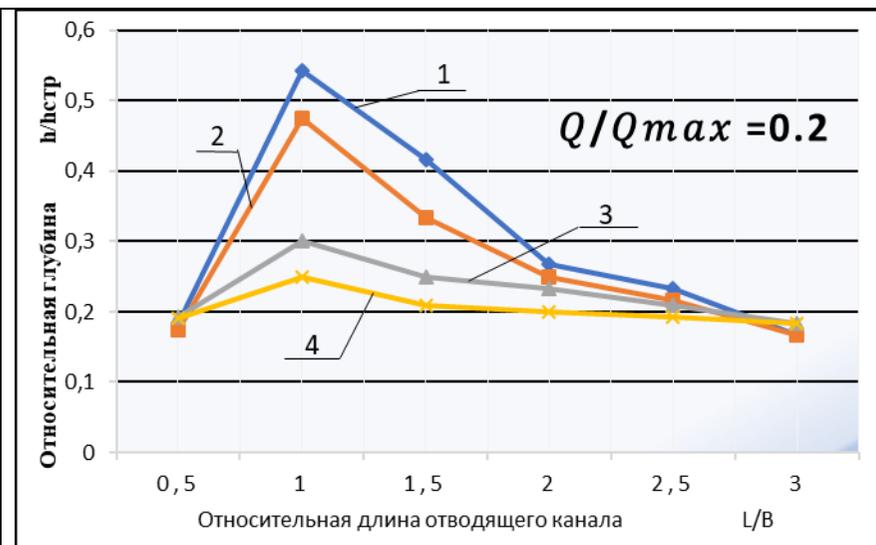
Остановимся теперь на опытном определении длины косого прыжка и далее длину окончания возмущения.

Натурные исследования проводились на быстротечных лотках каналов Ташрабат-Шырыкты и Жетиген при глубинах $h = 0,21-0,98$ м и скоростях $v = 2-4$ м/с. Во всех опытах наблюдалось образование косых прыжков в виде прыжка-волны. Были измерены профили прыжков в плоскости, нормальной к фронту, а также их длины, определяемые как расстояния от первого резкого подъема уровня воды до образования первоначальной глубины до прыжка. На рис.5.20 и 5.21 показаны профили относительных глубин измеренные в натуральных каналах Ташрабат-Шырыкты и Жетиген.

Графики показывают резкое увеличение глубины на вогнутом берегу при всех диапазонах расхода в транзитном канале. На выпуклом берегу при небольших расходах $Q/Q_{\max} = 0,2-0,33$ косых прыжков на почти не наблюдаются, но при расходах $Q/Q_{\max} = 0,4-0,5$ и более гидравлические прыжки появляются, но значительно меньше чем на вогнутом берегу.

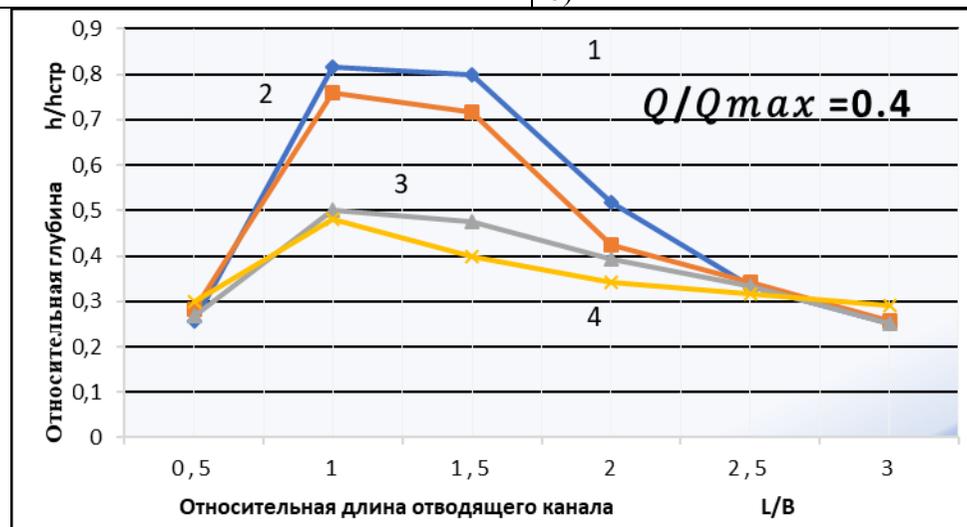
Из графиков видно, что на расстоянии равном $3L/V$ за поворотным сооружением, возмущений нет, глубины в канале и на вогнутом и на выпуклом берегу приходят в первоначальное состояние, бывшее до поворотного сооружения, при всех диапазонах расхода Q в подводящем канале.

В связи с вышеизложенным, водомерные сооружения рационально принимать на расстоянии $3L/V$ ниже поворотного сооружения, когда глубины канала по всему сечению достигают нормального уровня.



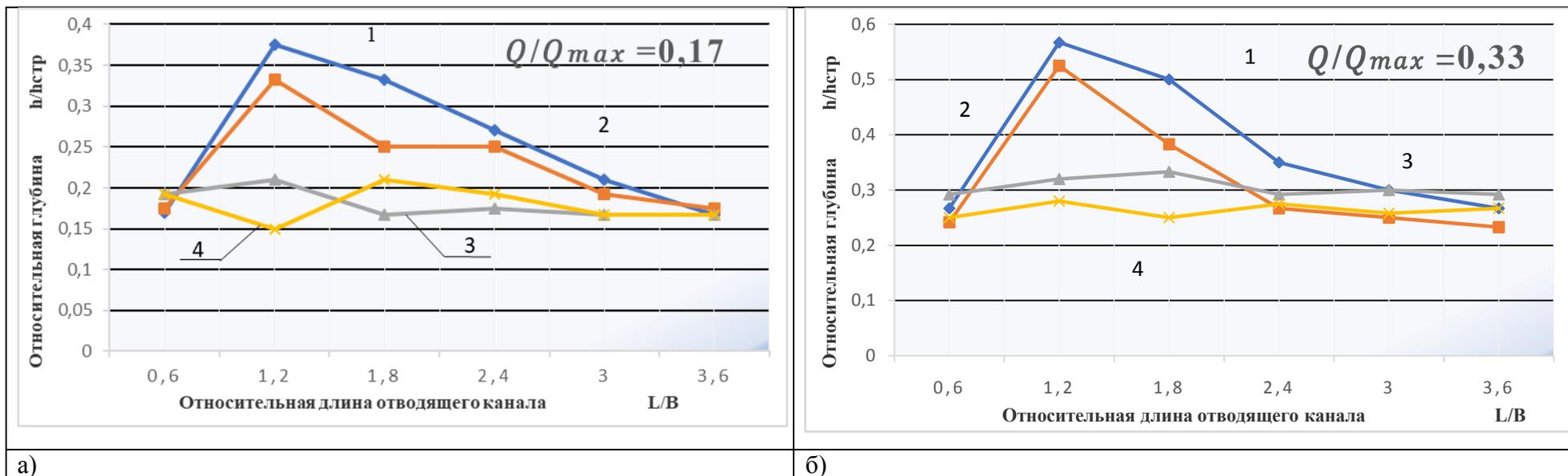
а)

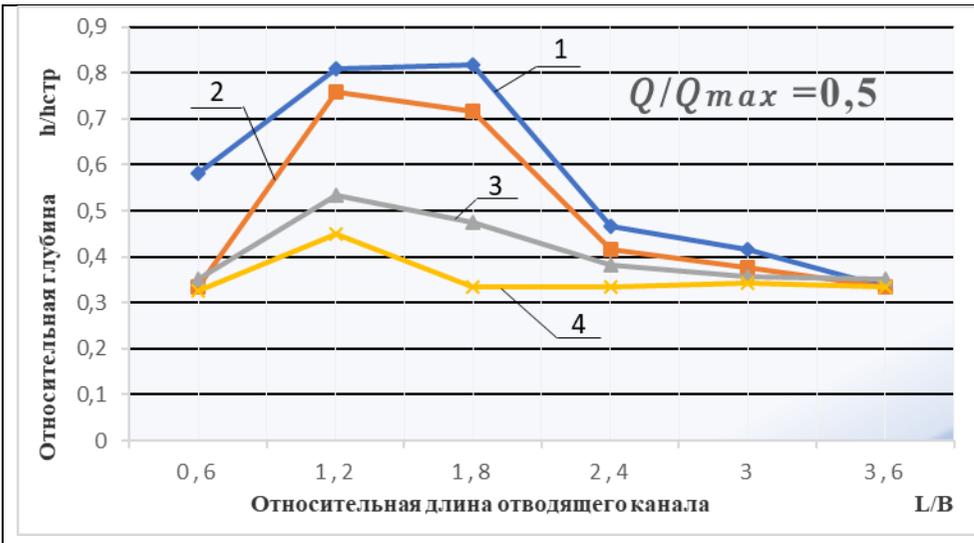
б)



в)

Рис.5.20 Изменения относительных глубин потока по длине канала Ташрабат-Шырыкты: 1 – у вогнутого берега; 2 и 3 – по середине лотка; 4 – у выпуклого берега; а) при расходе воды в лотке $Q = 0,2Q_{max}$; б) при расходе воды $Q = 0,3Q_{max}$; в) при расходе воды $Q = 0,4Q_{max}$





в)

Рис. 5.21 Изменения относительных глубин потока по длине канала Жетиген: 1 – у вогнутого берега; 2 и 3 – по середине лотка; 4 – у выпуклого берега; а) при расходе воды в лотке $Q = 0,2Q_{max}$; б) при расходе воды $Q = 0,3Q_{max}$; в) при расходе воды $Q = 0,5Q_{max}$

5.8 Методики расчета усовершенствованных сооружений водоучета для каналов с бурным течением

«По мере развития методов и операций управления бурными потоками они дополняются и совершенствуются, поэтому выполненные полевые, производственные и лабораторные исследования позволили дополнить и расширить методики расчета усовершенствованных ВМС для быстротечных каналов, что сводится к определению их гидравлических параметров при заданных условиях канала-быстротока» [16]. Поскольку разработанные водомерные сооружения имеют сходные элементы, то методика расчета ряда элементов ВМСБТ-2 рассчитывается по аналогии с ВМСБТ-1

Исходные данные для расчета ВМСБТ-1 и ВМСБТ-2 :

1. Нормальный расход транзитного канала Q_n ;
2. Уклон дна канала i ;
3. Ширина по дну $b, м$;
4. Строительная высота канала $h_{стр}, м$;
5. Сечение канала: *трапецидальное или прямоугольное* ;
6. Нормальная глубина $h_n, м$;
7. Скорость воды в канале при нормальном расходе $v_n, м/с$.

Порядок расчета водомерных сооружений:

Расчет разработанного ВМС на канале с бурным режимом течения, проводится на нормальный расход Q_n воды в канале.

1. Длина водоприемного колодца по направлению течения в канале-быстротоке определяется по формуле:

$$l_{пл} = \frac{Q_{тр}}{\mu \cdot b \sqrt{2gH}}, \quad (5.9)$$

Где $Q_{тр}$ – количество забора воды в донную траншею, в которую попадает нижняя часть потока и принимается равной $Q_{тр} = 0,2Q_n$; μ – коэффициент расхода отверстия; b – ширина колодца, равная ширине

подводящего канала по дну; H – действующий средний напор, вычисляется по формуле:

$$\bar{H} = \frac{H_H + H_K}{2}, \quad (5.10)$$

где H_H – гидродинамический напор в начале плиты; H_K – гидродинамический напор в конце плиты [141].

