

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

На правах рукописи
УДК 626.823.69 : 626.824

Бейшекеев Кыдыкбек Каниметович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДОМЕРНЫХ
И ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ
НА КАНАЛАХ-БЫСТРОТОКАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ**

Специальности: 05.23.07 – Гидротехническое строительство;
06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени доктора технических наук

Научные консультанты:

доктор технических наук, профессор

Лавров Николай Петрович

доктор технических наук, доцент

Атаманова Ольга Викторовна

Бишкек 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ, ОБЗОР И АНАЛИЗ ВОДОМЕРНЫХ И ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ	16
1.1 Основные характеристики водоучета на современных мелиоративных системах	16
1.2 Обзор и анализ существующих методов определения стока и расхода воды на каналах оросительных систем	21
1.3 Технические средства водоучета на каналах горно-предгорной зоны	34
1.4 Характеристика условий функционирования средств измерений расходов воды на оросительных системах Кыргызской Республики	38
1.5 Анализ существующих конструкций водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках	62
1.6 Пути совершенствования водомерных и водораспределительных сооружений оросительных систем горно-предгорной зоны	78
1.7. Цели и задачи разработок и исследований.....	80
ГЛАВА 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОДОУЧЕТА И ВОДОРАСПОЛОЖЕНИЯ НА КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ	83
2.1 Анализ технологических приемов водоучета на оросительных системах горно-предгорной зоны	83
2.2 Технология и схемы водоучета на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны	88
2.3 Анализ конструкций водомерных сооружений для каналов оросительных систем горно-предгорной зоны	93

2.4	Теоретические основы сверхбурных потоков на каналах-быстроотоках	96
2.5	Теоретическое обоснование и способы гидравлического расчета основных видов водомерных устройств на каналах оросительных систем.....	101
2.6	Технологическое обоснование и схемы управления водораспределением на каналах-быстроотоках со сверхбурным течением	105
2.7	Теоретическое описание процесса отбора воды в вододелителе для каналов со сверхбурным режимом течения	114
2.8	Гидравлические характеристики сооружений водораспределения на быстротечных каналах горно-предгорной зоны	118
2.8.1	Теоретическое обоснование истечения через вододелительные сооружения на каналах-быстроотоках горно-предгорной зоны	119
2.8.2	Водоучет усовершенствованными вододелительными сооружениями на каналах-быстроотоках	129
2.8.3	Установившиеся режимы работы вододелительных сооружений на каналах горно-предгорной зоны	132
2.9	Технические условия и требования к средствам водоучета и водораспределения на каналах-быстроотоках	146
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОМЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ		150
3.1	Натурное обследование водомерных сооружений на каналах горно-предгорной зоны	150
3.1.1	Водомерные сооружения типа «фиксированное русло»	151
3.1.2	Водомерные сооружения типа «водослив с тонкой стенкой»	166
3.1.3	Водомерные сооружения типа «лотки»	173

3.2 Направление совершенствования средств водоучета на каналах-быстротоках	179
3.3 Усовершенствование конструкции водомерного сооружения для быстротечных каналов	181
3.4 Программа и методика поведения лабораторных исследований водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ)	186
3.4.1 Описание модельной установки и модели устройства	186
3.4.2 Программа и методика поведения лабораторных исследований ВСКСТ	191
3.5 Лабораторные исследования водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ)	195
3.6 Исследование показателей качества водоучета ВСКСТ	206
3.7 Исследование водомерной способности и конструктивных параметров ВСКСТ с двумя камерами донной траншеи.....	210
3.8 Методика расчета усовершенствованного водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ)	216
ГЛАВА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ	
ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	
ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ	
4.1 Натурные исследования вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения в составе водозаборного сооружения для резервного водоснабжения ТЭЦ г.Бишкек	222
4.1.1 Программа и методика натурных исследований ВСПВ ТЭЦ г. Бишкек на канале-быстротоке АПК	222
4.1.2 Натурные исследования пропускной способности ВКСРТ на водозаборном сооружении для резервного водоснабжения ТЭЦ г.Бишкек	228
4.1.3 Натурная проверка стабилизирующей способности ВКСРТ	235

4.1.4 Изучение волногасящей способности ВКСРТ	243
4.1.5 Натурные исследования кинематической структуры потока в зоне влияния ВКСРТ	248
4.1.6 Результаты натурных исследований вододелителя типа ВКСРТ на Аламединском подпитывающем канале	255
4.2 Совершенствование водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках ирригационных систем	257
4.2.1 Водораспределители-стабилизаторы отводимого расхода воды на каналах второго порядка	257
4.2.2 Водораспределитель с шахтным колодцем	264
4.2.3 Водораспределители-водомеры	267
4.3 Усовершенствование конструкции вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ)	273
4.4 Программа и методика поведения лабораторных исследований вододелителя для каналов со сверхбурным течением	278
4.5 Гидравлические исследования усовершенствованной конструк- ции вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ)	285
4.5.1 Модельные исследования гидравлических параметров усовершенствованной конструкции вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ)	285
4.5.2 Модельные исследования изменения глубин и скоростей потока в зоне влияния ВКСТ	294
4.6 Методика расчета вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ)	299
ГЛАВА 5 ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ, ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОМЕРНЫХ И ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГОРНО- ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ	305

5.1 Опыт внедрения водомерного и водораспределительных сооружений на канале Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского района Жалалабатской области	305
5.2 Опыт внедрения водораспределительного сооружения на Иссык-Атинском подпитывающем канале для орошения земель АВП «Эпкин-Суу» Иссык-Атинского района Чуйской области	310
5.3 Опыт внедрения водораспределительного сооружения на Бургандинском массиве Кадамжайского района Баткенской области (III – очередь).....	314
5.4 Основные рекомендации по расчету, проектированию, строительству и эксплуатации водомерных и водораспределительных сооружений	317
5.4.1 Рекомендации по расчету, проектированию, строительству и эксплуатации водомерных сооружений	317
5.4.2 Рекомендации по расчету, проектированию, строительству и эксплуатации водораспределительных сооружений	331
5.5 Техничко-экономическая эффективность применения сооружений водоучета и водораспределения на каналах оросительных систем Кыргызстана (на примере сооружений на Иссык-Атинском подпитывающем канале)	336
ВЫВОДЫ.....	342
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	347
ПРИЛОЖЕНИЯ	362

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. Современное развитие водохозяйственного строительства в Кыргызской Республике связано с освоением территорий в горно-предгорной зоне, где наблюдаются сложность рельефа и значительные уклоны местности. Это делает необходимым строительство оросительных систем, включающих каналы-быстротоки с бурным и сверхбурным режимами течения воды в них. Бурный, и особенно, сверхбурный режимы потока осложняют процессы водоучета и водораспределения на таких каналах, затрудняют оснащение водомерных и водораспределительных сооружений средствами автоматизации технологических процессов.

Измерение расходов воды на быстротечных каналах сопряжено с большими трудностями ввиду особенности гидравлической структуры потока. Любое вмешательство в высококинетичный поток вызывает заметные поверхностные возмущения, выплески, что при сравнительно малых наполнениях приводит к заметным погрешностям в измерении глубин и расходов воды в канале.

Существующие водораспределительные сооружения позволяют лишь частично обеспечить требования, предъявляемые к данному типу устройствам, делают возможным удовлетворительное функционирование их в условиях вододеления бурного потока на канале. При наличии сверхбурного потока в канале-быстротоке характеристики сооружений резко ухудшаются, снижая надежность работы водораспределительного сооружения и оросительной системы в целом.

Вышеизложенное обосновывает актуальность проблемы совершенствования сооружений водоучета и водораспределения на быстротечных каналах для повышения надежности и качества функционирования оросительных систем в горно-предгорной зоне.

Связь темы диссертации с крупными научными программами.

Диссертационные исследования проводились в рамках Государственной бюджетной научной программы 0.04 – «Гидротехнические сооружения на мелиоративных системах» (1985-1990 гг.); межгосударственных программ: «Управление использованием и охраной водных ресурсов межгосударственных источников» (1992-1997 гг.), «Сотрудничество в области охраны окружающей среды и рационального природопользования» (1998-2003 гг.), осуществляемых в рамках разработки ЕЭК ООН; договорных тем: ХГ-03-06, ХГ-01-08 «Совершенствование водораспределительных и водомерных сооружений на каналах горно-предгорной зоны», проводимых по заказу Департамента водного хозяйства МСВХ и ПП КР (2006-2008 гг.); а также международного проекта МНТЦ КР-1130 «Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны» (2006-2009 гг.).

Целью исследований является совершенствование теории и методов расчетного обоснования сооружений водоучета и водораспределения для каналов-быстротоков оросительных систем горно-предгорной зоны, позволяющих сократить материалоемкость, улучшить эксплуатационные характеристики, повысить надежность работы водомерных и водораспределительных сооружений и оросительной системы в целом.

Для реализации поставленной цели требовалось решить следующие **основные задачи:**

- проанализировать технологические приемы водоучета и водораспределения, а также условия их применения на оросительных системах горно-предгорной зоны. Обосновать технологию и схемы водоучета и водораспределения на каналах-быстротоках оросительных систем в горно-предгорной зоне;
- математически описать процессы водоучета и водораспределения на каналах с уклонами больше критического, включая процесс отбора воды вододелителем траншейного типа;

- вывести аналитические зависимости гидравлических характеристик сооружений водораспределения на быстротечных каналах горно-предгорной зоны, математически описать режимы истечения через вододелители траншейного типа и обосновать границы режимов истечения;
- провести натурное обследование водомерных сооружений на каналах горно-предгорной зоны, а также натурные исследования вододелителей для каналов со сверхбурным режимом течения на примере вододелителя в составе водозаборного сооружения на Аламединском подпитывающем канале;
- разработать новые усовершенствованные конструкции водомерных и водораспределительных сооружений для каналов-быстротоков оросительных систем горно-предгорной зоны;
- разработать методику и провести экспериментальные исследования предложенных конструкций, включая исследование показателей качества водоучета водомерным сооружением, исследования пропускной, волногасящей и стабилизирующей способности вододелителя. Экспериментально исследовать кинематическую структуру потока в зоне установки водомерного и водораспределительного сооружений предложенных конструкций;
- разработать методики расчета усовершенствованных конструкций водомерного сооружения и вододелителя для каналов-быстротоков горно-предгорной зоны;
- разработать рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации водомерных и водораспределительных сооружений для каналов-быстротоков оросительных систем в горно-предгорной зоне.

Научная новизна диссертации:

по специальности 05.23.07 – Гидротехническое строительство:

- разработаны технические условия и требования к средствам водоучета и водораспределения на каналах-быстротоках для оросительных систем горно-предгорной зоны;
- математически описаны процессы водоучета и водораспределения на каналах-быстротоках, включая процесс отбора воды в вододелителе для каналов со сверхбурным режимом течения;
- получены математические зависимости гидравлических характеристик сооружений водораспределения на быстротечных каналах горно-предгорной зоны;
- математически установлены границы режимов истечения через вододелитель траншейного типа;
- разработаны новые усовершенствованные конструкции сооружений водоучета и водораспределения для каналов с уклонами большими критических, получены на основе теоретических и экспериментальных исследований методики их гидравлического расчета;
- разработаны рекомендации по выбору способов и средств водоучета и водораспределения, методам инженерного расчета водомерных и водораспределительных сооружений для каналов оросительных систем горно-предгорной зоны;

по специальности 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель:

- обоснована технология водоучета и водораспределения на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны;
- разработана классификация целей и средств водоучета на оросительной системе;
- предложены технологические схемы размещения водомерных и водораспределительных сооружений оросительных систем горно-предгорной зоны;

- получены относительные тарировочные зависимости для усовершенствованных водомерных сооружений траншейного типа на каналах-быстротоках;
- установлены водомерные свойства водораспределительных сооружений траншейного типа при значениях отводимых расходов $Q \leq 0,55Q_{\max}$, подтвердившие целесообразность применения этих сооружений на каналах-быстротоках в качестве водомеров, что позволит улучшить эксплуатационные характеристики оросительных систем;
- обоснована эффективность использования усовершенствованных конструкций водомерных и водораспределительных сооружений для каналов-быстротоков горно-предгорной зоны.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные зависимости и методики расчета по определению гидравлических и конструктивных параметров водомерных и водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках позволяют обоснованно рассчитывать и проектировать эти сооружения, дополняют и расширяют область применения сооружений данного типа.

Для практического использования предлагаются:

- расчетные зависимости для определения гидравлических параметров потока и границ режимов истечения через вододелитель траншейного типа;
- обоснование области применения водомерных и водораспределительных сооружений на оросительных системах горно-предгорной зоны;
- усовершенствованные конструкции водомерных сооружений для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ) с двумя и тремя камерами донной траншеи. Использование ВСКСТ позволяет переводить поток из бурного и сверхбурного состояния в измерительном участке в спокойное состояние без устройства специальных гасителей энергии потока, увеличивающих стоимость сооружения в 2 раза, снижая погрешность измерения расхода

воды в измерительном створе путем повышения точности измерения уровня воды и повышения эксплуатационной надежности;

- усовершенствованные водораспределительные сооружения типа «Вододелитель для каналов со сверхбурным течением» (ВКСТ) нескольких модификаций. Применение ВКСТ способствует возрастанию степени гашения кинетической энергии нестационарного высокоскоростного потока в элементах конструкции и уменьшению выходных скоростей, что приводит к уменьшению размывов отводящего грунтового канала и исключает необходимость его облицовки в бетон, снижая стоимость строительства сооружения в 1,5 раза;
- практические рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации усовершенствованных сооружений водоучета и водораспределения на каналах-быстротоках горно-предгорной зоны.

Результаты исследований внедрены в производство на Иссык-Атинском подпитывающем канале для орошения земель АВП «Эпкии-Суу» Иссык-Атинского района Чуйской области; внедрены на канале-быстротоке Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского района Жалалабатской области, а также на распределительном канале третьего порядка на Бургандинском массиве Кадамжайского района Баткенской области.

Экономическая значимость полученных результатов подтверждается расчетами экономической эффективности от внедрения разработанных сооружений в производство. Годовой экономический эффект составил 6,8 млн.сомов в ценах 2011 г.

Положения, выносимые на защиту:

по специальности 05.23.07 – Гидротехническое строительство:

- аналитические зависимости для определения гидравлических характеристик потока на сооружениях водоучета и водораспределения траншейного типа на быстротечных каналах горно-предгорной зоны;

- аналитические и графические зависимости относительных гидравлических параметров $\frac{a}{H} = f\left(\frac{h_z}{H}; \frac{h_0}{H}\right)$ вододелителя траншейного типа, позволяющие проследить границы режимов истечения через сооружение;
- усовершенствованные конструкции водомерных и водораспределительных сооружений для каналов-быстротоков горно-предгорной зоны;
- рекомендации по расчету и проектированию усовершенствованных конструкций водомерных и водораспределительных сооружений для каналов-быстротоков горно-предгорной зоны;
по специальности 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель:
- технология и схемы водоучета и водораспределения на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны;
- классификация целей и средств водоучета на оросительной системе;
- относительные тарировочные (эмпирические) зависимости вида $Q/Q_{max} = f(H_0/H_{min})$ для предложенных конструкций водомеров при бурном и сверхбурном (волновом) потоке;
- обоснование использования предложенных вододелителей при отводимых расходах $Q \leq 0,55Q_{max}$ для целей водоучета на оросительной системе;
- рекомендации по эксплуатации усовершенствованных конструкций водомерных и водораспределительных сооружений для каналов-быстротоков горно-предгорной зоны.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждаются проведением детальных экспериментов с применением современной аттестованной измерительной аппаратуры, сопоставлением расчетных данных с опытными и результатами других авторов, а так же проверкой адекватности полученных экспериментально математических моделей по критериям математической статистики; подтверждением предложенных технических решений авторскими свидетельствами и патентами Кыргызской

Республики. При получении теоретических математических моделей динамики процессов в объектах регулирования использовались классические методы математического анализа.

Личный вклад в решение проблемы. Диссертационная работа выполнена автором на основе 30-летних исследований, проведенных на базе ВНПО «Союзавтоматика», Кыргызского научно-исследовательского института ирригации (в прошлом Всесоюзного научно-исследовательского института комплексной автоматизации мелиоративных систем), а также на базе кафедры гидротехнического строительства и водных ресурсов (ГТСиВР) Кыргызско-Российского Славянского университета (КРСУ) им. Б.Н. Ельцина.

На основе анализа литературных, проектных и патентных данных автором сформулирована проблема, цели и задачи исследований, намечены пути их решения теоретически и экспериментально.

Технологическое обоснование, теоретические исследования, анализ основного объема экспериментальных данных, разработка методик инженерного расчета сооружений водоучета и водораспределения, формулирование основных выводов осуществлены лично автором диссертации.

При постановке ряда задач исследований водомерных и водораспределительных сооружений автор получил ценные советы научного консультанта, профессора кафедры «Гидротехническое строительство» Санкт-Петербургского Государственного политехнического университета, д.т.н., профессора Лаврова Н.П. При выборе направлений и выполнении теоретических исследований объектов водоучета и водораспределения автор получил советы научного консультанта, заведующей кафедрой ГТСиВР КРСУ, д.т.н. Атамановой О.В.

Апробация работы. Основные результаты разработок и исследований докладывались и были одобрены на научных конференциях Кыргызского научно-исследовательского института ирригации; на заседаниях

технического совета Минводхоза Киргизской ССР в 1985-1993 гг.; на научно-технических советах Департамента водного хозяйства Кыргызской Республики в 1995-2004 гг.; на научно-технических конференциях Кыргызского аграрного университета в 2005-2008 гг.; на международных научных конференциях КГУСТА в 2007, 2010 гг., на научных конференциях КРСУ в 2005-2010 гг.; на научно-практической конференции в Таразском государственном университете им. М.Х. Дулати в 2008 г.; на юбилейной научно-практической конференции в Рязанском аграрном университете им. П.А.Костычева (г. Рязань) в 2009 г.; на научно-практической конференции в Мещерском филиале ВНИИГИМ (г. Рязань) в 2010г.; на научной конференции МКВК (г. Ташкент) в 2010 г.; на научно-практических конференциях НАН КР в 2009-2010 гг. и др.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 37 научных работ, из них 8 монографий (7 в соавторстве), 2 руководящих документа (в соавторстве), получено 1 авторское свидетельство и 2 патента Кыргызской Республики на изобретения.

Результаты диссертационных исследований опубликованы в специализированных изданиях Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана и России.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений, списка использованной литературы из 157 наименований. Общий объем диссертации составляет 361 страницы компьютерного текста, 100 рисунков, 48 таблиц, 8 приложений.

ГЛАВА 1

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ, ОБЗОР И АНАЛИЗ ВОДОМЕРНЫХ И ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Основные характеристики водоучета на современных мелиоративных системах

Водные ресурсы, являющиеся материальной ценностью, требуют бережного отношения, экономного распределения между потребителями, стимулирования сокращения забираемой из источников воды и повторного ее использования [2]. Для решения этих задач необходимо совершенствование существующей системы водоучета и водораспределения, выработка современной технической концепции дальнейшего использования методов и технических средств измерений расходов и потребляемых объемов воды.

Водоучет на современной гидромелиоративной системе можно подразделить на два вида: коммерческий и технический [3]. Коммерческий водоучет предназначен для справедливого водораспределения между потребителем и обеспечивающей организацией, технический водоучет ставит целью обеспечение балансового контроля за точками коммерческого водоучета и водораспределения на оросительных системах.

Технический водоучет предполагает, чаще всего, определение расходов воды на оросительной системе, а коммерческий водоучет занимается измерением стока. Возможно осуществление параллельного определения расхода и стока воды в балансовых пунктах технического водоучета.

Существуют также различные способы водоучета: при техническом водоучете используют, в основном, фиксационные способы, при

коммерческом водоучете - интеграционные способы (то есть интегрируют (суммируют) расход воды по интервалам во времени) [3]. В целом водоучет на мелиоративных системах можно представить в виде схемы, представленной на рис. 1.1.

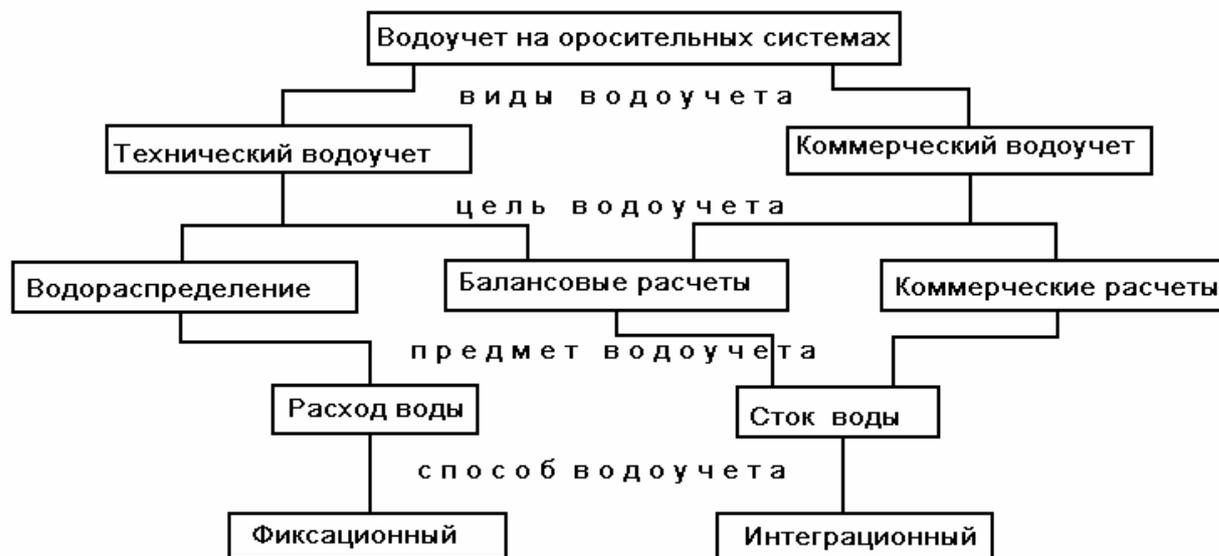


Рис. 1.1. Характеристика водоучета на оросительных системах.

Технический водоучет на мелиоративных системах осуществляется персоналом эксплуатационной организации. Коммерческий водоучет также выполняется, как правило, эксплуатационной организацией, но может осуществляться и потребителем, который на своей территории в точках водовыдела вправе построить контрольные пункты водоучета и оснастить их.

Однако эксплуатационная организация должна осуществлять контроль за правильностью коммерческого водоучета на балансовых точках водоучета и на участках водораспределения. В таких точках на оросительной системе учитывается совместное потребление воды несколькими потребителями. Персонал эксплуатационной организации должен контролировать процесс водоучета и обеспечивать сбалансированность в случае расхождения в данных между коммерческими и балансовыми пунктами водоучета. При этом возникает масса проблем технического и юридического характера.

Наиболее важным моментом при осуществлении водоучета, не зависимо от его вида, является качество результата определения стока и расхода воды.

Качество водоучета характеризуется *точностью* и *достоверностью* результата измерения [4]. Точность результата отражает отклонение его от заданного (расчетного) значения. Достоверность измерения показывает, насколько полученный результат заслуживает внимания. Более высокие требования к точности и достоверности результатов требуют больших затрат на реализацию процесса водоучета. Это способствует также повышению уровня водоучета. Уровень водоучета отражает требования к точности измерений, а также характеризует основные технологические операции процесса водоучета. Уровни водоучета на оросительных системах отражены на рис. 1.2.

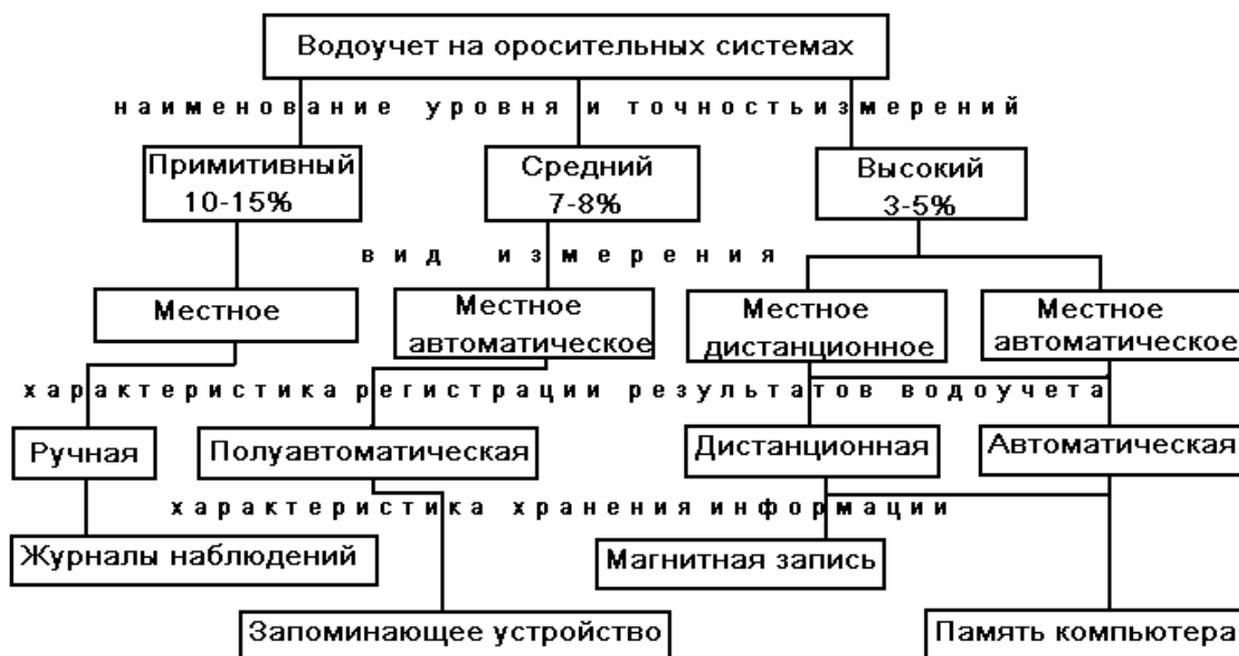


Рис. 1.2. Уровни водоучета на оросительных системах.

Рассмотрим представленные на рис. 1.2 уровни водоучета на оросительных системах. Наиболее давно используемый, **примитивный уровень** водоучета применяется на старых гидромелиоративных системах неинженерного типа и на каналах таких систем, где это экономически оправдано. Измерения параметров (например, уровней воды) на таких системах производятся дискретно - несколько раз в день с помощью простейших средств измерений (реек, простейших уровнемеров).

Регистрация результатов измерений при примитивном уровне водоучета носит местный характер и обычно выполняется гидрометром в виде периодической записи показаний приборов в журналы наблюдений, а обработка результатов производится вручную после измерения. Точность измерений в рассматриваемом случае невысока. Кроме погрешности измерения, которая сама по себе достаточно значительна, накладывается погрешность, связанная с временем измерения. Однако средства водоучета при этом уровне водоучета достаточно просты в конструктивном отношении и, чаще всего, долговечны.

Средний уровень водоучета предполагает, что измерение параметра производится непрерывно с частичным применением автоматических устройств. Такие устройства постоянно на протяжении длительного промежутка времени отслеживают изменение измеряемого параметра, например, уровня воды. При этом, регистрация результатов измерения производится полуавтоматически с помощью устройств, управляемых наблюдателем периодически, полуавтоматической может быть и обработка результатов измерений [3]. Такой уровень водоучета предполагает использование недорогих приборов с достаточной для большинства случаев точностью измерений (см.рис. 1.2).

Высокий уровень водоучета имеет место в случае автоматического измерения наблюдаемого параметра или сразу нескольких параметров, чаще всего автоматическую регистрацию и обработку результатов (в том числе и дистанционно). Этот уровень водоучета позволяет получить высокую точность измеряемых параметров (3-5%). Однако использование автоматических средств водоучета обычно является дорогостоящим мероприятием, и обычно оправдано на балансовых пунктах при техническом водоучете, а также на крупных гидроузлах и сооружениях.

Требуемая точность коммерческого водоучета во всех пунктах оросительной системы должна согласовываться со всеми участниками процесса водопользования, и закрепляться соответствующим соглашением.

Требуемая точность технического водоучета назначается на основании правил технической эксплуатации проектируемой гидромелиоративной системы. Обычно требования к средствам измерения технического водоучета являются более жесткими по сравнению с требованиями коммерческого водоучета на оросительной системе.

Водоучет на оросительной сети должен осуществляться при минимальном количестве разного рода споров между водопользователями. Обычно юридические споры возникают из-за неясности ответственности сторон в той или другой ситуации. Вопросы ответственности за недостатки водоучета на оросительной системе представим в форме схемы на рис. 1.3.

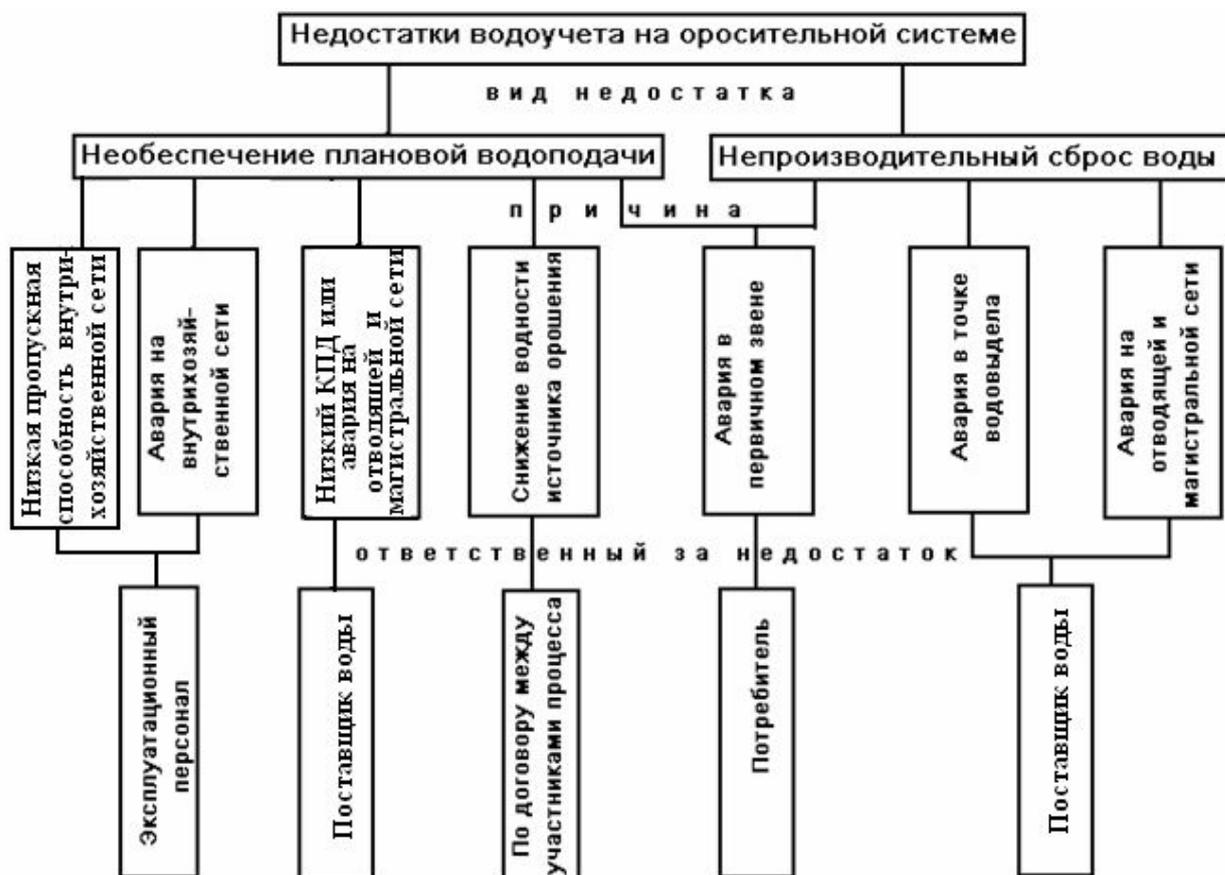


Рис. 1.3. Недостатки и ответственность за них между участниками на оросительной системе.

До момента заключения Договора между участниками процесса водопользования необходимо решить все технические вопросы по водоучету в системе. К юридически спорным вопросам можно отнести отказ

потребителя от оплат всего учтенного стока или его части (в основном, споры об оплате непроизводительных сбросов и внеплановой водоподачи на оросительных системах и споры об оплате неполного отвода воды) [3]. Поэтому при заключении договоров между участниками процесса водопользования необходимо оговорить такие вопросы, как среднегодовой объем водоподачи (водоотвода), который может быть дифференцирован по месяцам или декадам, условия предоставления внеплановых объемов услуг (внеплановая водоподача и водоотвод), санкции к сторонам за невыполнение обязательств и т.п. В договоре следует зафиксировать технические стороны водоучета – количество и местоположение пунктов водоучета, техническое оснащение и сроки получения, результаты обработки замеров, должны оговариваться сроки контроля замеров. В приложении к Договору следует привести список лиц, ответственных за выполнение водоучета на оросительной системе.

Для обоснования и выбора оптимальных для конкретных условий методов водоучета необходимо провести анализ существующих методов определения стока и расхода воды на каналах оросительных систем.

1.2 Обзор и анализ существующих методов определения стока и расхода воды на каналах оросительных систем

При водоучете на оросительной системе обычно определяют расход или сток воды. Основными предметами водоучета являются сток и расход воды.

Существуют три основных метода определения стока: объемный, весовой и расходный [2, 3]. Все перечисленные методы определения стока воды на оросительной системе реализуются техническими средствами водоучета на основе простейших уравнений гидравлики.

При *объемном методе* вода поступает в емкость с известными габаритами, где сток может накапливаться в течение определенного времени.

В основе объемного метода водоучета положена зависимость для объема воды:

$$W = F_{cp} \cdot H, \quad (1.1)$$

где F_{cp} - средняя площадь сечения емкости, $F_{cp} = b_{cp} \cdot l_{cp}$, b_{cp} - осредненная ширина, l_{cp} - осредненная длина емкости; $F_{cp} = \pi \cdot R_{cp}^2$, R_{cp} - осредненный радиус емкости цилиндрической формы; H – высота (глубина) жидкости в емкости.

Основными способами определения параметров потока являются: измерение площади и измерение габаритов емкости в пункте водоучета. Площадь сечения потока определяется при помощи линейных измерений или планиметрирования. Определение габаритов емкости выполняется линейными измерениями.

Рассмотренный метод широко используется на оросительных системах.

Другой метод водоучета – весовой предполагает использование зависимости:

$$W = G/\rho, \quad (1.2)$$

где G – вес жидкости; ρ - плотность жидкости при данной температуре.

Наиболее распространенными способами определения гидравлических параметров, входящий в формулу (1.2) являются взвешивание жидкости и измерение плотности жидкости. В качестве методов измерения указанных параметров используют определение объема жидкости и измерение ее температуры.

Третьим методом определения стока воды является расходный метод, в основе которого лежит зависимость:

$$W = Q_{cp} \cdot t, \quad (1.3)$$

где Q_{cp} – средний расход воды за определенное время; t – время прохождения заданного расхода.

В указанном случае гидравлические параметры определяются

измерением расхода воды или хронометрированием. При этом необходимо обеспечить определение конечного объема воды и отследить время его прохождения через створ водомерного сооружения.

Известно [2, 4], что наибольшей точностью измерений обладает весовой (массовый) метод. Однако этот метод, широко используемый в лабораторных условиях, не нашел применения на реальных гидромелиоративных системах ввиду сложности, громоздкости приборов и ненадежности их использования на открытой местности.

Объемный метод менее точен, поскольку зависит от приборов и устройств, измеряющих площадь емкости и уровень воды в ней. При этом качество замеров, выполняемых гидрометром, так же очень субъективно.

Расходный метод имеет еще большую погрешность, чем объемный, поскольку точность измерения расходов недостаточно высока. Однако именно этот метод нашел самое широкое применение на оросительных системах из-за своей доступности.

В настоящее время на открытых естественных водотоках и искусственных водоводах применяются прямые и косвенные измерения расхода и количества (объема) воды (рис.1.4) [5].

Для определения расходов воды в открытых потоках в практической гидрометрии применяются косвенные измерения в гидрометрических створах на каналах оросительных систем, гидрометрических сооружениях и устройствах, а также градуированных гидротехнических сооружениях [6-8].



Рис. 1.4. Методы измерения расхода и количества (объема) воды.

Рассмотрим функциональные методы измерения расхода и объема воды на оросительных системах.

К методам, использующим косвенные измерения, относятся: «скорость—площадь», «уклон (перепад уровней)—площадь» и метод смещения. Метод «скорость—площадь» — универсальный метод определения расходов воды как для естественных водотоков, так и для гидромелиоративных и водохозяйственных каналов. Он нашел применение для широкого диапазона изменения расходов на большинстве оросительных систем Кыргызстана. Метод «уклон (перепад уровней) — площадь» применяется для определения расходов на средних (с расходами более 50 м³/с) и крупных каналах, чаще в заданных интервалах времени.

Методы смещения, основанные на применении химических, красящих и радиоактивных индикаторов, довольно распространенные в речной гидрометрии за рубежом [9]. На каналах оросительных систем Кыргызской Республики этот метод распространения не получил ввиду сложности реализации.