2. Глубина донной траншеи определяется из условия неподтопленного истечения по формуле:

$$h_K = \frac{Q_H}{l_{nl} \cdot v_K} + \Delta h \quad (5.11)$$

где v_K – скорость течения воды в колодце, устанавливается по формуле Шези для уклона траншеи $i_{mp} = i_{kp}$; Δh – запас, равный 0,2...0,4 м, необходимый для исключения подтопленного истечения через большое горизонтальное отверстие.

3. Ширина горизонтального отсекающего козырька над донной траншеей [148] равна $a_K = 0,2a_i$ (a_i – величина ширины донной траншеи).

4. Длина Г-образного козырька l_K равна ширине донной траншеи b .

5. Расстояние от дна донной траншеи до основания соединительной трубки

$$h_{CT} = 0,2h_K, \quad (5.12)$$

где h_K – глубина донного колодца.

6. Длина решетчатой плиты равна «длине входного отверстия в камеру траншеи» [45];

5. «Длина входного отверстия донной траншеи определяется из формулы Е.А.Замарина» [36,37]:

$$a_i = \frac{\Delta Q_i}{\mu p b \sqrt{2gH_i}}, \quad (5.13)$$

где μ – коэффициент расхода плиты с продольными прорезями определяется по эмпирическим формулам таблицы 3.7 (см. гл.3):

$$\mu = 0,0034Fr_{cp}^2 - 0,0805Fr_{cp} + 0,711$$

где Fr - параметр Фруда, $Fr_{cp} = \alpha v^2 / gh_{cp}$, (5.14)

5. Глубина донной траншеи определяется из условия неподтопленного истечения по формуле:

$$h_{mp} = \frac{Q_n}{l_{nl} v_{тр}},$$
 (5.15)

где v_{mp} - скорость движения воды в траншее с уклоном дна, равным критическому, т.е. с критической глубиной;

« Δh - запас, $\Delta h = 0,2...0,4$ м» [68].

Уклон дна донной траншеи принимается близким к нулевому.

6. Параметры успокоительного колодца.

Строительная высота успокоительного колодца:

$$h_{кол} = h_{mp} + h_{стп}. \quad (5.16)$$

Ширина успокоительного колодца:

$$b_{кол} = 1,5 \cdot b, \quad (5.17)$$

где b – ширина канала по дну.

На основании выполненных в п.5.1.1 и п.5.1.2 полевых производственных исследований существующих ВМС, включая проведенные разработки и исследования модернизированных ВМС сделаны следующие

ВЫВОДЫ:

- Полевое обследование водомерных сооружений на магистральных и внутрихозяйственных каналах оросительных систем Кыргызской Республики выявило, что существующие конструкции водомерных сооружений не пригодны для использования на каналах-быстротоках с течениями, скорость которых превышает критическую. Размещение в бурном потоке устройств, создающих дополнительное сопротивление, таких как водосливы и лотки, приводит к переливам воды за границы

канала, что постепенно разрушает водомерное сооружение и элементы канальной конструкции

- Установка в бурном потоке гидропостов и щелевых водосливов увеличивает погрешность измерений объемов воды из-за турбулентности, вызванной самими сооружениями.
- Для обеспечения водоучета на каналах-быстротоках в горно-предгорной зоне разработаны усовершенствованные конструкции водомерных сооружений, адаптированные к условиям бурного течения (*ВМСБТ-1* и *ВМСБТ-2*). Среди предложенных конструкций *ВМСБТ-1* обеспечивает необходимую точность водоучета ($\pm 1,5\text{--}4,8\%$), а *ВМСБТ-2* — ($\pm 1,4\text{--}4,7\%$) на каналах-быстротоках с бурным течением.
- Применение усовершенствованных конструкций водомеров целесообразно как на крупных магистральных каналах-быстротоках с высоким водным расходом $Q \geq 5,0 \text{ м}^3/\text{с}$, так и на сетевых каналах с меньшими объемами воды $Q < 5,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Относительная калибровочная зависимость для водоучета с использованием предлагаемого водомерного сооружения *ВМСБТ-1* для бурного потока выражается в следующей форме: (рис. 5.17), *ВМСБТ-2* – вид на рис.5.18.
- По результатам проведенных гидравлических исследований разработана методика расчета усовершенствованных конструкций водомерных сооружений типа *ВМСБТ-1* и *ВМСБТ-2* для каналов горно-предгорной зоны.

ГЛАВА 6. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ, ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БУРНЫМИ ПОТОКАМИ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ

6.1 Опыт внедрения комплекса сооружений на канале Таш-Рабат-Шырыкты Атбашинского района Нарынской области

Результаты теоретических, конструктивных разработок и экспериментальных исследований положены в основу проекта реконструкции канала Таш-Рабат-Шырыкты. Реконструируемые сооружения, а именно вододелитель, поворотное сооружение и водомерное сооружение располагаются на быстротечном канале Таш-Рабат – Шырыкты в Атбашинском районе Нарынской области. Данный канал берет свое начало из реки Шырыкты.

Река Шырыкты является правым притоком реки Каракоюн, Атбашинского района, на абсолютной отметке 4500м. Общая длина реки до створа водозабора составляет 22 км при средней высоте водосбора 3460 м и площади 117 км². Тип питания реки снегово-ледниковый с грунтовым подпитыванием.

Магистральный канал «Таш-Рабат – Шырыкты» построен в 1973 году в земляном русле с уклоном дна, изменяющимся в пределах от 0,001 до 0,004 на пропускную способность форсированный расход 2,5 м³/с.

В 1986 году канал построен в железобетонной одежде и имеет следующие параметры: форма сечения прямоугольная с шириной по дну $B=2$ м, протяженность $L=1,4$ км, пропускная способность $Q=5,0$ м³/с, максимальный уклон дна канала $i=0,026$.

Канал обслуживает следующие хозяйства: «Казыбек», «Кызыл-Туу» и «Кара-Булуи», орошаемая площадь которых составляет 1,66 тыс. га.

На канале в настоящее время существуют ряд гидротехнических сооружений: 2 водовыпуска, которые из-за большого срока эксплуатации пришли в негодность, 1 мост в виде трубчатого переезда, водомерное сооружение отсутствует. Поэтому предлагается запроектировать поворотное сооружение типа ПСБТ-2 на пикете ПК 21+30, один гидропост с водомерным сооружением типа ВМСБТ-2 на ПК 25+10, один вододелитель типа ВДКБТ-АП на пикете 32+70, кроме того необходимо поменять бетонную облицовку канала длиной 150 м, которая частично разрушена (рис.6.1).

«Гидравлический расчет канала дан в табл. 6.1, расчеты запроектированных конструкций вододелителя, поворотного сооружения и водомера выполнены в соответствии с методиками расчета, приведенными в главах 3.11, 4.7, и 5.8 диссертации» [23,25,152].

Таблица 6.1-Гидравлический расчет канала-быстротока Таш-Рабат-Шырыкты

$Q,$ $м^3/с$	$h_0,$ $м$	$X_0,$ $м$	$\omega_0,$ $м^2$	$R_0,$ $м$	$C,$ $м^{0,5}/с$	$v_0,$ $м/с$
1	0,16	2,32	0,32	0,14	51,39	3,09
2	0,25	2,50	0,50	0,20	54,68	3,96
3	0,33	2,66	0,66	0,25	56,62	4,55
4	0,40	2,80	0,80	0,29	57,97	5,00
5	0,47	2,93	0,93	0,32	59,01	5,36

Расчет поворотного, водомерного и водораспределительных сооружений выполнены в соответствии с разработанными методиками в Приложении 1.

На основании проведенных расчетов определены проектные параметры указанных гидротехнических сооружений в комплексе на канале-быстротоке Таш-Рабат-Шырыкты системы реки Шырыкты Нарынской области,

выполнен расчет экономического эффекта в объеме 3,66 млн. сомов в год от внедрения предлагаемых разработок в производство.

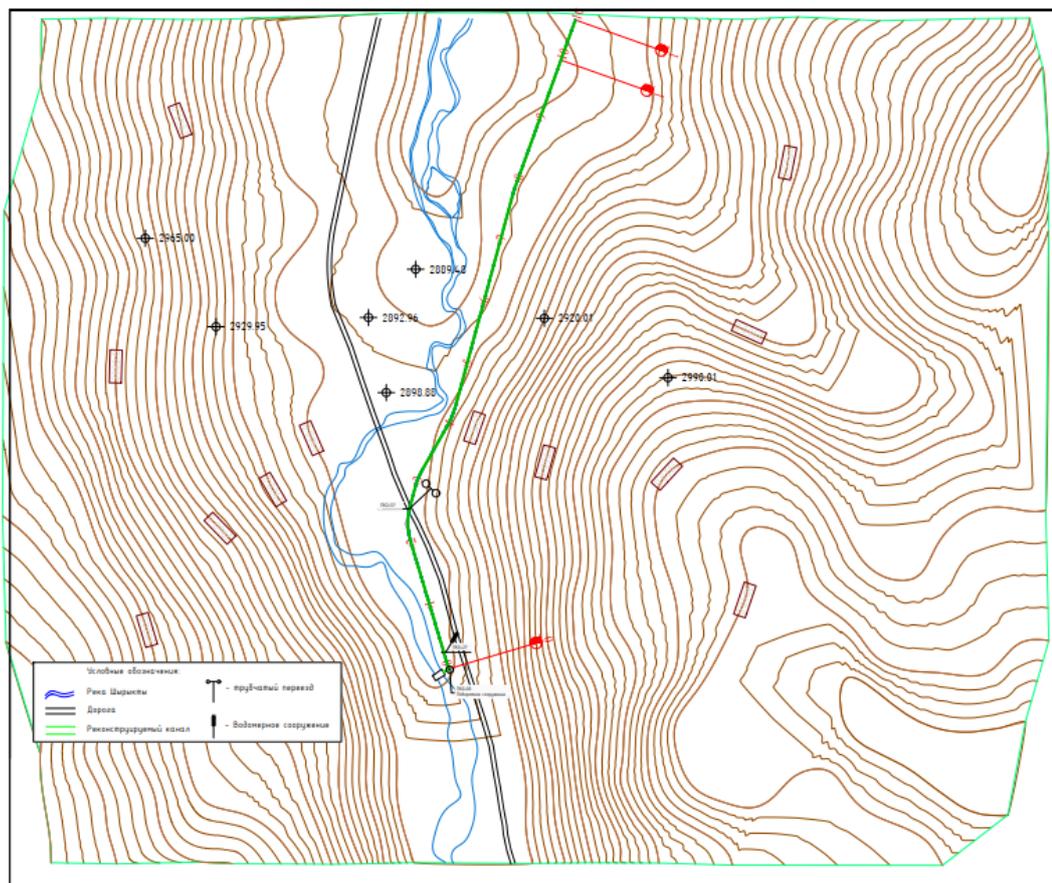


Рис. 6.1. Схема участков канала Ташрабат-Шырыкты и места расположения реконструируемых водомера, вододелителя и поворотного сооружения.

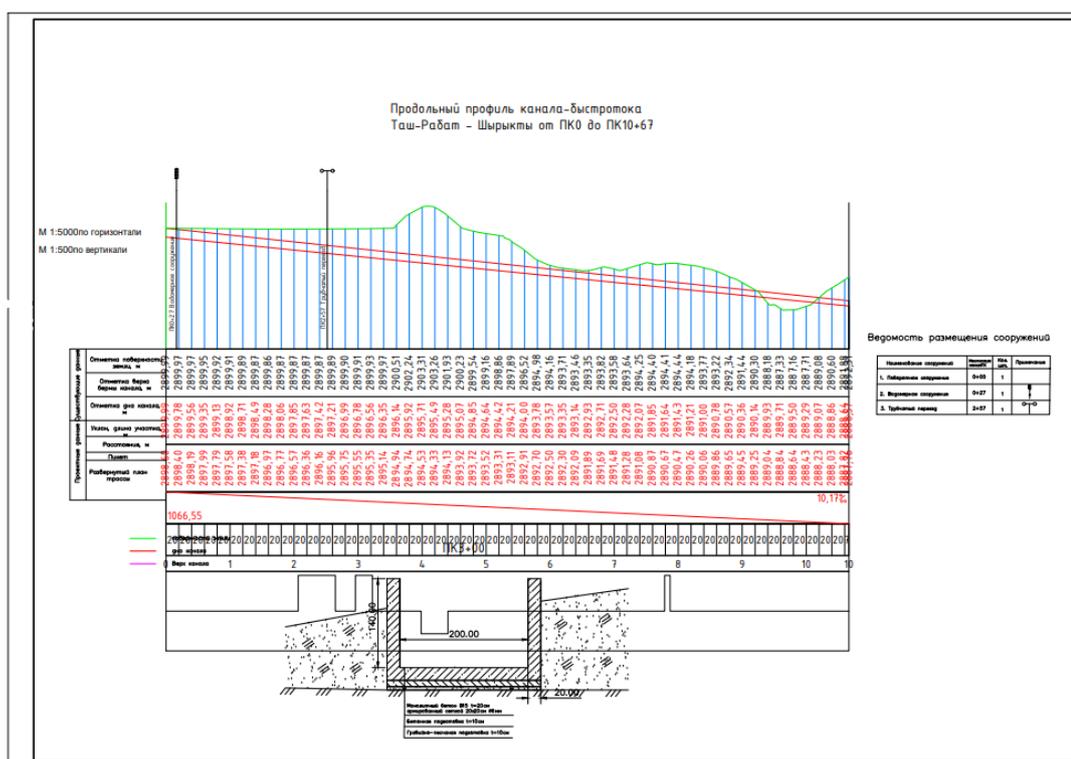


Рис. 6.2. Продольный профиль канала Таш-Рабат – Шырыкты

6.2 Опыт внедрения комплекса сооружений на канале Суусамырский Московского района Чуйской области.

Объект находится в Московском районе на территории Петровского аильного округа. На территории обслуживания АВП имеется 10 постоянно действующих внутрихозяйственных каналов общей протяженностью 47 км, из них 38,0 км в земляном русле и 9,0 км в бетонной облицовке. Общая протяженность межхозяйственного канала Суусамырский 6,75 км (до ж/дороги 5,422 км и до населенного пункта Петровка 1,328 км). Бетонированный канал в средних условиях. От него ответвляются внутрихозяйственные каналы как, Б-1, Б-2, Б-3, Б-4. КПД оросительной сети в настоящее время составляет 0,6. Иригационная сеть находится в рабочем состоянии, но отдельные внутрихозяйственные каналы и сооружения требуют реабилитации, кроме того на большинстве каналов отсутствуют распределительные, водовыпускные и водомерные сооружения.

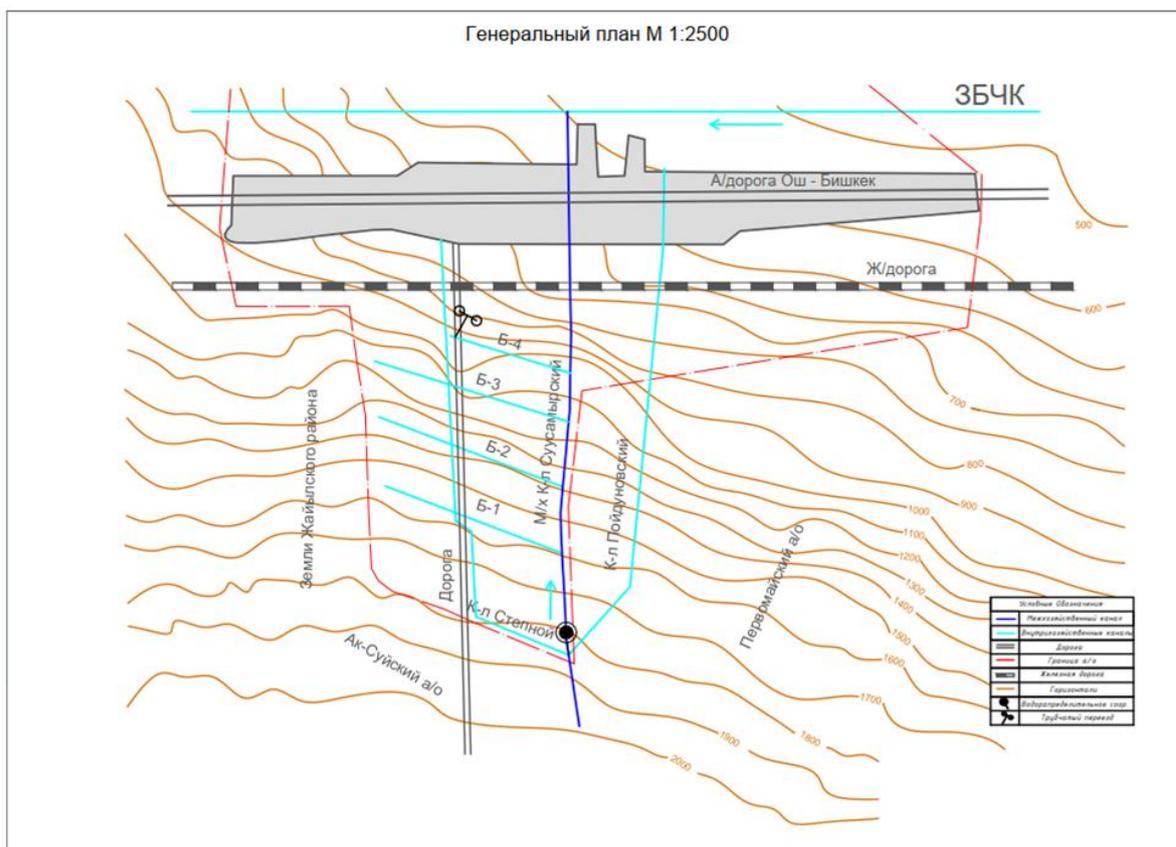
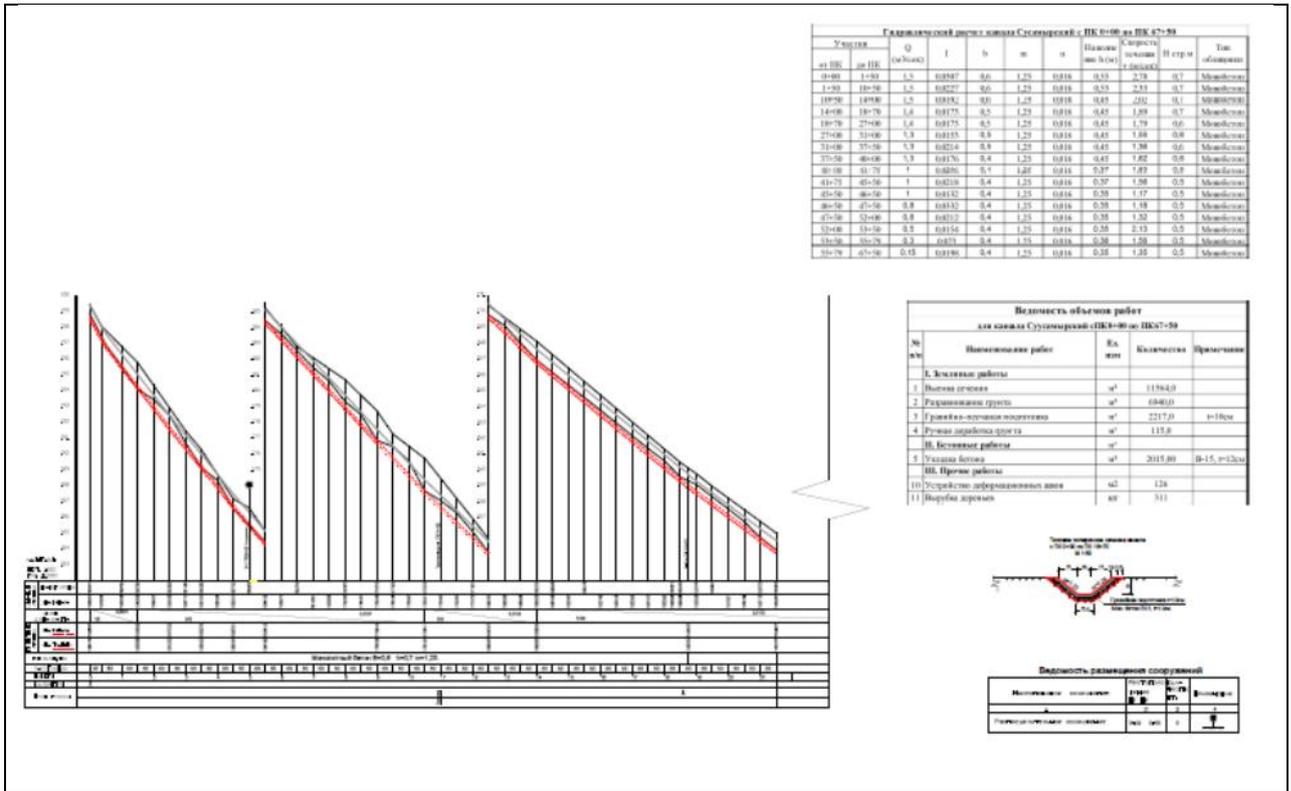


Рис.6.3 Схема канала Суусамырский и местоположения реконструируемых сооружений

«По результатам проектно-изыскательских работ составлены климатическая, геологическая, гидрологическая и др. характеристики для объекта внедрения»[170].

«Профиль трассы Суусамырский в районе реконструкции канала (рис.6.4) построен на основании проведенной геодезической съемки. Данные продольного профиля уточняют уклон канала, наполнения в канале, а также позволяют запроектировать водомерное и водораспределительное сооружения на данном объекте» [170], расчеты которой даны в приложении 1.



6.4 Продольный профиль трассы канала Суусамырский

6.4 Основные рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации сооружений для управления бурным потоком в открытом канале

Составление рекомендаций продиктовано необходимостью систематизации полученных данных и выдачи обобщенных методических материалов, позволяющих правильно запроектировать усовершенствованные конструкции и в процессе эксплуатации их получать надежные результаты. «Настоящие рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации сооружений для управления бурным потоком в открытом канале включают методику гидравлического расчета вододелителей, поворотных сооружений и водомеров, методические указания по их строительству и эксплуатации для быстротечных каналов трапецидальной и прямоугольной формы, содержатся сведения об условиях и области применения» [106].

6.4.1 Рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации сооружений водораспределения бурных потоков

Межхозяйственные и сетевые водораспределительные системы, включающие каналы-быстротоки, получившие широкое распространение в горно-предгорной зоне, рекомендуется проектировать на основе схем автоматического регулирования прямого действия. Наиболее распространенным типом таких схем являются схемы управления с непосредственным отбором расходов по длине канала системы. Обычно в голове такого канала устанавливается затвор-регулятор, а каждый водовыпуск оборудуется вододелителем различных конструкций.

Расчет пропускной способности вододелителя, а следовательно, и его размеров осуществляются гидравлическим расчетом при известных параметрах магистрального и отводящих каналов.