Метод определения расходов воды с использованием гидрометрических сооружений в отечественной [6-8] практике применяется в диапазоне изменения расходов от самых маленьких (десятых долей литра в секунду) до 30—50 м³/с и очень редко до 100 м³/с. Метод определения расходов воды с использованием градуированных гидротехнических сооружений применяется в основном на регуляторах расходов и водовыпусках, устанавливаемых на каналах. Диапазон определяемых расходов зависит от типа сооружения [10], причем при определении расходов воды по измерениям трех параметров (уровня верхнего бьефа, высоты открытия щита и уровня нижнего бьефа) устойчивую однозначность градуировочная характеристика имеет на регулирующих сооружениях, состоящих не более чем из двух водопропускных пролетов.

Аналогичные косвенные измерения (см. рис. 1.4) используются для определения расходов напорных потоков в трубопроводах, на насосных станциях [6].

Для широкого диапазона изменения диаметров трубопроводов наибольшее распространение получил метод «скорость—площадь». Расходы воды в напорных трубопроводах этим методом определяются проще, чем в открытых водотоках, поскольку площадь живого сечения потока здесь всегда постоянна и поэтому измеряется только средняя скорость потока. Вместо метода «уклон—площадь» для напорных потоков применяется метод «перепад давлений— площадь», который основан на использовании отдельных участков напорных трубопроводов, имеющих повышенные перепады давлений, которые образуются либо за счет местных гидравлических потерь напора, либо за счет резко изменяемой структуры потока жидкости, например в прямоугольном колене трубопровода [11]. При этом для определения расхода воды используют уравнение Бернулли и уравнение неразрывности для потока жидкости.

Методы смешения применяются в напорных трубопроводах в основном для проведения контрольных определений расходов воды и для градуировки различных типов расходомеров. Они применяются в системах питьевого водоснабжения и канализации.

Метод определения расходов с использованием стандартных сужающих устройств широко применяется для напорных трубопроводов с внутренними условными диаметрами от 50 до 1400 мм [12].

Как для открытых, так и для напорных потоков применяются парциальные методы. Для открытых потоков этот метод самостоятельно не используется. Его применение возможно только при наличии специальных гидрометрических приставок [6, 13], поэтому он может быть отнесен к методу определения расходов воды с использованием гидрометрических сооружений и устройств.

Парциальные методы при определении расходов напорных потоков применяются в двух вариантах: как самостоятельный метод и в комплекте с сужающими устройствами.

Самым распространенным в водохозяйственной практике функциональным методом водоучета на оросительных системах является метод «скорость — площадь». Также находят широкое применение методы с использованием гидрометрических сооружений на открытых оросительных каналах и сужающих устройств в трубопроводах.

Определение расходов воды на основе метода «скорость — площадь» осуществляется в открытых руслах посредством измерения двух параметров: осредненной скорости течения жидкости и площади живого сечения потока. Определение этих параметров осуществляется при помощи использования разных средств измерений с использованием способов осреднения местных скоростей потока.

Живое сечение потока воды в водоводах с неустойчивым руслом осуществляется методами геодезических измерений. При устойчивом русле водовода для определения живого сечения потока применяются уровнемеры и гидростатические измерители напора (в трубах - давления). Гидрометрические приборы, предназначенные для водоучета в открытых каналах, размещаются в специальных уровнемерных колодцах. При этом участок русла с гидрометрическим створом либо выбирается устойчивым, либо закрепляется облицовкой (фиксируется).

Среди приборов, используемых в качестве измерителей скорости воды в открытых водоводах, наиболее широкое применение нашли гидрометрические вертушки. В последние десятилетия начали использоваться и более современные приборы измерения скорости воды, такие как ультразвуковые и электромагнитные средства измерения. Обоснование применимости гидрометрических вертушек для измерения скоростей потока базируется на том, что средняя скорость потока

определяется тремя способами: многоточечным, интеграционным и однотоочечным.

Применение гидрометрических вертушек сегодня имеет как положительные, так и отрицательные стороны. К положительным следует отнести простоту конструкции, несложность эксплуатации, промышленный выпуск. Отрицательные моменты в использовании гидрометрических вертушек включают: значительную трудоемкость, сложность полной автоматизации, чувствительность к загрязнению потока наносами и плавающим мусором, зависимость от опыта и практических навыков гидрометра.

В случае измерения расходов воды в быстротечных каналах применение гидрометрических вертушек ограничено диапазоном скоростей. Для большинства гидрометрических вертушек он ограничен скоростями 4,0-5,0 м/с, тогда как скорости на каналах-быстротоках достигают 10-15 м/с.

Для измерений расходов воды в открытых каналах с расходами более 25—50 м³/с кроме гидрометрических вертушек применяются ультразвуковые (акустические) приборы и установки, состоящие из одноканальных или многоканальных измерителей скорости, уровнемеров, вторичной аппаратуры, позволяющие определять расход и объем воды [14]. Такие установки дают возможность полностью автоматизировать процесс измерений и передачу информации, но могут использоваться только там, где имеется подвод электроэнергии.

Применение метода «скорость — площадь» осуществляется и в напорных трубопроводах. При этом применение данного метода в напорных трубопроводах обеспечено более широкой номенклатурой выпускаемых промышленностью средств измерений, чем для открытых водоводов. К таким средствам измерений относятся электромагнитные (интеграционные и локальные) и ультразвуковые (одно- и многоканальные) установки,

различные конструкции счетчиков, шариковые и вихревые измерители скорости.

На большинстве пунктов водоучета оросительных систем Кыргызстана измеряют расходы воды, не превышающие 25—30 м³/с. Эти расходы определяются методами «скорость—площадь» и с использованием гидрометрических сооружений. Как на постах государственной гидрологической сети, так и на открытых оросительных системах в основном применяется первый метод, однако более перспективным для этих диапазонов расходов принято считать [2] метод с использованием гидрометрических сооружений и устройств. Это объясняется тем, что, несмотря на многообразие влияющих факторов, гидрометрические сооружения — достаточно надежные средства измерений, имеющие устойчивые высокие метрологические характеристики, средняя квадратическая погрешность измерения составляет 2—4 %, что в 1,5—2,0 раза меньше, чем при определении расхода воды методом «скорость — площадь». Гидрометрические сооружения значительно упрощают процесс измерения, сводя его к определению всего одного гидравлического параметра в одном постоянном месте. В связи с этим легко автоматизировать в перспективе процесс измерения этого параметра, регистрацию и передачу полученной информации в центры обработки данных для контроля и регулирования водораспределения. Конструкции гидрометрических сооружений просты. Их может построить на месте использования служба эксплуатации, они могут быть собраны из унифицированных блоков или изготовлены на заводах железобетонных изделий. Эксплуатация этих сооружений не сложная и не требует больших постоянных трудозатрат.

Теперь рассмотрим и проанализируем методы измерения расхода воды, применяемые в настоящее время на оросительных системах. Методами определения расхода воды на оросительных системах являются *объемный* и *скоростной* методы (рис.1.5).



Рис. 1.5. Методы определения расходов воды на оросительных системах.

Точность каждого из указанных методов измерения расхода воды находится в прямой зависимости от объема, скорости и времени замеров. Если методы измерения времени включают давно используемые способы установления промежутков времени, то методы определения скорости воды в створе постоянно совершенствуются [3].

Методы определения скорости воды в каналах оросительных систем достаточно разнообразны. На рис. 1.6 приведены основные способы определения скоростей потока в каналах и водоводах оросительных систем в зависимости от способов их реализации.

Представленные на рисунке 1.6 способы определения скорости потока воды осуществляются: линейными измерениями; измерениями промежутков времени; имитацией; замерах счетчика; замерах промежутка времени; при помощи частотомеров; графоаналитическими методами; эмпирическими методами и др.

Для измерения (определения) расходов воды часто применяют измерения уровней потока (особенно по методу скорость-площадь) и скорости потока.

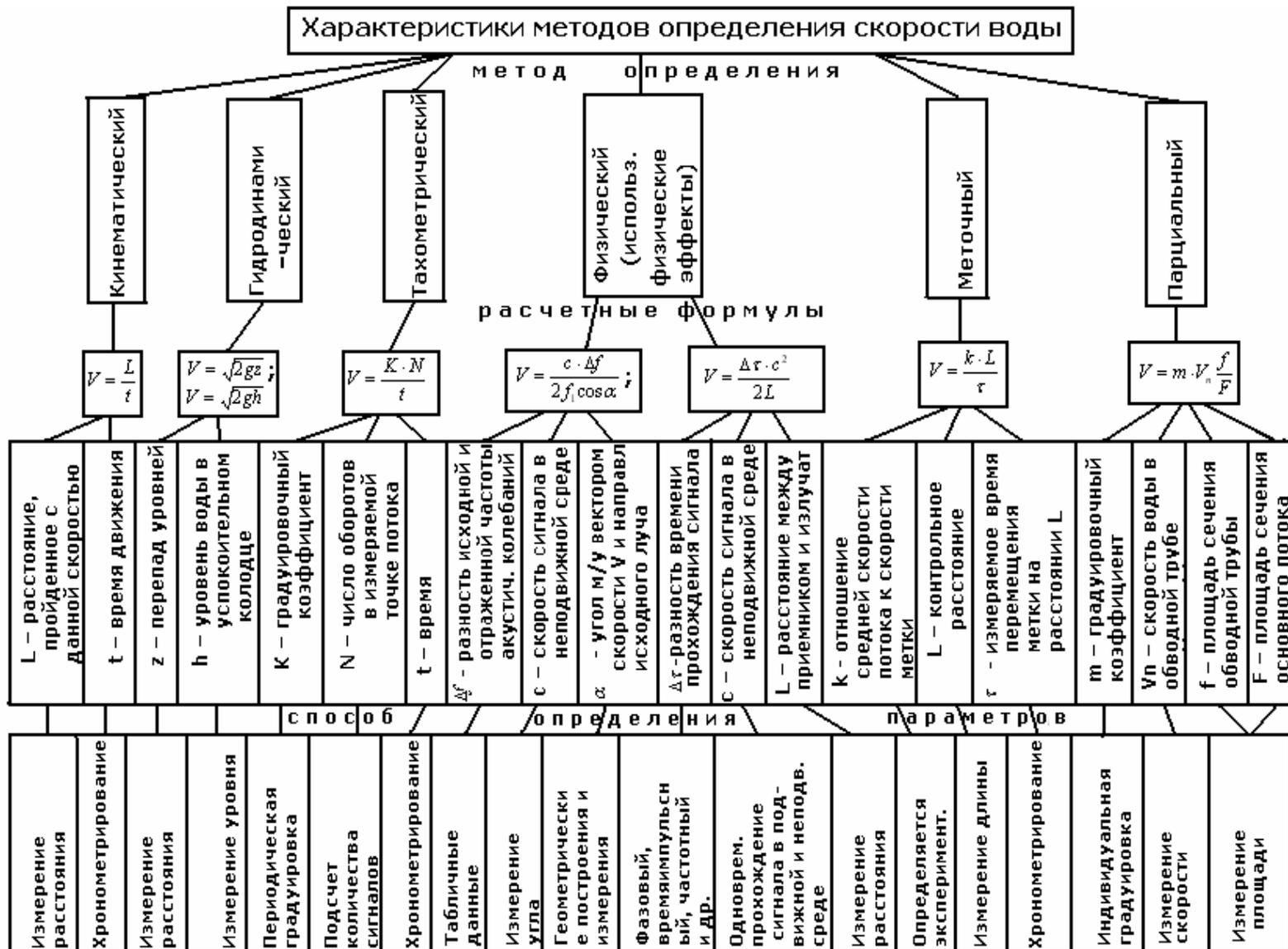


Рис. 1.6. Характеристики методов определения скорости воды на оросительных системах.

Измерением уровней воды определяют также разность давлений или перепад уровней (особенно при гидродинамическом способе измерения расхода воды). Определив уровень воды, можно определить наполнение в фиксированном русле, а по нему - площадь живого сечения потока и т.д.

В случае, когда требуется определить объем воды в емкости (искусственной или естественной), уровень измеряют наряду с плановыми размерами емкости.

Перечислим способы измерения уровня воды:

- линейный, выполняемый с помощью мерных реек, линеек, шпигельмасштабов и т.п.;
- поплавковый, который выполняется с помощью поплавка, изменяющего свое вертикальное положение в зависимости от уровня воды. Поплавок обычно помещают в камере, сообщенной с каналом, для укрытия от внешних атмосферных и антропогенных воздействий;
- ультразвуковой, использующий ультразвуковые установки;
- оптический, использующий оптические приборы;
- электрический, использующий датчики (чаще всего емкостные или потенциометрические) и др.

Последние три способа редко применяются на каналах ирригационных систем ввиду дороговизны и необходимости постоянного обслуживания.

Различными бывают и способы замеров уровня воды. Различают:

- замеры вручную (запись показаний, снятых приборов и устройств, в специальный журнал наблюдателем или оператором);
- замеры автоматические (самописцами с механическим или электромеханическим приводом, запись сигналов от измерительной аппаратуры на магнитных носителях или фоторегистраторах).

Следует учитывать, что ручные замеры являются дискретными, а автоматические – дискретными или непрерывными [3].

Измерение уровня воды в каналах и водоводах со спокойным режимом течения обычно не вызывает сложности технологического процесса. При измерении уровня линейным методом точность измерений зависит от колебаний уровня воды, точности самого прибора и точности визуального отсчета показаний. При водоучете спокойных потоков колебания поверхности воды незначительны, что позволяет обеспечить высокую точность измерений. Погрешность измерения уровня при измерении расхода воды является составной частью погрешности измерения расхода. При этом, точность метода измерения уровня играет существенную роль.

Говоря о водоучете на оросительных системах, необходимо отметить особую роль средств автоматизации и механизации водоподачи на гидротехнических сооружениях. Чаще всего это затворы гидротехнических сооружений. В последние десятилетия большое внимание уделяется проблеме многофункциональности средств автоматизации водоподачи на каналах оросительных систем [15]. Ученые отмечают несомненные преимущества использования гидравлических средств автоматизации, позволяющих не только обеспечивать требуемую водоподачу по запросам потребителей, но и водоучет на системе. Такие затворы-автоматы, затворы, функционирующие в полуавтоматическом режиме и стабилизаторы расхода воды получили распространение в Кыргызской Республике и рассмотрены в работах авторов [15 –20].

Важнейшая гидрометрическая характеристика, используемая при водоучете на гидромелиоративных системах – это *положение затворов гидротехнических сооружений*. Основные методы определения расхода воды, проходящего через отверстия гидротехнических сооружений, подробно освещены в литературе [18-19, 21] и др. В данной работе мы рассмотрим только методы определения величины открытия затворов и устройства, предназначенные для этого. Открытие затвора гидротехнического сооружения обычно определяется методом непосредственного измерения (с помощью мерных инструментов) или косвенным методом (когда доступа к

отверстия нет) путем измерения величины подъема винта затвора, перемещения стрелки-указателя, жестко соединенной с винтом подъемника или с затвором. Косвенным методом определяется открытие на крупных сооружениях. Используются также датчики положения (перемещения) затворов, применяемые в системах автоматики и телемеханики. Многие из них можно использовать и при водоучете, выполнив градуировку и определив погрешность измерения.

Существуют также способы косвенного определения перемещения затворов с помощью различного рода *датчиков перемещения*. К таким датчикам относятся потенциометрические резистивные преобразователи, резистивные тензодатчики, линейные дифференциальные трансформаторы, пьезоэлектрические преобразователи и др.

При рассмотрении вопросов водоучета немаловажную роль играют вопросы метрологии. При прямых измерениях, реже используемых при водоучете, значение измеряемой величины находят сравнением ее размера с размером, воспроизводимым мерой. При косвенных измерениях значение измеряемой величины находят по промежуточным результатам прямых измерений других величин, связанных с измеряемой величиной известной зависимостью.

Средства измерения (измерительные меры и их наборы, измерительные приборы и измерительные преобразователи) при водоучете располагаются на специальных гидрометрических сооружениях (устройствах), обеспечивающих формирование в створе водоучета такой структуры потока, которая обеспечивала бы получение достаточно точного и достоверного значения расхода или стока при минимуме измеряемых величин.

Совокупность гидрометрического сооружения (устройства) и средства измерения образуют вместе средство водоучета, с помощью которого и реализуется процесс водоучета, анализу которого посвящен следующий подраздел.

1.3 Технические средства водоучета на каналах горно-предгорной зоны

Рассмотренные методы определения стока и расхода воды на каналах оросительных систем реализуются различными техническими средствами водоучета.

Разное конструктивное исполнение технических средств учета воды позволяет осуществлять процесс водоучета с различной точностью. Выбор наиболее рациональных конструкций средств водоучета для оросительных систем горно-предгорной зоны предполагает проведение анализа технических характеристик существующих водомеров исходя из особенностей каналов горно-предгорной зоны.

Особенностями большинства каналов горно-предгорной зоны являются: большие уклоны (0,001 - 0,01 и более); бурный и сверхбурный (волновой) характер течения воды; изменение расходы воды не только в сезонном, но и суточном интервале времени; влечение донных и взвешенных наносов; частые разрушительные сели в зоне расположения каналов. С этими особенностями связаны трудности, возникающие при эксплуатации не только водозаборных, но и сетевых сооружений. Трудности связаны, в частности, с пропуском быстронарастающих паводков и катастрофических селей; подачей воды в нужном количестве и в требуемое время, очисткой каналов от наносов и растительности, поддержанием водных объектов в рабочем состоянии и др. В частности, изменение расходов воды в источниках орошения вызовет частую регулировку расходов воды при водоподаче, а поступление наносов в каналы – их заиливание с уменьшением пропускной способности водоводов.

На сегодня разработано около 100 конструкций технических средств водоучета. Вопросами разработок и изучения эксплуатационных характеристик водомеров для гидромелиоративных систем уделено особое

внимание в работах Алтунина В.С. [22], Атамановой О.В. [15], Белавцева Т.М. [23], Бобровникова Г.Н. [24], Бочкарева Я.В. [16-19], Бутырина М.В. [5], Железнякова Г.В. [7], Карасева И.Ф. [8], Коваленко П.И. [26], Ковальчук Ю.Г. [27], Кошматова Б.Т.[28], Лаврова Н.П. [29], Пикалов П.И. [13,30], Прокопчук А.П. [27], Сатаркулова С.С.[28,31,32], Фалькович А.Я. [30], Филиппова Е.Г. [2, 5, 10], Филончикова А.В. [3, 33, 34], Хамадова И.Б. [35-37], Ылясова А.И. [38], Щедрина В.Н. [39], Ярцева В.Н. [40] и др., а также в нормативных документах [41-52]. Среди зарубежных ученых проблемами водоучета занимались Andersen V.M. [53], Boiten W. [54], Chow V.T. [55], Crabbe A.D. [56], Danel P.F. [57], Hager W.H. [58], Hershy R.W. [59] и мн.др.

Анализ литературных источников дает возможность представить краткую характеристику существующих средств водоучета на рисунке 1.7.

Более подробные сведения о средствах первичного водоучета приведены в указанной выше литературе, поэтому в данной работе не содержится описания технической сущности и конструктивных особенностей средств водоучета, а рассмотрены только возможность их применения в свете требований водоучета, сформулированных в предыдущем разделе.

Для наглядности демонстрации целей и средств водоучета на оросительной сети нами разработана классификация, представленная на рис. 1.7.

Рассмотрим некоторые особенности указанных средств водоучета.

Расходомеры и стокомеры, применяемые на открытой и трубчатой оросительной сети, требуют надежной защиты от внешнего повреждения.

Приборы для измерения скорости потока (вертушки и измерители скорости) должны быть обеспечены необходимыми в соответствии с инструкциями условиями установки и эксплуатации.

водослива и уровнем отложений наносов в колодце, а также за состоянием соединительного трубопровода или щели. Необходима постоянная очистка сооружения от налипающего мусора и наносов.

Особого внимания заслуживают водомеры, использующие сужающие сопла Вентури и другие подобные устройства. Они просты по конструкции, надежны и нетребовательны в эксплуатации. Наиболее рационально их применять на закрытых оросительных системах. При правильной установке приборов и отсутствии внешних нежелательных воздействий (забивки трубопроводов наносами, плавником и мусором) получаются качественные результаты замеров.

Следует отметить, что далеко не все приборы и устройства удовлетворяют требованиям коммерческого водоучета. Кроме того, необходимо проанализировать рассмотренные средства с позиций применения на оросительных системах горно-предгорной зоны.

Приведем основные средства водоучета оросительных систем Кыргызской Республики и других стран СНГ, а также их технические характеристики в форме табл. П.1.1 в Приложении 1.

Большинство из приведенных в табл. П.1.1 средств водоучета могут применяться на каналах оросительных горно-предгорной зоны. Однако многие из них в настоящее время не используются на оросительных системах Кыргызстана ввиду значительной стоимости приобретения и эксплуатации. Кроме того, средства водоучета, произведенные в других странах (России, Узбекистане, Беларуси) не всегда поддаются ремонту из-за сложности и дороговизны поставки в Кыргызстан комплектующих изделий.

Наиболее распространены на каналах Кыргызстана средства измерения расхода воды и уровня, как составляющей расхода. Однако используемые водомеры совершенно не приспособлены для измерения параметров бурного, и тем более сверхбурного потока на каналах горно-предгорной зоны.

1.4 Характеристика условий функционирования средств измерений расходов воды на оросительных системах Кыргызской Республики

На сравнительно небольшой территории республики (198,5 тыс. кв. км) насчитывается около 3-х тысяч естественных водотоков, из которых для целей орошения используются свыше 870 рек. Кроме естественных водотоков, территория республики покрыта еще густой сетью искусственных водотоков - каналов, коллекторно - дренажной сети (КДС) и другие. В Кыргызской Республике протяженность оросительной сети составляет свыше 30 тыс. км, 20% из которых имеет межхозяйственное (МХС) и 80% - внутрихозяйственное (ВХС) значения; протяженность водосборно - сбросной сети - свыше 700 км, КДС-5,5 тыс. км., облицованных каналов – 8 тыс.км [31, 60].

В целях регулирования стока источников орошения на территории страны построены емкости (водохранилища, БДР, БСР и др.), общая численность которых превышает 400 единиц.

Оросительные системы республики представляют собой в основном водные объекты горного типа, т.е. в преобладающем большинстве случаев они не связаны между собой и имеют индивидуальные водозаборы, транспортирующие и распределительные каналы и сооружения на них.

Из оросительных систем (ОС) орошаются земли, площадью 1024 тыс. га, в т.ч. инженерными (технически оснащенными на достаточно высоком уровне) ОС - 40%, полуинженерными - 34% и неинженерными - 26% всех орошаемых земель [31, 60].

Оросительная вода в межхозяйственные оросительные системы забирается главным образом из достаточно крупных и средних рек. Во внутрихозяйственные системы вода забирается из мелких водотоков, расположенных в непосредственной близости от этих хозяйств.

На территории Кыргызской Республики насчитывается в общей сложности 1460 водозаборных сооружений. Около 900 из них подают воду в межхозяйственные каналы, и 560 – во внутривозделные. В хозяйствах Кыргызстана сегодня насчитывается около 3600 точек водовыдела.

Для водораспределения, водоучета, водоподачи и выполнения других функций на оросительных системах Кыргызстана используется свыше 44 тыс. гидросооружений, 28 тыс. из которых расположены на межхозяйственной оросительной сети. Количество гидростов на ирригационных системах почти 5 тыс.шт. Большинство из них построены в 70-80 годы прошлого столетия.

Источниками орошения в Кыргызской Республике являются, главным образом, реки. При помощи водозаборных гидроздов, располагаемых на реках, вода подается в магистральные, межхозяйственные и даже внутривозделные каналы. В голове оросительных систем устраиваются гидросты, использующие для водоучета метод «скорость-площадь» [31, 62].

Не смотря на то, что диапазон изменения забираемых из источника орошения расходов воды достаточно велик, устойчивость расходных характеристик, чаще всего, соблюдается в соответствии с коэффициентом водоучета:

$$K_e = Q_{\max} / Q_{\min} , \quad (1.4)$$

где Q_{\max} и Q_{\min} – максимальный и минимальный расходы воды соответственно, при изменении которых коэффициент расхода сооружения остается постоянным.

Критерием возможности использования гидрометрического сооружения на любом участке оросительной системы является обеспечение условия:

$$K_e \geq K_n , \quad (1.5)$$

где K_n – коэффициент неравномерности декадных (или месячных) расходов на рассматриваемом звене оросительной системы.

Неравномерность годового распределения стока рек Кыргызстана характеризуется наличием максимальных расходов в реках в летнее время, при том, что весеннее половодье не выделяется, а половодье начинается в марте-апреле и заканчивается в сентябре. Селевые потоки, вызываемые ливнями, составляют 80 – 85% от числа всех наблюдаемых на территории Республики.

На реках Кыргызстана имеет место значительная неравномерность распределения расходов воды (в 1,5 – 2,0 раза) в течение суток, скорость изменения уровней воды на речных гидропостах в паводковый период достигает 0,1 – 19,5 см/мин. Особенно это характерно для рек с дождевым питанием.

В Кыргызской Республике, в зависимости от природных условий, строятся каналы различных конструкций. Они проходят в выемке, насыпи, полувыемке-полунасыпи, возводятся в мягких и твердых грунтах. По форме поперечного сечения каналы бывают трапецеидальные, прямоугольные, параболические, полигональные и др., по энергетическому состоянию – каналы со спокойным, бурным и сверхбурным потоками.

Каналы проводящей части оросительной сети подразделяют на магистральные, межхозяйственные, хозяйственные распределители различных порядков, а также внутривозделные распределители [61]. Магистральные каналы (табл. 1.1, 1.2, 1.3) бывают межреспубликанского, межобластного и межрайонного значений [31].

Таблица 1.1 - Магистральные каналы Кыргызской Республики

Республика	Количество каналов (шт) протяженностью (км)					Количество каналов (шт) по расходам (м /с)				
	всего	10-20	20-50	50-70	>70	всего	10-20	20-50	50-70	>70
Кыргызская	15	7	4	3	1	7	4	2	1	-

Таблица 1.2 – Характеристика крупных каналов Кыргызской Республики со спокойным режимом течения [31]

Наименование канала	Параметры канала					Параметры потока		
	шири на по дну, м	ширин а по верху, м	Заложение откосов	уклон	коэффиц. шероховат	глубина, м	скорость, м/с	расход, м ³ /с
ЗБЧК	8-18	12-31	1,5-2,0	0,00020	0,0225	1,2-3,2	0,70	7-55
ВБЧК	5-12	8-24	1,5-2,0	0,00020	0,0225	1,0-2,9	0,80	7-35
ЮБЧК	9	29	3,0	0,00012	0,0200	3,34	0,92	58
Р-12 (ЮБЧК)	4-5	10-11	2,0	0,00020	0,0250	1,5	0,75	10-15
Атбашинский	8-16	13-22	1,5	0,00011	0,0225	1,9	0,88	18-25
Совхозный	5-9	8-12	1.5	0,00030	0,0225	0,9	0,72	4
Рассвет	3,5	7,3	2,0	0,00080	0,0225	1,1	0,94	6
Абшир-Сай	6,0	12,0	1,5	0,00020	0,0225	2,0	0,87	20
Осман	4-6	6,4-8,4	1,15	0,00380	0,0225	0,8	0,8-1,3	5-8

Таблица 1.3 – Характеристика каналов с бурным режимом течения [31]

Наименование канала	Параметры канала				Параметры потока			
	ширина по дну, м	откос	уклон	строительная высота, м	глубина, м	скорость, м/с	расход, м ³ /с	число Фруда
Обводной Чуйский	5,0	0	до 0,02	2,5	1,8-2,2	6,0-8,0	60	1.7-3,6
Аламединский	4,0	0	0,01-0.03	1,4	0,8-1,2	5,0-8,7	22,0	2,1-6,4
Аламединский	3,0	1,25	0,015-0,042	1,4	0,8-1,2	5,0-10,0	22,0	2,1-8,5
Иссык-Атинский	3,0	0	до 0,027	2,0	1,0-1,5	4,5-8,0	25,0	2,0 -5,6
Найман	2,0	1,25	до 0,052	1,5-2,5	1,0-2,0	3,4-9,0	18-22	0,6-8,5
Туш - 1	0,5 (составное)	3,0	0,01-0,05	1,5	до 1,2	4,0-10,0	18	1,4-8,5
Туш - 2	0,5 (составное)	3,0	0,01-0,04	1,4	0,8-1,1	4.0-9,0	12	1.5-7,5
Мекенский	1,2	0	0,01-0,035	1,0	0,6-0,8	5,5-8,0	4,6	3,9-8,2
Аспаринекий	1,0-1,8	0	0,02-0,05	1,0	0,6-0,8	4,0-9,0	3,4-6.1	2,0-9,2
Киргиз-Ата	2,0	1,25	до 0,075	1,0-1,2	0,6-0,9	1,5-10,0	8,0	0,1-11.3
Туя-Муюн	1,5	1,5	0,017-0,03	1.5-1,7	0,8-1,2	5,2-9,0	10	2,3-7,0
Ден (р. Кегеты)	3,0	1,25	до 0,03	0,9	0,5-0.7	5,0-8,0	6	3.6-9.3
Калмак	2,0	1,25	до 0,02	0,9	0,5-0,7	3,0-7,0	6	1.3-7.1

Максимальная глубина потока в магистральных каналах при спокойном режиме течения находится в пределах 0,8–3,5 м, скорость течения – 0,7–1,3 м/с, числа Фруда – 0,03–0,40, заложение откосов – 1,5–2,0; при бурном режиме течения: максимальная глубина – 0,8–1,8 м, скорость течения – 3–10 м/с и более, числа Фруда – 1,1–12 и более, заложение откосов – 0–3, уклоны – 0,010–0,08, строительная высота – 1,0–1,7 м и более.

Коэффициент неравномерности декадных расходов магистральных каналов $K_H=3–10$. Расходы воды в межхозяйственных каналах изменяются в пределах 1,5–3,0 м³/с, глубина воды при спокойном режиме течения – 0,8–1,5 м, скорость – 0,7–1,0 м/с при бурном режиме течения: максимальная глубина составляет 0,4–0,8 м, редко достигая 1 м, скорость – 2–8 м/с.

На межхозяйственных каналах Республики коэффициент неравномерности распределения декадных расходов воды составляет $K_H=5–15$ [31].

Для учета оросительной воды в голове магистральных и межхозяйственных каналов используются, в большинстве случаев, гидросты типа «фиксированное русло».

Пропускная способность большинства хозяйственных распределительных каналов Кыргызстана составляет 0,08–2,5 м³/с (рис. 1.8) [62]. Большая часть (45–50%) из них рассчитана на расходы 0,08–1,0 м³/с. Около 20% хозяйственных распределителей имеют расходы 1,0–1,8 м³/с, а остальные – расходы более 1,8 м³/с. Максимальные наполнения в хозяйственных каналах составляют 0,1 – 1,0 м. Примерно 70% из них имеют глубину 0,1 – 0,32 м [31].

Режимы течения потока воды в хозяйственных каналах можно определить по фактическим данным, представленным на рис. 1.9, откуда видно, что достаточно большое число каналов (особенно в Чуйской области) имеют бурный и сверхбурный режимы течения.

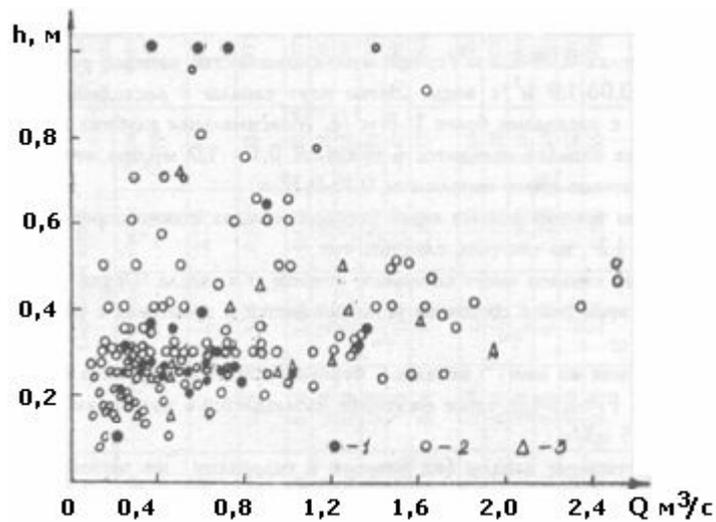


Рис. 1.8. Пропускная способность каналов (гидропостов): 1 – Таласской области; 2 – Ошской области; 3 – Чуйской области.

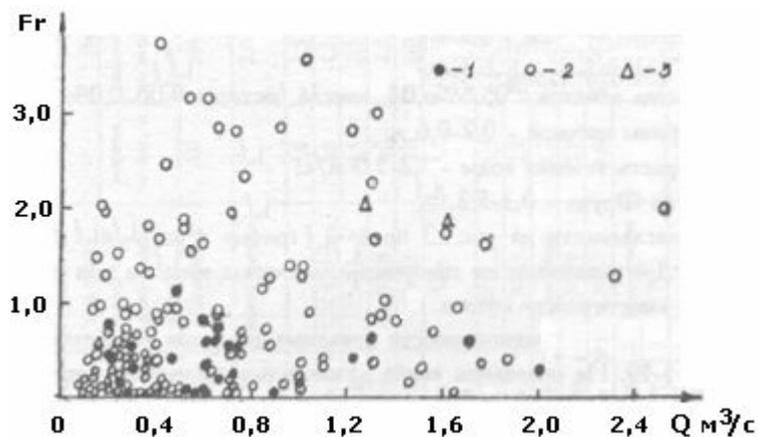


Рис. 1.9. Режимы течения потока воды в хозяйственных каналах: 1 – Таласской области; 2 – Ошской области; 3 – Чуйской области.

Анализ данных рис. 1.9 позволяет сделать заключение о том, что:

- более половины всех каналов в Кыргызской Республике имеет бурный режим течения с параметром кинетичности Фруда равным $Fr = 1,1-4,0$;
- каналы-быстротоки рассчитаны на пропуск как небольших $0,15 \text{ м}^3/\text{с}$, так и достаточно крупных $25,0 \text{ м}^3/\text{с}$ расходов воды.

Хозяйственные каналы (их размеры и гидравлические параметры потоков) могут быть охарактеризованы данными табл. 1.4.

Таблица 1.4 – Параметры хозяйственных каналов

Наименование оросительной системы	Наименование канала	Наименование гидропоста типа «фиксированное русло»	Параметры канала (гидропоста)				Параметры потока (max)				Год ввода в эксплуатацию
			ширина по дну, м	ширина по верху, м	Откос	Уклон	Глубина, м	Скорость, м/с	Расход м ³ /с	Число Фруда	
р.Кара-Буура	Сарымсак	Сарымсак-1	3,0	3,0	0	0,0039	0,52	1,96	2,230	0,75	1978
р.Кара-Буураа	Киров II	Киров(прямая)	2,0	2,0	0	0,0033	0,29	1,83	0,830	1,18	1975
р.Куркуреу	Чебак I		1,6	2,5	0,5	0,010	0,30	1,80	1,430	1,10	1971
р.Куркуреу	Иманбек-3	ПК 120+00	1,5	1,5	0	0,011	0,33	2,21	1,400	1,51	1987
р.Куркуреу	Саткей	Саткей	1,5	2,5	0,5	0,030	0,28	2,15	0,740	1,68	1985
р.Урмарал	Талдовар	№28	1,0	2,5	1	0,009	0,21	1,37	0,360	0,91	1990
р.Кумуштак	Коконтай	№42	2,0	2,0	0	0,001	0,45	1,38	1,150	0,43	1981
р.Талас	Новая Каирма	Сад	1,1	1,1	0	0,0075	0,24	1,70	0,500	1,23	1999
р. Талас	БТК	Р-12-2	1,5		1,5	0,0026	0,29	135	0,570	0,64	1964
р. Беш-Таш	Жаныбек	№63	2,0	2,93	0,86	0,007	0,70	1,19	0,750	0,20	1938
р.Талас	Транспорт	Транспорт	1,2	1,2	0	0,0023	1,05	1,24	0,900	0,15	1998
р. Урмарал	Талдовар	№29	1,0	2,5	1	0,008	0,26	0,93	0,270	0,34	1958
р. Беш-Таш	Тюге	№67	0,80	2,1	0,67	0,024	0,80	1,86	0,511	0,82	1960
р.Талас	Кадыр-Али	Подключение №5				0,0108	0,28	2,24	0,350	1,83	1998
р.Чон-Чичкан	Чон-Арык	Чон-Арык	1,0	1,0	0	0,014	0,27	2,74	0,740	2,83	1982
р. Талас	Бала-Сары	Х-1	1,8	1,8	0	0,0001	1,0	0,25	0,360	0,01	1980
р.Урмарал	Талдовар	№27	1.0	2,5	0,75	0,010	0,23	2,68	0,600	3.2	1990

Продолжение табл. 1.4

р.Урмарал	Лесхоз	№9	1,2	2,54	1.0	0,010	0,20	2,50	0.525	3,19	1990
р. Кара- Дарья	Мырза	№44	2,0	6,5	1,5	0,0009	0,80	1,34	3.418	0.23	1986
р.Кара- Дарья	Мырза	43	1,5	6,0	1,5	0,0046	0,50	2,49	2,490	1.27	1990
р. Кара - Кульджа	Могол	2	4,1	8,7	1	0,001	0,30	0,98	1.293	0,33	1958
р. Яссы	Зельпурах	10	1,4	3,0	1,5	0,0021	0,50	0,96	1.448	0.14	1977
р.Тоо- Жайлоо	Тоо-Жайлоо	2	1,0	4,0	1,5	0,0067	0,40	2,60	1,620	1.72	1976
р.Кыргыз- Ата	Кыргыз-Ата	6	0,8	1,8	1	0,003	0,13	2,48	0.319	4,82	1970
р.Атыр-Сай	Ходжа	Головной	1,5	3.0	1	0,003	0,70	1.82	3,000	0.50	1971
р.Чили-Сан	Сапарбае II	Тегирмен	1,0	3.0	1,25	0,006	0,30	1.92	0,865	1.25	1985
р.Исфайрам	Кожо-Гаир	р-8	0,36	1,20	0,42		0,25	3.49	0.462	5.00	1990
р.Курбаш- Сай	Огуз-Адыр	К-1	0,60	1,50	1	0,045	0,11	2.48	0.178	5,70	1968
р. Араван- Сай	Кара-Курган	30	2,2	4,2	1	0,010	0,25	0,85	1.0500	3.31	1927
р.Араван- Сай	Теват	63	1,6	3,8	1	0,005	0,32	1.30	0.868	0.54	1964
р.Ак-Буура	Араван Ак-Буура	17	1,0	2,5	1	0,002	0,60	1,40	1,075	0.33	1971
рАламсднн	Р-5	40	0.24	0,9	1	0,010	0.45	1,59	0.160	0.58	1982

Анализ табл. 1.4 позволяет сделать вывод о том, что 50% рассмотренных хозяйственных каналов имеют большой уклон, параметр кинетичности $Fr \geq 1,0$ и являются каналами-быстротоками.

В Кыргызской Республике широкое распространение получили лотковые каналы параболического сечения, имеющие в основном хозяйственное значение.

Применение лотковых каналов наиболее целесообразно при больших уклонах трассы канала, поскольку они защищены от размыва высокоскоростным бурным и сверхбурным потоком.

Характеризуются лотковые каналы данными табл. 1.5, из которой следует, что:

- пропускная способность каналов составляет 0,1-1,3, редко достигая 2,0 м³/с
- высота лотков - 0,4-1,0 м;
- уклоны каналов - 0,001-0,04, иногда достигая 0,06-0,08;
- глубины потоков - 0,2-0,6 м;
- скорость течения воды - 1,2-5,0 м/с;
- число Фруда - 0,3-5,2.

Коэффициент неравномерности декадных расходов хозяйственных каналов Кыргызстана составляет $K_n=5-10$.

Однако в настоящее время ж/б блоки параболического сечения для лотковых каналов, практически, не изготавливаются на заводах Кыргызской Республики. При реабилитации лотковой оросительной сети используются существующие демонтированные блоки. Поэтому приведем параметры только нескольких лотковых каналов.

Таблица 1.5 – Параметры некоторых лотковых каналов [31]

№	Наименование оросительной системы	Наименование канала	Наименование или номер гидропоста	Параметры лотка (гидропоста)		Параметры потока (max)				Год ввода в эксплуатацию
				высота, см	уклон	глубина, м	скорость, м/с	расход, м ³ /с	число Фруда	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	р.Исфара	Р-4-2	47	80	0,033	0,3	3,44	0,475	4,02	1976
2	р.Исфара	Р-4	Р-4 старый	60	0,009	0,3	1,79	0,250	1,09	1970
3	р.Исфара	Р-6-1	У-78	80	0,008	0,2	1,47	0,110	1,10	1992
4	р.Исфара	МК	ТР.МК	60	0,015	0,25	2,29	0,240	2,14	1990
5	р.Исфара	МК подпит.	Мин-Орук	80	0,007	0,60	2,24	0,880	0,85	1984
6	р.Тоо-Жайлоо	отвод МЖС	4	60	0,0038	0,32	1,20	0,145	0,46	1984
7	р.Тоо-Жайлоо	отвод Айбике	5	40	0,0043	0,35	1,50	0,260	0,66	1985
8.	р.Тоо-Жайлоо	отвод Кара-Булак	6	40	0,0038	0,35	1,40	2,240	0,57	1983
9	р.Тоо-Жайлоо	отвод Исфана	7	60	0,0077	0,41	2,01	0,465	0,99	1983
10	р.Ходжа - Бакирган	Дашрават	16	100	0,0049	0,40	1,80	0,516	0,83	1985
11.	р. Сох	МК Бурганды	Р-6-1	80	0,001	0,45	3,95	1,020	3,52	1981
12	р. Сох	МК Бурганды	У-79	60	0,0012	0,33	3,60	0375	4,0	1981
13.	р. Сох	МК Бурганды	У-86	60	0,001	0,30	2.70	0,420	2.48	1982
14.	р. Сох	МК Бурганды	У-85	60	0,0016	0,28	3,20	0,400	3.73	1981

На основании выше изложенных данных по оросительным системам Кыргызской Республики можно выделить следующие присущие им характерные особенности:

- широкий диапазон измеряемых уровней воды, скоростей течения потока и расходов воды;
- уклоны меньше критических у каналов, преобладающих в долинной зоне Кыргызстана;
- уклоны больше критических и параметр кинетичности $Fr \geq 1,0$ у большинства каналов, расположенных в горно-предгорной зоне;
- наличие в воде взвешенных и влекомых наносов, строительного и бытового мусора, плавающих предметов, вызывающих заиливание и засорение каналов и затрудняющих проведение измерений;
- широкий диапазон изменения параметров каналов и их форм поперечного сечения, осложняющих работу по выбору средств измерения расходов воды [31,62].

В связи с созданием фермерских и других мелкокрестьянских хозяйств появилась необходимость в оснащении средствами измерений расходов воды не только участковых распределителей, но и временных оросителей. При этом такие средства должны применяться не только для учета воды при подаче ее из каналов хозяйственного значения, но и из межхозяйственных оросительных систем.

На ирригационных системах Кыргызской Республики в настоящее время функционируют несколько типов водомерных устройств.

В соответствии с инструкцией МИ 2122.90 [52], разработано достаточно большое количество водомеров для оросительных систем Кыргызстана. Многие из этих конструкций функционируют и по сей день. Перечислим основные из них:

- гидросты типа «фиксированное русло», водосливы всех типов, лотки, пороги, насадки, сужающие устройства и др. (их схемы приводятся в разделе 2.2);
- водомеры, устраиваемые на входе регуляторов, представляющие собой водомерные приставки и др. (рис. 1.10);

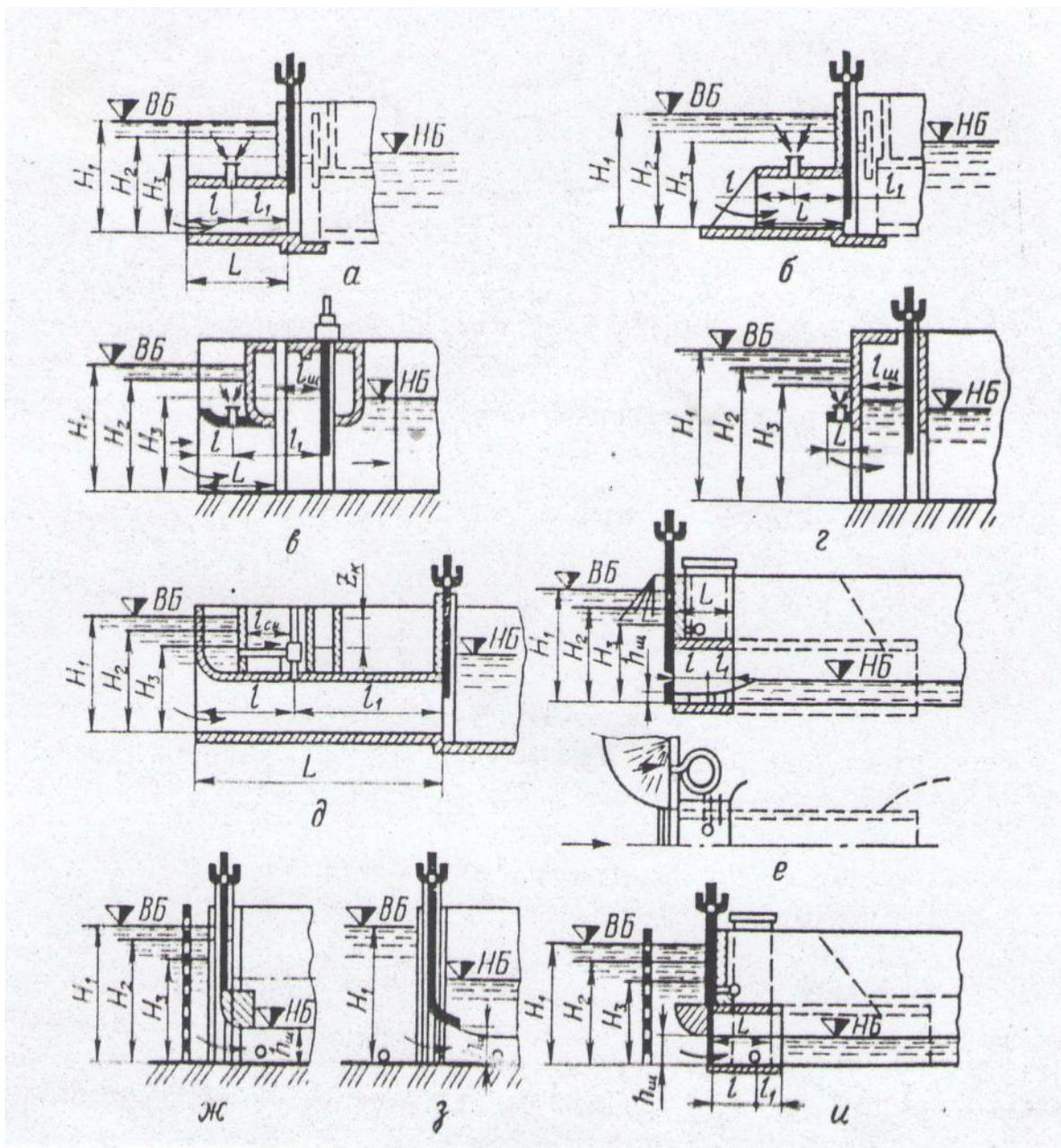


Рис. 1. 10. Водомерные устройства, применяемые на входной части регулирующих гидротехнических сооружениях, рассмотренные проф.

Я.В.Бочкаревым [25].

- водомеры, располагаемые на входе регуляторов - водомеры - регуляторы трубчатые с цилиндрическим кольцом, насадком, сужающим устройством и др. (рис. 1.11) [25];

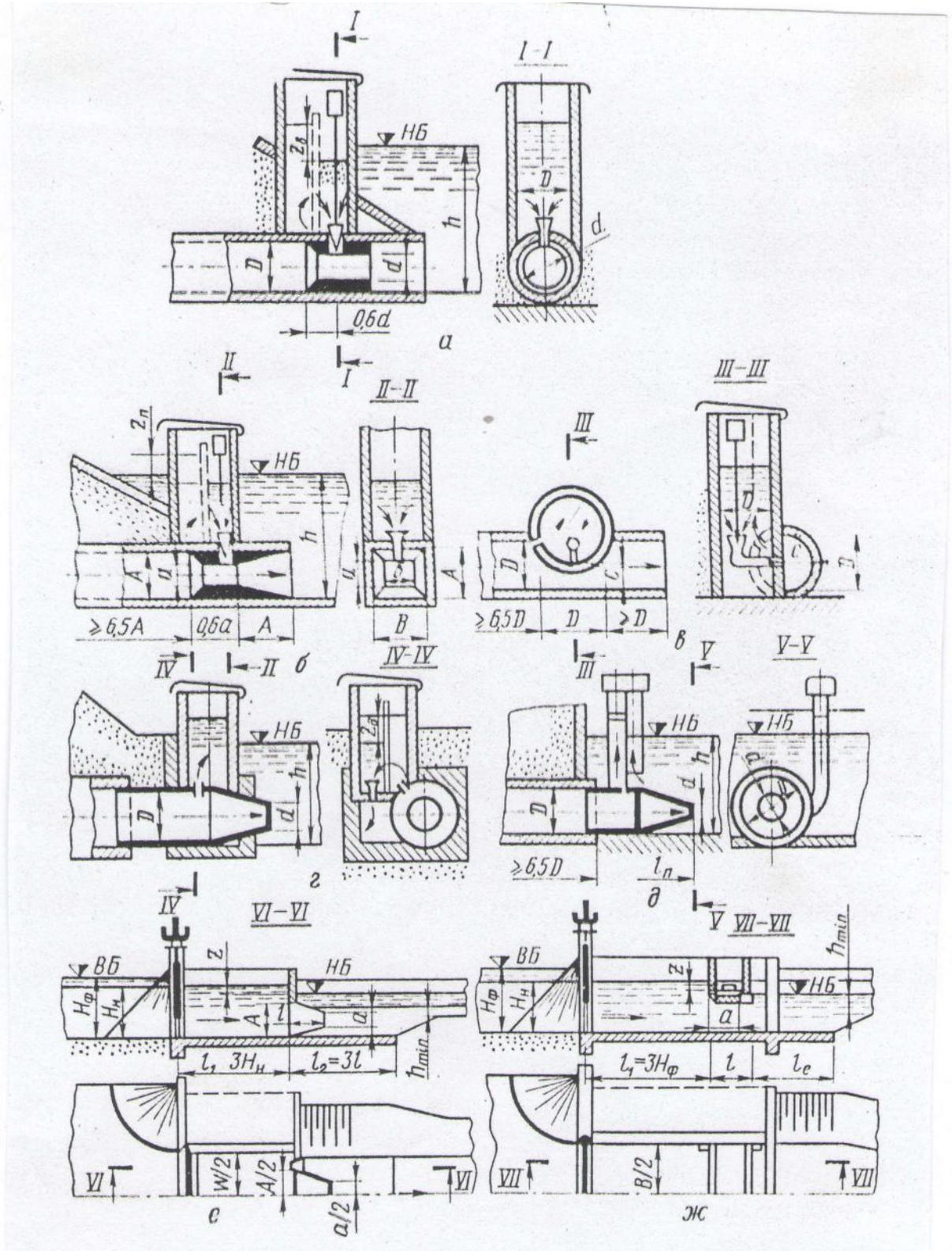


Рис. 1.11. Водомерные устройства, применяемые на выходной части регулирующих сооружений [25].

- оттарированные сооружения: сопрягающие, регулирующие и др. На таких сооружениях, посредством градуировки устанавливают расходную характеристику водомерного устройства в зависимости от переменных параметров (напора и др.);

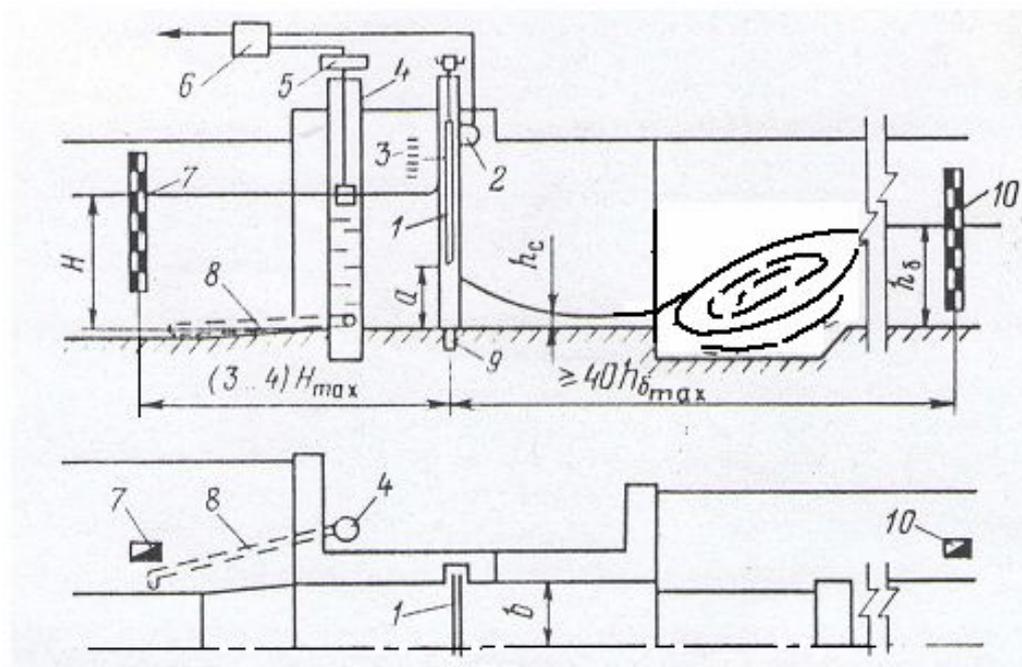


Рис. 1.12. Схема градуированного сооружения с плоским затвором: 1 - затвор; 2, 5, 6, 9 – измерительные преобразователи – высоты открытия затвора, напора, расхода, уровня нижнего бьефа; 3 – указатель положения затвора; 4 – колодец под измерительный преобразователь уровня; 7, 10 – контрольные рейки; 8 – импульсная трубка [41].

Большинство из существующих сегодня на каналах Кыргызстана водомерных устройств или, так называемых, средств измерения расхода (СИР), разработаны в соответствии с типовыми проектами (табл. 1.6) и построены еще в советское время [31].

Наиболее полное представление о характеристиках существующих СИР можно получить в «Каталоге водомерных сооружений» [50].

Таблица 1.6 – Действующие типовые проекты СИР

Наименование типовых проектов	№ типовых проектов
Гидрометрические сооружения фиксированное русло	820-1-054.86; 820-1-094.89
Гидрометрические сооружения с трапецеидальным водосливом с тонкой стенкой	820-1-054.86; 820-1-094.89
Гидрометрические сооружения с прямоугольным водосливом с тонкой стенкой	820-1-054.86; 820-1-0,94.89
Гидрометрические сооружения с порогом	820-1-054.86; 820-1-094.89
Лотки с короткой горловиной для каналов трапецеидального сечения	МВИ-06-90
Лотки с короткой горловиной для каналов прямоугольного сечения	МВИ-06-90

Любое водомерное сооружение не может быть принятым в качестве рабочего средства для измерения расходов воды, если не пройдет государственную метрологическую аттестацию. Чтобы оно было аттестовано, рекомендации по его использованию должны содержаться в официальных нормативных документах, согласованных с Госстандартом.

Рассмотрим конструкции водомерных сооружений, которые можно рекомендовать к внедрению, и в случае их строительства – могут подлежать аттестации [31].

Из разрешенных к использованию СИР (табл. 1.7) в республике применяется только незначительная их часть. Для подтверждения изложенного приводятся следующие данные по оснащению оросительных систем средствами измерения расходов воды.

Как отмечалось выше, общая численность сооружений водоучета на ирригационных системах Кыргызстана достигает 4980 шт. [31], 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.

Таблица 1.7 – СИР, рекомендованные к использованию

Наименование сооружений	Нормативные документы
Гидропосты типа «фиксированное русло»	МВИ 05-90; МВИ 33-4755559 -09.91
Треугольный водослив с тонкой стенкой	РДП 99-77; МИ 2122-90
Прямоугольный водослив с тонкой стенкой	РДП 99-77; МИ 2122-90
Трапецеидальный водослив с тонкой стенкой	РДП 99-77; МИ 2122-90
Водослив с тонкой стенкой и регулируемой высотой порога	МВИ 4755559. 13-93
Водослив с порогом треугольного профиля	РДП 99-77; МИ 2122-90
Расходомерный порог САНИИРИ	РДП 99-77; МИ 2122-90
Лоток Вентурн	РДП 99-77; МИ 2122-90
Лоток Паршала	РДП 99-77
Расходомерный лоток САНИИРИ	РДП 99-77
Трапецеидальный лоток критической глубины	МИ 2122-90
Насадки САНИИРИ в канале	МВИ 06-90
Насадка САНИИРИ на вы-ходном оголовке регулятора	МВИ 06-90
Приставка Сред-азгипроводхлопка на вход-ном оголовке регулятора	МВИ 06
Сужающее устройство Средазгипро-водхлопка на параболическом лотке	МВИ 06
Сужающее устройство ВНИИКАМС в лотковом канале	МВИ 06
Лотки с короткой горловиной	МВИ 06

Из всех водомерных сооружений гидропосты типа «фиксированное русло» составляют около 52%, «речные» гидропосты – 16%, водосливы различных типов – 25%, водомерные лотки (Вентури, Паршала, САНИИРИ и др.) – 3%, остальные водомеры (насадки, протарированные сооружения и др.) – 4%. Общее число гидропостов типа «фиксированное русло» и «водослив» достигает 93%.

Современные интегрирующие средства определения стока практически отсутствуют.

Из сказанного следует, что, главным образом, на оросительных системах Кыргызстана используются гидросты типа «фиксированное русло» и «водослив». Экспериментальные водомерные устройства используются в незначительном количестве.

Участковые и временные оросители, нарезаемые, в основном, канавокопателями, характеризуются следующими данными [32]:

- форма поперечного сечения – трапецеидальная;
- ширина по дну – 0,4–0,8 м; откосы – 1,0–1,5; строительная высота 0,5–1,1.

Скорости потоков в оросителях – не размывающие, значения параметра кинетичности потоков – $Fr \leq 0,30$.

В настоящее время измерение расходов воды, подаваемых в участковые и временные оросители, осуществляется весьма приближенно, т.е. «на глаз», что недопустимо в условиях платного водопользования. В редких случаях прибегают к измерению расходов воды методом «скорость-площадь» предварительно выбрав прямолинейные участки на участковых оросителях. Поскольку эти измерительные участки временные и не имеют облицовок, то погрешность измерения расходов воды на них достаточно высокая. Кроме того, они быстро заиливаются или размываются, теряя призматическую форму русла. Поэтому такие временные участки оросителей с земляным руслом не пригодны к использованию для измерения расходов воды методом «скорость - площадь».

В 1992 году проводилась работа по разработке переносных водосливов с тонкой стенкой на расходы 50 и 150 л/с [31]. В дальнейшем они были усовершенствованы. В настоящее время предлагается к широкому применению прямоугольный водослив на расходы 6–200 л/с, весом 5,0–5,5 кг.

Проанализируем водомерные сооружения типа «фиксированное русло». Водомерными сооружениями типа «фиксированное русло» конструкции Валентины Л.А. [31] оснащаются магистральные каналы, оросительная сеть межхозяйственного и внутривладельческого назначения, при этом водотоки имеют трапецеидальное, прямоугольное, составное и параболическое сечения.

В состав сооружений, как правило, входят измерительный участок, измерительный створ, успокоительный колодец, уровнемерная рейка, гидрометрический мост, репер. Кроме того, отдельные водомеры оборудуются самописцами уровня или счетчиками стока воды, обеспечивающими учет водных ресурсов с погрешностью не более $\pm 5\%$.

Применение СИР типа «фиксированное русло» в каналах трапецеидального и прямоугольного сечений ограничивается следующими диапазонами измерения параметров водного потока [31]:

расход воды - от 0,2 до 50,0 м³/с;

скорость потока - от 0,2 до 3,5 м³/с;

глубина воды - от 0,2 до 6 м;

режим течения - равномерный, без подпоров.

В основе расчета водомерных сооружений и устройств лежат классические формулы гидравлики, представленные в табл. 1.8.

Таблица 1.8 – Формулы для определения пропускной способности сооружений

Наименование параметров потока	Поперечное сечение сооружения		
	прямоугольное	трапецеидальное	параболическое
Площадь живого сечения, м ²	$w=bh$	$w=(b+mh)h$	$w=2/3B_y h$
Смоченный периметр, м	$x=b+2h$	$x = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$	$x \approx B_y$
Гидравлич. радиус, м	$R=w/x$	$R=w/x$	$R=w/x$

В таблице: b – ширина канала по дну; h – глубина воды; m – коэффициент заложения откоса; B_y – ширина по урезу воды; w – площадь живого сечения; x – смоченный периметр.

Расход воды определяется по формуле Шези:

$$Q = \omega c \sqrt{Ri}, \quad (1.6)$$

где i – уклон канала; c – коэффициент Шези, определяемый по формуле Маннинга:

$$c = 1/n \cdot R^y, \quad (1.7)$$

где n – коэффициент шероховатости, принимаемый исходя из состояния облицовок сооружения; y – показатель степени, для приближенных расчетов $y=1/5$ или $1/6$.

Задаваясь значениями h и при известных параметрах сооружения (b ; m ; i ; n), определяется его пропускная способность (Q_p) гидравлическим расчетом. Затем строится график зависимости $Q_p=f(h)$, который и соответствует равномерному режиму течения воды по сооружению.

При наличии графика $Q_p=f(h)$ фактический режим течения воды на водомерах устанавливается путем сравнения этого графика с отградуированным графиком сооружения – $Q_{и}=f(h)$, построенным на основании данных измерений ряда (3 – 5 и более) лет. Совпадение графиков будет указывать на наличие равномерного режима течения (при $Fr < 1$), а расхождение – на его отсутствие, что является следствием отрицательного влияния каких-то факторов на пропускную способность СИР.

Для обеспечения равномерного режима течения на подходе к измерительному участку водомера предъявляются требования [31]:

- а) измерительный участок сооружения должен быть прямолинейным, с постоянной формой поперечного сечения, при этом его длина, в зависимости от ширины водотока по верху, назначается по табл. 1.9;

- b) измерительный участок должен быть удален от гидротехнических сооружений и других источников для образования сбойного течения воды на расстояние, исключающее появление в створе измерений волны возмущений и составляющее не менее $10B$;

Таблица 1.9 – Длина измерительного створа водомерного сооружения

Наименов. показателя	Скорость потока, м/с	Максимальный расход воды в канале, м ³ /с				
		0,2-5,0	5,0-10,0	10,0-25,0	25,0-100,0	>100,0
Минимальная допустимая длина измерительного участка	<2	(6-8)В	(4-6)В	(3-5)В	(2-3)В	>1,5В
	≥2	(9-12)В	(6-9)В	(4,5-7,5)В	(3-4,5)В	>2,25В

- c) уклон дна измерительного участка должен быть постоянным и более 0,002, ибо при $i < 0,002$ может появиться подпорно-переменный режим из-за деформации (заиление, зарастание) отводящих участков канала;
- d) измерительный участок должен быть облицован бетоном.

Применительно к каналам с параболическим сечением применение СИР типа «фиксированное русло» ограничивается следующими условиями:

- расход воды - от 0,010 до 2,0 м/с;
- скорость потока - от 0,05 до 2,0 м/с;
- глубина воды - более 0,05 м;
- режим течения - равномерный, без подпоров.

Для обеспечения равномерного режима, к измерительному участку предъявляются следующие требования:

- a) он должен быть прямолинейным на расстоянии не менее 2-х секций лотка до и после измерительного участка;
- b) в пределах измерительного участка должен соблюдаться постоянный уклон дна по значению меньше критического;

- с) измерительный участок должен быть удален от источника возмущения водного потока (поворотных и других сооружений) на расстояние не менее 2-х секций от них;
- d) отложение наносов на измерительном участке не допускается.

Анализ особенностей водомерных сооружений типа «фиксированное русло» подтверждает неприменимость их на каналах-быстротоках с бурным и сверхбурным режимами течения.

Теперь рассмотрим водомерные водосливы с тонкой стенкой, которые нашли применение на каналах оросительных систем Кыргызстана.

Водосливы с тонкой стенкой являются одним из самых простых и удобных в эксплуатации средств измерения расхода воды, на которых учет воды осуществляется с погрешностью $\pm 2\%$. Кроме того, они применяются по результатам расчета без индивидуальной градуировки, что относится к положительным их качествам.

Благодаря изложенным преимуществам, водосливы с тонкой стенкой широко применяются не только при проведении научно-исследовательских работ в лабораториях, но и в натуральных условиях - для измерения расхода воды в открытых водотоках. При этом они применяются «не только как рабочие средства измерения, но и в качестве образцовых для аттестации и поверки других гидрометрических сооружений» [2].

В зависимости от формы поперечного сечения водосливы подразделяются на:

- треугольный водослив Томсона (ВТ);
- трапецидальный водослив Чиполетти (ВЧ);
- трапецидальный водослив Иванова (ВИ);
- прямоугольный водослив (ПВ).

Эти водосливы, в зависимости от пропускной способности, устанавливаются как в руслах водотоков, так и в успокоительных резервуарах. По имеющимся сведениям [2, 6, 18], водослив Томсона

применяются для измерения расходов до 0,5, Чиполетти – до 5,0 и Иванова – до 14,0 м³/с. В отношении прямоугольных водосливов таких сведений нет, хотя предполагается, что ими измеряются расходы до 3,0 м³/с.

Из рассматриваемых средств в республике получили применение ВТ и ВЧ – для лабораторных исследований и ВЧ и ВИ – в натуральных условиях. При этом ВЧ применяются чаще, чем ВИ.

Что же касается ПВ, то ими практически не пользуются, в связи с меньшей, по сравнению с трапецидальными водосливами, пропускной способностью при одинаковой ширине нижнего выреза водослива.

Общие условия применимости водосливов с тонкой стенкой характеризуются данными табл. 1.10 [31].

Кроме того, к каждому водосливу ставятся дополнительные условия, которые зависят от его конструкции.

Таблица 1.10 - Условия применимости водосливов

Сечение водослива	Допустимые значения напора, м		Допустимые значения ширины порога, м		Минимальная высота порога Р, м	Макс. значение параметра кинетичности потока в подводящем канале
	h_{\min}	h_{\max}	b_{\min}	b_{\max}		
Треугольное	0,05	0,40	-	-	0,10	0,45
Трапецидальное	0,05	1,00	0,25	3,00	0,30	0,45
Прямоугольное	0,03	1,00	0,15	3,00	0,10	0,50

Практика показывает, что при эксплуатации водосливов встречается ряд трудностей, затрудняющих их применение на оросительных системах горно-предгорной зоны. К основным из них относятся:

- на каналах с уклонами меньше критических имеет место заиливание верхнего бьефа наносами и необходимость ручной его очистки; фиксация порога водослива при строительстве, исключая возможность

регулирования его высоты в процессе эксплуатации во избежание подтопления со стороны нижнего бьефа;

- на каналах-быстротоках водосливная стенка, перегораживающая бурный и сверхбурный потоки, создает гидравлический прыжок, что и приводит к выплескам воды за пределы канала, и делает невозможным какие-либо замеры расхода.

Еще одним видом водомеров, нашедших применение в Кыргызстане, являются затворы-водомеры.

Распространенные на каналах оросительных систем открытые регуляторы имеют простую конструкцию и обеспечивают надежное водораспределение между основным и отводящим каналами, благодаря чему нашли широкое применение на оросительных системах республики.

Однако эти регуляторы имеют ряд недостатков, основным из которых является отсутствие возможности учета расхода воды на них. Поэтому на регуляторе осуществляется только водораспределение, а замер расходов воды производится на специальных водомерных сооружениях, установленных в голове каждого отвода.

Устройство двух сооружений на каждом отводе из основного канала (регулятора и водомерного сооружения) неэкономично и эксплуатация их сложна. Поэтому существует рекомендация [18, 32] о том, что в условиях каналов со спокойным режимом течения функции регулятора (водовыпуска) и водомера рационально совместить в одном сетевом гидротехническом сооружении – в открытом регуляторе, выполненном в виде водослива с тонкой стенкой. Эти конструкции применимы на каналах с малыми уклонами и совершенно не применимы на каналах-быстротоках ввиду образования перед ними гидравлического прыжка. Поэтому на большинстве водопроводящих сооружений в горно-предгорной зоне Кыргызстана не могут использоваться затворы-водомеры ни для целей водоучета, ни для целей водораспределения, поскольку каналы имеют уклоны больше критических.

Выполненный обзор показывает, что на сегодня разработано достаточно большое количество водомеров и вододелителей-водомеров, использующих в своей конструкции различные принципы водоучета на оросительной сети. Однако практически все они не достаточно совершенны для использования на каналах с уклонами больше критического.

Следовательно, существует необходимость дальнейшего совершенствования конструкций сооружений водоучета для каналов горно-предгорной зоны, имеющих большие уклоны.

Для разработки новых усовершенствованных средств водоучета на каналах с большими уклонами необходимо провести анализ технологических приемов водоучета и условий их применения на оросительных системах горно-предгорной зоны.

1.5 Анализ существующих конструкций водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках

Быстротечные каналы, являющиеся наиболее распространенным типом ирригационных магистральных и межхозяйственных каналов в Кыргызстане, обладают значительными запасами водной энергии, которая может быть использована в ирригации [65].

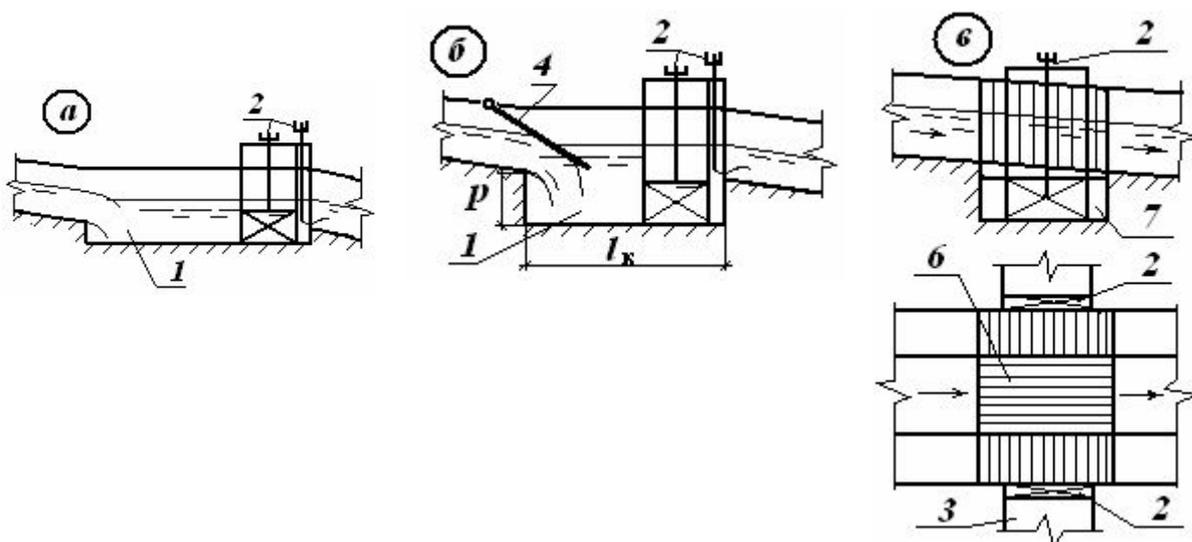
На каналах-быстротоках с бурным и сверхбурным течением устраиваются водораспределительные сооружения, работающие на принципе деления потока по вертикали или в плане. Это позволяет минимизировать вмешательство в высококинетичный скоростной поток.

В начале 60-х годов прошлого столетия проектным институтом «Грузгипроводхоз» [72] разработан один из первых водораспределителей для каналов с бурным течением (рис. 1.13 а), который включает водобойный

колодец-гаситель 1, регулирующее щитовое устройство 2 и отводящие трубы 3, снабженные затворами 2.

Колодец-гаситель позволяет обеспечить гашение энергии потока в транзитном канале на вододелителе в пределах длины колодца. Чтобы обеспечить гашение кинетической энергии потока на этом вододелителе приходится строить колодец-гаситель длиной, достигающей 10 – 12 м. Конструкция получается достаточно громоздкой, а кроме того, в колодце образуется гидравлический прыжок с выбросами потока за пределы колодца. Это не желательное явление с позиций экономии оросительной воды, кроме того, вызывает разрушение основания канала.

Другой вододелитель, разработанный Руруа Б.Г. (рис. 1.13 б) [77], также имеет колодец-гаситель 1, который снабжен вспомогательным элементом – направляющей диафрагмой 4 для принудительного направления транзитного потока в колодец. Это способствует уменьшению выплесков из канала на вододелителе и дает возможность выполнить колодец короче по длине. Однако наличие направляющей диафрагмы уменьшает пропускную способность вододелителя почти на 20% (в расчете на $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$) по сравнению с конструкцией «Грузгипроводхоз».



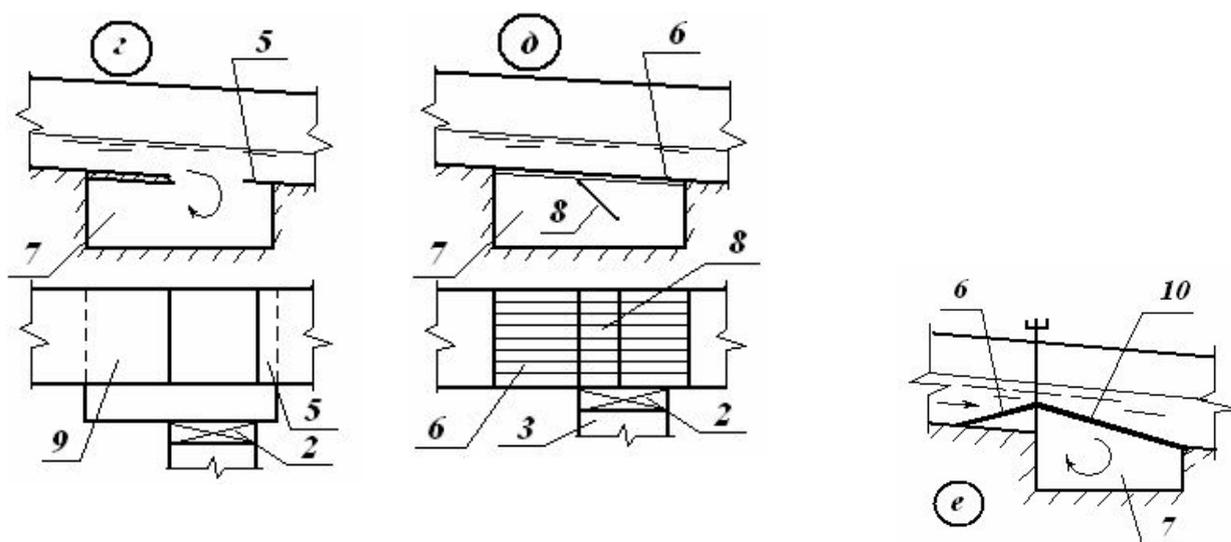


Рис. 1.13. Схемы конструкций водораспределительных сооружений для каналов с бурным течением: 1 – колодец-гаситель; 2 – затвор; 3 – труба; 4 – диафрагма; 5 – козырек-отсекатель; 6 – решетка; 7 – прямоугольная галерея; 8 – наклонный козырек; 9 – плита; 10 – клапанный затвор.