Коэффициент расхода определяется из графиков (рис.3.24, 3.25) пункта 3.10 диссертации. Тип вододелителя выбирается в зависимости от технико-экономического сравнения вариантов и топографических условий. Выбор

местоположения производится исходя из анализа инженерно-геологических, топографических условий с учетом конструктивных особенностей вододелителей ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП и отводного канала. К неблагоприятным топографическим условиям относятся участки трасс каналов с глубокой выемкой, когда отводимый поток может подтопить вододелитель. Вододелитель проектируется только со свободным режимом истечения воды в отводе. Вертикальная перегородка в донной траншее выполнена с изломом и симметричной относительно продольной оси сооружения. При этом пропорция вододеления между боковыми отводящими каналами обеспечивается за счет разной ширины просветов между прутьями входной решетки с левой и правой сторон вододелителя. Донная траншея перекрыта защитной ассиметричной решеткой с разным «зазором между прутьями для ВДКБТ-АР и ассиметричной решетчатой плитой с продольными отверстиями одинаковой ширины, но с разной шириной пластин» [129] (рис.3.21, 3.22).

Разработанная конструкция вододелителя для каналов с бурным течением позволяет обеспечить водоподачу из магистральных быстротечных каналов с высокой точностью расхода воды в отвод. Не нарушает гидравлический режим бурного потока в зоне влияния сооружения, не препятствует прохождению транзитных расходов воды и плавающих предметов.

Порядок выполнения гидравлический расчет ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП приводится в подразделе 3.11 диссертации.

Класс капитальности вододелителей для каналов-быстротоков с бурным течением назначается тот же, что и «канал-быстроток, на котором оно устанавливается» [167].

«Нагрузки, воздействующие на водораспределительное сооружение, типа ВДКБТ-АР и ВДКБТ-АП, определяются по СНиП 2.06.04-82 и существующей методике» [167].

«Бетонные и железобетонные элементы высококачественного вододелителя выполняются из гидротехнического бетона, который отвечает требованиям СНиП 2.03.01-84»[168].

По характеру и назначению мероприятия по содержанию сооружений сетевых систем аналогичны эксплуатационным работам на государственных оросительных системах. В состав общих мероприятий по эксплуатации водораспределительных сооружений входят: надзор за работой и поддержание их в рабочем состоянии и охрана сооружений. Надзор осуществляется визуально или инструментально. Визуальный осмотр дает возможность установить начало опасных процессов, возникающих на сооружениях: неблагоприятные гидравлические явления (размывы, вибрация, деформация сооружений и его элементов, повышенная фильтрация и суффозия грунта).

Инструментальный надзор ведется через сеть наблюдательных пунктов, представленных реперами, марками и др.

Каждый распределительный узел должен иметь технический паспорт, по которому производится приемка его в эксплуатацию и проверка его технического состояния. В паспорте узла приводятся схема расположения узла и основные характеристики сооружений. Нормальное состояние сооружений узла определяется соответствием его габаритов и показателей, установленными в инструкциях для данной категории сооружений и записанными в паспорте узла.

Содержание щитовых затворов сводится к поддержанию в исправном состоянии уплотнений, пазов и подъемных механизмов, гарантирующих их полную сохранность.

Выполнение одного или нескольких отводов в узле требует перераспределения расходов по другим работающим отверстиям узла или соответствующего изменения расходов, поступающих с вышележащего узла, который производится оператором эксплуатационного участка системы.

При пропуске воды через отверстия узлового сооружения необходимо вести систематические наблюдения за состоянием уровня воды в верхнем и нижнем бьефах всех отводов узлов.

Необходимо систематически осматривать дно колодца, удалять все попавшие в него твердые предметы.

Обслуживание линейных сооружений в зимнее время заключается во-первых, в мероприятиях по отводу вод, которые могут во время мороза вызвать разрыв и дополнительные нагрузки на сооружения; во-вторых, в обеспечении выхода грунтовых и фильтрационных вод из-за боковых стенок и из-под сооружения; в третьих, в мероприятиях по борьбе с пучинами. Пучинистые грунты должны быть заменены песчаными или гравелистыми, как менее подверженные выпучиванию.

Выполнение вышеуказанных условий и требований по проектированию, строительству и эксплуатации комплекса сооружений обеспечит безотказную и гарантированную работу средств учета распределения воды на каналах-быстротоках.

6.4.2 Рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации сооружений для изменения направления бурных потоков в открытом канале

Проектирование поворотных участков каналов-быстротоков сводится к приведенному выше (в разделе 4.7) «гидравлическому расчету поворотного сооружения, определению материалов для исполнения отдельных элементов и компоновки их в единое целое» [16]. «Нагрузки и воздействия на конструктивные элементы поворотного сооружения, по которым производится их статический расчет, рассчитываются согласно СНиП 2.06.04 – 84 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения»»[167].

«Для возведения бетонных и железобетонных элементов сооружений, выполняемых по СНиП 2.06.08 – 87 [168], необходимо применять гидротехнический бетон, отвечающий требованиям СНиП 03.01 – 87»[169].

Сооружения проектируются и строятся по возможности с максимальным использованием унифицированного сборного железобетона, таких как серийно выпускаемые Г – образные блоки, для устройства боковых стенок поворотного сооружения.

Применение монолитного железобетона обуславливается техническими условиями и техническим обоснованием. Решетчатая полка может быть выполнена металлической из закрепленных на рамке со сваркой стальных стержней с последующей установкой и закреплением готового изделия на донную траншею.

Эксплуатационное обслуживание поворотных сооружений включает профилактику, надзор и ремонт. Поскольку данные сооружения не имеют подвижных деталей, перечисленные операции сводятся к окраске металлических частей и периодической очистке от плавающих предметов.

6.4.3 Рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации сооружений водоучета на канале с бурным течением

Водомерные сооружения типа ВМСБТ-1 и ВМСБТ-2 предназначены для местного автоматизированного учета расходов воды в открытых потоках с расходом до 30 м³/с и уклоном больше 0,02. Обе конструкции позволяют осуществить точный систематический замер расходов воды. Водомерные сооружения данного типа применимы на распределительных, хозяйственных, внутрихозяйственных водомерных постах, а также транзитных участках межхозяйственной и внутрихозяйственной сети. Гидравлические лабораторные и натурные исследования водомерных сооружений показали полную их работоспособность. Стадия проектирования, объем и степень разработки проектных решений для организации водоучета, порядок привязки типовых проектов водомерных устройств регламентируются требованиями СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения» и заданием на проектирование.

При условии проведения индивидуальной метрологической аттестации допускается применение в качестве средства измерения расхода градуированных гидротехнических сооружений, разработанные нами водомерные сооружения. Для проведения градуировки и метрологической аттестации необходимо предусмотреть создание на каналах временных, либо постоянных измерительных участков.

При систематическом замере расходов воды, проходящих через канал, в колодце устанавливается измерительная рейка, нуль которой должен совпадать с отметкой дна канала.

На каждом водомерном посту следует выполнять контрольные замеры, расходов воды, для производства которых посты оборудуются гидрометрическими мостиками и соответствующими приборами в зависимости от параметров русла и величины расходов воды.

При размещении средств измерения и учета воды на действующей мелиоративной системе необходимо предусматривать меры по обеспечению нормативных условий их эксплуатации, включая создание нужного напора и режима движения воды, спрямление и расчистку русла каналов, строительство энергогасящих устройств и т.д.

Ввиду повышенных требований к точности воспроизведения геометрических размеров и качеству обработки поверхностей этих устройств, необходимо при проектировании предусматривать их сборку с применением специальных лекал и шаблонов, тщательную зачистку сварных соединений и рихтовку поверхностей.

Для контроля геометрических размеров внутреннего сечения, проведения периодических проверок и ревизий технического состояния составных частей средств измерений, при проектировании следует предусмотреть возможность доступа внутрь водоводов, например, устраивая герметически перекрываемые люки вблизи измерительного участка.

Основные конструктивные размеры разработанного водомерного сооружения определяются в соответствии с методикой его гидравлического

расчета, представленной в разделе 5.8. Устройство изготавливается из отдельных сборных блоков, включающих измерительный участок канала и успокоительный колодец. Марка бетона соответствует СНиП II. 03. 01 – 84. Съёмную решетку необходимо изготавливать из закрепленных на рамке со сваркой стальных стержней с последующей установкой и закреплением готового изделия на донную траншею. Соединительную и сливную трубки необходимо изготавливать из стальных труб с закреплением и омоноличиванием стыков.

Основные этапы и порядок по возведению водомерного сооружения заключается в следующем:

- Установка или закрепление постоянного репера у канала;
- Нивелировка и разбивка сооружения, уровнемерных устройств, гидромостиков и другие необходимые мероприятия;
- Установка вертикальных плит, опалубки при заделке стыков;
- Затирка и железнение бетонных поверхностей;
- Установка технических средств с их наладкой и апробацией в работе.

Перед началом эксплуатации водомерного поста необходимо:

- Выполнить съемку, окончательно измерить габаритные размеры, заполнить необходимыми данными паспорт гидропоста с приложением к ним схематических чертежей;
- Проверить нивелировку “нулей” и делений шкалы и других уровнемерных устройств;
- Осуществить калибровку гидропоста, которую проводят ежегодно перед началом каждого эксплуатационного сезона.
- Заполнять журнал наблюдений на гидрометрическом посту.

Эксплуатация разработанного водомерного устройства осуществляется согласно общепринятым существующим наставлениям, правилам и рекомендациям по эксплуатационной гидрометрии:

- «наблюдение за уровнем воды в успокоительном колодце;

- учет расходов и стока воды в быстротечном канале;
- возможность пропуска паводковых расходов;
- очистка решетки и успокоительного колодца от сора и плавающих тел, а также периодическая очистка водоприемной траншеи от влекомых наносов» [169].

Режим эксплуатации водомерного сооружения, кроме того, включает профилактику, ремонт, надзор за работой сооружения и его охрану.

Систематический учет расходов воды на водомерном посту производится по кривой или таблице зависимости $Q = f(H)$. Значение глубины воды измеряется для местного замера по уровнемерной рейке и автоматизированного водоучета – по прибору – датчику систем телемеханики. В целях уточнения и проверки кривой $Q = f(H)$ производят тарировку, т.е. в начальный период эксплуатации водомерного устройства делают 3-4 контрольных замера расходов гидрометрическими вертушками в гидростворе, расположенном выше или ниже водомерного поста. Гидроствор для контрольных замеров расхода воды используется в процессе эксплуатации для периодического (1-2 раза в год) контрольного замера при инспекции, спорных вопросах между водопользователями и т.д. Погрешность при систематическом замере расхода водомерным устройством допускается не более $\pm 5\%$ от контрольных замеров гидрометрическими вертушками.

6.5 Технико-экономическая оценка эффективности применения сооружений для управления бурным течением на каналах оросительных систем КР (на примере сооружений на канале Суусамырский Московского района Чуйской области)

«Сравнительные расчеты и оценку экономического потенциала проведем на примере сооружений канала Суусамырский Московского района Чуйской области. Внедрение разработанных сооружений: вододелителей, поворотных сооружений и сооружений системы водораспределения» [172] для учета воды в промышленное производство обеспечит значительный эффект за счет следующих компонентов: экономии оросительной воды; уменьшение себестоимости продукции; повышение пропускной способности канала.

«Расчет выполняется по методу сравнительной экономической эффективности годовой экономической эффект от внедрения новой техники определяется как экономия приведенных совокупных затрат»[172]:

$$\text{Эг.} = [(Eн. \cdot Kб. + Cб.) - (Eн. \cdot Kн. + Cн.) + Д] \cdot A, \quad (6.1)$$

«где Кб и Кн - капитальные вложения (стоимость оборудования, монтажа) по базовому и новому вариантам, сом.; Сб, Сн - ежегодные издержки эксплуатации (зарплата, амортизационные отчисления, отчисления на текущий ремонт) по базовому и новому вариантам, сом. в год; Eн. - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (Eн. = 0,15); Д - дополнительный эффект от экономии воды, сом. в год; А - объем замены в год базовых элементов на новые (А = 1 шт. - одно сооружение)»[172].