Казахским научно-исследовательским институтом предложена конструкция вододелителя (рис. 1.13 в) с разделительной стенкой, приваренной к решетке 6 снизу. Основное назначение разделительной стенки – исключить винтовое движение воды в галерее 7. Это позволяет повысить пропускную способность вододелителя в 1,5...2,0 раза по сравнению с более ранними аналогами [76], но, вместе с тем приводит к удорожанию конструкции за счет повышенной металлоемкости.

Микаеляном В.К. предложен вододелитель (рис. 1.13 г) [71] траншейного типа с отверстием в дне канала и донной галереей 7. Передняя часть галереи перекрыта плитой 9, что позволяет уменьшить местные потери напора на входе потока в отверстие. На дальней по потоку стенке галереи установлен отсекающий козырек 5. На входе в отводящий канал установлен плоский затвор 2. Данный водовыпуск имеет неизменную форму и рассчитывается только на одну величину отводимого расхода воды. Вододелитель совершенно не защищен от воздействия влекомых наносов.

Институтом «Кыргызгипроводхоз» разработан и построен на каналах Туш и Кировский системы реки Ала-Арча Кыргызской Республики вододелитель (рис. 1.13 д) с наклонным козырьком 8, позволяющим гасить кинетическую энергию потока на вододелителе. Вход в водовыпуск расположен значительно ниже дна канала [73]. Форма и размеры канала в пределах сооружения не меняются. Прямоугольная галерея перекрыта решеткой 6, к которой приварен козырек 8.

Недостатком данной конструкции является завышенная металлоемкость, невысокое качество регулирования, а также недостаточное командование старшего канала над младшим.

Вододелитель Андреева П.И. (рис. 1.13 е) [66] также траншейного типа. Его оригинальностью является наличие решетки 6, шарнирно закрепленной с клапанным затвором 10. Затвор при профилактических и ремонтных мероприятиях позволяет перекрыть галерею 7. В закрытом состоянии галерея 7 не подвергается заилению и засорению наносами. К недостаткам конструкции вододелителя следует отнести нарушение гидравлической структуры потока в рабочем состоянии, поскольку решетка 6 частично перекрывает основной поток в канале на вододелителе, что также препятствует прохождению плавающих предметов и камней.

Для использования на каналах с бурным течением в горно-предгорной зоне Всесоюзным научно-исследовательским институтом комплексной автоматизации мелиоративных систем (ВНИИКАМС) [63] разработан вододелитель (рис. 1.14 а). Донная траншея вододелителя состоит из нескольких секций, оснащенных отсекающими и Г-образными козырьками. В основе функционирования конструкции лежит принцип деления потока по вертикали.

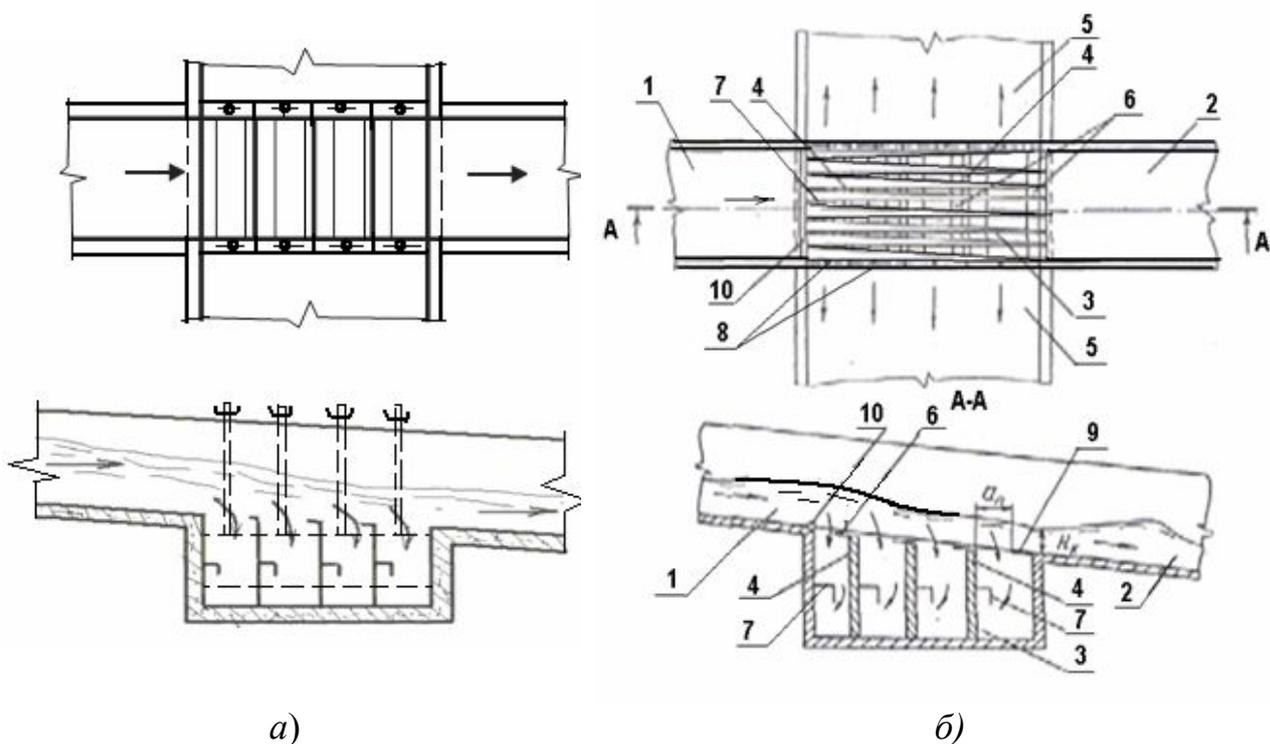


Рис. 1.14. Вододелители для каналов с бурным течением: *а* – конструкции ВНИИКАМС; *б* – конструкции Н.П.Лаврова (А.с. №1654447).

Вододелитель можно рассчитать на несколько отводов. На входах в отводящие водоводы установлены плоские затворы. В рабочем состоянии поток воды, проходящий по каналу, отсекается козырьками и попадает в донную траншею (галерею), а далее – через затворы в отводящие каналы. Г-образные козырьки не допускают воронееобразования в донной траншее и способствуют повышению пропускной способности вододелителя. Вододелитель [75, 86] предназначен для каналов-быстротоков с транзитным расходом воды до $50...60 \text{ м}^3/\text{с}$, с уклоном от 0,01 до 0,1. Отводимые расходы воды могут быть в пределах от 0,01 до $5,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Кроме этого, у данного вододелителя были обнаружены стабилизирующие свойства. В процессе эксплуатации данный вододелитель был признан достаточно надежным при работе на бурных потоках в транзитном канале.

К недостаткам вододелителя можно отнести неравномерное поступление потока в секции галереи. При небольших расходах работают

только передние по потоку секции. При этом наблюдается сбойность потока на выходе в отводящие каналы, разрушая их поперечное сечение.

Усовершенствовав предшествующий вододелитель конструкции Голубенко М.И. [63], проф. Лавров Н.П. создал конструкцию вододелителя для каналов бурным режимом течения (А.с. №1654447) [64]. Вододелитель (рис. 1.14 б) конструкции Лаврова Н.П. включает подводящий 1 и транзитный 2 каналы, а между ними размещенный колодец 3 с разделительными перегородками 4. На перегородках жестко закреплены горизонтальные 6 и Г-образные 7 козырьки. На входах в отводящие каналы установлены затворы. Сверху колодец 3 перекрыт решеткой 9 с треугольными вырезами. Решетка в комплексе с козырьками позволяет переводить поток из бурного состояния в спокойное [29, 64] в отводящем канале. Недостатком вододелителя конструкции Лаврова Н.П. (рис. 1.14 б) можно считать наличие массивной и металлоемкой решетчатой плиты, а также необходимость устройства на боковых отводах затворов разной ширины.

Рассмотрим еще одну современную конструкцию вододелителя для каналов с бурным течением (ВКБТ) (авторы Лавров Н.П., Исабеков Т.А.) [65]. ВКБТ (рис. 1.15) включает подводящий 1 и транзитный 2 участки донный колодец 3 между ними и отводящие каналы 5. На входах в отводящие каналы размещены плоские затворы 9. В колодце размещена разделительная перегородка 4, делящая его на камеры 6, на передней и задней стенках колодца и на перегородке установлены отсекающие 7 и Г-образные 8 козырьки. Их функциональное назначение аналогично козырькам вододелителя Голубенко М.И. Передняя и задняя камеры колодца различны по объему и площади входных отверстий. Это позволяет обеспечить равномерность заполнения из водой. Колодец вододелителя покрыт шарнирно 10 закрепленной решеткой 11 с ромбовидными стержнями 12.

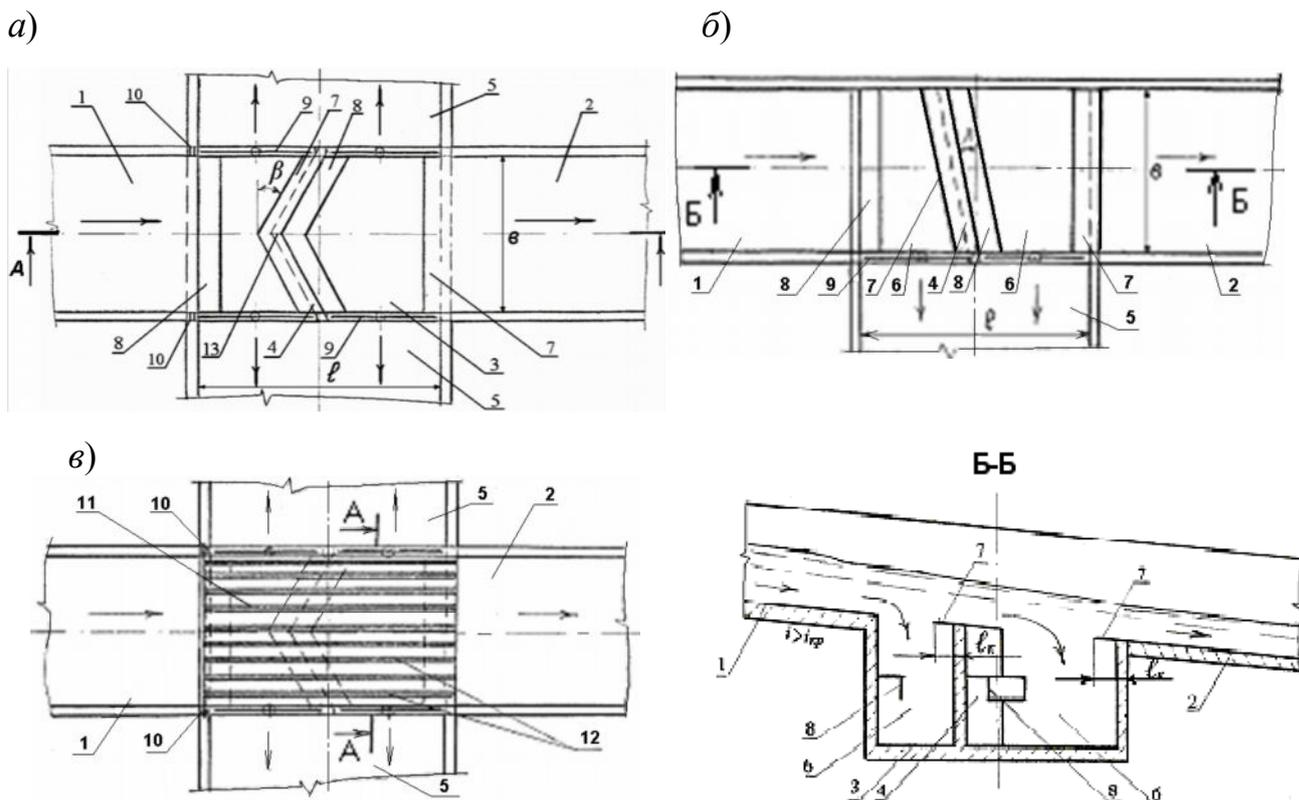


Рис. 1.15. Вододелители для каналов с бурным течением: *а* – двухсторонний (без решетки); *б* – односторонний (без решетки); *в* – двухсторонний (с решеткой).

Вододелитель может быть двухсторонним (рис. 1.15 а) и односторонним (рис. 1.15 б).

Вододелитель для каналов с бурным течением (рисунок 1.15) [65], внедренный в 2004 г. на канале Туш Аламудунского района Чуйской области Кыргызстана, представлен на рис. 1.16.



а



б

Рис. 1.16. Вододелитель для каналов с бурным течением на канале Туш:

а – в канале нет воды; *б* – вододелитель в работе.

Недостатком этой конструкции можно считать недостаточно эффективное ее использование при сверхбурном течении в транзитном канале. Набегание катящихся волн на препятствия в виде косонаправленной перегородки и обратной стенки приводит к периодическим возмущениям потока на выходе из вододелителя в отводящем канале, возникновению косых прыжков и выплесков, а также к неравномерному поступлению воды в отводящий канал.

Далее рассмотрим конструкции вододелителей для сверхбурных потоков. Как известно [29,66,68–70], сверхбурными потоками на быстротоках принято считать нестационарные высокоскоростные потоки, характеризующиеся наличием аperiодичных катящихся волн.

В Кыргызстане большинство магистральных каналов-быстротоков ирригационного назначения имеют частичный волновой, т.е. сверхбурный режим течения.

Разработанная Арсенишвили К.И. и Натишвили О.Г. в ГрузНИИГиМ конструкция [29] (рис. 1.17 *а*) имеет достаточно высокую пропускную способность.

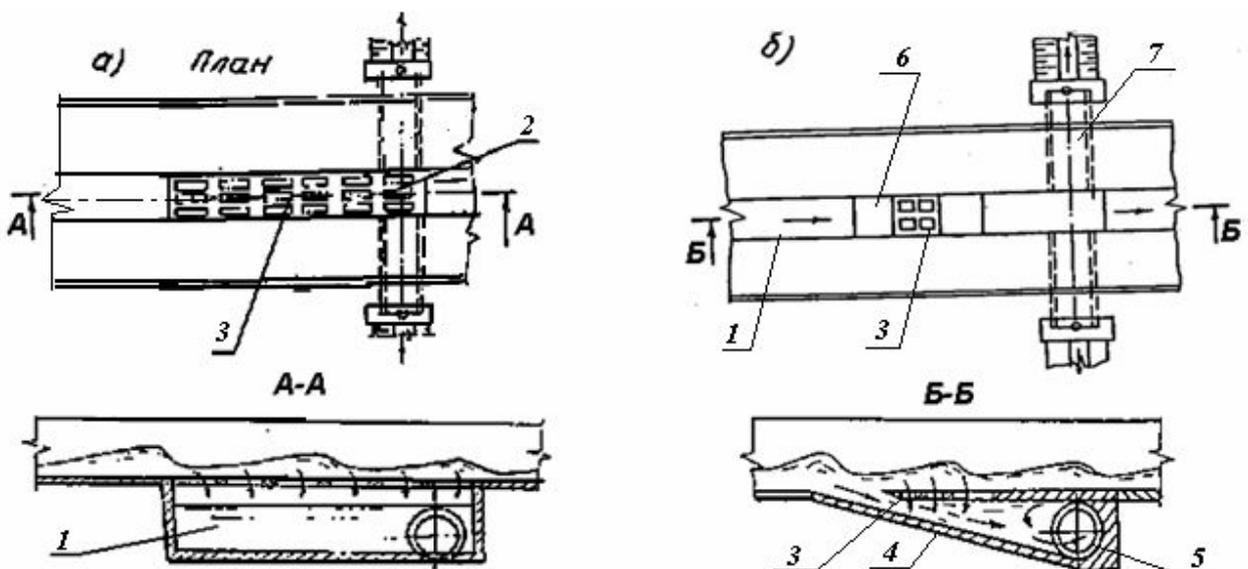


Рис. 1.17. Вихревые вододелители К.И. Арсенишвили и О.Г. Натишвили
типа АН-1 и АН-2.

Отличие данного вододелителя от аналогов заключается в его способности гасить не всю энергию высокоскоростного нестационарного потока, а только энергию потока, попадающего в колодец 1. Над колодцем 1 вододелителя 2 размещена массивная железобетонная плита 3 с прорезями 4 прямоугольного сечения. Таким образом, вода, проникающая через прорези в плите, расположенной на уровне дна канала, попадает в колодец, где происходит гашение ее избыточной энергии и далее направляется в отводные трубы.

Вододелители конструкции ГрузНИИГиМ были разработаны двух модификаций АН -1 и АН-2. АН-1 были построены в середине 70-х годов на канале-быстротоке Туш. В процессе эксплуатации были выявлены недостатки АН-1 [29], к которым можно отнести большие размеры донного колодца (глубина 3,5–4,0 м), что очень неудобно для проведения профилактических работ. Другая конструкция вододелителя ГрузНИИГиМ вихревого типа АН-2 [66] (рис. 1.17 б) также использует принцип вертикального вододеления при водоотборе. АН-2 по утверждению авторов преобразует поступательное движение донной части сверхбурного потока в винтовое, что способствует увеличению пропускной способности сооружения.

Дно колодца на входе 4 выполняется наклонным. Перпендикулярно к нему размещается противоположная цилиндрическая стенка 5. Над вододелителем размещена плита 3, которая имеет сплошную и ячеистую часть. Перед плитой имеет место отверстие 6 между дном транзитного канала и плитой, через которое вода поступает в колодец, а затем – в трубчатый водовыпуск 7.

По условию проектирования требуется, чтобы отводящий трубчатый водовыпуск АН-1 и АН-2 работал только в напорном режиме. Это осложняет его эксплуатацию. Было выявлено также фонтанирование за водоприемным окном, при чем выплески за пределы канала достигали значительной высоты.

АН-1 и АН-2 имеют ограничения по расходам. Расходы воды отводов должны быть больше $5,0 \text{ м}^3/\text{с}$, а параметр Фруда в транзитном канале $Fr > 5,0$ [29].

Рассмотрим также конструкции вододелителей, использующих принцип планового вододеления потока на каналах-быстротоках [29].

Предложенные конструкции соблюдают условие - при вододелении на каналах-быстротоках нельзя нарушать структуру потока в зоне вододеления. Это приводит к выплескам за пределы канала и фонтанированию воды на вододелителе, что не должно иметь место. Поэтому для каналов-быстротоков были разработаны вододелители, использующие деление потока по ширине. В Казахском НИИ водного хозяйства (КазНИИВХ) Вагаповым Р.И. и Баялиновым Д.А. созданы пропорциональные вододелители для бурных потоков [67] (рис. 1.18 а, б).

В Саратовском политехническом институте проф. Высоцким Л.И. и Сунчаляевым Ф.Т. [68] был создан пропорциональный вододелитель (рис. 1.18 в).

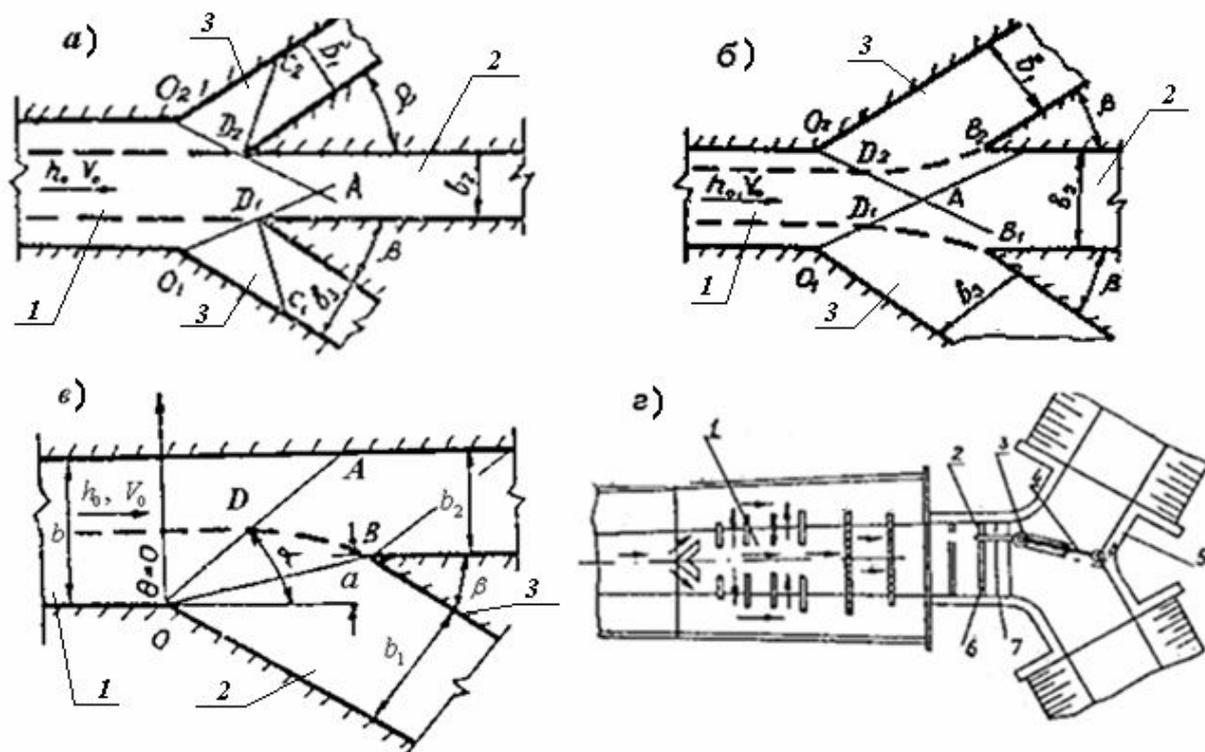


Рис. 1.18. Пропорциональные вододелители для каналов с бурным режимом течения: *а, б* – конструкции КазНИИВХ; *в* – конструкции Высоцкого Л.И. и Сунчалаяева Ф.Т.; *г* – конструкции Киргизского СХИ для каналов со сверхбурным потоком.

Для улучшения гидравлических характеристик вододелителя за счет уменьшения возмущений потока на входе в отвод 2, стенка 3 отводящего канала выполнялась криволинейной по определенной зависимости, что позволяло обеспечить плавный вход потока в отвод [29].

Эксплуатационным недостатком рассмотренного вододелителя СарПИ является невозможность изменения пропорции деления воды ввиду неизменного положения разделительной стенки. Поэтому его применение на каналах-быстротоках ограничилось единственным внедрением.

Для вододеления сверхбурных потоков на каналах-быстротоках с учетом изменения параметров вододеления в Кыргызском сельскохозяйственном институте им. К.И. Скрябина разработан пропорциональный вододелитель (А.с. №118643) (рис. 1.18 г) [29],

работающий совместно с гасителем энергии сверхбурного потока, который размещен перед вододелителем. Вододелитель состоит из гасителя энергии потока 1, разделительной пластины 2, состоящей из двух частей, шарнирно соединенных между собой. Шарнирное соединение представляет собой цилиндр, надеваемый на вертикальный стержень, который жестко соединен разделительной пластиной при помощи пластинчатой серьги 3. Поворотная пластина 4 шарнирно соединена с разделительной стенкой 5. Уставка вододелителя изменяется механическим приводом 6. Этот вододелитель можно устраивать на два и на три отвода.

Описанные пропорциональные вододелители не нашли широкого применения на практике из-за сложностей в управлении, больших плановых размеров и недостаточной изученности их характеристик в условиях сверхбурных потоков.

Для использования на каналах со сверхбурным течением авторским коллективом КРСУ и Кыргызского аграрного университета (КАУ) под руководством проф. Лаврова Н.П. был усовершенствован вододелитель для каналов с бурным течением (А.с. №1654447), изображенный на рис. 1.14. Усовершенствованная конструкция имела на входе в вододелитель скос внутренней стенки траншеи, что улучшало динамические свойства потока на входе в вододелитель (рис.1.19).

Перевод потока из сверхбурного режима в подводящем канале в спокойный в отводящем канале достигается сочетанием действия решетчатой плиты с увеличивающейся по направлению течения площадью отверстий, передней стенки траншейного колодца, выполненной со скосом, козырьков-отсекателей, вместе с перегородками, расположенными на возрастающем по пути движения расстоянии друг от друга и Г-образных козырьков – успокоителей потока [70]. Недостатком этой конструкции можно считать значительную металлоемкость стальной решетки и значительную длину сооружения из-за скоса передней стенки.

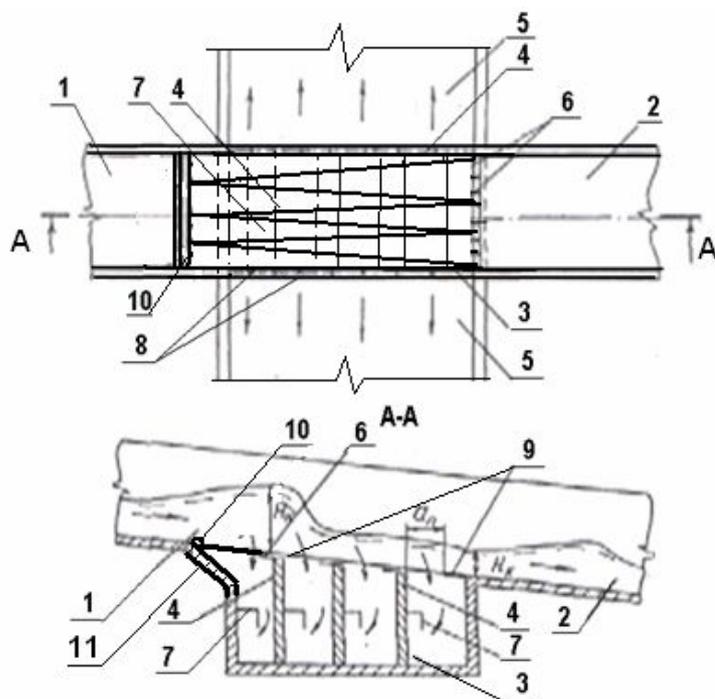


Рис. 1.19. Вододелитель для каналов со сверхбурным течением: 1, 2 – подводящий и транзитный каналы; 3 - колодец траншейного типа; 4 – разделительные перегородки; 5 – отводящие каналы; 6 – горизонтальные козырьки; 7 – Г-образные козырьки; 8 – затворы; 9 – решетка; 10 – шарнирная ось; 11 – скос передней стенки колодца.

Две модификации вододелителя донного типа конструкции Лаврова Н.П. были построены в 2000 г. на Аламединском подпитывающем канале для резервного водоснабжения ТЭЦ г. Бишкек. Обе конструкции подтвердили свою работоспособность: один при сверхбурном (волновом) (рис. 1.19), а второй при стационарном (бурном) (рис. 1.14) режиме течения.

В Кыргызском СХИ были разработаны стабилизаторы расхода воды для каналов-быстротоков (рис. 1.20). В основе функционирования этих конструкций положен принцип изменения коэффициента расхода обратно пропорционально величине $\sqrt{H_0}$, где H_0 – действующий напор.

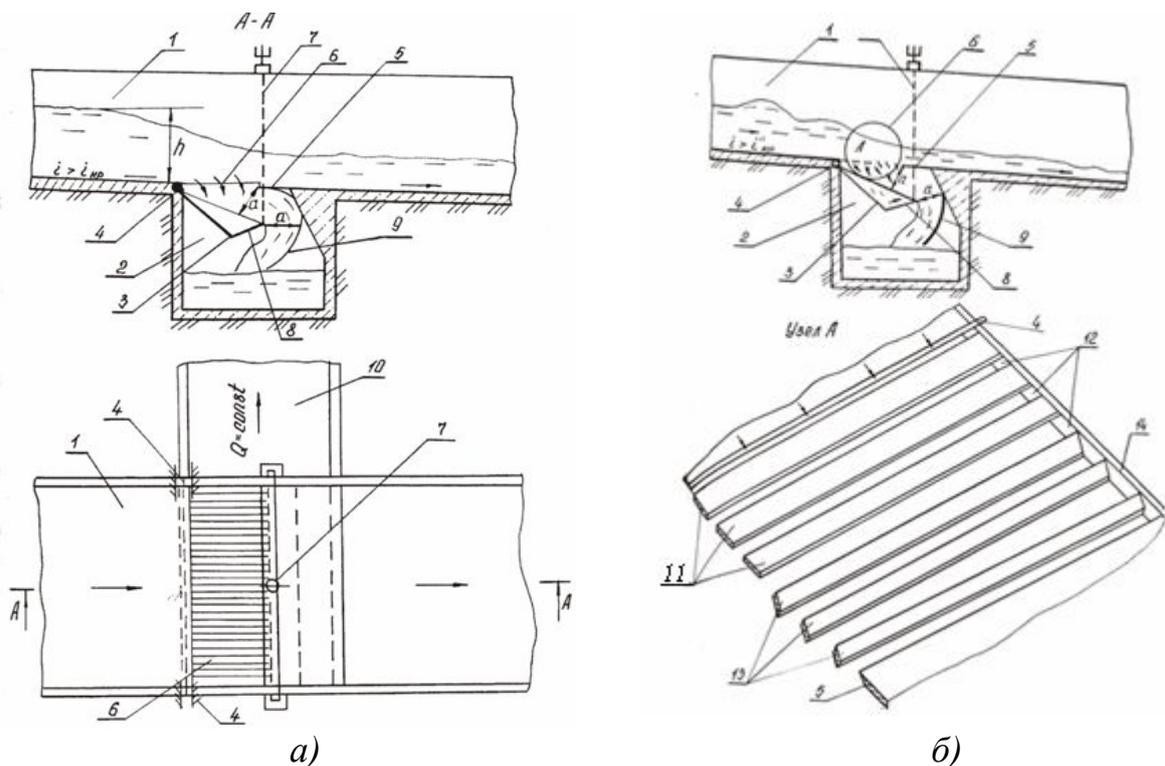


Рис. 1.20. Водовыпуски стабилизаторы расхода воды (ВСРБК): а – для канала с бурным режимом течения; б – для канала со сверхбурным режимом течения.

Водовыпуск – стабилизатор расхода воды для быстротечных каналов (ВСРБК-1) (рис. 1.20 а) [69], разработанный в Киргизском СХИ, состоит из канала 1, в дне которого выполнен колодец 2, имеющий щит 3 с горизонтальной осью вращения 4, козырька 5 и решетки 6. Щит 3 снабжен приводом 7, на конце щита 3 выполнен наклонный козырек 8. Колодец 2 снабжен вогнутой пластиной 9. Из колодца 2 вода поступает в отводящий водовод 10.

В условиях сверхбурного (волнового) потока напор периодически меняется при прохождении гребня каждой волны, вследствие чего, стабилизатор теряет устойчивую работу. Поэтому, с целью расширения возможности его работы и в условиях волнового режима потока, был предложен водовыпуск – стабилизатор расхода из быстротечного канала (ВСРБК - 2).

ВСРБК-2 (рис. 1.20 б) отличается от предыдущего тем, что вместо решетки установлена решетчатая плита – б преобразователь сверхбурного потока в бурностремительный. Она выполнена из плоских горизонтальных и поперечных пластин 11, имеющих убывающую по течению ширину и образующие между собой прорези 12 (см. узел А), с возрастающей по течению площадью, причем пластины 11 в верхней половине плиты б располагаются горизонтально, а пластины 13 в нижней половине плиты – с наклоном против течения. Пластины 11 и 13 привариваются к раме 14, шарнирно закрепленной на оси 4. Концевая часть решетчатой плиты б упирается на упоры 15, закрепленные в боковых стенках быстротечного канала 1.

Описанные конструкции водовыпусков–стабилизаторов расхода воды существенно отличаются от существующих конструкций донных водовыпусков–стабилизаторов, прежде всего тем, что они позволяют стабилизировать отводимый расход воды. Однако и они не лишены недостатков. Основным недостатком обеих конструкций ВСРБК является ненадежность подвижных металлических частей стабилизатора.

При работе с высокоскоростными бурным и сверхбурным потоками конструкции стабилизаторов не всегда обеспечивают требуемую точность отводимых расходов воды и быстро выходят из строя, не выдерживая динамических пульсаций на поперечных металлических козырьках. Возможно также заклинивание подвижных затворов плавающими предметами.

Вопросам разработок и исследований вододелителей для каналов-быстротоков посвящены также работы Андреева П.И. [71], Баялинова Д.А. [72], Беркалиева Б.З.[73], Бобохидзе Ш.С. [74], Бочкарева Я.В. [75], Вагапова Р.И. [89], Лаврова Н.П. [29], Микаеляна В.Г.[76], Руруа Б.Г. [77] и мн. др.

Автоматизированный водораспределительный узел (АВУ) на канале Беловодский Московского района Чуйской области Кыргызстана приведен на рис. 1.21.

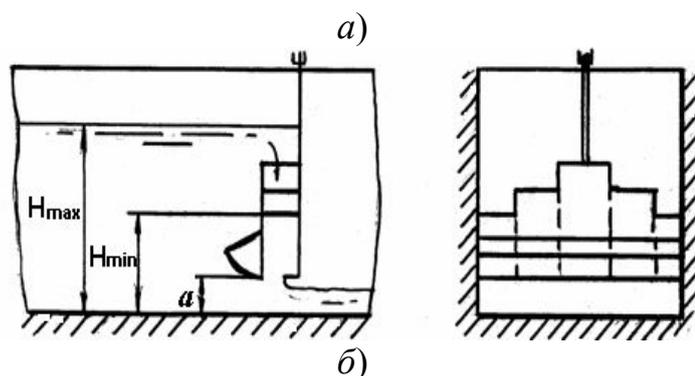


Рис. 1.21. АВУ на канале Беловодский Московского района: а – общий вид; б – схема установленного на боковых отводах стабилизатора расхода воды типа «секционный ступенчатый коробчатый щит».

Водораспределительный узел на канале Беловодский (рис. 1.21 а) включает промывник-регулятор и два стабилизатора расхода воды типа «секционный ступенчатый коробчатый щит» (рис. 1.21 б) [1,78], расположенные в водоприемной камере, отгороженной от основного потока наносонаправляющим порогом. В основе функционирования данного стабилизатора имеет место принцип обеспечения постоянства расхода воды

за счет изменения коэффициента расхода обратно пропорционально величине \sqrt{H} , где H - действующий напор. На подходе к АВУ располагается гаситель энергии потока воды, имеющий боковые стенки. На рис. 1.21 а видно, что узел работает в напряженном режиме. Гаситель энергии забивается плавником и мусором, и с трудом справляется со своей основной функцией. Недостатком этой конструкции водораспределительного узла является неоправданная сложность конструкций, подверженность завалу наносами, быстрая засоряемость каналов гасителя ветками деревьев, травой и мусором.

На рис. 1.22 изображен водораспределительный узел на канале-быстротоке Жаламыш Сукулукского района, включающий затвор-автомат уровня верхнего бьефа и установленные на отводах стабилизаторы расхода воды типа «секционный ступенчатый коробчатый щит», предназначенные для обеспечения постоянства отводимых расходов воды в боковые каналы.



Рис. 1.22. Автоматизированный водораспределительный узел (АВУ) на канале Жаламыш Сукулукского района.

В верхнем бьефе водораспределительного узла имеется гаситель энергии потока воды.

Основным недостатком работы приведенного гидроузла является сложность его конструкции. Вместо одного вододелителя здесь приходится сооружать три отдельных сооружения (гаситель энергии сверхбурного потока, авторегулятор предельного уровня и стабилизаторы расхода воды в отводы. Поэтому такие конструкции АВУ приемлемы в случаях, когда распределение сверхбурного потока производится на три и более отводов.

На АВУ Жаламыш, построенном на четыре года позже, чем АВУ на канале Беловодский, засорение гасителя энергии потока ветками, плавником и мусором является минимальным. Проанализировав недостатки гасителя на канале Беловодский, авторы конструкции [29] АВУ запроектировали перегородки гасителя на канале Жаламыш расширяющимися в плане и не имеющими верхних направляющих стенок.

Таким образом, одним из основных недостатков большинства рассмотренных в настоящем параграфе конструкций является сложность их конструкций и недостаточно эффективное использование в условиях сверхбурных потоков. Кроме прочего, водораспределительные узлы по сравнению с вододелителями занимают гораздо большую площадь и объем затрат на строительство. Это позволило сделать вывод о необходимости разработки усовершенствованной конструкции вододелительного сооружения для каналов со сверхбурным режимом течения, который чаще всего имеет место на каналах-быстротоках предгорной и горной зон Кыргызстана.

С целью разработки рекомендаций к конструкциям вододелителей сверхбурных потоков на каналах-быстротоках нужно провести анализ не только конструктивных, но и теоретических основ вододеления сверхбурных потоков.

1.6 Пути совершенствования водомерных и водораспределительных сооружений оросительных систем горно-предгорной зоны

Сегодня в условиях перехода к рыночным отношениям как никогда остро встала проблема экономии водных ресурсов, строгого учета оросительной воды.

Использование усовершенствованных средств водоучета и водораспределения на каналах-быстротоках, а не только на каналах с докритическими уклонами, позволит обеспечить баланс стока воды и нормированную водоподачу на всей гидромелиоративной системе. Это предполагает создание новых конструкций водомерных и водораспределительных сооружений, предназначенных для учета воды и водораспределения на каналах с критическими и сверхкритическими уклонами, позволяющих исключить недостатки существующих конструкций. При этом водомеры позволят обеспечить однозначную зависимость расхода или стока от измеряемого параметра, например уровня воды, а вододелители будут способствовать повышению надежности сооружения и технологичности процесса водоподачи.

Для создания новых усовершенствованных сооружений водоучета и водораспределения на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны следует руководствоваться техническими условиями и требованиями к этим средствам, представленными в разделе 2.9.

Прежде всего, каждое из средств водоучета и водораспределения должно обеспечивать максимальное выполнение технологических операций непосредственно на пункте водоучета. Важна также, особенно при коммерческом водоучете, защищенность сооружений и их приборных элементов от злоумышленного воздействия, то есть невозможность как-то повлиять на фиксируемые прибором данные или изменить их.

Необходимо обеспечить возможность быстрой замены и реставрации элементов сооружений водоучета и водораспределения, по какой-либо причине вышедших из строя.

При разработке усовершенствованных сооружений водоучета одним из наиболее приемлемых может считаться упрощение приборов и элементов водомеров до минимума и быстрая замена на новый при изменении местных условий или при выходе из строя. Этот вариант дает вполне удовлетворяющие современным требованиям результаты. Средства водораспределения на каналах с большими уклонами должны содержать минимальное необходимое количество составных элементов, способствующих обеспечить процесс вододеления и не создавать дополнительных сопротивлений основному высокоскоростному потоку.

Современные водомеры для каналов с большими уклонами должны обеспечивать требуемую точность измерения. При этом следует помнить, что измерение параметров расхода и стока воды в каналах-быстротоках с высокоскоростным нестационарным режимом течения является достаточно трудоемким процессом.

Разработка водомеров и вододелителей для каналов-быстротоков должна проводиться с учетом законов гидродинамики.

Надежность работы водомерных и водораспределительных сооружений зависит также от их способности пропускать по транзиту плавник, мусор и взвешенные наносы в канале.

При проектировании водомерных и водораспределительных сооружений необходимо учитывать возможность их действия как в условиях «полуинженерной» эксплуатации, так и в условиях полной автоматизации оросительной системы.

Создание новых усовершенствованных образцов водомера и вододелителя, способных обеспечить технологические процессы водоучета и водораспределения на современном уровне, должно предусматривать оптимальную стоимость проектов и внедрения этих сооружений. Простота конструктивного исполнения и эксплуатации сочетается с минимальными затратами на изготовление и монтаж усовершенствованных конструкций.

Сооружения должны обеспечивать надежность как в конструктивном отношении, так и в осуществлении технологических процессов водоучета и водораспределения.

Вышеизложенное обосновывает необходимость разработки новых усовершенствованных конструкций водомерного сооружения для целей водоучета и водораспределительного сооружения для водоподачи из каналов-быстротоков горно-предгорной зоны, отвечающие техническим условиям и требованиям (раздел 2.9) к ним.

1.7 Цели и задачи разработок и исследований

Исходя из изложенного в настоящем разделе, сформулируем основные цели и задачи исследований настоящей диссертационной работы.

Основной целью данной работы является совершенствование теории и методов расчетного обоснования сооружений водоучета и водораспределения для оросительных систем горно-предгорной зоны, позволяющих сократить материалоемкость, улучшить эксплуатационные характеристики, повысить надежность работы водомерных и водораспределительных сооружений и оросительной системы в целом.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд научных и технических задач:

1. Проанализировать технологические приемы водоучета и водораспределения, а также условия их применения на оросительных системах горно-предгорной зоны. Рассмотреть технологию и схемы водоучета и водораспределения на каналах оросительных систем в горно-предгорной зоне.
2. На основе обзора и анализа существующих сооружений водоучета и водораспределения на каналах-быстротоках разработать и обосновать новые усовершенствованные средства водоучета и водораспределения для каналов оросительных систем горно-предгорной зоны.

3. Выполнить теоретическое обоснование процессов водоучета и водораспределения на каналах с уклонами больше критического, включая математическое описание процесса отбора воды в вододелителе для каналов со сверхбурным режимом течения.
4. Выполнить анализ гидравлических характеристик сооружений водораспределения на быстротечных каналах горно-предгорной зоны. При этом рассмотреть режимы истечения через вододелители и особенности их работы при различных расходах в транзитном канале-быстротоке.
5. Провести натурное обследование водомерных сооружений на каналах горно-предгорной зоны, а также натурные исследования вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения на примере вододелителя в составе водозаборного сооружения для резервного водоснабжения ТЭЦ г.Бишкек.
6. Разработать усовершенствованные конструкции водомерных и водораспределительных сооружений для каналов горно-предгорной зоны. Провести экспериментальные исследования предложенных конструкций, включая исследование показателей качества водоучета водомерным сооружением, исследования пропускной и волногасящей способности вододелителя, а также его стабилизирующей способности. Экспериментально исследовать кинематическую структуру потока в зоне установки водомерного и водораспределительного сооружений предложенных конструкций.
7. Разработать методики расчета усовершенствованных конструкций водомерного сооружения и вододелителя для каналов горно-предгорной зоны.
8. Апробировать на натуральных объектах предложенные конструкции водомерных и водораспределительных сооружений для каналов горно-предгорной зоны. Провести исследования предложенных конструкций в

натурных условиях и проанализировать результаты проведенных исследований.

9. Разработать рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации водомерных и водораспределительных сооружений для каналов оросительных систем, расположенных в горно-предгорной зоне.

ГЛАВА 2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОДОУЧЕТА И ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ

2.1 Анализ технологических приемов водоучета на оросительных системах горно-предгорной зоны

Важнейшим условием эффективной работы оросительных систем является объективный и оперативный водоучет [2].

Водоучет составляет основу для диспетчерского управления водораспределением и водоподачей на оросительных системах. Он позволяет обеспечить контроль за использованием водных ресурсов и состоянием орошаемых земель, надзор за экологической обстановкой в районе использования оросительной системы.

Технологические приемы, с помощью которых реализуется процесс водоучета, вполне закономерны, поскольку известно, что существуют области изменения местных условий, в которых тот или иной прием наиболее целесообразен [3, 79]. Учитывая специфику условий горно-предгорной зоны, в которой располагается основная часть оросительных систем Кыргызстана, произведем отбор наиболее перспективных для этой зоны технологических приемов водоучета. Для этого используем литературные источники, научные и проектные материалы [2, 3, 31, 40, 50 и др.].

Одним из наиболее широко используемых технологических приемов при обеспечении водоучета является устройство прямолинейных вставок определенной длины перед преобразователем потока и за ним. Такой технологический прием приводит к увеличению длины сооружения и его элементов, вложению дополнительных финансовых средств на строительство и т. п. Помимо этого набегание на препятствие высокоскоростного потока в

каналах-быстротоках приводит к выплескам воды за пределы сооружения, что нарушает режим его работы.

Еще одним технологическим приемом при водоучете является размещение перед преобразователем потока решеток, сотов особых конструкций и т.п. В этом случае часто происходит засорение этих элементов плавником, мусором и крупными фракциями наносов, ввиду чего имеют место потери напора.

Устройство перепадов с неподтопленным истечением также представляет собой технологический прием при осуществлении водоучета. В этом случае для исключения образования гидравлического прыжка и местных размывов в нижнем бьефе сооружения, требуется строительство недешевых водобойных колодцев из железобетона.

Технологический прием регулирования уровней воды в нижнем бьефе редко применяется при схемах с непосредственным отбором, характерных для каналов оросительных систем горно-предгорной зоны.

Использование фиксированных русел, сужающих устройств, гидрометрических лотков достаточно распространено на оросительных системах долинного типа, на каналах с уклонами больше критического этот прием приводит к появлению выплесков высокоскоростного потока за пределы сооружения, что не совместимо с водоучетом.

Следующий технологический прием, представляющий собой установку стандартных диафрагм, труб Вентури, Далла, колен требует дополнительного строительства переходных и сопрягающих участков, а также вносит возмущения в высокоскоростной поток.

Размещение в гидрометрическом створе датчиков минимально влияет на структуру потока, поскольку датчики обычно размещаются в водомерных колодцах, однако, устройства для преобразования сигнала датчика и передачи его на расстояние обычно дорогостоящи и требуют специального обслуживания.

Отмеченные недостатки технологических приемов должны быть минимальными при осуществлении технологического процесса водоучета на каждом конкретном объекте.

Применяемые технологические процессы должны быть совместимы при наличии оптимальной технологии функционирования системы водоучета. При этом необходимо рассмотреть водораспределение как технологический процесс, имеющий место на оросительной системе, при котором используется водоучет.

Основные технологические операции, входящие в состав водораспределения на оросительной системе [3]: **водообеспечение, вододеление и водоподача.**

Каждая из этих операций является достаточно трудоемкой.

На водоучет может оказывать влияние только операция вододеления, которая охватывается такими действиями, как обеспечение требуемых напоров на пороге водовыпуска, отделение необходимой части расхода от общего потока, поступающего в точку вододеления, сброс излишних расходов и транзитные попуски. Указанные действия аналогичны действиям водоотбора при водозаборе, однако имеют ряд особенностей, накладываемых спецификой процесса вододеления. Например, здесь довольно широко применяется пропорциональное вододеление, особенно на системах с непосредственным отбором по длине канала.

Осуществление процесса вододеления между с/х потребителями невозможно без оперативного водоучета (надо знать, сколько поступило воды к вододелителю, сколько и куда воды направлено). Задачи же оперативного водоучета практически совпадают с задачами технического водоучета, можно использовать данные технического водоучета при оперативном водораспределении. Поэтому территориально гидросты располагаются на водоводах - каналах, лотках, трубопроводах и т.п., цель которых - доставка требуемого количества воды к вододелителю. При этом

следует учитывать, что общие задачи водоучета глубже и объемнее, чем задачи оперативного водоучета при водораспределении - для технического водоучета необходимо знать расход, а для коммерческого - сток воды, для оперативного же водоучета при водораспределении достаточно бывает информации об уровне или давлении, причем в фиксации этих данных нет необходимости.

Если рассматривать водообеспечение при водораспределении и преобразование потока при водоучете, то выявляется отрицательное влияние технологических приемов друг на друга. Совместное применение вододеления при водораспределении и преобразования потока при водоучете дает возможность показать взаимозависимость рассматриваемых технологических приемов. Например, обеспечение требуемых напоров на пороге водоприемника (действие вододеления) отрицательно влияет на выполнение технологической операции преобразования потока [3].

Проведем более подробный анализ совместного применения технологических приемов водоучета и водораспределения на оросительных системах горно-предгорной зоны, составленной на основе литературы [3, 6, 18, 23, 37].

Наличие при водоучете прямолинейных вставок рядом с преобразователем в случае устройства подпорных сооружений в открытых и закрытых водоводах приводит к негативному влиянию подпора на метрологические свойства преобразователя расхода, особенно при подпорно-переменном режиме работы. Наличие прямолинейных вставок при устройстве регулирующих сооружений в открытых и закрытых водоводах вызывает возмущения в потоке особенно на каналах с уклонами больше критических.

Перепады с неподтопленным истечением при наличии подпорных сооружений в открытых и закрытых водоводах при малых уклонах приводят к подтоплению с нижнего бьефа и нарушению режима работы сооружения, при

больших уклонах вызывает необходимость гасителей энергии бурного и сверхбурного потока. Наличие перепадов при устройстве регулирующих сооружений в открытых и закрытых водоводах приводит к погрешности при водоучете за счет возмущений, а также подтоплению перепада со стороны нижнего бьефа.

При регулировании уровней воды в нижнем бьефе сооружения и устройстве подпорных сооружений необходимо обеспечение постоянного контроля за уровнем воды в нижнем бьефе и обеспечение своевременных сбросов излишков воды, что может привести к не обеспечению требуемой водоподачи. В случае регулирования уровней воды в нижнем бьефе и устройстве регулирующих сооружений в открытых и закрытых водоводах, сооружения будут вносить возмущения в процесс водоучета, что приведет к нежелательному подтоплению перепада со стороны нижнего бьефа.

Проведенный анализ комплексного использования водораспределения и водоучета на оросительных системах показывает тесную связь и зависимость этих приемов друг от друга. Поэтому на стадии проектирования оросительной системы необходимо параллельно рассматривать вопросы размещения сооружений водораспределения и водоучета особенно в условиях горно-предгорной зоны, где имеют место каналы с уклонами больше критических.

При разработке схем водораспределения необходимо принимать во внимание схемы водоучета [31,79]. Это связано с тем, что местоположение и компоновка пунктов коммерческого водоучета во многом определяется схемой расположения и подключения потребителей.

Анализ материалов данного раздела позволяет вскрыть негативные моменты на оросительных системах горно-предгорной зоны в случае несоблюдения этих основных принципов, в особенности принципов совместимости и эффективности. При этом качественный водоучет возможен

только в случае совместимости технологических приемов при любом сочетании операций всех мелиоративных технологических процессов.

Однако специалисты утверждают [2, 3, 29], что не всегда можно отказаться от применения несовместимых технологических приемов, поскольку, отбрасывая те или иные приемы, мы должны их заменять другими, компенсирующими технологическими приемами, стоимость которых может быть довольно значительной. Можно, конечно, использовать последовательное применение несовместимых технологических приемов. Это позволит в ряде случаев применять преимущество технологические схемы с рассредоточенным выполнением операций [31, 79], что применяется на оросительных системах горно-предгорной зоны.

Ниже в разделе 2.2 более подробно рассмотрим технологию и основные схемы водоучета на оросительных системах горно-предгорной зоны.

2.2 Технология и схемы водоучета на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны

Технологическое обоснование водоучета на оросительной системе включает, прежде всего, технологические схемы водоучета, пункты водоучета и технику водоучета. Перечисленные составляющие являются весьма разнообразными и зависят от региона размещения оросительной системы и ее параметров.

В горно-предгорной зоне, как и долинной, гидромелиоративная система имеет сложную разветвленную сеть гидрометрических сооружений различного назначения. Они способствуют гидрометрическому обеспечению системы с целью оперативного управления на оросительной сети, а также выполнения гидрологических и водохозяйственных расчетов.

Горно-предгорная зона предполагает наличие достаточно больших уклонов местности, что, чаще всего, требует облицовки каналов в бетонные

одежды. Это условие делает возможным использование для целей водоучета на оросительных каналах различных регулирующих средств (затворов и др.), в случае, если этому не препятствует энергетическое состояние потока (бурное, сверхбурное).

Для определения расходов воды в открытых потоках в практической гидрометрии применяются косвенные измерения в гидрометрических створах на реках и каналах, гидрометрических сооружениях и устройствах, а также градуированных гидротехнических сооружениях.

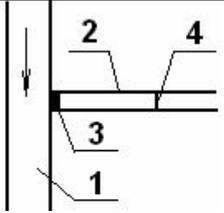
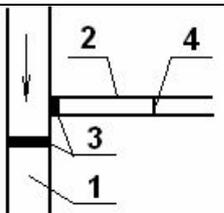
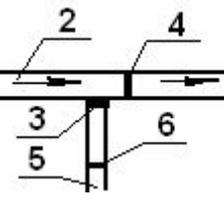
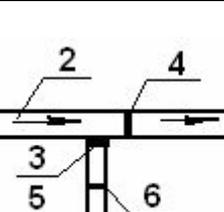
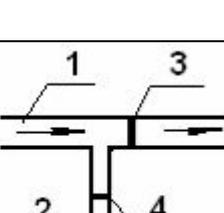
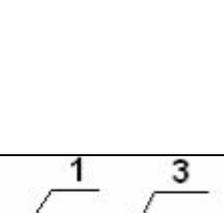
Однако если на каналах долинной зоны можно широко использовать все методы косвенных измерений, включая применение водомеров-автоматов и водомеров-стабилизаторов выходного параметра (уровня, расхода и др.), то на каналах-быстротоках это сделать значительно сложнее. На быстротечных каналах устройство перегораживающих сооружений, оснащенных затворами-водомерами, вызывает нарушение структуры потока, приводящее к обильным выплескам воды за пределы канала, чрезмерным динамическим нагрузкам на затвор, приводящим к постепенному разрушению сооружения. При этом следует отметить, что в горно-предгорной зоне на каналах с уклонами меньше критического в последнее время также достаточно широко используются сооружения, оснащенные водомерными устройствами, включающими затворы, насадки, водосливы и др. [62].

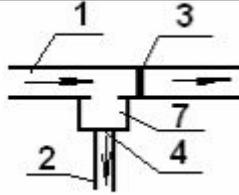
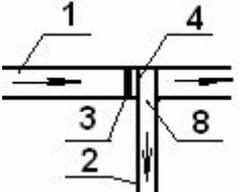
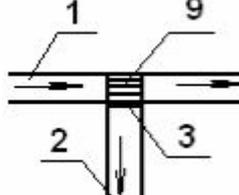
Удачной является компоновка водомерного сооружения на канале в комплексе с водораспределительным гидроузлом.

На основе разработанных нами рекомендаций [31, 32, 81,82], можно представить следующие технологические схемы размещения вододелителей-водомеров в составе узла (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Технологические схемы размещения вододелителей-водомеров и основные характеристики узлов

Наименование узла	Схема	Рекомендуемый водомер и регулятор	Достоинства	Недостатки
-------------------	-------	-----------------------------------	-------------	------------

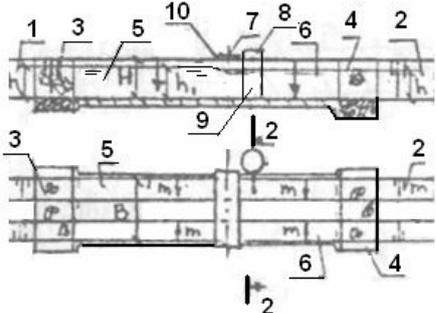
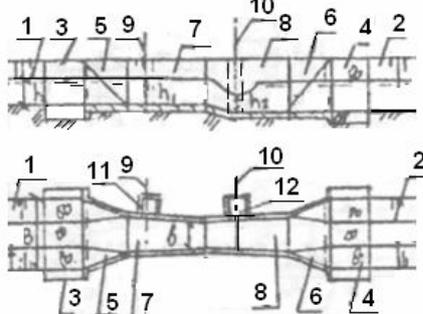
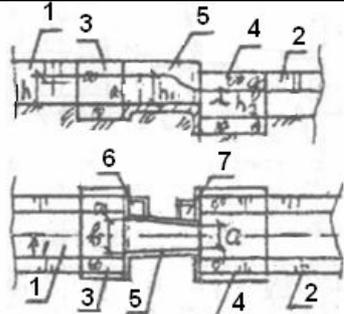
Водовыпуск-водомер		Стационарный или съемный водослив с постоянной высотой порога	Съемный водослив позволяет осуществлять промыв наносов при заилении верхнего бьефа	При стационарном водосливе очистка от наносов осуществл. ручным способом
Продолжение табл. 2.1				
Вододелитель-водомер		То же	То же	То же, ненадежность функционирования на каналах-быстроотоках
Вододелитель-водомер		Стационарный водослив с постоянной высотой порога	Регулирование водоподачи проводится одним затвором, промыв наносов осуществл. При подаче воды в отвод, улучшается командование над отводом	То же, ненадежность функционирования на каналах-быстроотоках
Вододелитель-водомер		Съемный водослив с регулируемым порогом, затвор-водомер	То же, при появлении опасности затопления осуществл. Поднятие порога водослива, создавая свободный режим истечения	То же, ненадежность функционирования на каналах-быстроотоках
Вододелитель-водомер		Стационарный или съемный водослив с постоянной высотой порога	Съемный водослив позволяет осуществлять промыв наносов при заилении верхнего бьефа, регулирование водоподачи одним затвором	При стационарном водосливе очистка водотока от наносов выполняется вручную, ненадежность функционирования на каналах-быстроотоках
Вододелитель-водомер		Стационарный или съемный водослив с постоянной высотой порога	Поддерживается свободный режим истечения, осуществляется промыв наносов при заилении колодца-	То же

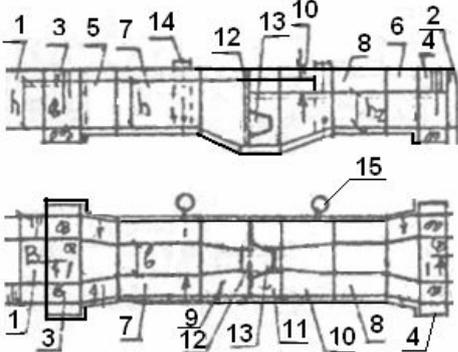
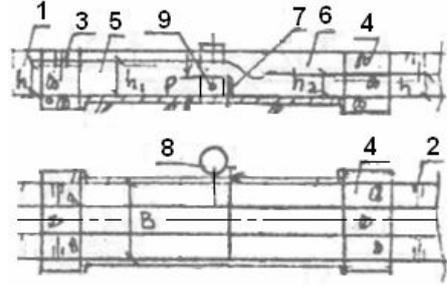
		регулируемой высотой порога	гасителя.	
Вододелитель-водомер		Затвор-водомер	То же	То же
Продолжение табл. 2.1				
Вододелитель-водомер		Стационарный водослив с постоянной высотой порога	Регулирование водоподачи одним затвором, промыв при заилении верхнего бьефа	То же
Вододелитель-стабилизатор расхода отвода		Стабилизатор расхода воды, установленный в донной траншее на транзитном канале	Обеспечение требуемого качества водоподачи, многофункциональность	Необходимость обеспечения гарантированного командования над отводящим каналом
Обозначения: 1 – межхозяйственный канал; 2 – хозяйственный канал; 3 – затвор; 4 - водослив; 5 – отвод; 6 – существующий гидрост; 7 – колодец-гаситель; 8 – лоток; 9 – стабилизатор расхода воды типа ВСРБК				

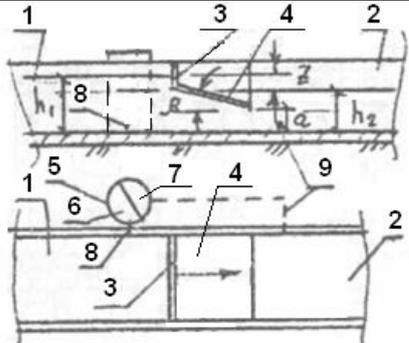
Для целей водоучета на каналах оросительных систем без отбора воды в створе учета в настоящее время наиболее широко используются лотки-водомеры различных конструкций. Рассмотрим наиболее известные [3,82] из них (таблица 2.2).

Таблица 2.2 - Основные схемы размещения лотков-водомеров и основные характеристики узлов

Наименование узла	Схема	Измер. Величины	Достоинства	Недостатки
-------------------	-------	-----------------	-------------	------------

Фиксированное русло САНИИРИ	 <p>1,2 – Подводящее и отводящее русла; 3,4 – переходные участки; 5,6 – Верхняя и нижняя части фиксированного русла; 7 –Водомерный створ; 9 – Труба; 10 - Мостик</p>	Высота уровня воды над отметкой фиксированного русла Н до 5 м	Простота конструкции и эксплуатации, отсутствие помех в русле, возможность использования любых приборов для измерения уровней	Зависимость от наносного режима, необходимость в организации контрольных замеров расхода при отложениях наносов в русле, большие размеры сооружения
Продолжение табл.2.2				
Лоток Вентури-Паршала	 <p>1, 2 – Подводящее и отводящее русла; 3,4,5,6 – Входной и выходной переходные участки; 7,8 – Конфузорная и диффузорная части лотка; 9,10 – Верхний и нижний створы измерения уровня; 11,12 – Водомерные колодцы</p>	Высота уровня воды над отм. дна лотка в в ВБ h_1 и глубина воды в сжатом сечении h_2 до 2,5 м	То же, отсутствие подпора в верхнем бьефе, возможность затопления нижнего бьефа, возможность использования вместо сопрягающих или соединительных лотков	То же, сложность конструкции, ограниченность небольшими расходами и уровнями, нежелательность применения на быстротоках
Лоток САНИИРИ	 <p>1, 2 – Подводящее и отводящее русло; 3,4 – Переходные участки; 5 – Лоток; 6 – Водомерный колодец ВБ; 7 - Водомерный колодец НБ</p>	Глубина воды в ВБ h_1 при незатопл. истечении; глубины h_1 и h_2 при затопл. и стечении – 2,25 м	То же, сравнительно небольшие продольные габариты	То же, возможность заметного нерегулируемого подпора в верхнем бьефе

<p>Водомерный сходящийся насадок САНИИРИ в отдельной стенке</p>	 <p>1,2 – Подводящее и отводящее русло; 3-6,9-11 – Переходные участки; 7,8 – Входная и выходная части русла; 12 – Диафрагма; 13 - Насадок; 14,15 – Водомерные колодцы</p>	<p>Глубины h_1 и h_2 до 2,25 м или перепад z до 0,5 м</p>	<p>Простота конструкции, заводское изготовление насадка, возможность использования в бьефах неправильной формы, малая возможность заилиения ВБ</p>	<p>Скорости в ВБ не более 0,25 м/с, Обязательное подтопление с НБ, возникновение нерегулируемого подпора в ВБ с возможным заилиением, неприменимость на быстротоках</p>
<p>Продолжение табл.2.2</p>				
<p>Фиксированное русло с водосливом с тонкой стенкой</p>	 <p>1,2 – Подводящее и отводящее русло; 3,4 - Переходные участки; 5,6 – Верхняя и нижняя части фиксированного русла; 7 – Водослив; 8 - Колодец; 9 - Труба</p>	<p>Напор над кромкой водослива h до 1,25 м</p>	<p>Простота конструкции, возможность заводского изготовления порога, возможность использования в бьефах неправильной формы</p>	<p>Скорости в ВБ не более 0,25 м/с, наличие перепада, неподтопление с НБ, возникновение нерегулируемого подпора в ВБ, неприменимость на быстротоках</p>

<p>Сужающееся устройство УкраинийГим</p>	 <p>1,2 – Подводящее и отводящее русла; 3 – Диафрагма; 4 – Сужающая часть; 5 – Водомерный колодец; 6,7 – Части колодца, соединенные с бьефами; 8,9 – трубы</p>	<p>Глубины h_1 и h_2 до 2,25 м или перепад z до 0,6 м</p>	<p>Простота конструкции, заводское изготовление сужающего устройства, возможность использования в пролетах мостов, малая возможность заилиения ВБ</p>	<p>То же</p>
--	---	--	---	--------------

Анализ рассмотренных технологических схем водоучета позволяет оценить возможность применения рассмотренных ранее (раздел 1.3) средств водоучета выполнить выбор вида водомерного сооружения на оросительном канале с уклоном больше критического в горно-предгорной зоне.

2.3 Анализ конструкций водомерных сооружений для каналов оросительных систем горно-предгорной зоны

При выборе типа водомерного сооружения необходимо, прежде всего, исходить из его основного назначения. Основное назначение водомерного сооружения (устройства) – это обеспечение минимальности количества измеряемых параметров и их стабильности в процессе измерения. Поэтому выбор гидрометрического сооружения зависит от того, открытая или закрытая оросительная сеть, от того, существует ли возможность для создания перепада в створе гидропоста и др. При выборе вида водомерного сооружения можно руководствоваться рекомендациями табл. 2.1 и 2.2.

В Кыргызской Республике наибольшее распространение получили оросительные системы открытого типа. На открытой оросительной сети независимо от уклона каналов в некоторых случаях вместо специального водомерного сооружения может быть использовано любое сетевое гидротехническое сооружение, обеспечивающее минимальность количества

и стабильность измеряемых параметров в процессе выполнения своей основной задачи.

На закрытой (напорной) мелиоративной сети в гоно-предгорной зоне, где имеют место достаточно большие уклоны местности, специальное водомерное сооружение может не выполняться, а вместо него на участке трубопровода может быть установлено средство водоучета в виде прибора или устройства. Возможно также и использование какого-либо сетевого гидротехнического сооружения, которое отвечает требованиям водоучета при условии оснащения его соответствующим гидрометрическим оборудованием.

Для водоучета на гидромелиоративных системах используются специальные гидрометрические сооружения, а также регулируемые и нерегулируемые (водопрпускные) гидротехнические сооружения, обладающие водомерными свойствами. К *специальным гидрометрическим сооружениям* мелиоративных систем относятся гидропосты с фиксированным руслом, гидрометрические лотки (таблица 2.2), мерные водосливы и водомерные насадки.

Для придания водомерных *свойств сетевым гидротехническим сооружениям*, они оборудуются сужающими устройствами, водомерными приставками и т.п. элементами, общие компоновочные и конструктивные решения которых регламентируются соответствующими нормативными документами.

При этом следует помнить, что в условиях горно-предгорной зоны только каналы с уклонами меньше критических могут использовать все сооружения, приведенные выше. На каналах-быстротоках при устройстве сооружений следует исключить появление гидравлического прыжка, не позволяющего выполнять основную функцию сооружения.

Для повышения надежности водомерного сооружения выполняется его градуировка во всем возможном диапазоне изменения параметров, чтобы

определить зависимости их изменения от основного (измеряемого) параметра и ввести их в расчетную формулу. Градуировка выполняется измерением расхода на вышележащих или нижележащих гидростаях с учетом времени добегания при условии полного отсутствия потерь воды или ее дополнительного притока.

К компоновке водомерных сооружений предъявляется ряд требований:

- 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;
- водомерное сооружение и отдельные его элементы должны быть надежно защищены от воздействия потока или возможных воздействий со стороны других элементов, устройств и оборудования;
- использование гидротехнического сооружения для водоучета не должно отрицательно влиять на выполнение им своих основных функций, то есть того, ради чего создано это сооружение.

Необходимость обеспечения водомерности накладывает ряд требований к конструкциям и размерам некоторых элементов сооружений - переходных и сопрягающих участков, прямолинейных вставок и т.п. Технические характеристики и параметры ряда средств водоучета приведены в разделе 1.3, причем пределы изменения параметров довольно широки - от двух до трех-четырех раз. Обычно достаточно назначать среднее значение параметров, однако применяется и назначение минимальных и максимальных величин. При этом необходимо учитывать, что максимальное значение длин переходных и сопрягающих участков, а также прямолинейных вставок назначается при более высоких бытовых скоростях потока (более 1-1.5 м/с), минимальные - при малых скоростях (менее 0.5 м/с). При

назначении параметров входного и выходного переходных участков сооружения обычно большее значение длины этих участков принимается в случае, когда ширина подводящей (отводящей) части канала довольно сильно отличается от ширины водомерной части сооружения.

Для более полного анализа водомерных сооружений на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны следует кроме проведенного в настоящем подразделе обоснования технологических параметров и конструктивных особенностей размещения сооружений изучить теоретические основы высокоскоростных потоков на быстротечных каналах, на которых устанавливаются рассмотренные сооружения водоучета.

2.4 Теоретические основы сверхбурных потоков на каналах-быстротоках

Одной из самых малоизученных областей гидравлики сверхбурных (волновых) потоков [29] на сегодняшний день являются водоучет и отдельные аспекты вододеления. Поэтому для того, чтобы перейти к описанию процессов вододеления и водоучета сверхбурных потоков и наметить пути их дальнейшего совершенствования, необходимо изучить основные теоретические закономерности волновых процессов на быстротечных каналах и кратко проанализировать их особенности.

Как известно, основной причиной образования катящихся волн на быстротоках является потеря устойчивости высокоскоростного потока.

На сегодняшний день решению проблемы устойчивости высокоскоростного нестационарного потока воды в открытых каналах посвящены научные работы таких известных ученых, как Богомолов А.И., Ведерников В.В., Вагапов Р.И., Высоцкий Л.И., Войнич-Сяноженцкий Т.Г., Гамбарян А.О., Егиазаров И.В., Емцев Б.Т., Картвелишвили Н.А., Лавров Н.П., Слисский С.М., Христианович С.А., и др. [29, 68, 70, 83-96], а также работы зарубежных ученых Askers P., Brock R. R., Cornish V., Dressier R. F.,

Fridrichs K. O., Ghambarjan H. H., Haindl K., Ishihara T., Iwasa Y., Jeffreys H., Keller J. B., Keulegan G. H., Korteweg D. J., Montuori C., Replogle J.A. и др.[97-112].

Наиболее оправдавшим себя на сегодняшний день аналитическим условием устойчивости как для равномерного, так и для плавно изменяющегося неравномерного движения жидкости является критериальное условие, полученное Войнич-Сяноженцким Т.Г. [84,91,92]. Используя в качестве исходной систему общих уравнений гидродинамики Колмогорова А.Н., им были получены строгие одномерные уравнения вначале в форме переноса количества движения, а затем в форме переноса энергии:

$$\frac{1}{Fr_0} \geq \Pi^2 - 2\bar{\alpha}_0 \Pi + \alpha_0, \quad (2.1)$$

где $\frac{1}{Fr_0}$ - число Фруда для равномерного потока;

$$\frac{1}{Fr_0} \geq \alpha \Pi^2 - \left(6,5\alpha_0 - 4,5 + 3,2 \frac{g}{C^2} \right) \Pi + 4\alpha_0 + 2,5 \frac{g}{C^2} - 3, \quad (2.2)$$

где $\Pi = \frac{x^* \omega_0}{2B_0 h_0}$ - формпараметр устойчивости потока; x^* - гидравлический показатель русла по Бахметеву Б.А. [113,114]; ω_0 - площадь живого сечения для нормальной глубины h_0 и ширины русла B_0 ; C - коэффициент Шези; $\bar{\alpha}_0$ - полный корректив количества движения, $\bar{\alpha}_0 = 2\alpha_0 - 1$; α_0 - коэффициент кинетической энергии (Кориолиса).

Если условия (2.1) и (2.2) выполняются, движение бурного потока асимптотически устойчиво, и волнообразования не происходит [84].

Другой распространенный критерий возникновения катящихся волн получен Богомоловым А.И. [29], путем преобразования критерия Картвелишвили Н.А. с учетом приведенного здесь корректива количества движения, записанного в виде:

$$\bar{\alpha}_0 = 2\alpha_0 - 1 \approx 1 + 2\lambda . \quad (2.3)$$

Критерий А.И. Богомолова, таким образом, имеет вид:

$$\frac{v_0}{\sqrt{gh_0}} > \frac{1,7}{1 - 3,5(\sqrt{\lambda} - 0,25)^2}, \quad (2.4)$$

где λ - коэффициент гидравлического сопротивления в формуле Вейсбаха-Дарси.

Экспериментальная проверка устойчивости высокоскоростных потоков [84] показала, что наибольшую сходимость имеет критерий Войнич-Сяноженцкого Т.Г. (2.2).

Анализ перечисленных и иных критериев устойчивости установившегося движения потока свидетельствует о том, что все критерии, независимо от исходных уравнений и условий их получения, легко приводятся к виду, идентичному числу Фруда, и отличаются между собой в основном только множителями в виде постоянных коэффициентов или некоторых функций, зависящих от характера потока и русла.

Выполненные в АрмНИИВПГ [93-95] и Киргизском СХИ [29, 65, 69] многочисленные лабораторные и натурные исследования показывают, что условие потери устойчивости потока является лишь необходимым для зарождения волн. Это объясняется стохастичностью процессов волнообразования в каналах, а также неучетом длины быстротока. Такое достаточное условие волнообразования получено в экспериментальных исследованиях Гамбаряном А.О. [86]:

$$\frac{s_e}{h_{кр}} = \frac{s_e \cdot i}{h_{кр}} \geq 120, \quad (2.5)$$

где s_e - длина быстротока; i - уклон; $h_{кр}$ - критическая глубина.

Если неравенство (2.5) соблюдается, то длина быстротока достаточна для зарождения катящихся волн.

Многие известные исследователи [91,92,96 и др.] пытаются описать параметры волнового процесса, представленного в форме «поезда» одинаковых по своим размерам волн. Это условие позволяет ввести ряд допущений и упростить процесс описания искомых параметров доступными теоретическими зависимостями. И в этом случае наиболее достоверных результатов добился Войнич-Сяноженцкий Т.Г. [91], описавший параметры волны в различных фазах.

В Рекомендациях ВНИИГ им. Веденеева Б.Е. [84] для определения параметров предельного развития катящихся волн предлагаются следующие зависимости:

фазовая скорость предельно развитых катящихся волн:

$$C_{*np} = \Pi v_0 = \frac{x^* \omega_0}{2B_0 h_0} v_0; \quad (2.6)$$

наибольшая длина развитых волн:

$$\lambda_{\max} = \frac{4\alpha_0 \pi h_0}{i_0 x^*} \sqrt{\frac{Fr_0 (Fr_0 - 1)}{1 - 4\alpha_0 B_0 h_0 / \omega}}; \quad (2.7)$$

наибольший период волн максимальной амплитуды:

$$\tau_{\max} = \frac{\lambda_{\max}}{C_{*np}}; \quad (2.8)$$

предельная высота волны:

$$h_{np.\max} = \eta_{np.\max} \cdot h_*, \quad (2.9)$$

где $\eta_{np.\max} = 1,75 \cdot \sqrt[4]{Fr_0 - 1}$, $h_* = \Pi^2 v^2 / [g(\sqrt{Fr_0} + 1)^2]$;

минимальная ордината подошвы волны:

$$h_{np.\min} = \eta_{np.\min} \cdot h_* \quad (2.10)$$

где $\eta_{np.\min} = 0,5 \eta_{np.\max} (\sqrt{1 + 8 / \eta_{np.\max}^3} - 1)$;

абсолютная высота предельно развитой волны:

$$h_{e.нр.} = (\eta_{нр.маx} - \eta_{нр.маx}) \cdot h_* ; \quad (2.11)$$

Длина участка предельного развития волн:

$$l_{нр} = 2,3 \frac{h_0 \Pi^2}{l^3 x^*} \lg \left\{ \frac{4\rho}{\rho^1} \left[\Pi^2 \frac{\sqrt{Fr_0} - 1}{(\sqrt{Fr_0} + 1)^2} - \frac{0,57}{Fr_0} \right] \right\}. \quad (2.12)$$

Перечисленные зависимости позволяют достаточно полно выполнить расчет зарождения и развития катящихся волн и на основе этого определить параметры канала-быстротока со сверхбурным течением.