Суммарные капитальные вложения на проектирование водомерного, поворотного и водораспределительного сооружений по сравниваемым вариантам приведены в приложении П 2 составляют для базовой Кб =300385 сом, для новой конструкции Кн=291373сом.

«Годовые издержки эксплуатации по вариантам включают в себя:

а) Амортизационные отчисления, принимаем 3,8 % от стоимости базового варианта»[172]:

$$U_{э1} = 300385 \cdot 0,038 = 11415 \text{ (сом)} \quad (6.2)$$

«Считаем 12,5 % от стоимости новой техники»[172]:

$$U_{э2} = 291373 \cdot 0,125 = 36422 \text{ (сом)} \quad (6.3)$$

б) «Отчисления на текущий ремонт. Принимаем 5 % от стоимости: для базового варианта» [172]:

$$U_{э3} = 300385 \cdot 0,05 = 15019 \text{ (сом)} \quad (6.4)$$

для нового варианта

$$U_{э4} = 291373 \cdot 0,05 = 14569 \text{ (сом)} \quad (6.5)$$

в) «Заработная плата обслуживающего персонала рассчитывается на количество месяцев поливного сезона (принимаем 6 месяцев) со средней заработной платой 7000 сом (согласно смете Московского РУВХ).

Для обслуживания новой техники требуется один оператор – поливальщик, в то время как для управления водораспределением на данной площади в базовом варианте требуется 2 человека обслуживающего персонала»[172].

В соответствии с вышеописанным зарплата будет:

- в базовом варианте: $Zб = 7000 \cdot 6 \cdot 2 = 84000 \text{ сом};$

- для нового варианта: $Zн = 7000 \cdot 6 \cdot 1 = 42000 \text{ сом}.$

Исходные данные для экономических расчетов сведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2 - Показатели для расчета экономической эффективности

Наименование показателей	Единица измерения	Обозначение	Варианты		Обоснование
			базовый	новой техники	
1. Капитальные вложения	сом	Кб Кн	300385	291373	Смета расходов
2. Годовые издержки эксплуатации, в т.ч.:	сом	С _б , С _н	110434	92991	
а) амортизационные отчисления	сом	Uэ1, Uэ2	11415	36422	По нормативам
б) отчисления на текущий ремонт	сом	Uэ3, Uэ4	15019	14569	По нормативам
в) зарплата обслуживающего персонала	сом	Uэ5, Uэ6	84000	42000	По данным Московского РУВХ
3. Нормативный коэффициент эффективности		Ен	0,15	0,15	
4. Объем замены в год базовых элементов	шт.	А	1	0	

«В проектных условиях экономическая эффективность от внедрения водомерного сооружения может быть получена за счет экономии оросительной воды и увеличения урожайности сельхозкультур»[172].

Согласно [172]«экономия воды составит (4 ...6) % от общего объема водопотребления».Использование орошаемых земель по культурам и угодьям в современных условиях до и после проектирования сооружений приводится в таблице Приложения 2

Суммарные годовые издержки вместе с амортизационными отчислениями и отчислениями на текущий ремонт составляют $C_{б} = 110434$, $C_{н} = 86393$ (табл.6.2). Урожайность сельскохозяйственных культур на орошаемых массивах основана на средних показателях за предшествующие годы. Предполагается, что в результате проектирования каналов и гидротехнических сооружений будет повышена водообеспеченность орошаемых земель, что в соответствии с существующими опытно-

нормативными данными позволит увеличить урожайность на 5...10 % для разных культур (Приложение 2, табл.П.2.5).

Исходные данные для расчета экономической эффективности по урожайности сельхозкультур дается в таблице П.2.5 приложения 2.

Стоимость сельхозкультур с учетом затрат на выращивание составляют без проекта **57380,5 тыс. сом** и с проектом **61438,7 тыс.сом**. С учетом годовых издержек $C_6 = 110434$, $C_n = 92991$ прибыль составит

$$П_6 = Д_6 - \Sigma И_6 = 57380,5 - 110,434 = 57270 \text{ тыс. сом}$$

$$П_n = Д_n - \Sigma И_n = 61438,7 - 92,991 = 61346 \text{ тыс. сом}$$

Чистый доход представляет разность между прибылью «до проекта» и «после проекта» и составляет **$П = 4076 \text{ тыс. сома}$** .

Таким образом, проектирование комплекса сооружений на одном внутрихозяйственном канале-быстротоке Суусамырский за счет увеличения пропускной способности, увеличит водообеспеченность орошаемых земель на 6%, закрепленная за АВП «Сельхозмелиорация», что дает **4076 тыс. сом** чистого дохода.

ВЫВОДЫ:

1. Оросительные системы в горных и предгорных районах со сложным рельефом и большими уклонами местности, включают каналы-быстротоки с бурным и сверхбурным режимами течения воды в них. Существующие ГТС на каналах-быстротоках не могут обеспечить все критерии требований для таких сооружений, в условиях бурного потока в канале. Бурностремительный поток в канале-быстротоке ухудшает характерные свойства существующих сооружений, снижая риск надежности их работы. Решение проблемы управления ГТС на каналах-быстротоках требует создания новых научно-обоснованных конструкций гидротехнических сооружений траншейного типа, исключаящих прямое вмешательство элементов сооружения в высококинетичный скоростной поток.

2. Обоснована необходимость дальнейшего совершенствования поворотных, водомерных и водораспределительных сооружений для улучшения их технологических характеристик, повышения надежности работы самих сооружений и гидромелиоративной системы в целом.
3. Разработаны принципы управления бурными потоками на каналах-быстротоках с учетом водораспределения локальными средствами автоматизации.
4. Теоретически определены гидравлические характеристики сооружений для поворота, водоучета и водораспределения на каналах-быстротоках, позволившие обосновать особенности функционирования этих сооружений на каналах горно-предгорной зоны.
5. Математически получены выражения, описывающие структуру бурного потока на транзитном участке канала-быстротока; структуру потока в канале-быстротоке в зоне влияния водораспределительного и водомерного сооружений; влияние поворота канала на кинематику бурного потока. Полученные математические зависимости подтверждены натурными исследованиями.
6. Теоретически определены параметры бурного потока при плавном повороте и влияние величины угла резкого поворота на увеличение глубины потока за поворотом.
7. Натурное обследование поворотных сооружений на каналах-быстротоках Кыргызстана показало, что поворот бурного потока без специальных устройств, приводит к выплескам воды за пределы канала, а также приводит к разрушению сооружения и части канала.
8. Натурными исследованиями вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения (ВКСРТ) подтверждена целесообразность его использования на каналах с бурным течением, установлены его достоинства и недостатки, обоснованы пути совершенствования.

9. Разработан и исследован усовершенствованный вододелитель для каналов с бурным течением (ВКБТ) двух модификаций (Патент КР №190. Двухсторонний вододелитель для каналов с бурным течением / Лавров Н.П., Атаманова О.В., Исабеков Т.А., Аджыгулова Г.С.). По результатам модельных исследований установлены коэффициенты расхода ВКБТ в пределах $\mu = 0,48 - 0.52$, среднее значение $\mu_{cp}=0.5$. При малых открытиях боковых затворов и расходах в подводящем быстротоке ВКБТ можно использовать в качестве стабилизатора расхода отвода. ВКБТ позволяет обеспечить достаточно равномерное распределение скоростей в отводящем канале на выходе из вододелителя. Разработана методика инженерного расчета ВКСТ нескольких модификаций.

10. Разработаны и исследованы два типа поворотных сооружения для каналов с бурным течением (Патент РФ №162761. Поворотное сооружение для каналов с бурным течением / Атаманова О.В., Аджыгулова Г.С.) (Патент КР № 1956 Поворотное сооружение для каналов с бурным течением // Атаманова О.В., Аджыгулова Г.С.).

11. Разработаны две новые конструкции водомерных сооружений для каналов с бурным течением (Патент РФ на полезную модель № 170278 «Сооружение для водоучета на каналах с бурным течением»/ Атаманова О.В., Аджыгулова Г.С.) (Патент №1980 КР "Водомерное сооружение для каналов с бурным течением").

12. Сконструированные улучшенные конструкции водомерных сооружений для каналов с бурным течением обеспечивают требуемое качество водоучета (1,5-4,8%) для ВМСБТ-1 и (1,4-4,7%) для ВМСБТ-2 на каналах-быстротоках с бурным режимом течения в канале.

Список использованных источников

1. Национальная стратегия устойчивого развития Кыргызской Республики на период 2013-2017 годы [Электронный ресурс]. – Бишкек: Национальный Совет по устойчивому развитию Кыргызской Республики, 2013. – Режим доступа: <http://donors.kg/ru/strategiya/4827-natsionalnaya-strategiya-ustojchivogo-razvitiya-kyrgyzskoj-respubliki-2013-2017-gody>
2. Аджыгулова, Г.С. Роль и вклад аграрного сектора Кыргызской Республики в национальной политике [Текст] / Г.С. Аджыгулова, А.К. Жамангапова // Вестник КНАУ им.К.И.Скрябина, 2015. – №1 (3). – С.170-173.
3. Ганкин, М.З. Комплексная автоматизация и АСУТП водохозяйственных систем / М.З. Ганкин. - М.: Агропромиздат, 1991. – 432с.
4. Сатаркулов, С.С. Гидротехнические сооружения оросительных систем горно-предгорной зоны [Текст] / С.С. Сатаркулов, К.К. Бейшекеев. - Бишкек: КНИИР, 2003. – 541с.
5. Приоритетные задачи диагностики и планирования развития сооружений водохозяйственной инфраструктуры при разработке Чуйского бассейнового водного плана: Аналитическая записка [Текст] / Национальный диалог по водной политике в Кыргызстане. – Бишкек, 2014. – 26 с.
6. Аджыгулова, Г.С. Пути совершенствования сооружений для изменения направления бурного потока [Текст] / Г.С. Аджыгулова, О.В. Атаманова // Вестник КРСУ, 2017. – Т.17. № 5. – С.131-133.
7. Мелиорация и водное хозяйство. 4. Сооружения: Справочник / Под ред. П.А. Полад-заде. – М.: Агропромиздат, 1987. – 464с.: ил
8. Вагапов, Р.И. Методы гидравлического расчета водопроводящих трактов и сооружений открытых оросительных систем при бурном режиме течения [Текст]: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.23.07 / Р.И. Вагапов. – Москва, 1994. – 44 с

9. Иванов, И.В. Некоторые результаты полевых исследований лотковых каналов [Текст]/ И.В. Иванов // Сб. Вопросы водного хозяйства (гидротехника). – Фрунзе, 1974. Вып. 30. - С.143-147.
- 10.Аджыгулова, Г.С Поворотное сооружение для каналов-быстротоков[Текст] / Н.П.Лавров, Г.С. Аджыгулова, О.В. Атаманова //Сб. Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений -Саратов, 2020. Т. 1. № 1 (45). С. 5-8.
- 11.Войнич-Сяноженцкий, Т.Г. К вопросу устойчивости равномерного турбулентного потока и его свободной поверхности в условиях течения со сверхкритическими скоростями [Текст] / Т.Г. Войнич-Сяноженцкий //Труды Всесоюзного научно-технического совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам. Т.2. – Тбилиси, 1960. – С.125-146.
- 12.Бейшекеев, К.К. Совершенствование водомерных и водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках оросительных систем горно-предгорной зоны [Текст]: дисс. ...д-ра техн. наук: 05.23.07, 06.01.02 / К.К. Бейшекеев – Бишкек, 2011. –362 с.
- 13.Аджыгулова, Г.С Особенности гидротехнических сооружений для управления бурными потоками [Текст] / Г.С. Аджыгулова, А.К. // Вестник КГУСТА им. им. Н.Исанова, 2017. - №4 (58). – С.152-157.
- 14.Андреев, П.И. Исследование конструкции и пропускной способности водовыпуска стабилизатора расхода на каналах с уклоном дна больше критического [Текст]: дисс. ...канд. техн. наук: 05.14.09 / П.И. Андреев. – Фрунзе, 1981. – 175 с.
- 15.Высоцкий, Л. И. Управление бурными потоками на водосбросах [Текст]/ Л. И. Высоцкий. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 239 с.
- 16.Лавров, Н.П. Совершенствование способов и средств управления сверхбурными потоками на ирригационных каналах-быстротоках