Однако при установке в канале вододелительного сооружения зависимости (2.5) - (2.12) применительно к зоне установки сооружения нуждаются в уточнении, поскольку наличие водораспределительного сооружения значительно влияет на структуру потока в канале. Помимо этого, необходимо иметь описание структуры отводимого потока в камере-водориемнике и в отводящем канале.

Вместе с тем, расчетное обоснование усовершенствованных конструкций вододелителей и водомеров, позволяющих исключить указанные недостатки, требует более тщательного изучения, анализа и теоретического исследования процессов вододеления и водоучета сверхбурных потоков на быстротечных каналах. При этом выбор конструкции сооружения всецело зависит от параметров сверхбурного потока в канале. Следует учитывать также смену гидравлических режимов (сверхбурный – бурный), которая наблюдается в большинстве рассматриваемых ирригационных быстротоков с увеличением расходов и глубины воды в канале.

Теоретическое обоснование конструкций водомерных сооружений предполагает рассмотрение не только основ описания сверхбурных потоков в каналах-быстротоках, но и описание гидравлических процессов при водоучете на каналах с высокоскоростными нестационарными потоками, которому посвящен следующий раздел.

2.5 Теоретическое обоснование и способы гидравлического расчета основных видов водомерных устройств на каналах оросительных систем

Традиционно считается [2], что гидравлический расчет водомерного сооружения включает в себя расчет его пропускной способности и расчет уровенного режима верхнего и нижнего бьефов.

Для выполнения гидравлического расчета пропускной способности необходимо определить основные габариты сооружения. Для расчета уровенного режима нужна правильная вертикальная привязка водомерного сооружения, обеспечивающая плавное сопряжение уровней воды во всем диапазоне изменения расхода.

Расчет параметров водомерного сооружения типа «фиксированное русло» выполняется по традиционным формулам равномерного движения воды в открытом водоводе. В расчете принимается, что отметка уровня воды на подходном участке, на отводящем участке и на фиксированном участке сооружения одинаковы. Для обеспечения этого условия чаще всего приходится уменьшать ширину канала по дну на фиксированном участке сооружения. Если позволяют условия эксплуатации сооружения, то несколько приподнимают дно фиксированного участка сооружения, оставляя неизменной ширину по дну. Оптимальный вариант сооружения обосновывается гидравлическими расчетами для расходов от Q_{\min} до Q_{\max} из условия минимального расхождения отметок уровней на указанных участках сооружения.

Расчет водомерных лотков проводится также по формулам равномерного движения потока воды, но здесь важно правильно рассчитать сопряжение уровней воды в нижнем бьефе водомерного сооружения, с тем, чтобы исключить размывы, приводящие к нарушению свойств водоучета

сооружением. Исключить образование размывов в нижнем бьефе сооружения позволяет удлинение крепления лотка в 1.5-2 раза.

Расчет водомерного сооружения с треугольным водосливом обычно выполняется по формуле Томсона, но может быть выполнен и по зависимости:

$$Q = M_v \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{1.5}, \quad (2.13)$$

где M_v – приведенный коэффициент расхода водослива с учетом скорости подходного потока; b - ширина водомерного лотка, м; h - напор над порогом водослива с учетом высоты порога водослива, м

Необходимым является также обеспечение одинаковых отметок уровней воды на сооружении в его подходной и отводящей частях. При необходимости на сооружении устраивается порог, высота которого назначается согласно ТП 820-1-054.86 следующей: $p=(0.2...0.3)h$.

Гидравлический расчет водосливов с тонкой стенкой произвольной конфигурации проводится по формуле:

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{1.5}, \quad (2.14)$$

где Q – расчетный расход воды, проходящий через сооружение, м³/с; m – коэффициент расхода сооружения; b – ширина порога (водосливного фронта) сооружения, м; H_0 – напор над порогом сооружения с учетом скорости подхода.

Высота порога водослива выбирается таким образом, чтобы не было подтопления водослива с нижнего бьефа даже при пропуске максимальных расходов через сооружение.

Водомерный сходящийся насадок САНИИРИ (табл. 2.2) рассчитывается по формуле [31] для затопленного истечения:

$$Q = m \cdot \omega_{\text{вых}} \cdot \sqrt{2gz} \quad (2.15)$$

где Q – расчетный расход воды, проходящий через сооружение, м³/с; m – коэффициент расхода насадка, зависит от его формы и угла схождения граней; $\omega_{\text{вых}}$ – площадь выходного сечения насадка, м²; g – ускорение силы тяжести, м/с²; z – перепад уровней верхнего и нижнего бьефов, м.

Конструктивно принимается отметка местоположения верха насадка со стороны верхнего бьефа ниже уровня воды на $(0,2-0,3)h$, нижняя часть насадка заглубляется на 0,15–0,20 м под УНБ сооружения, в то время как УНБ делается выше верхней части насадка на 0,05 м и 0,15–0,20 м. При этом обеспечивается минимальное подтопление канала со стороны диафрагмы с насадком при всех расходах, пропускаемых через водомерное сооружение.

Расчет сужающего устройства конструкции УкрНИИГиМ (табл. 2.2) может выполняться по формуле (2.15), при этом коэффициент расхода m различный для различных поперечных профилей лотка, в котором установлен лоток, а также от местоположения выходной полки.

Длина лотка конструкции УкрНИИГиМ определяется по формуле:

$$L = \Delta h \cdot \sin \beta, \quad (2.16)$$

где Δh – разность входной и выходной отметок сужающего устройства, м;
 β – угол наклона выходной полки к горизонту, град.

При проектировании устройства конструкции УкрНИИГиМ обеспечивается обязательность заглубления под УВБ на глубину $(0.1 - 0.3)A$ (где A – высота входной части сужающего устройства) входной части лотка. Подтопление верхнего бьефа не должно превышать 10 – 30 %. Истечение в НБ может быть свободным или затопленным.

Расчет сооружений, оборудованных водомерными приставками (табл. 2.2), может выполняться по формуле:

$$Q = m_e \cdot \omega \cdot \sqrt{2gz_e}, \quad (2.17)$$

где Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; m_v – коэффициент расхода водомера; ω – площадь живого сечения приставки, м^2 ; g – ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$; Z_g – водомерный перепад, м.

Гидравлический расчет регулятора выполняется в следующей последовательности: для максимальных значений расхода Q_{\max} и перепада уровней Z_g определяют площадь живого сечения ω . Далее, принимая стандартную ширину затвора b по ГОСТ, определяют величину открытия a и все остальные параметры сооружения в соответствии с табл. 2.2.

Водомерная приставка должна быть затоплена под УВБ согласно данным табл. 2.2. Расчет нижнего бьефа выполняется в зависимости от вида истечения из-под затвора сооружения.

Для того чтобы определить пропускную способность регулятора с водомерным насадком САНИИРИ, используется формула (2.17). Конструктивно обеспечивается затопление выходной части насадка со стороны НБ при напорном режиме потока в трубе.

Установка датчиков приборов на водомерном сооружении осуществляется либо в отдельных успокоительных колодцах, либо в совмещенных колодцах, либо на самих водомерных приставках.

Проведенный анализ конструктивных особенностей и характеристик современных средств водоучета на открытых оросительных каналах горно-предгорной зоны позволяет отметить невозможность применения большинства из существующих конструкций на каналах-быстротоках с бурным и сверхбурным режимами течения. Это объясняется тем, что перегораживание высокоскоростного потока затвором или создание порога в транзитном канале приводит к ухудшению технологических характеристик водоучета и снижает надежность функционирования сооружения.

Вышесказанное обосновывает необходимость разработки новых усовершенствованных средств водоучета на каналах горно-предгорной зоны, имеющих уклоны больше критических.

2.6 Технологическое обоснование и схемы управления водораспределением на каналах-быстротоках со сверхбурным течением

В Кыргызской Республике, наиболее распространены оросительные системы открытого типа, включающие каналы-быстротоки с бурным и сверхбурным течением. Такая система в процессе функционирования выполняет сложный комплекс технологических операций, число и виды которых зависит от множества факторов, связанных с размерами орошаемого массива, его климатическими, агротехническими, геологическими особенностями, свойствами засеваемых сельскохозяйственных культур и др.

Строительство современных сооружений водораспределения должно способствовать улучшению работы оросительной системы. Технология водораспределения на оросительной системе должна рассматриваться комплексно, начиная с процесса водозабора и заканчивая поливом [29].

Многочисленные пункты водоотвода, работающие независимо и не всегда согласованно, приводят к постоянному изменению режимов течения в ирригационных каналах оросительной системы.

Задача еще более усложняется в случае нестационарного волнового, т.е. сверхбурного потока на быстротечном канале, когда гидравлические процессы в нем приобретают стохастический характер, и понятия, используемые в процессах управления водораспределением, такие как нормальная глубина, средняя скорость, здесь теряют смысл.

Водораспределительные сооружения на каналах горно-предгорной зоны тоже находятся в состоянии непрерывного перерегулирования в соответствии с изменениями режима работы канала. Необходима постоянная регулировка каждого сооружения на системе, которую даже при добросовестном отношении эксплуатационного персонала к своим обязанностям осуществлять невозможно. Поэтому эффективное, в

соответствии с планом водопользования орошение возможно лишь при автоматизации процесса водораспределения на канале-быстротоке.

Оснащая оросительные каналы современными водораспределительными гидротехническими сооружениями, необходимо учитывать конструктивные особенности последних, исходя из условий экономической эффективности и надежности системы.

При разработке и проектировании вновь строящихся сооружений, выбор средств автоматизации водоподачи проводится из условий обеспечения наилучших показателей качества их работы, прежде всего точности стабилизации отводимых расходов и пропускной способности сооружений. Эксплуатация водовыпускных сооружений на каналах с уклоном дна больше критического предусматривает следующие основные технологические режимы [69]:

- первичное поступление воды к регулирующим устройствам через преобразователь сверхбурного потока в бурный или спокойный;
- основной (стационарный) режим работы водораспределительного сооружения, связанный с поддержанием постоянства отводимого расхода;
- аварийный режим в случае засорения рабочих органов автоматизированных водовыпусков и вододелителей плавающими телами или донными наносами, а также отключения электроэнергии, отказа приводов затворов и т.д.

Согласно этой технологии, вода первоначально проходит через преобразователь сверхбурного потока в бурный или спокойный. Для вододелителей и водовыпусков-стабилизаторов траншейного типа таким преобразователем является донная решетка специальной конструкции, расположенная на входе в траншею, являющаяся волногасителем. Для водораспределительных узлов – это гаситель энергии сверхбурного потока, одновременно выполняющий функции волногасителя и гасителя избыточной энергии сверхбурного потока.

Подача воды в отвод в соответствии с планом водопользования нормируется на вододелителях и водовыпусках-стабилизаторах траншейного типа путем маневрирования донным затвором, а на водораспределительных узлах – путем изменения уставки стабилизатора расхода. Постоянство отводимого в отводы расхода обеспечивается стабилизирующим элементом работающим в период эксплуатации системы в стационарном режиме. Величина отводимого расхода устанавливается средствами телемеханики или вручную путем изменения величины открытия стабилизаторов расхода. Расход забора воды из канала-быстротока определяется в строгом соответствии с потребностью в воде каждого водопотребителя (культуры), обслуживаемого данной оросительной системой.

Существующие пропорциональные вододелители не рассчитаны на изменение пропорций деления расхода и применяются, как правило, в условиях дефицита воды.

Аварийный режим учитывается еще в процессе проектирования водовыпускных устройств. При этом предусматривается, чтобы в случае отказа какого-либо средства регулирования излишки воды проходили транзитом по каналу-быстротоку, который должен быть, согласно СНиП, рассчитан на максимальный расход.

Поскольку каналы-быстротоки чрезвычайно требовательны к наносному режиму, головные водозаборные узлы и отстойники должны проектироваться так, чтобы не допускалось попадание донных наносов в канал-быстроток. Однако практика эксплуатации свидетельствует о том, что донные наносы и плавающие тела все же попадают в такие каналы вследствие нарушений правил эксплуатации водозаборных узлов, а также по пути движения потока с берм каналов. По результатам исследований Лаврова Н.П. [29], Жусупова М.К. [69] и других исследователей известно, что забивка донных камер путевыми донными наносами чаще всего исключается, так как они, благодаря высоким скоростям потока в донных траншеях, выносятся в

отводящие каналы (оросители). Исключением являются вододелители траншейного типа с большим числом камер донной траншеи, в которых последние по потоку секции траншеи забиваются наносами ввиду уменьшения скоростей транзитного потока над последними камерами.

Плавающие предметы и тела при наличии вододелителей траншейного типа обычно транзитными расходами проносятся вниз по течению, но при этом не исключена возможность задержки в пластинах решетки отдельных предметов, которые периодически удаляются службой эксплуатации, очищающей решетку.

При автоматизации канала-быстротока обеспечивается комплекс задач, основные из которых заключаются в следующем:

- 1) разработка оперативных планов на каждый из периодов эксплуатации канала в течение календарного года;
- 2) реализация разработанного плана при обеспечении водоподдачи «по требованию» с минимальным объемом непроизводительных сбросов воды;
- 3) постоянный контроль ситуации во всех сооружениях быстротечного канала, как участка оросительной системы, с отображением состояния сооружений на пульте диспетчера;
- 4) сбор и накопление информации о протекании технологических процессов на участках канала-быстротока; формирование компьютерной базы для использования ее при оперативном управлении водораспределением и предотвращении аварийных ситуаций.

Изложенная технология эксплуатации водораспределительных сооружений позволяет выбрать один из известных в гидроавтоматике [15-18, 29] способов автоматизации водораспределения.

Отмеченные особенности каналов-быстротоков горно-предгорной зоны делают предпочтительным автоматизацию каналов-быстротоков по способу регулирования непосредственным отбором расходов воды.

Другие способы автоматизации в данных условиях просто неприменимы, т.к. требуют применения перегораживающих сооружений, которые в условиях высококинетичного потока вызовут появление гидравлического прыжка в канале, что недопустимо.

Технологическая схема непосредственного отбора расходов воды относится к схемам I класса и показана на рис. 2.1.

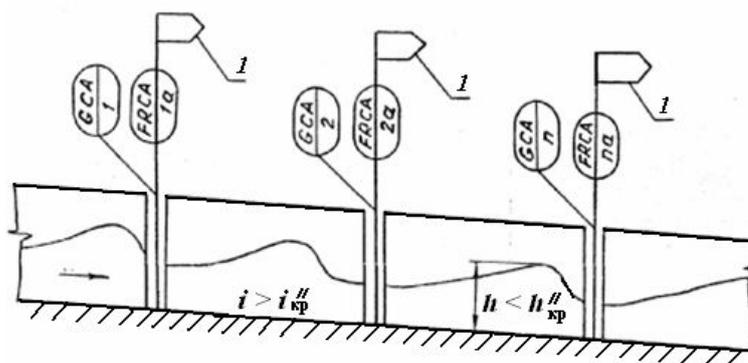


Рис. 2.1. Принципиальная схема автоматизации водораспределения способом непосредственного отбора воды: 1 – водовыпуск; F – измерение расхода отвода; R – регистрация значений расхода на ДП; С – сигнализация предельных значений расхода; G – измерение положений затвора; А – сооружение включено в автоматический контур управления (обозначение по ГОСТ 21.404-85).

Технологическая схема автоматизации водораспределения непосредственным отбором постоянных расходов наиболее приемлема для каналов-быстротоков по сравнению с другими (по уровню, по объему), так как в ней отсутствуют перегораживающие сооружения, за исключением водораспределительных узлов с гасителями энергии и сооружений аварийной защиты (такие узлы значительно более дорогостоящи, чем вододелители), не требуется завышения дамб канала для создания резервов. Канал-быстроток устраивается сквозным, отводы на старшем канале оборудуются сооружениями, обеспечивающими водоподачу независимо от колебаний расходов и уровней в канале-быстротоке. Воду распределяют в строгом соответствии с планом водопользования (нормированное

водораспределение) или пропорционально. Чтобы не было непроизводительных сбросов на концевых участках каналов-быстротоков устраивают сбросные сооружения, оснащенные авторегуляторами уровня и емкости для аккумуляции этих сбросов, например, БСР. Существуют варианты проектов, например для каналов Аламедин-Норус Аламединского района Чуйской области [19].

В случае дефицита воды в системе вводится либо принцип приоритета потребителей (водооборот), т.е. в первую очередь обеспечиваются водой отводы, подающие ее на важнейшие культуры, либо принцип пропорционального деления расхода между равноценными потребителями. Далее определяют время нанесения управляющего воздействия на конкретный водовыпуск по времени добегающего дополнительного расхода от головного сооружения до данного водовыпуска.

При этом за полный интервал регулирования водораспределения может быть принят, согласно Михайленко А.И. [29], интервал времени передачи максимального расхода по длине канала. Изменение открытий затворов на всех отводящих каналах-потребителях производится последовательно в течение этого времени, при этом расход канала-быстротока в створе каждого последующего отвода определяют по окончании изменения открытия затвора на предыдущем отводе как разность между расходом магистрального канала в его голове Q_0 и суммой расходов предыдущих отводящих каналов—потребителей. Измерение расходов в створах может производиться по градуировочным зависимостям по окончании интервала регулирования.

Данный способ, преследующий цель повышения качества вододеления путем уменьшения непроизводительных потерь во время перестройки режимов каналов потребителей, осуществляется следующим образом. Время управления водораспределением, например, сутки, разбивается на ряд временных интервалов, совокупная длительность которых принимается равной передаче минимального расхода по длине магистрального канала.

В начале каждого временного интервала измеряют открытия затворов на отводящих каналах-потребителях, расход в голове канала на гидрометрическом посту и сравнивают полученные значения с плановыми. При этом могут возникнуть следующие случаи: а) измеренные расходы потребителей отличаются от плановых значений (рис. 2.2), а расход за водозаборным узлом в голове канала равен плановому; б) расход в голове канала и расходы потребителей отличаются от плановых.

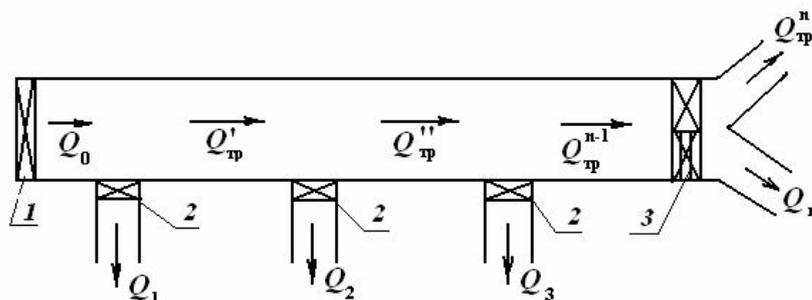


Рис. 2.2. Схема автоматизации водораспределения на канале-быстротоке по способу Михайленко А.И.: Q_0 – расход в голове канала; $Q_1, Q_2 \dots Q_i$ – расходы отводов; $Q_{тр}'$, $Q_{тр}'' \dots Q_{тр}^n$ – расходы транзитных участков; 1 – головной водозаборный узел; 2 – донные водовыпуски-стабилизаторы расхода воды; 3 – стабилизатор расхода воды.

По способу Михайленко А.И. вначале определяется косвенным путем расход в канале перед створом второго потребителя как разность расхода в голове канала, вычисленного по формуле баланса расходов, и измеренного расхода на первом отводе, т.е. $Q_{mp}^1 = Q_0 - Q_1$.

Полученную величину расхода делят по выбранному закону, например в соответствии с планом водопользования, между оставшимися потребителями. По градуировочным зависимостям определяют величину открытия затвора второго потребителя и устанавливают это открытие. После окончания изменения открытия затвора и контроля этого открытия и расхода отвода запоминают время начала передачи дополнительного расхода в отвод, т.е. время начала переходного процесса и переходят к определению расхода в

створе третьего потребителя аналогично описанному. Полученную величину расхода делят по выбранному закону между оставшимися потребителями и определяют величину расхода в канале перед створом четвертого потребителя и т.д.

Такую операцию повторяют до предпоследнего потребителя, перестраивая режим работы потребителей по системам телемеханики или вручную в соответствии с планом. Ошибки расхода в пределах точности измерений, полученные в процессе изменения открытий, не корректируются в рассматриваемый временной интервал, а учитываются в следующем временном интервале регулирования.

Во втором случае, если расход Q_0 больше планового, на водозаборном сооружении устанавливается расход, равный плановому, а расход потребителей перестраивают, как описано для первого случая. Если расход Q_0 меньше планового и увеличить его нет возможности, то происходит его перераспределение между потребителями по другому закону, например, пропорционально их плановым расходам, аналогичными операциями. После установления расхода предпоследнего потребителя, фактический расход последнего потребителя должен быть равен рассчитанному в соответствии с выбранным законом деления. Если это равенство не выполняется, то на следующем временном интервале повторяется процесс перестройки режимов работы потребителей.

Быстродействие подъемников затворов потребителей выбирают из условия равенства длительности временного интервала регулирования водораспределения и суммарного времени максимального изменения расходов потребителей. Способ регулирования Михайленко А.И. является частным случаем избранного способа автоматизации водораспределения и удобен тем, что не предусматривает измерения расхода в транзитном канале (кроме створа за водозаборным узлом), где это весьма сложно сделать из-за сверхбурного характера потока.

Для оперативного управления водораспределением на каналах-быстроходах ранее [29] были предложены три режима:

- 1) автоматический с применением ПЭВМ;
- 2) диалоговый, когда диспетчер контролирует процесс управления;
- 3) ручной режим, когда диспетчер управляет системой.

Комплекс задач оперативного управления водораспределением в соответствии с требованиями включает: опрос средств телеизмерения, ситуационный анализ, управление гидросооружениями, диалог с диспетчером, учет, отчетность, связь с верхним уровнем.

Вариант примерной схемы размещения гидросооружений на канале-быстроходе со сверхбурным течением в соответствии с описанным способом автоматизации и схемой управления водораспределением показана на рис. 2.3.

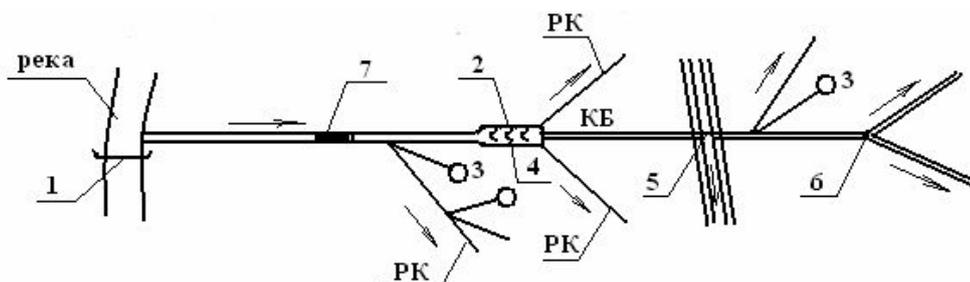


Рис. 2.3. Технологическая схема размещения сооружений на каналах-быстроходах со сверхбурным течением: 1 – головной водозаборный узел; 2 – водораспределительный узел; 3 – водовыпуск; 4 – гаситель энергии потока воды; 5 – подпитывающее (сбросное) сооружение; 6 – пропорциональный вододелитель; 7 – устройство для гашения катящихся волн; КБ – канал-быстроход; РК – распределительный канал.

Основные типы водораспределительных сооружений на каналах-быстроходах рассмотрены в (раздел 1.5).

2.7 Теоретическое описание процесса отбора воды в вододелителе для каналов со сверхбурным режимом течения

Наиболее типичным представителем вододелителей для сверхбурных потоков является вододелитель для каналов со сверхбурным режимом течения (ВКСРТ) (рис. 1.14 б), включающий подводящий и транзитный участки быстротечного канала, в котором устроен донный колодец с поперечными перегородками. Вода, поступившая в камеры донного колодца, направляется в отводящий (например, деривационный) канал. Придонный слой потока в канале – быстротоке отсекается без образования всплесков и поверхностных возмущений козырьками, и трансформируется из винтового в поступательное движение при воздействии Г-образных козырьков на тыльной (нижней) грани перегородки. Расход отбора воды в отводящий канал регулируется плоскими затворами, установленными в конце камер донного колодца. Для защиты отводимого потока от крупных наносов и мусора, а также для пропорционального отбора воды в камеры колодца 4, над этим колодцем устраивается решетка.

Еще одна модификация ВКСРТ [70] отличается от первой тем, что в верхней части передней стенки первой камеры устраивается скос, а отсекающие козырьки приварены к нижней части решетки над перегородками.

При отборе воды вододелителями типа ВКСРТ обеих модификаций из нестационарного сверхбурного потока наблюдается сложный гидравлический процесс [117]. В момент прохождения волны над вододелителем, увеличивается глубина потока над камерой вододелителя, а следовательно, и расход отвода. Среднее значение статического напора \overline{H} над водоприемной камерой можно определить [29] по зависимости:

$$\overline{H} = \frac{1}{\lambda} \left[\int_{h_{\min}}^{h_{\max}} f(h) dh \right], \quad (2.18)$$

где h_{\min} , h_{\max} – пределы интегрирования, соответствующие экстремальным глубинам в гребне и хвосте волны, λ - длина катящейся волны (рис. 2.4).

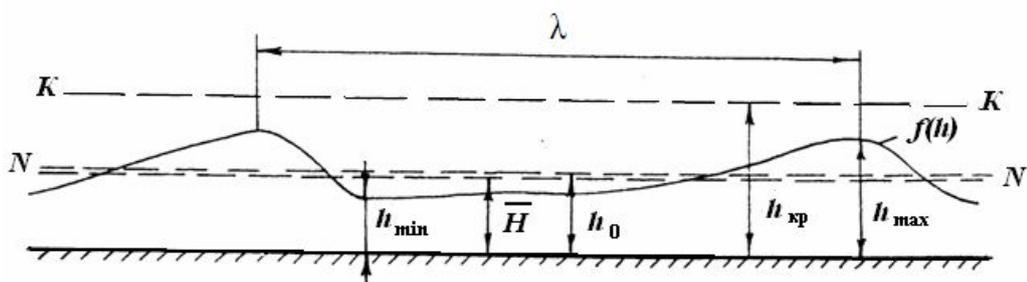


Рис. 2.4. Схема определения среднего статического напора катящейся волны

Пропускная способность решетчатой плиты может быть определена на основе допущения Арсенишвили К.И. [87] и Микаеляна В.Г. [118], о том, что средний статистический напор $\bar{H} \approx h_0$ (рис. 2.4).

Математическое описание преобразования сверхбурного волнового потока в стационарное состояние (при отборе) представляется сложным и не достаточно достоверным ввиду множества допущений, поэтому теоретические зависимости целесообразно дополнить результатами эксперимента.

Модельные исследования вододелителей конструкции АрмНИИВПГ [87,88] и Кирг.СХИ [119-120], позволили выявить неравномерную импульсную водоподачу в отвод из-за переменного напора воды при постоянной площади отверстий решетки и площади секций между отсекающими козырьками перегородок.

Обеспечить постоянство расхода воды, по падающего в каждую камеру донного колодца можно за счет увеличения отверстий в решетчатой плите вдоль по потоку, либо за счет увеличения площади входных отверстий каждой последующей камеры колодца по течению. Обоснование параметров решетчатой плиты и камер донного колодца выполним на основе теоретических предпосылок, сделанных Лавровым Н.П. и Исабековым Т.А. [122]. Поскольку, действующий напор над 1-й камерой колодца $H'_н$ будет наибольшим, необходимо устраивать здесь наименьшую площадь отверстия. По мере продвижения волны по решетке высота волны и, следовательно,

напор будут уменьшаться и поэтому необходимо будет соответственно увеличивать площадь отверстий в плите или входа в камеры для пропуска той же доли расхода ΔQ что и в начале.

Расход в первую по потоку камеру вододелителя, отсекаемый первым горизонтальным козырьком в момент прохождения гребня волны, может быть приближенно определен, как

$$\Delta Q_1 = \mu_1 \cdot p_1 \cdot a_1 \cdot b \cdot \sqrt{2gH'_h} , \quad (2.19)$$

где μ_1 – коэффициент расхода; p_1 – доля площади, приходящаяся на отверстия; a_1 – ширина верхнего входа первой камеры; b – ширина канала по дну в створе вододелителя; H'_h – действующий напор в начале плиты, $H'_h = h_{\max} + \alpha v^2 / 2g$; H_{\max} – глубина в начале решетчатой плиты, равная глубине в гребне катящейся волны; v_1 – скорость в придонной части сверхбурного потока, принимаемая нами равной фазовой скорости волнового потока C как для начальной, так и для концевой части плиты.

Расход воды в последнюю камеру:

$$\Delta Q_n = \mu_n \cdot p_n \cdot a_n \cdot b \cdot \sqrt{2gH'_b m} , \quad (2.20)$$

где m – коэффициент изменения (уменьшения) действующего напора вследствие водоотбора, $m = H'_k / H'_h$.

Определим теперь основные размеры входных отверстий, используя зависимости (2.19) и (2.20). Отношение ширины входных отверстий:

$$\frac{Q_1}{Q_n} = \frac{\mu_1 \cdot p_1 \cdot a_1 \cdot b \cdot \sqrt{2gH'_h}}{\mu_n \cdot p_n \cdot a_n \cdot b \cdot \sqrt{m_b \cdot (2gH'_h)}} = \frac{a_1}{a_n} . \quad (2.21)$$

Принимая для отверстий плиты вододелителя примерно одинаковой конфигурации, т.е. треугольной и трапецеидальной в плане формы (рис. 1.15) [122], коэффициенты расхода $\mu_1 = \mu_2 = \mu_n$, перепишем отношение (2.21):

$$\frac{p_1}{p_n} \cdot \frac{a_1}{a_n} \cdot \frac{1}{\sqrt{m_b}} = \frac{a_1}{a_n} = \frac{\omega_1}{\omega_n}, \quad (2.22)$$

где ω_1 , ω_n - площади входа первого и последнего отверстий.

Обеспечить равенства (2.22) можно конструктивно, выполнив соотношения площадей входных отверстий камер колодца, либо специальной формой решетчатой плиты, как это сделал проф. Лавров Н.П. [29].

Общая длина плиты вододелителя может быть определена по зависимости [29]:

$$l_{пл} = \sum a_i + \sum t_i + \sum a_k, \quad (2.23)$$

где a_i – ширина по верху камер между перегородками; t_i – толщина перегородок с учетом верхнего горизонтального козырька; a_k – ширина верхнего горизонтального козырька на задней стенке траншеи вододелителя.

Отводимый расход воды при максимальном открытии плоских затворов вододелителя, т.е. при свободном истечении можно вычислить по зависимости [29, 122]:

$$Q_{отв} = \mu \cdot p \cdot l_n \cdot b \cdot \sqrt{2gH'_{cp}}, \quad (2.24)$$

где μ – коэффициент расхода решетчатой плиты;

$p = \omega_{отв} / \omega_{пл}$ – доля площади отверстий во всей плите,

$$p = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n_K}, \quad (2.25)$$

l_n и b – длина и ширина решетчатой плиты;

H'_{cp} – действующий напор в середине решетчатой плиты равный

$$H'_{cp} = 0,5(H'_n + H'_k) = 0,5(H'_n + m_g H'_n), \quad (2.26)$$

где $H'_n = h_{max} + \alpha \omega_1^2 / 2g$. (2.27)

Значения величины m_b , функционально зависимой от α_b , скорости v_1 и коэффициента расхода для различных открытых затворов вододелиителя можно получить на основе экспериментальных исследований вододелиителя траншейного типа применительно к конкретной конструкции.

Приемлемость принятой здесь схемы истечения и полученной методики расчета вододелиителя сверхбурного потока определялись нами путем лабораторных и натуральных исследований.

Описанные ниже лабораторные и натурные исследования позволили подтвердить и дополнить приведенные в настоящем подразделе теоретические предпосылки, а впоследствии разработать методику инженерного расчета усовершенствованных водораспределительных сооружений для каналов со сверхбурным течением.

2.8 Гидравлические характеристики сооружений водораспределения на быстротечных каналах горно-предгорной зоны

Отличительными особенностями водораспределительных сооружений на каналах горно-предгорной зоны являются высокие скорости транзитных, а часто, и отводящих потоков, обладающих большой кинетической энергией и склонностью к волнообразованию.

На каналах-быстротоках одно и то же сооружение в течение суток, в зависимости от условий эксплуатации, может работать в различных режимах истечения. Даже незначительные колебания расходов высокоскоростных потоков в транзитном канале порой приводят к незапланированному изменению режима истечения из-под затворов вододелиителя. То есть сооружение работает при подпорно-переменном истечении.

Следовательно, необходимо теоретическое и экспериментальное изучение трех основных режимов истечения из-под затворов сооружения:

свободного, подтопленного, когда гидравлический прыжок находится в сечении сжатой глубины, и затопленного истечения, а так же установления переходных границ между этими режимами.

Для теоретического описания указанных режимов истечения из-под затворов вододелительного сооружения следует выявить и проанализировать гидравлические характеристики данного типа сооружений в указанных режимах работы.

2.8.1 Теоретическое обоснование истечения через водораспределительные сооружения на каналах-быстротоках горно-предгорной зоны

Рассмотрение гидравлических характеристик функционирования водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках предполагает проведение тщательного анализа гидравлических процессов, происходящих при истечении через эти сооружения.

На сегодня существует много работ [85, 114, 115] различных авторов, в которых рассматриваются теоретически и экспериментально процессы истечения из-под затворов и средств водоподдачи.

Однако указанные научные работы освещают режимы истечения в отдельности в зависимости от применимости к анализируемым ими средств вододеления.

Для проведения более полного и всестороннего обоснования функционирования сооружений водораспределения на каналах-быстротоках горно-предгорной зоны рассмотрим не только свободное и затопленное, но и подтопленное истечение через вододелительное сооружение. А для полноты оценки различных режимов истечения из-под затворов ГТС проанализируем границы этих режимов.

Анализ процессов истечения через сооружение на канале-быстротоке проведем на примере боковых затворов вододелителя для каналов со

сверхбурным режимом течения (ВКСРТ) траншейного типа [70], изображенного на рис. 1.19. Конструкция именно этого вододелителя была в дальнейшем принята в качестве прототипа для создания усовершенствованного вододелителя на каналах со сверхбурным течением.

В основе функционирования вододелителя траншейного типа имеет место сочетание законов гидравлики для истечения из больших отверстий и, как частный случай, истечения из-под затвора.

Формула истечения из больших отверстий при свободном истечении имеет вид [123]:

$$Q_{o.o} = \mu \omega \sqrt{2gH_0} \quad , \quad (2.28)$$

где H_0 -напор над отверстием с учетом скоростного напора:

$$H_0 = H + \frac{\alpha v_0^2}{2g} \quad , \quad (2.29)$$

H - напор над центром тяжести отверстия; α - коэффициент Кориолиса; v_0 - скорость подхода; μ - коэффициент расхода, который в случае большого отверстия зависит от гидравлических сопротивлений и характера распределения скоростей по живому сечению [123].

Формула для определения расхода истечения из-под затвора при свободном истечении (рис. 2.5):

$$Q_{затв} = \mu_3 \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2g(H_3 - h_c)} \quad (2.30)$$

или

$$Q_{затв} = \mu_3 \cdot a \cdot b \sqrt{2g(H_3 - \varepsilon a)} \quad , \quad (2.31)$$

где μ_3 - коэффициент расхода при истечении из-под плоского вертикального затвора [123,124]; ε - коэффициент сжатия потока; H_3 - напор перед затвором.

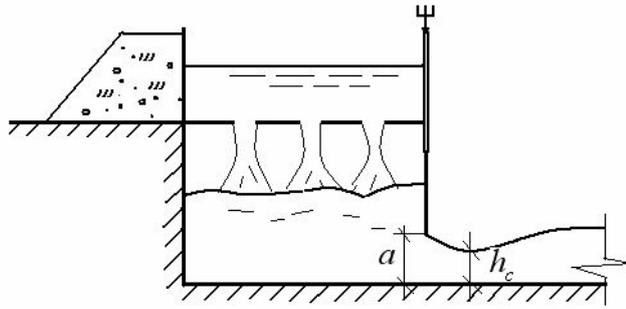


Рис. 2.5. Схема свободного истечения из-под затвора вододелителя.

Для получения формулы расхода истечения через сооружение проанализируем формулы (2.28) и (2.31).

Для расхода отвода определяющими параметрами будут, безусловно, открытие a (если камер несколько, то среднее открытие a_{cp}) затвора и его ширина b . При нескольких камерах вододелителя $b = \sum b_i$, где i - количество камер.

Площадь отверстий ω в формуле (2.28) должна позволить пропустить требуемый расход $Q_{затв}$ через отверстие в верхней части колодца, т.е. $Q_{б.о} \geq Q_{затв}$.