- [Текст]: дисс. ...д-ра техн. наук: 05.23.07 / Н.П.Лавров. –Бишкек, 1994. –567 с.
- 17.Бейшекеев, К.К. Ломаные в плане поворотные сооружения для каналов с бурным режимом течения [Текст]: автореф. дисс. ...канд. техн. наук / К.К. Бейшекеев. – Москва, 1988 – 14 с.
- 18.Аджыгулова, Г.С. Опыт внедрения водораспределительных сооружений на оросительных каналах-быстротоках в Кыргызской Республике / Т.А. Исабеков, Г.С. Аджыгулова, О.В. Атаманова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. – Рязань, 2015. – № 4 (28). – С. 61-67.
- 19.Голованов, А.И. Мелиорация земель [Текст]: Учебник / А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров. – М.: Лань, 2015. – 816 с.
- 20.Аджыгулова, Г.С. Пути совершенствования сооружений для изменения направления бурного потока [Текст] / Г.С.Аджыгулова, О.В. Атаманова и др.// Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. Т.17. –2017. – № 5. – С.131-133.
- 21.Сенников, М.Н.Инженерное обеспечение эксплуатационной надежности гидромелиоративных систем/ М.Н. Сенников. – Тараз: ТарГУ им. М.Х. Дулати, 2004. - 310 с.
- 22.Атаманова, О.В. Совершенствование систем автоматизации водораспределения с использованием гидравлических стабилизаторов расходов воды [Текст] / О.В.Атаманова. –Бишкек: Илим, 2002. – 91 с.
- 23.Аджыгулова, Г.С. Модельные гидравлические исследования усовершенствованного поворотного сооружения для каналов с бурным течением / О.В. Атаманова, Г.С. Аджыгулова // Гидротехническое строительство. – М, 2017. – № 10 . – С. 55-62.
- 24.Авдеев, В.И. Исследование систем стабилизации водоподачи на оросительных каналах с бурным течением [Текст]: дисс. ... канд.техн.наук / В.И. Авдеев. –Фрунзе: 1972. – 154 с.

- 25.Аджыгулова, Г.С.Модельные исследования кинематических характеристик бурного потока в зоне влияния поворотного сооружения / Г.С. Аджыгулова // Вестник КРСУ. – Бишкек, 2023. – Т.23 - № 10 . – С. 77-81.
- 26.Acatau T. Sur la limite d'application de la methode des caracteristiques aus canaux courbes[Text] / XI Congress IANR, Leningrad, 1965.1.31.-p.8
- 27.Acatau T. Price d'eau sur un canal a ecoulement rapide[Text] / XI Congress IANR, Leningrad, 1965, 1.32.-p.10
- 28.Арсенишвили, К.И. Воздействие набегающих волн на гидротехнические сооружения [Текст] К.И. Арсенишвили. – Тбилиси; СабчотаСакартвело, 1961 – 183 с.
- 29.Арсенишвили, К.И. Вихревойводоотвод типа донного колодца для каналов с большими уклонами / К.И.Арсенишвили, О.Г.Натишвили. – Гидротехника и мелиорация, 1957. - №7. с. 19.
- 30.Арыкова, А.И. Исследование движения винтообразного потока с переменным расходом в промывной галерее пескогравелировки[Текст]:- дис. ... доктора техн.наук / А.И.Арыкова. – Алма-Ата, 1966, - 168 с.
- 31.Бочкарев, Я.В. Локальные системы стабилизации водоподачи на оросительных системах [Текст]: учеб.пособие / Я.В.Бочкарев, О.В. Атаманова. – Бишкек: КАА, 1997. –76 с.
- 32.Аджыгулова Г.С. Новая конструкция водомерного сооружения для ирригационных каналов с бурным течением [Текст] / Г.С. Аджыгулова, // Известия ВУЗов Кыргызстана. 2017. – № 3. – С.7-9.
- 33.Афанасьев, В.А. Исследование гидравлического и наносного режимов многотраншейныхпескогравелировок.[Текст]: автореф.дис. ... канд.техн.наук / В.А. Афанасьев. – Ташкент, 1975–30с.
- 34.Бобохидзе Ш.С. Гидравлическая автоматизация водораспределения на оросительных системах. – Москва.: «Колос», 1973. – 244 с
- 35.А.с. 120454 СССР, МКИ Е 02В 13/00. Вододелитель для каналов с большим уклоном [Текст] / Ш.С. Бобохидзе (СССР). – Оpubл. 1959. Бюл. №14. – 2 с.

36. Бочкарев, Я.В. Гидравлическая автоматизация водораспределения на оросительных системах [Текст] / Я.В. Бочкарев. – Фрунзе: Кыргызстан, 1971. – 264 с.
37. Бочкарев, Я.В. Гидроавтоматика в орошении [Текст] / Я.В. Бочкарев. – М.: Колос, 1978. – 188 с.
38. Беркалиев, Б.З. Исследования донного вододеления на каналах с большими уклонами дна [Текст]: дисс.... канд. техн. наук: 05.23.07/ Б.З. Беркалиев. – Ташкент, 1975. – 248 с.
39. А.с. 352994 (СССР) Водовыпуск для каналов с большим уклоном дна. [Текст] / Б.З. Беркалиев, Р.И. Вагалов, С.А. Сарсекеев. – Оpubл. 1972, Бюл. №29. – 2с.
40. Вагапов, Р.И. Результаты исследований волнового движения на каналах – быстротоках. Вопросы гидротехники и гидравлики. Матер. II конф. молодых научн. работников по мелиорации и гидротехника. Киев: Урожай, 1969.
41. Данелия Н.Ф., Руруа Г.Б. Решетчатый водораспределитель для канала большими уклонами. – Гидротехника и мелиорация 1954. - №5, стр. 47 – 50
42. Емцев, Б.Т. Двумерные бурные потоки. [Текст]: Б.Т. Емцев. – М.: Энергия, 1967. – 212 с.
43. Замарин, Е.А. Проектирование гидротехнических сооружений [Текст] / Е.А. Замарин. – М.: Сельхозгиз, 1961. – 601 с.
44. Замарин, Е.А. Гидротехнические сооружения [Текст] / Е.А. Замарин, В.В. Фандеев. – М.: Колос, 1965. – 628 с.
45. Исабеков, Т. А. Совершенствование управления водными ресурсами на объектах межгосударственного пользования (на примере бассейнов рек Чу и Талас) [Текст]: дисс. ... д-ра техн. наук: 25.00.27; 05.23.07 / Т. А. Исабеков – Бишкек, 2014. – 382 с.

46. Корж, В.А. Транспортирующая способность напорных винтообразных потоков в наноотводящих трактах [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Корж. – Алма-Ата, 1971 – 18 с.
47. Кикнадзе, Л.Л. К вопросу установления величины гидравлических потерь в данном распределителе СБ [Текст]: Труды Груз НИИГ и М / Л.Л. Кикнадзе, - Тбилиси. 1966. – вып. 24.- с 53-58
48. Лавров, Н.П. Каналы-быстротоки со сверхбурным режимом течения и сооружения на них [Текст] / Я.В. Бочкарев, А.О. Гамбарян, Н.П. Лавров. – Фрунзе: Кыргызстан, 1986. – 124 с.
49. Лавров, Н.П. Технологические принципы управления водопользованием на каналах-быстротоках со сверхбурным течением [Текст] / Н.П. Лавров // Водные ресурсы: экономические аспекты их использования. Тез. докл. междунауч. научно-техн. конфер. – Жамбыл, 1996. – С.38-43.
50. А.с. 277298 СССР, МКИ Е 02В 13/00. Гидравлический автомат расхода для каналов с большими уклонами [Текст] / Я.В. Бочкарев, А.С. Луговой (СССР). – Оpubл. 1965. Бюл. №24. – 2 с.
51. Луговой, А.С. Стабилизация расхода для каналов предгорной зоны [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / А.С. Луговой. – Фрунзе, 1971. – 260 с.
52. Микаелян, В.Г. Водовыпуски на каналах с большими уклонами дна [Текст] / В.Г. Микаелян // Труды Арм. НИИВПиГ. – Ереван: Айастан, 1972. – Т. 2. – С. 365–373.
53. Руруа, Б.Г. Вододелительные устройства оросительных систем Грузии в условиях бурного течения [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Б.Г. Руруа. – Тбилиси, 1956. – 26 с.
54. Шведова, Н.Н. Гидравлические исследования вододелителя донного типа для каналов с большими уклонами [Текст]: дисс. ... кан. техн. наук / Н.Н. Шведова. – Москва, 1972. – 168 с.

55. Iwasa Y. The Criterion for Instability of Steady Uniform Flow in Open Channels [Text] / Y. Iwasa // Memoirs of the faculty of engineering Kyoto univ. Vol. XVI. – 1954. – № 4. – P.126-141.
56. Вагапов, Р.И. Расчет поворотов с плоским дном при бурном режиме течения [Текст] / Р.И. Вагапов // Журнал «Гидротехника и мелиорация» № 2, 1978. – С. 10-16.
57. Бочкарев, Я.В. Гидротехнические сооружения на каналах – быстротоках со сверхбурным течением [Текст]: учеб. пособие / Я.В. Бочкарев, Н.П. Лавров. – Бишкек: Кырг. СХИ, 1991. – 116 с.
58. А.с. 641028 СССР, МКИ Е 02 В 13/00. Поворотное сооружение для лотковых каналов с бурным режимом течения [Текст] / М.И. Голубенко, А.И. Александров (СССР). – Оpubл. в 1979, Бюл. №1. – 2с.
59. Аджыгулова, Г.С. Поворотные сооружения на каналах-быстротоках со сверхбурным режимом течения потока [Текст]: дисс.... канд. техн. наук: 06.01.02 / Г.С. Аджыгулова. – Бишкек, 2000. – 115 с.
60. Алтунин, В.С. Приборы и устройства гидромелиорации [Текст]: справочник / В.С. Алтунин, Т.М. Белавцева. – М.: Агропромиздат, 1989. – 303 с.
61. Кошматов, Б.Т. Комбинированные водомерные сооружения [Текст] / Б.Т. Кошматов, К.К. Бейшекеев, С.С. Сатаркулов // Вопросы водного хозяйства (Гидротехника). – Вып.1. – Бишкек: ДВХ МВХиПП, 2002. – С. 48-53.
62. Сатаркулов, С.С. Водомерные сооружения и пути улучшения их работы [Текст] / С.С. Сатаркулов, К.К. Бейшекеев, Х.М. Маллаев. – Бишкек, 2000. – 95с.
63. Бейшекеев, К.К. Руководство по эксплуатации водомерных сооружений [Текст] / С.С. Сатаркулов, К.К. Бейшекеев, Х.М. Маллаев. – Бишкек: ДВХ МСВХиПП, 2001. – 122 с.
64. ГОСТ 14012–1976. Расходомеры тахометрические шариковые ГСП [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1984. – 13 с.