Анализируя гидравлические параметры вододелителя следует отметить, что определяющей величиной напора является напор H_0 в транзитном канале над отверстием.

Величина же коэффициента расхода должна учитывать сопротивление при истечении из отверстия и истечении из-под затвора. Поэтому принимаем: $\mu_s = f(\mu; \mu_3)$. Значение коэффициента расхода вододелителя данного типа целесообразно устанавливать для каждой конкретной конструкции экспериментально на основе испытаний.

Запишем формулу расхода истечения через вододелитель для каналов со сверхбурным режимом течения при свободном истечении из-под затворов вододелителя:

$$Q_{св} = \mu_s \cdot a_{cp} \cdot b \sqrt{2g(H_0 - h_c)} . \quad (2.32)$$

Принимая во внимание утверждение академика Маковского Э.Э. [20] о том, что для свободного истечения:

$$\frac{\alpha g_0^2}{2g} = \frac{h_c^2}{h_c + H}, \quad (2.33)$$

получим:

$$\begin{aligned} Q_{св} &= \mu_s \cdot a_{ср} \cdot b \sqrt{2g \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - h_c \right)} = \\ &= \mu_s \cdot a_{ср} \cdot b \sqrt{2g \frac{Hh_c + H^2 + h_c^2 - h_c^2 - Hh_c}{h_c + H}} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow Q_{св} = \mu_s \cdot a_{ср} \cdot b \sqrt{2g \cdot \frac{H^2}{h_c + H}}. \end{aligned} \quad (2.34)$$

Зависимость (2.34) позволяет определить расход истечения через ВКСТ.

В случае несвободного истечения через вододелитель формула истечения из большого отверстия (2.28) останется неизменной, поскольку истечение в камеру по-прежнему свободное (рис. 2.6).

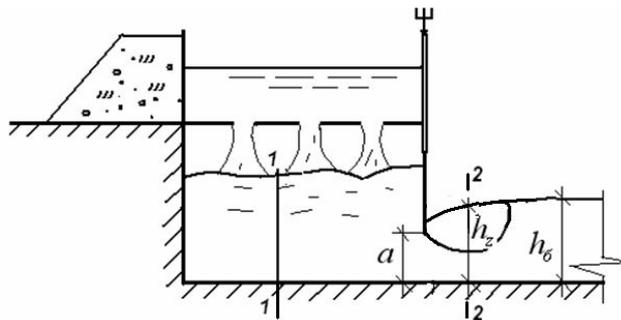


Рис. 2.6. Схема несвободного истечения из-под затворов вододелителя траншейного типа.

Из уравнения Бернулли между сечениями 1-1 и 2-2 находим:

$$H + \frac{\alpha g_0^2}{2g} = h_z + \frac{\alpha g_c^2}{2g}, \quad (2.35)$$

где \mathcal{G}_c - средняя скорость движения воды в сечении сжатой глубины h_c .

Из выражения (2.45) получаем:

$$\mathcal{G}_c = \frac{H \mathcal{G}_0}{h_c} \Leftrightarrow$$

$$\frac{\alpha \mathcal{G}_0^2}{2g} = \frac{h_c^2 (h_z - H)}{h_c^2 - H^2}. \quad (2.36)$$

С учетом (2.36) получим уравнение для расхода истечения из-под затвора при несвободном истечении в общем виде:

$$Q_{затв} = \mu_6 \cdot a \cdot b \sqrt{2g \left(H + \frac{h_c^2 (h_z - H)}{h_c^2 - H^2} - h_6 \right)}, \quad (2.37)$$

где h_z - наполнение за затвором в створе 2-2; h_6 - бытовое наполнение в отводящем канале.

При затопленном истечении, когда отсутствует гидравлический прыжок, имеет место $h_z = h_6$. Поэтому, используя выражения (2.28) и (2.37), получим формулу расхода для затопленного истечения:

$$\begin{aligned} Q_3 &= \mu_3 \cdot a_{cp} \cdot b \sqrt{2g \cdot \left(H + \frac{h_c^2 (h_6 - H)}{h_c^2 - H^2} - h_6 \right)} \Leftrightarrow \\ Q_3 &= \mu_3 a_{cp} b \sqrt{2g \frac{H(h_c^2 - H) + h_c^2 (h_6 - H) - h_6 (h_c^2 - H)}{h_c^2 - H^2}} = \\ &= \mu_3 a_{cp} b \sqrt{2g \frac{H^2 h_6 - H^3}{h_c^2 - H^2}}; \\ Q_3 &= \mu_3 a_{cp} b \sqrt{2g H^2 \frac{H - h_6}{H^2 - h_c^2}} \end{aligned} \quad (2.38)$$

Зависимость (2.38) справедлива для случая затопленного истечения из-под затворов вододеливателя траншейного типа.

При подтопленном истечении непосредственно за затвором в створе 2-2 (см. рис.2.6) будет иметь место глубина потока h_z .

В этом случае в общем виде:

$$Q_n = \mu_{\epsilon} a_{cp} b \sqrt{2g(H_0 - h_z)} . \quad (2.39)$$

Из литературы [123] известно, что при подтопленном истечении из-под затвора, величину h_z можно определить по формуле:

$$Q_n = \mu_B a_{cp} b \sqrt{2g \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \sqrt{h_0^2 - M \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \frac{M}{4} \right) - \frac{M}{4}} \right)}, \quad (2.40)$$

$$\text{где } M = 4 \mu_{\epsilon}^2 a_{cp}^2 \frac{h_0 - h_c}{h_0 h_c} . \quad (2.41)$$

$Q_n =$

$$\mu_B a_{cp} b \sqrt{2g \left[H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \sqrt{h_0^2 - 4 \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_0 - h_c}{h_0 h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_0 - h_c}{h_0 h_c} \right) - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_0 - h_c}{h_0 h_c}} \right]} ;$$

$$Q_n = \mu_B a_{cp} b \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_0 - h_c}{h_0 h_c} - \sqrt{h_0^2 - 4 \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_0 - h_c}{h_0 h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_0 - h_c}{h_0 h_c} \right)}} . \quad (2.42)$$

Зависимость (2.42) отражает расход воды при подтопленном истечении.

Зависимости (2.34), (2.38) и (2.42) позволяют провести анализ изменения расхода истечения от величин гидравлических и конструктивных факторов водodelителя.

Составим зависимость для определения границы между свободным и затопленным истечением через водodelитель траншейного типа.

Приравняв выражения (2.34) и (2.37) получим зависимость:

$$\frac{H^2}{h_c^2 + H} = H + \frac{h_c^2(h_z - H)}{h_c^2 - H^2} - h_\delta;$$

$$\frac{H^2}{h_c + H} = \frac{H^2(h_\delta - H) + h_c^2(h_z - h_\delta)}{h_c^2 - H^2};$$

$$H^2 = \frac{H^2(h_\delta - H) + h_c^2(h_z - h_\delta)}{h_c - H};$$

$$H^2 h_c - H^3 = H^2 h_\delta - H^3 + h_c^2 h_z - h_c^2 h_\delta$$

$$a \varepsilon H^2 - H^3 = H^2 h_\delta - H^3 + a^2 \varepsilon^2 h_z - a^2 \varepsilon^2 h_\delta \Leftrightarrow$$

$$a^2 (\varepsilon^2 h_z - \varepsilon^2 h_\delta) - a \varepsilon H^2 + H^2 h_\delta = 0$$

$$D = \varepsilon^2 H^4 - 4(\varepsilon^2 h_z - \varepsilon^2 h_\delta) H^2 h_\delta =$$

$$= \varepsilon^2 H^4 - 4\varepsilon^2 h_z h_\delta H^2 + 4\varepsilon^2 H^2 h_\delta^2 =$$

$$= \varepsilon^2 H^2 (H^2 - 4h_z h_\delta + 4h_\delta^2)$$

$$a = \frac{\varepsilon H^2 \pm \varepsilon H \sqrt{H^2 - 4h_z h_\delta + 4h_\delta^2}}{2\varepsilon^2 (h_z - h_\delta)} \Leftrightarrow \quad (2.43)$$

$$\frac{a}{H} = \frac{H \pm \sqrt{H^2 - 4h_z h_\delta + 4h_\delta^2}}{2\varepsilon (h_z - h_\delta)} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4 \frac{h_z}{H} \cdot \frac{h_\delta}{H} + 4 \left(\frac{h_\delta}{H}\right)^2}}{2\varepsilon \left(\frac{h_z}{H} - \frac{h_\delta}{H}\right)}$$

Получим зависимость относительного открытия a/H затворов вододелиителя от величин относительных наполнений в отводящем канале:

$$\frac{a}{H} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4 \frac{h_z}{H} \cdot \frac{h_\delta}{H} + 4 \left(\frac{h_\delta}{H}\right)^2}}{2\varepsilon \left(\frac{h_z}{H} - \frac{h_\delta}{H}\right)}. \quad (2.44)$$

Используя зависимость (2.44) проведем расчет и изобразим графически зависимость $\frac{a}{H} = f\left(\frac{h_z}{H}; \frac{h_0}{H}\right)$ для различных величин открытий и напоров в верхнем и нижнем бьефах сооружения.

На графике (рис. 2.7) изображена граница режимов истечения через вододелитель траншейного типа. Здесь зона А относится к зоне свободного истечения в нижний бьеф сооружения, зона Б относится к зоне затопленного истечения. Граница между ними 1-1 идентична по форме результатам исследований Маковского Э.Э. [124].

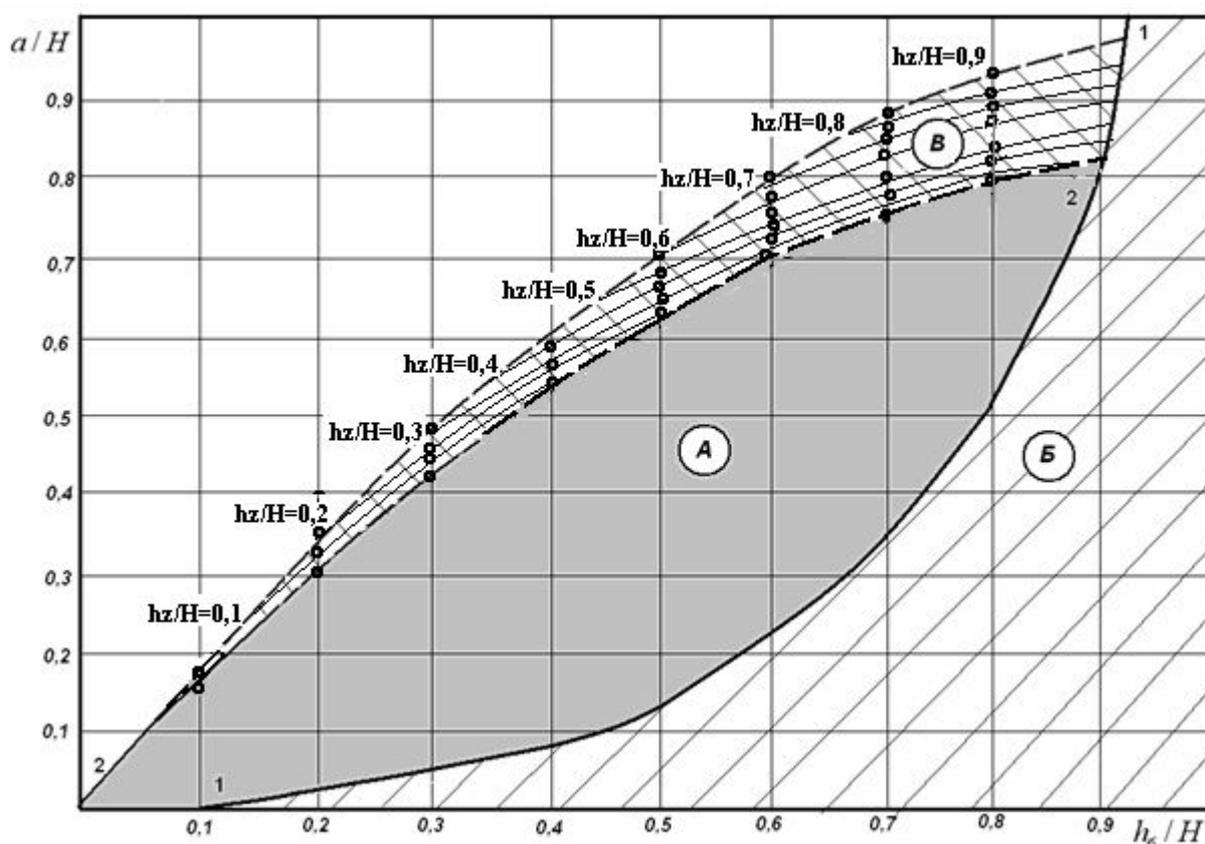


Рис. 2.7. Границы режимов истечения через вододелитель для каналов со сверхбурным режимом течения.

Наиболее тщательно проведен расчет зоны подтопления В, которая представляет собой переходный режим истечения от свободного к затопленному, и наоборот. Расчет значений относительных открытий a/H для зоны В приведен в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Гидравлические характеристики подтопленного истечения из-под затворов ВКСТ

h_{δ} / H	h_z / H	ε	a / H
0,1	0,08	0,619	0,164
	0,05	0,610	0,161
0,2	0,15	0,630	0,35
	0,10	0,627	0,32
	0,05	0,625	0,30
0,3	0,25	0,64	0,46
	0,20	0,638	0,45
	0,10	0,635	0,43
	0,05	0,632	0,42
0,4	0,35	0,660	0,59
	0,30	0,655	0,58
	0,20	0,656	0,556
	0,10	0,653	0,553
	0,05	0,648	0,549
0,5	0,45	0,69	0,70
	0,40	0,685	0,696
	0,30	0,680	0,677
	0,20	0,676	0,657
	0,10	0,670	0,640
0,6	0,55	0,722	0,81
	0,50	0,718	0,791
	0,40	0,709	0,760
	0,30	0,700	0,740
	0,20	0,695	0,720
	0,10	0,690	0,700
0,7	0,65	0,770	0,879
	0,60	0,760	0,864
	0,50	0,745	0,843
	0,40	0,730	0,820
	0,30	0,721	0,796
	0,20	0,713	0,773
	0,10	0,705	0,750
0,8	0,70	0,800	0,931
	0,60	0,780	0,904
	0,50	0,760	0,877
	0,40	0,747	0,855
	0,30	0,735	0,833
	0,20	0,727	0,814
	0,10	0,718	0,795

Продолжение табл. 2.5			
h_6/H	h_z/H	ε	a/H
0,9	0,8	0,860	0,966
	0,7	0,835	0,938
	0,6	0,810	0,910
	0,5	0,790	0,892
	0,4	0,770	0,874
	0,3	0,752	0,850
	0,2	0,735	0,825

Характеристики, получаемые из выражения (2.51) с учетом (2.43) также попадают в зону В, подтверждая тем самым правильность графической интерпретации границ режимов истечения через водораспределительное сооружение для каналов-быстротоков.

Кривая 2-2 отделяет зону свободного истечения от зоны подтопления.

Универсальность графической зависимости $a/H = f\left(\frac{h_6}{H}; \frac{h_z}{H}\right)$ (рис. 2.7)

позволит ее использовать на вододелительных сооружениях траншейного типа на каналах-быстротоках. Причем использование этих зависимостей целесообразно при расчете режимов истечения и конструктивных параметров вододелителя, при эксплуатации, а также для целей прогнозирования возможных режимов истечения на сооружении.

Поэтому при работе вододелителя в режиме, близком к одной из указанных на графике (рис. 2.7) границ (1-1 или 2-2), возможны незапланированные переходы из одной зоны в другую даже при незначительных колебаниях гидравлических и конструктивных параметрах вододелителя.

Переход истечения из одной зоны в другую (рис. 2.7) в течение короткого промежутка времени связан, в свою очередь, с изменением статических режимов работы сооружения и может привести к таким нежелательным последствиям, как вспучивание потока, волнообразование, выплески воды за пределы сооружения и др.

Проследим, как изменяются стабилизирующие свойства на ВКСТ при различном истечении из-под затворов вододелителя.

2.8.2 Водоучет усовершенствованными вододелительными сооружениями на каналах-быстроотоках

Многолетние исследования и анализ существующих вододелительных сооружений на каналах-быстроотоках горно-предгорной зоны Кыргызстана позволили заметить наличие водомерных свойств современных конструкций вододелителей. При этом следует сделать оговорку, что постоянство отводимых расходов воды обеспечивается только в небольшом диапазоне колебаний транзитных расходов. Однако в этом диапазоне регулирования обследованные нами вододелительные сооружения можно считать стабилизаторами расходов воды.

Для подтверждения этого свойства необходимо теоретически обосновать наличие водомерных свойств у вододелителей наиболее совершенных конструкций на каналах-быстроотоках горно-предгорной зоны.

Наличие свойств водоучета у вододелителей высокоскоростных потоков проанализируем на примере вододелителя траншейного типа. В основу анализа водомерных свойств вододелителя такой конструкции положим полученные зависимости для расхода воды при различных режимах истечения из-под затворов сооружения.

Сначала рассмотрим случай свободного истечения в отводящий канал.

Для этого перепишем зависимость (2.34) с учетом составляющей скоростного напора:

$$Q = \mu_e \cdot a_{cp} \cdot b \sqrt{2g} \sqrt{H + \frac{\alpha g_0^2}{2g} - h_c} . \quad (2.45)$$

Сделаем допущение, что вододелитель обеспечивает стабилизацию отводимого расхода воды в определенном диапазоне колебаний транзитных расходов. Тогда в зависимости (2.45) будет иметь место следующее:

$$\frac{Q}{\mu_e \cdot a_{cp} \cdot b \sqrt{2g}} = const. \quad (2.46)$$

Исходя из условия (2.46) введем обозначение:

$$C = \sqrt{H + \frac{\alpha g_0^2}{2g} - h_c}, \quad (2.47)$$

где C - постоянная величина при работе вододелителя в установившемся режиме.

После преобразования (2.47) получим:

$$C^2 = H - h_c + \frac{\alpha g_0^2}{2g}. \quad (2.48)$$

Проанализируем выражение (2.48).

С увеличением расхода в транзитном канале произойдет увеличение параметра $\frac{\alpha g_0^2}{2g}$ за счет увеличения скорости потока g_0 .

Коэффициент α можно считать неизменным, поскольку качественных изменений в распределении скоростей в транзитном канале не произойдет.

Однако с увеличением скорости потока в транзитном канале увеличивается длина отлета отсекаемой струи, в камеру вододелителя будет попадать более “тонкий” слой струи (рис. 2.8). Таким образом, наполнения в камере вододелителя остается практически неизменным.

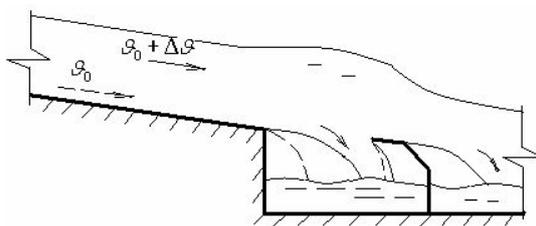


Рис. 2.8. Схема истечения в камеру вододелителя

Из формулы (2.48) видно, что в данной конструкции вододелителя незначительное увеличение скорости потока в транзитном канале не приведет к увеличению напора в водоприемной камере за счет уменьшения слоя падающей струи.

Проведенный анализ подтверждает первоначальное предположение о том, что в ограниченном диапазоне изменений расходов воды в транзитном канале предложенный вододелитель позволяет обеспечивать стабилизацию отводимого расхода воды при свободном истечении из-под затвора в отводящий канал.

Рассмотрим теперь случай затопленного истечения из-под затвора (рис. 2.6).

Для этого проанализируем зависимость (2.37) с учетом составляющей скоростного напора:

$$Q = \mu_e \cdot a_{cp} \cdot b \sqrt{2g \left(Z + \frac{\alpha g_0^2}{2g} \right)}, \quad (2.49)$$

где Z - перепад напоров.

Зависимость (2.49) можем записать в виде:

$$Q = \mu_e \cdot a_{cp} \cdot b \sqrt{2g} \sqrt{Z + \frac{\alpha g_0^2}{2g}}. \quad (2.50)$$

В случае, если отводимый расход постоянен, имеет место зависимость (2.50), с учетом которой:

$$C^2 = Z + \frac{\alpha g_0^2}{2g}. \quad (2.51)$$

Аналогично изложенному выше имеем следующую картину. При небольшом увеличении расхода воды в транзитном канале происходит увеличение скорости g_0 . Однако при этом величина напора H в отводящей камере остается практически неизменной. Зная, что $H - h_0 = Z$, можем утверждать, что перепад напоров Z также остается практически неизменным.

Таким образом, в определенном ограниченном диапазоне колебаний транзитных расходов величина перепада Z_0 с учетом скорости подхода остается постоянной, позволяя обеспечивать постоянство отводимого расхода воды.

Проведенный анализ позволяет расширить функциональные возможности предложенных вододелителей.

Однако для описания более подробной картины установившихся режимов работы вододелительных сооружений на каналах горно-предгорной зоны, необходимо провести детальный анализ частных производных от расхода истечения Q по переменным напору H , открытию a_{cp} и наполнению h_0 , используя зависимости (2.33) и (2.36).

2.8.3 Установившиеся режимы работы вододелительных сооружений на каналах горно-предгорной зоны

Анализ работы вододелительных сооружений при подпорно-переменном истечении может быть выполнен на основе теоретических исследований установившихся режимов работы этих сооружений путем оценки коэффициентов граничных условий участка канала после возникновения воздействий.

Анализ установившихся режимов работы сооружения проведем на примере вододелителя траншейного типа.

Ранее были получены зависимости (2.32) и (2.37) для определения расходов истечения через вододелитель траншейного типа (рис. 1.19), которые позволяют перейти к составлению выражений в частных производных от расхода Q по переменным напору H над колодцем водовыпуска, открытию a затворов вододелителя к наполнению h_0 в отводящем канале, которые и определяют коэффициенты граничных условий участка транзитного канала-быстротока.

Выражения в частных производных составим сначала для режима свободного истечения в отводящий канал.

Для получения частной производной $\frac{\partial Q_{св}}{\partial H}$ приведем сначала выражение (2.34) к виду:

$$Q_{cв} = \mu_{\varepsilon} \cdot a_{cp} \cdot b \sqrt{2g} \cdot \frac{H}{(h_c + H)^{\frac{1}{2}}} . \quad (2.52)$$

Введем обозначение:

$$k = \mu_{\varepsilon} \cdot a_{cp} \cdot b \sqrt{2g} . \quad (2.53)$$

Перепишем выражение (2.52) в виде:

$$Q_{cв} = k \cdot \frac{H}{(h_c + H)^{\frac{1}{2}}} . \quad (2.54)$$

Продифференцируем (2.54) по напору H [125]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_{cв}}{\partial H} &= \frac{k}{h_c + H} \left[(h_c + H)^{\frac{1}{2}} - \frac{H}{2(h_c + H)^{\frac{1}{2}}} \right] = \\ &= \frac{k}{h_c + H} \cdot \frac{2(h_c + H) - H}{2\sqrt{h_c + H}} = \frac{k}{h_c + H} \cdot \frac{2h_c + H}{2\sqrt{h_c + H}} . \end{aligned} \quad (2.55)$$

$$\frac{\partial Q_{cв}}{\partial H} = \frac{\mu_{\varepsilon} \cdot a_{cp} \cdot b \sqrt{2g} (2h_c + H)}{2(h_c + H)^{\frac{3}{2}}} \Leftrightarrow$$

$$\frac{\partial Q_{cв}}{\partial H} = \sqrt{\frac{g}{2}} \cdot \mu_d \cdot a_{cp} \cdot b \cdot \frac{2h_c + H}{(h_c + H)^{\frac{3}{2}}} . \quad (2.56)$$

Для составления частной производной $\frac{\partial Q_{cв}}{\partial a_{cp}}$ перепишем выражение

(2.34) в виде:

$$Q_{cв} = \mu_{\varepsilon} \cdot b \sqrt{2g} \cdot H \cdot \frac{a_{cp}}{(\varepsilon \cdot a_{cp} + H)^{\frac{1}{2}}} . \quad (2.57)$$

Производная $\frac{\partial Q_{cв}}{\partial a_{cp}}$ примет вид:

$$\frac{\partial Q_{cв}}{\partial a_{cp}} = \mu_{\varepsilon} \cdot b \sqrt{2g} \cdot H \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon \cdot a_{cp} + H} - a_{cp} \cdot \frac{1}{2} (\varepsilon \cdot a_{cp} + H)^{-\frac{1}{2}} \cdot \varepsilon}{\varepsilon \cdot a_{cp} + H} =$$

$$\mu_6 \cdot b \sqrt{2g} \cdot H \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon \cdot a_{cp} + H} - \frac{a_{cp} \varepsilon}{a} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \cdot a_{cp} + H}}}{\varepsilon \cdot a_{cp} + H} =$$

$$\mu_6 \cdot b \sqrt{2g} \cdot H \cdot \frac{2(\varepsilon \cdot a_{cp} + H) - a_{cp} \cdot \varepsilon}{2(\varepsilon \cdot a_{cp} + H)^{\frac{3}{2}}} =$$

$$\mu_6 \cdot b \sqrt{2g} \cdot H \cdot \frac{2\varepsilon \cdot a_{cp} + 2H - \varepsilon \cdot a_{cp}}{2(\varepsilon \cdot a_{cp} + H)^{\frac{3}{2}}}.$$

$$\frac{\partial Q_{cs}}{\partial a_{cp}} = \sqrt{\frac{g}{2}} \cdot \mu_6 \cdot b \cdot H \cdot \frac{2H + \varepsilon \cdot a_{cp}}{(\varepsilon \cdot a_{cp} + H)^{\frac{3}{2}}}. \quad (2.58)$$

Для получения частной производной $\frac{\partial Q_{cs}}{\partial h_c}$ используем зависимость (2.54):

$$\frac{\partial Q_{cs}}{\partial h_c} = k \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{H^2}{h_c + H} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(-\frac{H^2}{(h_c + H)^2} \right) = -\frac{k}{2} \sqrt{\frac{h_c + H}{H^2}} \cdot \frac{H^2}{\sqrt{h_c + H} (h_c + H)^{\frac{3}{2}}}$$

$$\frac{\partial Q_{cs}}{\partial h_c} = -\frac{k}{2} \cdot \frac{H}{(h_c + H)^{\frac{3}{2}}} = -\frac{\mu_6 \cdot a_{cp} \cdot b \cdot \sqrt{2g}}{2} \cdot \frac{H}{(h_c + H)^{\frac{3}{2}}} \Leftrightarrow$$

$$\frac{\partial Q_{cs}}{\partial h_c} = -\sqrt{\frac{g}{2}} \cdot \mu_6 \cdot a_{cp} \cdot b \cdot \frac{H}{(h_c + H)^{\frac{3}{2}}}. \quad (2.59)$$

Теперь составим выражения в частных производных от расхода истечения для затопленного истечения из-под затвора вододелиителя, используя зависимость (2.38).

Перепишем зависимость (2.38) в виде:

$$Q_3 = k \cdot H \sqrt{\frac{H - h_6}{H^2 - h_c^2}}. \quad (2.60)$$

Частная производная $\frac{\partial Q_3}{\partial H}$ в этом случае:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial Q_3}{\partial H} &= K \cdot \sqrt{\frac{H-h_\delta}{H^2-h_\delta^2}} + K \cdot H \cdot \left(\left[\frac{H-h_\delta}{H^2-h_\delta^2} \right]^{\frac{1}{2}} \right)' = \\
&= K \cdot \sqrt{\frac{H-h_\delta}{H^2-h_\delta^2}} + K \cdot H \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{H-h_\delta}{H^2-h_\delta^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \frac{(H^2-h_\delta^2)-(H-h_\delta) \cdot 2H}{(H^2-h_\delta^2)^2} = \\
&= K \cdot \sqrt{\frac{H-h_\delta}{H^2-h_\delta^2}} + K \cdot H \cdot \frac{1}{2} \sqrt{\frac{H^2-h_\delta^2}{H-h_\delta}} \cdot \frac{(H^2-h_\delta^2)-2H(H-h_\delta)}{(H^2-h_\delta^2)^2}; \\
\frac{\partial Q_3}{\partial H} &= \mu_\varepsilon a_{cp} b \cdot \sqrt{2g} \left[\sqrt{\frac{H-h_\delta}{H^2-h_\delta^2}} + \frac{H}{2} \sqrt{\frac{H^2-h_\delta^2}{H-h_\delta}} \cdot \frac{(H^2-h_\delta^2)-2H(H-h_\delta)}{(H^2-h_\delta^2)^2} \right]; \quad (2.61)
\end{aligned}$$

Частная производная $\frac{\partial Q_3}{\partial a_{cp}}$:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial Q_3}{\partial a_{cp}} &= \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} H \left[\sqrt{\frac{H-h_\delta}{H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2}} + a_{cp} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{H-h_\delta}{H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \frac{-(H-h_\delta) \cdot (-2\varepsilon^2 a_{cp})}{(H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2)^2} \right] = \\
&= \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} H \left[\sqrt{\frac{H-h_\delta}{H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2}} + \frac{a_{cp}}{2} \sqrt{\frac{H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2}{H-h_\delta}} \cdot \frac{2\varepsilon^2 a_{cp}(H-h_\delta)}{(H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2)^2} \right] = \\
&= \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} H \left[\sqrt{\frac{H-h_\delta}{H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2}} + \varepsilon^2 a_{cp}^2 \sqrt{\frac{H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2}{H-h_\delta}} \cdot \frac{H-h_\delta}{(H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2)^2} \right] = \\
&= \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} H \left[\sqrt{\frac{H-h_\delta}{H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2}} + \varepsilon^2 a_{cp}^2 \sqrt{\frac{H-h_\delta}{(H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2)^3}} \right] = \\
&= \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} H \cdot \sqrt{\frac{H-h_\delta}{H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2}} \cdot \left[1 + \varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{1}{H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2} \right]; \\
\frac{\partial Q_3}{\partial a_{cp}} &= \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} \cdot H \cdot \sqrt{\frac{H-h_\delta}{H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2}} \cdot \left[1 + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{H^2-\varepsilon^2 a_{cp}^2} \right]. \quad (2.62)
\end{aligned}$$

Частную производную $\frac{\partial Q_3}{\partial h_\delta}$ можно получить, представив зависимость (2.38) в виде:

$$Q_3 = \mu_{\varepsilon} a_{cp} b \cdot \sqrt{2g} \cdot H \cdot \frac{1}{\sqrt{H^2 - h_c^2}} \cdot (H - h_{\delta})^{\frac{1}{2}}. \quad (2.63)$$

Используя зависимость (2.63), получим производную $\frac{\partial Q_3}{\partial h_{\delta}}$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_3}{\partial h_{\delta}} &= \mu_{\varepsilon} a_{cp} b \cdot \sqrt{2g} \cdot \frac{H}{2\sqrt{H^2 - h_c^2}} \cdot (H - h_{\delta})^{-\frac{1}{2}} \cdot (-1) \\ \frac{\partial Q_3}{\partial h_{\delta}} &= -\mu_{\varepsilon} a_{cp} b \cdot \sqrt{2g} \cdot \frac{H}{2\sqrt{H^2 - h_c^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{H - h_{\delta}}} = -\frac{\mu_{\varepsilon} a_{cp} b \cdot \sqrt{g} \cdot H}{\sqrt{2(H^2 - h_c^2)(H - h_{\delta})}}. \end{aligned} \quad (2.64)$$

Далее составим выражения в частных производных от расхода истечения для подтопленного истечения из-под затворов вододелителя траншейного тапа.

Для получения частной производной перепишем (2.42) в виде:

$$Q_n = L \cdot \left\{ H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - M - \left[h_{\delta}^2 - 4M \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - M \right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (2.65)$$

где $L = \mu_{\varepsilon} a_{cp} b \cdot \sqrt{2g}$; $M = \mu_{\varepsilon}^2 a_{cp}^2 \frac{h_{\delta} - h_c}{h_{\delta} h_c}$.

Продифференцируем (2.65) по ∂H :

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_n}{\partial H} &= \frac{L}{2} \left\{ H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - M - \left[h_{\delta}^2 - 4M \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - M \right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{-\frac{1}{2}} \cdot \\ &\cdot \left\{ -\frac{h_c^2}{(h_c + H)^2} - \frac{1}{2} \left[h_{\delta}^2 - 4M \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - M \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \cdot \left(-4M \left(1 + \frac{-h_c^2}{(h_c + H)^2} \right) \right) \right\} = \\ &= \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - M - \sqrt{h_{\delta}^2 - 4M \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - M \right)}}} \cdot \\ &\cdot \left\{ -\frac{h_c^2}{(h_c + H)^2} + \frac{4M}{2 \cdot \sqrt{h_{\delta}^2 - 4M \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - M \right)}} \cdot \left(1 - \frac{h_c^2}{(h_c + H)^2} \right) \right\}; \end{aligned}$$

$$\frac{\partial Q_n}{\partial H} = \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - M - \sqrt{h_\delta^2 - 4M \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - M \right)}}} \cdot \left\{ \frac{2M}{\sqrt{h_\delta^2 - 4M \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - M \right)}} \cdot \left(1 - \frac{h_c^2}{(h_c + H)^2} \right) - \frac{h_c^2}{(h_c + H)^2} \right\};$$

$$\frac{\partial Q_n}{\partial H} = \frac{\mu_\varepsilon a_{cp} b \cdot \sqrt{g}}{\sqrt{2} \sqrt{H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} - \sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right)}}} \cdot \left\{ \frac{2 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(1 - \frac{h_c^2}{(h_c + H)^2} \right)}{\sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right)}} - \frac{h_c^2}{(h_c + H)^2} \right\}.$$

(2.66)

Частная производная $\frac{\partial Q_n}{\partial a_{cp}}$:

$$\frac{\partial Q_n}{\partial a_{cp}} = \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}}} - \sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right)} +$$

$$+ \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} a_{cp} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}}} - \sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right)}}}.$$

$$\cdot \left\{ \frac{2\varepsilon^2 a_{cp}(\varepsilon a_{cp} + H) - \varepsilon^2 a_{cp}^2 \cdot \varepsilon}{(\varepsilon a_{cp} + H)^2} - \left[2\mu_B^2 a_{cp} \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} + \mu_B^2 a_{cp}^2 \cdot \frac{-\varepsilon^2 h_\delta a_{cp} - \varepsilon h_\delta (h_\delta - \varepsilon a_{cp})}{h_\delta^2 \varepsilon^2 a_{cp}^2} \right] - \frac{1}{2} \right\} \cdot \frac{4\mu_B^2}{\sqrt{h_\delta^2 - 4\mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right)}} \cdot \left[\frac{(2h_\delta a_{cp} - 3\varepsilon a_{cp}^2) h_\delta \varepsilon a_{cp} - (h_\delta a_{cp}^2 - \varepsilon a_{cp}^2) \cdot h_\delta \varepsilon}{h_\delta^2 \varepsilon^2 a_{cp}^2} \right]$$

$$\left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right) + a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \cdot \left(\frac{2\varepsilon^2 a_{cp}(\varepsilon a_{cp} + H) - \varepsilon^2 a_{cp}^2}{(\varepsilon a_{cp} + H)^2} - \mu_B^2 \cdot \frac{(2h_\delta a_{cp} - 3\varepsilon a_{cp}^2) h_\delta \varepsilon a_{cp} - (h_\delta - \varepsilon a_{cp}) \cdot h_\delta \varepsilon a_{cp}^2}{h_\delta^2 \varepsilon^2 a_{cp}^2} \right) \right]$$

Преобразуем выражение в фигурных скобках:

$$\frac{\partial Q_n}{\partial a_{cp}} = \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} - \sqrt{h_\delta^2 - 4\mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right)}}} +$$

$$+ \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} a_{cp} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} - \sqrt{h_\delta^2 - 4\mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right)}}}}$$

$$\cdot \left\{ \frac{2\varepsilon^3 a_{cp}^2 + 2\varepsilon^2 a_{cp} H - \varepsilon^3 a_{cp}^2}{(\varepsilon a_{cp} + H)^2} - \left[2\mu_B^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} - \mu_B^2 \frac{\varepsilon a_{cp} + h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \right] - \frac{2\mu_B^2}{\sqrt{h_\delta^2 - 4\mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \right)}}} \right\} \cdot \left[\frac{2h_\delta - 3\varepsilon a_{cp} - h_\delta + \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \cdot \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \right) + \left[a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \left(\varepsilon^2 a_{cp} \frac{\varepsilon a_{cp} + 2H}{(\varepsilon a_{cp} + H)^2} - \mu_\varepsilon^2 \frac{2h_\delta - 3\varepsilon a_{cp} - h_\delta + \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \right) \right] \right];$$

$$\frac{\partial Q_n}{\partial a_{cp}} = \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{\frac{H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}}}{-\sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right)}}} +$$

$$+ \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} a_{cp} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{\frac{H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}}}{-\sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right)}}} \cdot$$

$$\cdot \left\{ \varepsilon^2 a_{cp} \frac{\varepsilon a_{cp} + 2H}{(\varepsilon a_{cp} + H)^2} - \frac{\mu_B^2}{\varepsilon} \left[2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta} - 1 \right] - \frac{2\mu_B^2}{\sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \right)}} \right.$$

$$\left. \left[\frac{h_\delta - 2\varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \cdot \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \right) + a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \left(\varepsilon^2 a_{cp} \frac{\varepsilon a_{cp} + 2H}{(\varepsilon a_{cp} + H)^2} - \mu_B^2 \frac{h_\delta - 2\varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \right) \right] \right\}$$

$$\frac{\partial Q_n}{\partial a_{cp}} = \mu_\varepsilon b \cdot \sqrt{2g} \cdot$$

$$\cdot \sqrt{\frac{H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}}}{-\sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right)}}} \times \sqrt{\frac{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}}}{\left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right)}}} +$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu_\varepsilon a_{cp} b \cdot \sqrt{2g}}{\sqrt{\frac{H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}}}{-\sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right)}}} \cdot$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon^2 a_{cp} \frac{\varepsilon a_{cp} + 2H}{(\varepsilon a_{cp} + H)^2} - \frac{\mu_B^2}{\varepsilon} \left[2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta} - 1 \right] - \frac{2\mu_B^2}{\sqrt{h_\delta^2 - 4\mu_B^2 a_{cp} \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_B^2 a_{cp} \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \right)}} \\ \left[\frac{h_\delta - 2\varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \cdot \left(H + \frac{\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\varepsilon a_{cp} + H} - \mu_B^2 a_{cp} \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \right) + a_{cp}^2 \frac{h_\delta - \varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon a_{cp}} \right] \\ \left(\varepsilon^2 a_{cp} \frac{\varepsilon a_{cp} + 2H}{(\varepsilon a_{cp} + H)^2} - \mu_B^2 \frac{h_\delta - 2\varepsilon a_{cp}}{h_\delta \varepsilon} \right) \end{array} \right\} \quad (2.67)$$

Частная производная $\frac{\partial Q_n}{\partial h_c}$ составит:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_n}{\partial h_c} &= \mu_B \cdot a_{cp} \cdot b \cdot \sqrt{\frac{g}{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} - \sqrt{h_\delta^2 - 4\mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right)}}} \\ &\cdot \left\{ \frac{2h_c(h_c + H) - h_c^2}{(h_c + H)^2} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{-h_\delta h_c - (h_\delta - h_c)h_\delta}{h_\delta^2 h_c^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{h_\delta^2 - 4\mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right)}}} \right. \\ &\cdot \left[4\mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{-h_\delta h_c - (h_\delta - h_c)h_\delta}{h_\delta^2 h_c^2} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right) + 4\mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right. \\ &\left. \left. \cdot \left(\frac{2h_c(h_c + H) - h_c^2}{(h_c + H)^2} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{-h_\delta h_c - (h_\delta - h_c)h_\delta}{h_\delta^2 h_c^2} \right) \right] \right\} = \\ &= \frac{\mu_B \cdot a_{cp} \cdot b \cdot \sqrt{\frac{g}{2}}}{\sqrt{H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} - \sqrt{h_\delta^2 - 4\mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right)}}} \end{aligned}$$

$$\cdot \left\{ \frac{h_c^2 + H}{(h_c + H)^2} + \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta h_c + h_\delta^2 - h_\delta h_c}{h_\delta^2 h_c^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right)}} \right. \\ \cdot \left[4 \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{-h_\delta h_c - h_\delta^2 + h_\delta h_c}{h_\delta^2 h_c^2} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right) + 4 \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \cdot \right. \\ \left. \left. \cdot \left(\frac{h_c^2 + H}{(h_c + H)^2} - \mu_B^2 a_{cp}^2 \frac{-h_\delta h_c - h_\delta^2 + h_\delta h_c}{h_\delta^2 h_c^2} \right) \right] \right\} \Leftrightarrow$$

$$\frac{\partial Q_n}{\partial h_c} = \frac{\mu_\varepsilon \cdot a_{cp} \cdot b \cdot \sqrt{\frac{g}{2}}}{\sqrt{H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} - \sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right)}}}$$

$$\cdot \left\{ \frac{h_c^2 + H}{(h_c + H)^2} + \frac{\mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2}{h_c^2} + \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right)}} \cdot \left[- \frac{4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2}{h_c^2} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right) + 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(\frac{h_c^2 + H}{(h_c + H)^2} + \frac{\mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2}{h_c^2} \right) \right] \right\} ;$$

$$\frac{\partial Q_n}{\partial h_c} = \frac{\mu_\varepsilon \cdot a_{cp} \cdot b \cdot \sqrt{g}}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} - \sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right)}}}$$

$$\cdot \left\{ \frac{h_c^2 + H}{(h_c + H)^2} + \frac{\mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2}{h_c^2} - \frac{2 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2}{\sqrt{h_\delta^2 - 4 \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(H + \frac{h_c^2}{h_c + H} - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \right)}} \cdot \left[\frac{H}{h_c^2} + \frac{1}{h_c + H} - \right. \right. \\ \left. \left. - \mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2 \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c^2} - \frac{h_\delta - h_c}{h_\delta h_c} \left(\frac{h_c^2 + H}{(h_c + H)^2} + \frac{\mu_\varepsilon^2 a_{cp}^2}{h_c^2} \right) \right] \right\}. \quad (2.68)$$

Полученные выражения в частных производных позволяют оценить поведение вододелителя траншейного типа в процессе работы.