65. Бобровников, Г.Н. Бесконтактные расходомеры [Текст] / Г.Н. Бобровников, Б.М. Новожилов, В.Г. Сарафанов. – М.: Машиностроение, 1985. – 128 с.
66. Бочкарев, Я.В. Эксплуатационная гидрометрия и автоматизация оросительных систем [Текст] / Я.В. Бочкарев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 175 с.
67. Водомерные устройства для гидромелиоративных систем [Текст] / [М.В. Бутырин, А.Ф. Киенчук, В.Е. Краснов и др.]; под ред. А.Ф. Киенчука. – М.: Колос, 1982. – 172 с.
68. Железняков, Г.В. Теории гидрометрии [Текст] / Г.В. Железняков. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 343 с.
69. Карасев, И.Ф. Гидрометрия [Текст] / И.Ф. Карасев, И.Г. Шумков. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 384 с.
70. Аджыгулова, Г.С. Классификация сооружений водоучета на каналах-быстротоках с бурным течением [Текст] / О.В. Атаманова, Г.С. Аджыгулова, // Сб. по итогам Международной научно-практической конференции (09 ноября 2015 г, г. Стерлитамак РФ). -Стерлитамак: РИЦ АМИ 2015.- № 5.- С. 134-136.
71. Аджыгулова, Г.С. Функциональные особенности сетевых сооружений на каналах-быстротоках горно-предгорной зоны [Текст] / О.В. Атаманова, Г.С. Аджыгулова, // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. - Саратов 2020. Т. 1. № 1 (45). С. 9-14.
72. Коваленко, П.И. Автоматизация мелиоративных систем [Текст] / П.И. Коваленко. – М.: Колос, 1983. – 304 с.
73. Ковальчук, Ю.Г. Средства измерения расхода и количества воды на мелиоративных системах [Текст]: каталог-справочник / Ю.Г. Ковальчук, А.П. Прокопчук. – Киев: Хрещатик, 1992. – 48 с.

74. Пикалов, П.И. Водомерно-регулирующие сооружения внутрихозяйственной оросительной сети [Текст] / П.И. Пикалов, А.Я. Фалькович. – М.: Сельхозгиз, 1951. – 137 с.
75. Филиппов, Е.Г. Гидравлика гидрометрических сооружений для открытых потоков [Текст] / Е.Г. Филиппов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 286 с.
76. Филиппов, Е.Г. Измерение расходов воды в открытых каналах гидромелиоративных систем. Методы измерения расхода и стока: Руководящий документ [Текст] / Е.Г. Филиппов. – М.: МВХ СССР, 1987. – 120 с.
77. Филончиков, А.В. Технология водоучета на мелиоративных системах [Текст] / А.В. Филончиков. – Кострома: Изд. КГСХА, 1997. – 156 с.
78. Филончиков, А.В. Разработать нормативную базу и средства метрологического контроля технического и коммерческого водоучета на гидромелиоративных системах. Технология водоучета на мелиоративных системах [Текст]: часть 2 / А.В. Филончиков, А.Б. Маслов. – М.: П/О Совинтервод, 1994. – 116 с.
79. Филончиков, А.В. Разработать нормативную базу и средства метрологического контроля технического и коммерческого водоучета на гидромелиоративных системах [Текст]: часть 3: Руководство по оснащению гидромелиоративных систем новейшими средствами водоучета / А.В. Филончиков, А.Б. Маслов. – М.: П/О Совинтервод, 1994. – 41 с.
80. Хамадов, И.Б. Устройства гидроавтоматики для регулирования расходов и горизонтов воды [Текст] / И.Б. Хамадов, А.А. Гартунг // Вопросы гидротехники: сб. науч. тр. САНИИРИ. – Ташкент, 1968. – Т.32. – С.25-41.
81. Хамадов, И.Б. Краткие технические характеристики средств учета и распределения воды для автоматизированных оросительных систем

- [Текст] / И.Б. Хамадов, А.Р. Мансуров, С.Г. Журавлев // Сб. науч. тр. САНИИРИ. –Ташкент, 1974. – С.184-188.
- 82.Щедрин, В.Н. Метрологическое обеспечение водоучета и водоизмерения в отрасли: уровень и задача развития [Текст]/ В.Н. Щедрин, В.А. Бочкарева // Вопросы мелиорации. – 1996. – №5. –М.: ЦНТИ. – С. 57-62.
- 83.Ярцев, В.Н. Эксплуатационная гидрометрия [Текст] / В.Н. Ярцев. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 230 с.
- 84.ГОСТ 8.010–1972. Общие требования к стандартизации и аттестации методик выполнения измерений [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1972. – 4 с.
- 85.ГОСТ 8.146–1975. Манометры дифференциальные показывающие и самопишущие с интеграторами ГСП. Методы и средства поверки [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1975. – 11 с.
- 86.ГОСТ 14012–1976. Расходомеры тахометрические шариковые ГСП [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1984. – 13 с.
- 87.ГОСТ 8.320–1978. Расходомеры электромагнитные. Методы и средства поверки [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1978. –10 с.
- 88.ГОСТ 15126–1980. Вертушки гидрометрические речные. Общие технические требования [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1980. – 6 с.
- 89.ГОСТ 11988–1981. Расходомеры и измерительные преобразователи расхода электромагнитные промышленные ГСП. Общие технические условия [Текст]. –М.: Изд. стандартов, 1981. – 21 с.
- 90.ГОСТ 28723–1990. Расходомеры скоростные, электромагнитные и вихревые. Общие технические требования и методы испытаний [Текст]. –М.: Изд. стандартов, 1991. – 11 с.
- 91.ГОСТ 8.010–1990. Методики выполнения измерений [Текст]. –М.: Изд. стандартов, 1991. – 16 с.
- 92.Каталог водомерных сооружений [Текст]/Союзводпроект. –М.,1989. – 275 с.

93. ОСТ 33.2.2.05-1986. Каналы оросительных систем трапециевидного сечения на расходы до 10 м³/с. Поперечные сечения [Текст]. – М.: Изд. официальное, 1986. – 32 с.
94. МИ 2122.90. Расход жидкости в открытых потоках. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков [Текст]. – Казань: Госстандарт, 1990. – 52 с.
95. Andersen V.M. Non-uniform flow in front of a free overflow [Text] / V.M. Andersen // Acta Polytechnica Scandinavica Civil engineering and building construction. – Copenhagen, 1967. – Series № 42. – P.1-24.
96. Boiten W. Hydrometry [Text] / W. Boiten. – Wageningen: Agricultural University, 1986. – 214 p.
97. Chow V.T. Open channel hydraulics [Text] / V.T. Chow. – New York: Mc Crow-Hill. – 1969. – 300 p.
98. Crabbe A.D. Some Hydraulic Features of the Square-Edged Broad Crested Weir [Text] / A.D. Crabbe // Water services. – 1974. – Vol.78, № 944. – P.354-358.
99. Patent №2073610 USA. C1. Controlling flume [Text] / P.F. Danel. – 1973. – P.61-64.
100. Hager W.H. Hydraulics of plane free overflow [Text] / W.H. Hager // J. of Hydraulic Engineering, ASCE. – December, 1983. Vol.109, №12. – P.1683-1697.
101. Hershy R.W. Streamflow measurement [Text] / R.W. Hershy. – London and New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. – 553 p.
102. Гидромелиоративные каналы с фиксированным руслом. Методика выполнения измерения расходов воды методом «скорость – площадь» [Текст]: МВИ 05-1990. Минводхоз СССР. – 1990. – 51 с.
103. Руководство по обработке результатов измерений параметров учета воды на оросительных, осушительных и обводнительных системах [Текст]: ВТР-М-2-80. ММ и ВХ СССР. – 1980. – 41 с.

104. Богомолов, А.И. Высокоскоростные потоки со свободной поверхностью [Текст] / А.И. Богомолов, В.С. Боровков, Ф.Г. Майрановский. – М.: Стройиздат, 1979. – 347 с.
105. Слисский, С.М. Гидравлические расчеты высоконапорных гидротехнических сооружений [Текст] / С.М. Слисский. – М.: Энергия, 1979. – 335 с.
106. Исабеков, Т.А. Совершенствование управления водораспределением на объектах межгосударственного пользования [Текст] / Т.А. Исабеков. – Бишкек: Кут-Бер, 2013. – 296 с.
107. Гидротехнические сооружения [Текст]: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Н. П. Розанова. – М.: Стройиздат, 1978. – 647 с.
108. Атаманова, О.В. Совершенствование систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды [Текст]: Дисс. ... докт. техн. наук: 06.01.02, 05.23.07 / О.В. Атаманова. – Бишкек, 2003. – 357 с.
109. Мелиорация и водное хозяйство. 4. Сооружения: Справочник / Под ред. П.А. Полад-заде. – М.: Агропромиздат, 1987. – 464 с.
110. Бейшекеев, К.К. Совершенствование конструкций водомерных и водораспределительных сооружений на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны [Текст] / К.К. Бейшекеев. – Бишкек: КРСУ, 2011. – 297с.
111. Лавров Н.П. Характеристика и особенности водораспределительных сооружений оросительных систем горно-предгорной зоны [Текст] / Н.П. Лавров, О.В. Атаманова, К.К. Бейшекеев // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – Бишкек, 2006. –Т.6, № 9. –С.108-112.
112. Гидротехнические сооружения [Текст]: в 2 ч. : учебник / Л. Н. Рассказов [и др.] ; под ред. Л. Н. Рассказова. - М. : Изд-во АСВ, 2008. – Ч.1. - 576 с. – Ч. 2. – 528 с.

113. Замарин, Е.А. Гидротехнические сооружения [Текст] / Е.А. Замарин, В.В. Фандеев. – М.: Колос, 1965. – 628 с.
114. Справочник по гидравлическим расчетам [Текст] / Под ред. П.Г. Киселева. Изд. 5-е. – М.: Энергия, 1974. – 312 с.
115. Высоцкий, Л.И. Теория и примеры гидравлического расчета конструкций для управления бурными потоками [Текст]: Учебное пособие / Л.И. Высоцкий, Ю.А. Изюмов, В.Т. Никонова. – Саратов: СГТУ, 1997. – 104 с.
116. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика [Текст] / Д.В. Штеренлихт. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 351 с.
117. Коханенко, В.Н. Выбор частных решений основной системы движения потока в конструкции решения краевой задачи свободного растекания бурного двумерного, стационарного потенциального потока воды / В.Н. Коханенко. Шахты, 1996. -12с. - Деп. в ВИНТИ 10.12.96, № 3588-В96.
118. Высоцкий, Л.И. Потенциал скорости. Функция тока: Учеб. Пособие / Л.И. Высоцкий. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1996. – 80 с.
119. Шаумян, В.А. Научные основы орошения и оросительных сооружений [Текст] / В.А. Шаумян. – М.: ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 1948. – 758 с.
120. Аджыгулова, Г.С. Натурные исследования вододеливателя для каналов с бурным течением [Текст] / Г.С. Аджыгулова, Т.А. Исабеков // Сборник материалов III Всероссийской молодежной конференции // Устойчивость безопасность и энергоресурсосбережение в современных архитектурных, технологических решениях и инженерных системах зданий и сооружений. – Москва, 2012. – С.13-20.
121. Аджыгулова, Г.С. Гидравлические исследования усовершенствованной конструкции вододеливателя для каналов со сверхбурным течением [Текст] / О.В. Атаманова, Г.С. Аджыгулова,

- К.К. Бейшекеев // Вестник Кыргызского аграрного университета. – 2008. – № 1. – С. 238-243.
122. Аджыгулова, Г.С. Экспериментальные исследования усовершенствованной конструкции вододеливателя для каналов со сверхбурным течением [Текст] / Н.П. Лавров, Г.С.Аджыгулова, К.К. Бейшекеев и др.// Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. Т.8. –2008. – № 9. – С.91-95.
123. Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны [Текст] // [Н.П. Лавров, Г.С.Аджыгулова и др.]. – Бишкек: ИД «Салам», 2009. – 504с.
124. Пат. 1043 КР, МКИ Е 02 В 13/00. Вододеливатель для каналов со сверхбурным течением [Текст] / Н.П. Лавров, О.В. Атаманова, Г.С. Аджыгулова, К.К. Бейшекеев; заявитель и патентообладатель КРСУ. – Оpubл. 2008. Бюл. № 5. – 5 с.
125. Бейшекеев, К.К. Обоснование стабилизирующей способности вододеливателей для каналов со сверхбурным течением// Вестник ТарГУ им. М.Х. Дулати [Текст] / К.К. Бейшекеев // Природопользование и проблемы антропосферы. –2009. – №1. – С.53-61.
126. Аджыгулова, Г.С. Натурные исследования водораспределительного сооружения на Иссык-Атинском подпитывающем канале в Кыргызской Республике [Текст] / Г.С. Аджыгулова, О.В. Атаманова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. -2017. -№ 4 (28). -С. 242-262.
127. Справочник по гидравлическим расчетам [Текст] / Под ред. П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1974. –312 с.
128. Патент № 748 КР МКИ Е 02 В 13/00. Вододеливатель для каналов с бурным течением [Текст] / Н.П. Лавров, Т.А. Исабеков. Оpubл. в БИ №1, КР, 2005. – 6 с.
129. Патент № 190 КР МКИ Е 02 В 13/00 Двухсторонний вододеливатель для каналов с бурным течением [Текст] / Лавров Н.П.,

- Исабеков Т.А., Аджыгулова Г.С., Атаманова О.В. – Оpubл. 2015, Бюл. № 7. – 5 с.
130. Chaudhry, M. H. Open-Channel Flow. 2nd edition / M. H. Chaudhry. – Springer, 2007. – 528 p.
131. Лавров Н.П. Теоретическое обоснование конструкции вододелиителя для каналов со сверхбурным режимом течения [Текст] / Н.П. Лавров // Пути совершенствования средств гидроавтоматики в мелиорации. – Бишкек: Кырг. СХИ, 1995. – с. 33 – 40.
132. Mark, A. Hydraulic Design Manual – Open Channel Hydraulics and Sediment Transport [Электронный ресурс] / A. Mark, P. E. Marek // Santa Clara Valley Water District, 2009. – Режим доступа: <http://valleywater.org/Services/HydraulicDesignManual.aspx>.
133. Железняков Г.В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока [Текст] / Г.В. Железняков, Т.А. Неговская, Е.Е. Овчаров. – М.: Колос, 1984. – 205 с.
134. Карасев И.Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов [Текст] / И.Ф. Карасев – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 310 с.
135. Исабеков, Т.А. Совершенствование конструкции вододелиителей бурного потока на каналах-быстротоках [Текст]: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.23.07, 06.01.02 / Т.А. Исабеков. – Бишкек: КАА им. К.И. Скрябина, 2004. – 26с.
136. Аджыгулова, Г.С. Совершенствование водораспределительных сооружений для ирригационных каналов-быстротоков с бурным течением [Текст] / Н.П. Лавров, Г.С. Аджыгулова, О.В. Атаманова, Т.А. Исабеков // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. – № 2 (22). – С. 192-211.
137. Аджыгулова, Г.С. Анализ поворотных сооружений на каналах-быстротоках горно-предгорной зоны [Текст] / Г.С. Аджыгулова, О.В. Атаманова // Вестник Рязанского государственного

- агротехнологического университета им. П.А. Костычева.-Рязань, 2015.
– № 4 (28). – С. 38-42.
138. Мелик-Нубаров. Водозаборы с донной решеткой [Текст] / Мелик-Нубаров. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 103 с.
139. Фандеев В.В., Мирза-Заде У.Р. Об увеличении пропускной способности водозаборной галереи плотин с донной решеткой. – Гидротехника и мелиорация 1954. - №5, стр. 55 – 60
140. А.с. 1167269 СССР, МКИ Е 02 В 13/00, Поворотное сооружение для открытых каналов [Текст] / Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К. (СССР) Оpubл. в 1985, Бюл. №26. – 2с.
141. А.с. 918391 СССР, МКИ Е 02 В 13/00, Поворотное сооружение для каналов с бурным режимом течения. [Текст] / Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К. (СССР) Оpubл. в 1982, Бюл. №13. – 2с.
142. Патент РФ на полезную модель № 162761. Поворотное сооружение для каналов с бурным течением [Текст] / Атаманова О.В., Аджыгулова Г.С. – Оpubл. 27.06.2016. Бюл.№ 18 – 2с
143. Патент КР № 1956 Поворотное сооружение для каналов с бурным течением [Текст] / Аджыгулова Г.С., Атаманова О.В. – Оpubл. в БИ №5, КР, 2017. – 8 с.
144. Леви, И.И. Моделирование гидравлических явлений. – Л.: Энергия – Ленинградское отделение, 1967. – 235 с.
145. Михалев, М.А. Физическое моделирование гидравлических явлений [Текст]: Учеб. пособие / М.А. Михалев. – СПб: Изд-во политехнического университета, 2010. - 443 с.
146. Высоцкий, Л.И. Продольно-однородные осредненные турбулентные потоки: монография / Л.И. Высоцкий, И.С. Высоцкий. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2011. - 560 с.
147. МИ 2406-97. ГСИ. Расход жидкости в открытых каналах систем водоснабжения и канализации. Методика выполнения измерений при

- помощи стандартных водосливов и лотков. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 44 с.
148. Абдылдаев М.Ю. Математическое моделирование гидродинамических процессов [Текст]: дисс. ...д-ра техн. наук: 05.13.16 / М.Ю.Абдылдаев –Бишкек, 1993. – 264 с.
149. Акимжанов А.А. Совершенствование и исследование конструкций донного водовыпуска из каналов с бурным течением. [Текст]: дисс.канд. техн. наук: 06.01.02 / А.А. Акимжанов – Фрунзе, 1989. -154 с.
150. Лавров Н.П. Теоретическое обоснование конструкции вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения [Текст] / Н.П. Лавров // Пути совершенствования средств гидроавтоматики в мелиорации. – Бишкек: Кырг. СХИ, 1995. – с. 33 – 40.
151. А.с.1028769 СССР, МКИ Е 02 В 13/00. Водовыпуск из каналов с бурным течением [Текст] / С.С.Сатаркулов, А.А.Акимжанов (СССР). – Оpubл. 15.07.1983, Бюл. №26. – 2с.
152. Аджыгулова Г.С. Гидравлические исследования кинематической структуры потока в зоне влияния вододелителя для каналов со сверхбурным течением [Текст] / К.К. Бейшекеев, Г.С. Аджыгулова, Н.П. Лавров, О.В. Атаманова // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. Т.10. – 2010. – № 2. – С.79-85.
153. Пред.патент КР № 171 Поворотное сооружение для каналов с выскоскоростным волновым течением [Текст] / Лавров Н.П., Аджыгулова Г.С.– Оpubл. в БИС №4, КР, 1997. – 4 с.
154. Б. Хамадов, М.В. Бутырин Эксплуатационная гидрометрия в ирригации. М., «Колос», 1975
155. Рекомендации по проведению натуральных наблюдений и исследований на гидротехнических сооружениях водохозяйственных систем. Утвержд. Приказом ММиВХ СССР №238 от 13.09.1971 г.

156. СТО 4.2-1-2014. Мелиоративные системы и сооружения. Эксплуатация. Градуировка гидрометрических сооружений «фиксированное русло» [Текст]. – Новочеркасск: Изд.официальное, 2014. – 44 с.
157. Сатаркулов С.С. Рекомендации по учету воды в каналах и лотках: для гидрометров оросительных систем [Текст] / Сатаркулов С.С. – Б.:2007. -119 с.
158. Пат. 1338 КР, МКИ Е 02 В 13/00. Водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением [Текст] / Н.П. Лавров, О.В. Атаманова, К.К. Бейшекеев, Г.С. Аджыгулова.; заявитель и патентообладатель КРСУ. – Оpubл. 2011. Бюл. № 2 . – 5с.
159. Совершенствование водораспределительных сооружений на каналах горно-предгорной зоны [Текст]: отчет о НИР (итоговый) по теме ХГ-03-06 / Кыргызско-Российский Славянский университет; рук. Лавров Н.П.; исполн. Аджыгулова Г.С. [и др.]. – Бишкек, 2007. – 165 с.
160. Пат. 1980 КР, МКИ Е 02 В 13/00. Водомерное сооружение для каналов с бурным течением [Текст] / Г.С. Аджыгулова, О.В. Атаманова; заявитель и патентообладатель КРСУ. – Оpubл. 2017. Бюл. № 8 . – 5с.
161. Патент РФ на полезную модель № 170278. Сооружение для водоучета на каналах с бурным течением [Текст] / О.В. Атаманова; Г.С. Аджыгулова, Бюл.№ 11 / 19.04.2017
162. Зегжда А.П. Теория подобия и методика расчета гидротехнических моделей [Текст] / А.П.Зегжда. - М.-Л.: Гостройиздат,1983. - 164 с.
163. Руководящий документ. Методические указания по проектированию водовыпуска-стабилизатора расхода и сооружений по соединению потоков на каналах с уклоном больше критического [Текст]: РДМУ Кирг. ССР / П.И.Андреев, С.И. Идрисов. – Фрунзе, 1983. – 70 с.

164. Акрамов, М.К. Горный водозабор с двойной удлиненной решеткой [Текст]: автореф. дисс. ...канд. техн. наук / М.К. Акрамов. – Москва, 1955 – 19 с.
165. Межгосударственный свод правил по проектированию и строительству. Определение основных гидрологических характеристик [Текст]: МСП 3.04-101-2005 // Система межгосударственных нормативных документов в строительстве. –М.: МНТКС. – 2005. – 120 с.
166. Adzhygulova G.S. Model hydraulic studies of an improved turning apparatus for channels with rapid flow// Atamanova O.V., Adzhygulova G.S. Power Technology and Engineering. 2018. Т. 51. № 6. P. 667-673.
167. СНиП 2.06.04 – 84 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) [Текст]. –М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 40 с.
168. СНиП 2.06.08 – 87 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений [Текст]. –Минэнерго СССР – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 32 с.
169. СНиП 03.01 – 87 Несущие и ограждающие конструкции [Текст]. –М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 192 с.
170. Реабилитация (капитальный ремонт) ирригационной системы АВП «Сельхозмелиорация» Московского района Чуйской области» Пояснительная записка [Текст] / Чуйское бассейновое управление водного хозяйства. – Бишкек, 2015. – 110 с.
171. ГОССТРОЙ Киргизской ССР, Государственный проектный институт «Киргизгипрострой». Каталог единых районных единичных расценок на строительные работы, привязанных к местным условиям строительства на территории Киргизской ССР. Книга I, книга II /- Фрунзе.: «Кыргызстан» - 1983г
172. СН 509-78 Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники,

изобретений и рационализаторских предложений [Текст].]. – Минэнерго СССР – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1979. – 38 с.

173. Аджыгулова Г.С. Лабораторные исследования поворотного сооружения для каналов-быстротоков[Текст] / Г.С. Аджыгулова, О.В. Атаманова //В сб.: Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. Материалы X Национальной конференции с международным участием. Саратов, 2020. С. 50-53.