Проанализируем сначала частные производные от расхода при свободном истечении из-под затворов вододелителя. При рассмотрении выражения (2.56) видно, что с увеличением напора H параметр $\frac{2h_c + H}{(h_c + H)^2}$ уменьшается, так же как и уменьшается значение самой частной

производной $\frac{\partial Q_{св}}{\partial H}$. Это позволяет сделать вывод о том, что при достаточно больших наполнениях H в транзитном канале и свободном истечении из-под затворов, вододелитель позволяет обеспечить постоянство отводимого расхода воды в определенном диапазоне регулирования. Причем уменьшение значения частной производной $\frac{\partial Q_{св}}{\partial H}$ с увеличением напора H является монотонным и свидетельствует о лучшем качестве стабилизации водоподачи при больших напорах перед сооружением по сравнению с малыми.

Анализ выражения (2.58) показывает, что с увеличением относительного открытия $\frac{a_{ср}}{H}$ затворов вододелителя уменьшается значение параметра $\frac{2H + \varepsilon a_{ср}}{(\varepsilon a_{ср} + H)^2}$. При этом происходит уменьшение частной производной $\frac{\partial Q_{св}}{\partial a_{ср}} \rightarrow 1$, что свидетельствует об улучшении качества регулирования отводимых расходов воды с увеличением относительных открытий. Наиболее приемлемыми являются открытия $\frac{a_{ср}}{H} \geq 0,3$ затворов вододелителя.

Знак производной $\frac{\partial Q_{св}}{\partial a_{ср}}$ свидетельствует о том, что с увеличением открытия затвора величина отводимого расхода возрастает, при чем

зависимость $\frac{\partial Q}{\partial a_{cp}} = f\left(\frac{a_{cp}}{H}\right)$ пропорциональна и практически линейна, что очередной раз подтверждает возможность использования наиболее совершенных конструкций вододелителей рассмотренного типа в качестве водомеров на оросительной сети.

Анализ частной производной $\frac{\partial Q_{св}}{\partial h_c}$ (2.59) показывает, что она является величиной отрицательной. Следовательно, с увеличением h_c в отводящем канале уменьшается отводимый расход $Q_{св}$.

Чем больше глубина h_c , тем меньше по абсолютной величине значение производной $\frac{\partial Q_{св}}{\partial h_c}$, а следовательно, и влияние на величину расхода $Q_{св}$ глубины h_c .

При затопленном истечении из-под затворов вододелителя частная производная $\frac{\partial Q_3}{\partial H}$ и $\frac{\partial Q_3}{\partial a_{cp}}$ - положительные (2.61, 2.62), а $\frac{\partial Q_3}{\partial h_6}$ - величина отрицательная (2.64) на всем диапазоне изменения соотношений $\frac{a_{cp}}{H}$ и $\frac{h_6}{H}$.

Из анализа зависимости (2.61) видно, что поддерживать относительно постоянным отводимый расход в случае затопленного истечения несколько сложнее, чем при свободном истечении. При этом изменение расхода и наполнения в транзитном канале оказывает большее влияние на изменение отводимого расхода при затопленном истечении, чем при свободном истечении. В этом случае величина частных производных $\frac{\partial Q_3}{\partial H}$ при малых наполнениях $H \leq 0,2$ м имеют гораздо большие значения, чем в случае свободного истечения. Наличие стабилизирующих свойств у вододелителя в режиме затопленного истечения наблюдается при наполнениях на вододелителе в 1,5 раза больших, чем в режиме свободного истечения. Помимо этого, на изменение расхода истечения оказывает влияние изменение гидравлических параметров h_z и h_6 со стороны нижнего

бьефа сооружения. Однако при значительных расходах воды и наполнениях в транзитном канале очевидна стабилизирующая способность рассматриваемой конструкции.

Важную роль при изменении расхода истечения через вододелитель при затопленном режиме играет изменение открытия a_{cp} затворов.

Анализ зависимости (2.62) показал, что при затопленном истечении с увеличением открытия a_{cp} вододелителя значение производной $\frac{\partial Q_3}{\partial a_{cp}}$ уменьшается. Следовательно, лучшее качество регулирования отводимых расходов воды имеет место при больших открытиях затворов. С помощью подстановки числовых значений гидравлических параметров в формулу (2.61) установлено, что наилучшие стабилизирующие способности в затопленном истечении конструкция проявляет при $0,45 \leq \frac{a_{cp}}{H} \leq 0,85$.

Частная производная $\frac{\partial Q_3}{\partial h_6}$ имеет знак « - », что говорит об уменьшении отводимого расхода с увеличением наполнения h_6 в отводящем канале. Таким образом, при увеличении наполнения h_6 уменьшается по абсолютной величине значение производной $\frac{\partial Q_3}{\partial h_6}$, а следовательно, и влияние на величину расхода Q_3 глубины h_6 . Точность регулирования отводимого расхода воды в этом случае повышается, а качество стабилизации улучшается.

Наиболее интересным является результат анализа частных производных от расхода Q_n по параметрам H, a_{cp} и h_c в режиме подтопленного истечения.

Полученные частные производные $\frac{\partial Q_n}{\partial H}$, $\frac{\partial Q_n}{\partial a_{cp}}$ и $\frac{\partial Q_n}{\partial h_c}$ представляют собой довольно громоздкие зависимости (2.66), (2.67) и (2.68). Поэтому при анализе

этих зависимостей использовались экспериментальные данные, позволившие сделать следующие выводы.

При подтопленном истечении из-под затворов картина изменения расхода при изменении наполнения в транзитном канале совершенно не стабильна. Знак частной производной $\frac{\partial Q_n}{\partial H}$ положительный. Это говорит об увеличении расхода истечения с увеличением напора перед затвором, что действительно имеет место во всем диапазоне колебаний напоров. При чем, при напорах $0,3 \dots 0,45 \text{ (м)} \leq H \leq 0,55 \dots 0,70 \text{ (м)}$ значения производной $\frac{\partial Q_n}{\partial H}$ велики, что соответствует резкому росту значений расходов истечения, в отличие от расходов при меньших напорах или больших, чем указанные.

Такая нестабильность в поведении конструкции в подтопленном режиме истечения говорит о нежелательности ее использования для целей стабилизации водоподачи при подтопленном истечении в отводящий канал.

Зависимость (2.67) показывает, что производная $\frac{\partial Q_n}{\partial a_{cp}}$ имеет положительный знак, что очередной раз подтверждает увеличение расхода истечения Q_n при увеличении открытия a_{cp} . При этом увеличение расхода истечения происходит пропорционально увеличению открытия затворов. Это характерно для случая подтопленного истечения из-под затвора.

Анализ зависимости (2.68) показывает, что значение производной $\frac{\partial Q_n}{\partial h_c}$ достаточно мало, хотя и является положительной величиной, при малых значениях h_c , что позволяет утверждать о небольших увеличениях расхода истечения Q_n при увеличении наполнения в сжатом сечении h_c в случае подтопленного истечения. С увеличением значений $h_c \rightarrow h_0$ картина резко изменяется – происходит уменьшение значений производной $\frac{\partial Q_n}{\partial h_c}$ по абсолютной величине. Кроме того, изменяется и знак производной $\frac{\partial Q_n}{\partial h_c}$ на

противоположный, создавая картину практически затопленного истечения через сооружение.

Таким образом, анализ выражений (2.56) – (2.68) показывает, что режимы истечения через ВКСРТ и другие вододелители аналогичного типа оказывают большое внимание на поведение самих конструкций и канала, оборудованного этими вододелителями, как системы водораспределения в целом.

Опираясь на зависимости (2.56) – (2.65) можно утверждать, что наиболее приемлемыми с точки зрения регулирования отводимых расходов воды являются режимы свободного и затопленного истечения из-под затворов. Хотя в режиме затопления гидравлические характеристики вододелителя $\frac{\partial Q_z}{\partial a_{cp}}$ и $\frac{\partial Q_z}{\partial h_b}$ несколько хуже, чем в режиме свободного истечения $\frac{\partial Q_{св}}{\partial a_{cp}}$ и $\frac{\partial Q_{св}}{\partial h_c}$.

При свободном истечении из-под затворов и при затопленном истечении, при бурном течении потока в транзитном канале и отсутствии нестационарного движения потока воды можем использовать вододелители траншейного типа усовершенствованных конструкций для целей стабилизации водоподачи. Однако анализ зависимостей (2.66) – (2.68) позволяет сделать вывод о явной неустойчивости гидравлических параметров отводимого потока при переходе его из свободного истечения в затопленное, и наоборот. Поэтому вододелители траншейного типа на каналах-быстротоках в подпорно-переменном режиме истечения из-под затворов не обеспечивают достаточное качество стабилизации водоподачи.

Сделанные на основе теоретических исследований выводы следует проверить экспериментальным путем.

2.9 Технические условия и требования к средствам водоучета и водораспределения на каналах-быстротоках

Для создания новых, более совершенных средств учета воды на быстротечных каналах необходимо сформулировать требования к этим устройствам.

Основные технические условия и требования к средствам водоучета на каналах-быстротоках должны быть направлены на совершенствование технологии учета воды на них, исключить недостатки существующих конструкций.

Таким образом, опираясь на результаты проведенного анализа существующих способов и средств водоучета на оросительных системах, сформулируем основные требования к мелиоративным гидротехническим сооружениям водоучета на каналах-быстротоках:

- обеспечение требуемой точности водоучета на канале, а также сохранение однозначности измеряемых величин во всем диапазоне измерений;
- обеспечение надежности сооружения водоучета, способности бесперебойно функционировать в условиях высокоскоростных волновых потоков, обеспечивая отсутствие гидравлического прыжка на сооружении и других нежелательных гидравлических явлений, нарушающих водомерность сооружения;
- отношение (диапазон) измеряемых расходов не должен превышать значения 5-7, то есть

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} = (5 \div 7); \quad (2.69)$$

работа сооружения, водомерных устройств и приборов не должна нарушаться из-за отложения наносов, наличия плавающих тел, мусора, а также при спонтанных, но допустимых изменениях параметров измеряемой и внешней среды;

- сохранение неизменной формы, положения и габаритов всех элементов сооружения, влияющих на поток и его структуру, в процессе всего периода эксплуатации;
- невозможность какого-либо вмешательства извне в показания приборов, фиксируемые параметры и средства фиксации;
- небольшая металлоемкость;
- простота конструкции водомерного сооружения;
- технологичность эксплуатации сооружения водоучета;
- возможность быстрой замены и реставрации, градуировки и переградуировки средств измерений;
- не обязательность постоянного присутствия обслуживающего персонала на сооружении.
- безопасность обслуживающего персонала при любых изменениях параметров потока и местных условий.

К сожалению, рассмотренные существующие средства водоучета при их использовании на каналах-быстротоках оросительных систем не отвечают перечисленным требованиям. Поэтому необходимо создание новых усовершенствованных водомеров для каналов-быстротоков с бурным и сверхбурным режимами течения, которые позволят обеспечить указанные выше технические и технологические требования в процессе эксплуатации на каналах горно-предгорной зоны.

Решение задач совершенствования вододелителей для каналов со сверхбурным течением предполагает формулирование технических требований к конструкции вододелителя сверхбурного потока на канале-быстротоке. Перечислим основные из этих требований:

- вододелитель сверхбурного потока должен обеспечивать подачу требуемых расходов воды в отвод согласно оперативным графикам водоподачи;

- конструкция вододелителя должна предусматривать возможность изменения уставки и изменения величины затворов в головной части ирригационного канала;
- водовыпуск должен быть защищен от попадания в него плавника, мусора и крупных донных наносов;
- конструкция вододелителя должна благоприятно влиять на структуру потока в отводящем канале, способствуя гашению избыточной кинетической энергии;
- вододелитель по возможности должен обеспечивать постоянство (стабилизацию) отводимых расходов воды и способствовать решению проблемы водоучета на сооружении;
- конструкция вододелителя должна быть надежной в условиях резкого колебания температур воздуха, поскольку энергетические гидросооружения эксплуатируются круглогодично;
- вододелитель должен быть достаточно простым по конструкции, несложным в эксплуатации.

С целью обеспечения перечисленных условий и требований была разработана усовершенствованная конструкция вододелителя сверхбурного потока (Глава 4). Детальная проработка предлагаемой конструкции, теоретические и экспериментальные исследования являются предметом дальнейшего рассмотрения.

ГЛАВА 3

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОМЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГОРНО- ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ

3.1 Натурное обследование водомерных сооружений на каналах горно-предгорной зоны

С целью совершенствования сооружений водоучета на каналах горно-предгорной зоны необходимо было провести натурное обследование существующих сооружений водоучета на оросительных системах Кыргызстана и выявить недостатки этих сооружений.

При натурном исследовании водомерных сооружений изучались следующие вопросы:

- а) пропускная способность водомерных сооружений;
- б) коэффициент расхода водомеров;
- в) режимы работы гидростов.

При проведении измерений и обработке полученных материалов применялись методы, изложенные в нормативных документах: МВИ 05-90 [126]; ВТР-М-1-80 [127]; ВТР-М-2-80 [128]; МВИ 06-90 [129]; РДП 99-77 [130]; МИ 2122-90 [52].

К числу репрезентативных линейных гидротехнических сооружений можно отнести магистральные каналы межреспубликанского (ЗБЧК, Карадарьинский подпитывающий и др.), межрайонного (ВБЧК, ЮБЧК, Туш и др.), межхозяйственного и хозяйственного значений.

Поскольку коммерческие гидросты размещаются в основном в головной части внутрихозяйственных каналов и редко на межхозяйственной сети, то ниже проводятся краткие их характеристики. При этом приводятся характеристики каналов, выполненных главным образом в земляном русле,

так как именно на них размещены типовые гидросты. Уклон каналов в зоне размещения гидросты, чаще всего, меньше критического.

Обследованные межхозяйственные и внутрихозяйственные каналы в земляном русле имеют уклоны 0,0001 - 0,007; строительные высоты 0,6 - 1,2 м; скорости течения воды 0,3 - 1,0 м/с; числа Фруда 0,03 - 0,8. Ширины каналов по дну составляют от 0,4 и до 2,5 м, при этом чаще встречаются водотоки с наполнениями 0,10 - 0,70 м. Расходы воды в каналах составляют 0,1 - 2,5 м³/с, при этом во внутрихозяйственных каналах - 0,1 - 1,2 м³/с и в межхозяйственных - 1,0 - 3,0 м³/с. Заложения откосов каналов - 1,0 - 1,5.

3.1.1 Водомерные сооружения типа «фиксированное русло»

Наибольшее распространение на оросительных системах Кыргызской Республики получили водомерные сооружения типа «фиксированное русло».

Основные требования, предъявляемые к измерительному участку канала при водомерном сооружении типа «фиксированное русло» (рис. 3.1), сводятся к следующему [80, 126]:

- а) режим течения потока в пределах сооружения и, особенно, в измерительном створе должен быть равномерным (гидравлические элементы потока - глубина, площадь живого сечения, скорость, гидравлический уклон должны оставаться постоянными во времени по длине измерительного участка);
- б) отклонение от направления отдельных струй потока относительно оси сооружения не должно превышать 15°.

Режим движения воды на сооружении должен быть равномерным. При соблюдении перечисленных требований приведенная погрешность измерения расхода составит (для каналов прямоугольного и трапецеидального поперечных сечений) менее 5 %, т.е. $\delta_Q \leq 5 \%$, что допускается нормативным документом [126]. Следует отметить, что такие условия могут иметь место только при течении воды по призматическому

водотоку в условиях отсутствия подпора, т.е. когда форма и параметры водотока не изменяются по длине измерительного участка.

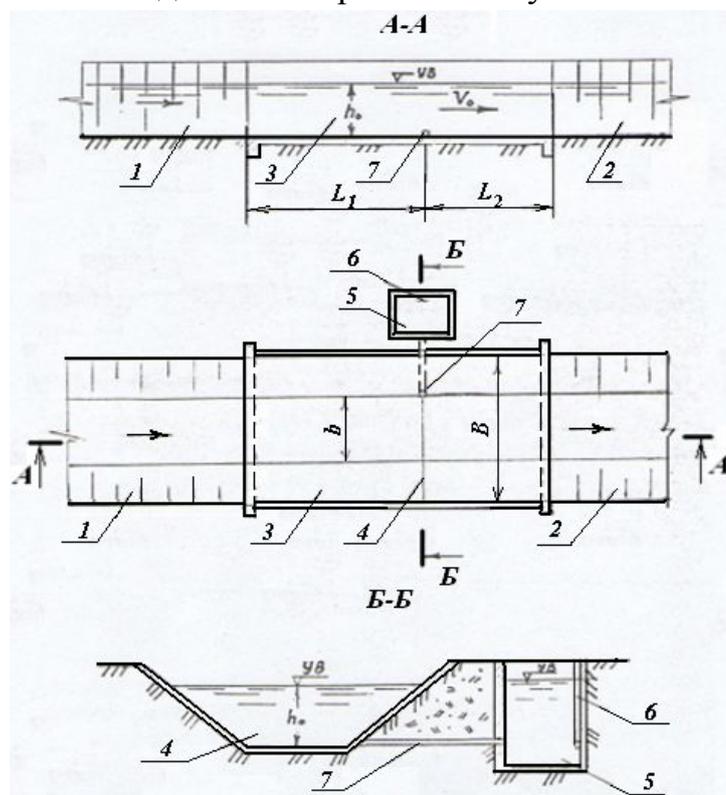


Рис. 3.1. Схема водомерного сооружения типа «фиксированное русло»: 1 и 2 – подводящий и отводящий каналы; 3 – измерительный участок; 4- измерительный створ; 5- успокоительный колодец; 6 – уровнемерная рейка; 7 – соединительная (водопроводящая) труба [129].

Для придания водотоку призматической формы при проектировании и строительстве водомерного сооружения к измерительному его участку предъявляется ряд требований: он должен быть прямолинейным и иметь постоянную форму поперечного сечения; дно и откосы должны быть устойчивыми; уклон участка должен быть постоянным; сооружение должно иметь достаточную длину для формирования равномерного режима течения воды; удален от сетевых сооружений (в верхнем и нижнем бьефах) на расстояние, исключающее появление в измерительном створе волны возмущений, нарушающих режим течения воды в пределах сооружения.

Преобладающее большинство гидропостов, построенных на оросительных системах Кыргызской Республики, отвечает предъявляемым к ним

требованиям. Поэтому они при метрологической аттестации допускаются к применению в качестве рабочих средств для измерения расходов воды. К числу таких сооружений относятся, прежде всего, те, которые построены на бетонированных каналах. Гидропосты, построенные на магистральных и межхозяйственных каналах с земляным руслом (измерительные участки, как правило, облицованы монолитным бетоном или железобетонными плитами), также функционирует нормально, т.к. их работоспособность поддерживается постоянной очисткой отводящих каналов от наносов и растительности.

Большие сложности при эксплуатации возникают на гидропостах, построенных на внутрихозяйственных каналах с земляным руслом. На этих сооружениях из-за заиления и зарастания отводящих каналов, появляются подпоры воды с нижнего бьефа, нарушается режим истечения через сооружение, что осложняет учет водных ресурсов. При этом подпоры чаще и быстрее появляются на гидропостах, расположенных на каналах с минимальными уклонами. На каналах, трассы которых расположены поперек горизонталей, при уклонах трассы близких к критическим, процесс заиления и зарастания отводящих каналов более продолжительный, что в известной мере положительно сказывается на эксплуатационных показателях водомерных сооружений. Однако при любом размещении трассы внутрихозяйственных каналов по отношению к горизонталям, отводящие каналы с земляным руслом регулярно (через 2 - 3 года) должны очищаться от наносов и растительности. Невыполнение этого требования приводит к появлению подпорно-переменных режимов истечения воды, при которых гидропосты при аттестации не допускаются к применению в качестве рабочих средств для измерения расходов воды.

На работе гидропостов отрицательно сказывается и действие сетевых сооружений (водораспределителей), размещенных на отводящих каналах вблизи водомерных сооружений. На этих гидропостах из-за заиления и зарастания отводящих каналов возникают подпорно – переменные режимы истечения, осложняющие эксплуатацию сооружений и снижающие их метрологические характеристики.

Расчетная пропускная способность водомерных сооружений Q_p определяется по известным формулам гидравлики [114].

Рассмотрим два обследованных гидропоста типа «фиксированное русло», функционирование которых можно признать удовлетворительным ввиду соответствия значений измеряемых расходов Q_u воды расчетным расходам Q_p , т.е. $Q_u = Q_p$.

Гидропост № 74 на канале «Джана» с.р.Талас, построен в 1970 году и имеет следующие параметры: ширина по дну $b=1,5$ м; заложение откосов $m = 0,61$; уклон $i = 0,0007$. Откосы облицованы железобетонными плитами, дно – монолитным бетоном. Состояние облицовки удовлетворительное [80].

Расчетная зависимость $Q_p = f(h)$ для рассматриваемого гидропоста приведена на рис. 3.2 пунктирной линией. Результаты измеренных расходов (в 1995 – 1998 гг., 2008 г.) приведены на том же рисунке в виде графика $Q_u = f(h_u)$ сплошной линией.

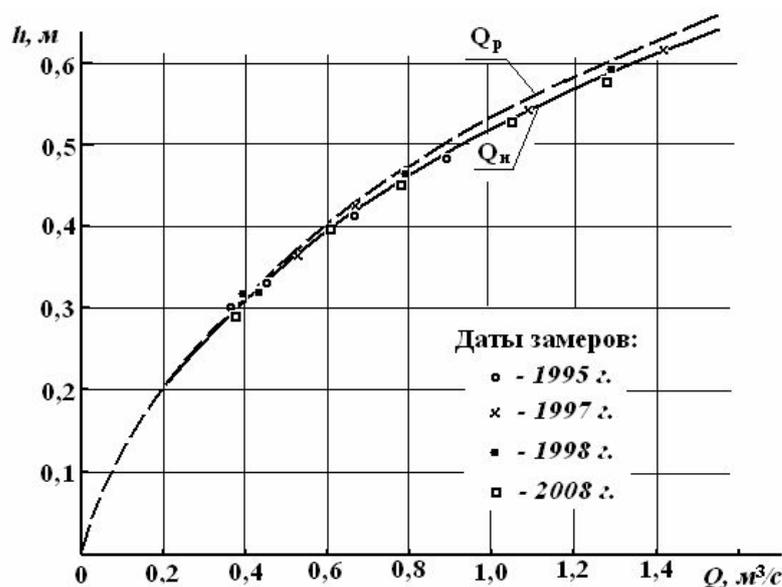


Рис. 3.2. Пропускная способность гидропоста № 74 на канале «Джана» системы р.Талас.

Графические зависимости, изображенные на рис. 3.2, показывают, что максимальная погрешность измерений составляет 4,1 %. Режим течения воды на гидропосту № 74 – равномерный. Поэтому данный гидропост поддерживается эксплуатационной службой в рабочем состоянии и используется в для измерения расходов воды на канале «Джана».

Еще один периодически аттестуемый гидропост типа «фиксированное русло» - гидропост № 49 на канале Р-7 системы ЗБЧК.

Гидропост № 49 расположен в голове канала Р – 7 (отвод ЗБЧК) и построен в 1975 году. Параметры сооружения: $b = 3,36$ м; $m = 1$; $i = 0,00035$. Расходные характеристики $Q_p = f(h)$ и $Q_u = f(h_u)$ приведены на рисунке 3.3, где наблюдается удовлетворительное совпадение измеренных расходов с расчетными. Режим течения воды на сооружении – равномерный. Проведенные ранее [31] нами и в 2008 г. замеры расходов воды показали, что максимальная погрешность измерений расходов воды составляет 4,8 %. Поэтому данное сооружение используется в качестве водомера при подаче воды из ЗБЧК в канал Р – 7.

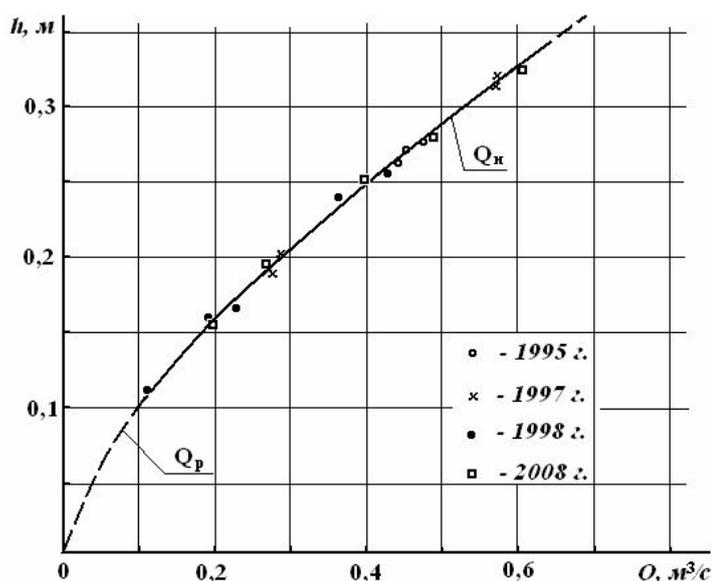


Рис. 3.3. Пропускная способность гидропоста № 49 на Р-7 из ЗБЧК.

Ниже рассматриваются другие объекты, на которых равномерный режим течения воды нарушается из-за подпора, возникающего в результате заиления и зарастания отводящих каналов, выполненных в земляном русле.

Гидропост на канале Р-15 на отводе из канала Савай системы р.Кара-Дарья [80]. Гидропост построен в 1957 году. Тип гидропоста – «фиксированное русло», сечение – трапецеидальное, облицован монолитным бетоном. Гидропост сопряжен с подводным водотоком (трубчатым водовыпуском) при помощи участка, выполненного в виде колодца-гасителя,

который также облицован бетоном. Отводящие каналы (левый и правый) выполнены в земляном русле и не имеют облицовок. Параметры гидропоста: ширина по дну $b = 0,4$ м; откосы $m = 1,0$; строительная высота $h_{стр.} = 0,6$ м; уклон дна сооружения $i = 0,004$. В состав гидропоста входит уравнивающий колодец, его размеры $0,4 \times 0,3 \times 0,6$ м. Колодец соединен с водотоком при помощи щели. Расчетные расходы воды канала в створе водомерного сооружения: $Q_{min} = 0,03$ м³/с и $Q_{max} = 0,70$ м³/с.

На отводящем канале отсутствует водораспределительное сооружение, поэтому распределение воды между отводами (прямой и левый) производится примитивным способом - при помощи временных перемычек, возводимых из местного строительного материала.

Пропускная способность гидропоста характеризуется графиками зависимости $Q_p = f(h_z)$ и $Q_u = f(h_u)$ (рис. 3.4), где Q_p – расход воды, определенный гидравлическим расчетом при замеренных параметрах сооружения и заданной глубине потока h_z , Q_u - измеренный расход воды при установленной глубине потока h_u .

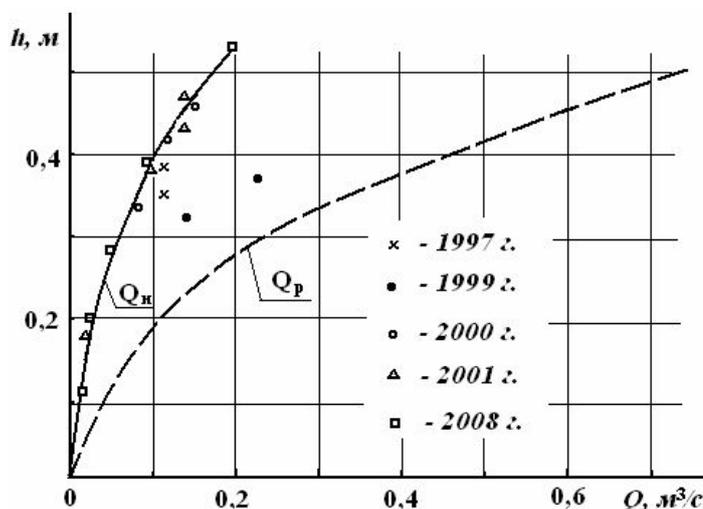


Рис. 3.4. Пропускная способность гидропоста на канале Р – 15 на отводе из канала Савай системы р.Кара-Дарья.

Результаты измерений расходов воды на гидропосту показывают, что измеряемые расходы воды при заданных наполнениях на нем значительно меньше расчетных значений, т.е. $Q_u < Q_p$. Это имеет место в результате того,

что сооружение работает в подтопленном и затопленном режимах истечения, на что также указывает расположение (разброс) точек измерений расходов воды.

Ввиду того, что фактическая тарировочная кривая водомерного сооружения не совпадала с расчетной, службой эксплуатации в 1993 г. был построен график зависимости $Q_u = f(h_u)$, по данным которого оформлена таблица координат для фактического определения пропускной способности гидропоста. Однако как показала практика, этот график оказался неточным и потребовал внесения ежегодных изменений и поправок в построенную зависимость.

Проведенные нами в 2008 г. замеры расходов воды на рассматриваемом гидропосту подтвердили несоответствие фактических значений расходов истечения и расчетных значений. На наш взгляд, результатом нарушения режима истечения через сооружение в данном случае явилось уменьшение скорости течения воды. Если скорость при равномерном режиме должна составлять 0,5 - 1,5 м/с, то при затопленном режиме она находилась в пределах 0,05 – 0,35 м/с. Появление затопленного режима истечения через сооружение, рассчитанное на свободное истечение, сопровождалось уменьшением пропускной способности гидропоста. В этом случае подача требуемых (повышенных) расходов воды осуществлялась путем полного затопления сооружения (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Гидропост на Р-15 затоплен водой, скорость течения воды не превышает 0,05...0,10 м/с.

На обследованном гидропосту на канале Р-15 на отводе из канала Савай не возможно говорить о достаточно точном и правильном учете воды. В настоящее время отводимый расход воды определяется примерно и «на глаз». Опыт эксплуатации рассматриваемого сооружения позволил прийти к заключению о том, что подтопленный и затопленный режимы истечения возникают в случаях, когда вода подается либо в боковой отвод или боковой и прямой отводы одновременно. Реже это возникает, если подача воды осуществляется только в прямой отвод, построенный по наибольшему уклону.

Еще одно обследованное водомерное сооружений представляет собой гидропост № 63 на канале Р-10 левый из ЗБЧК (Сокулукское отделение УМРК Чуйской долины).

Гидропост № 63 построен в 1973 году. Его тип – «фиксированное русло», сечение прямоугольное, ширина $b = 1,1$ м [80]. Размещен гидропост за водораспределительным сооружением. Подводящий канал облицован Г – образными блоками, отводящий канал выполнен в земляном русле. Уклон Р-10 $i = 0,001$, расчетные расходы $Q = 0,1 - 0,5$ м³/с.

Расходные характеристики $Q_p = f(h)$ и $Q_n = f(h)$, приведены на рис. 3.6.

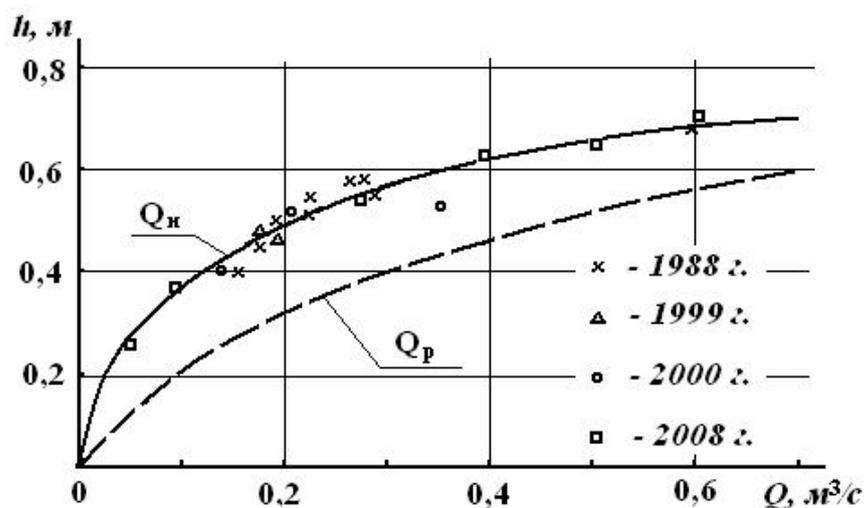


Рис. 3.6. Пропускная способность гидропоста №63 на Р-10 левый из ЗБЧК.

Построенные расходные характеристики наглядно демонстрируют, что измеренные расходы значительно меньше их расчетных значений. При этом имеется большой разброс точек измеренных расходов воды. Описанные результаты указывают на то, что гидропост № 63 не обеспечивает своего основного назначения. Режим истечения через сооружение затопленный.

Гидропост на канале Р-6-03 на отводе из Атбашинского магистрального канала (Аламудинское РУВХ). Гидропост построен в 1938 году, тип – «фиксированное русло» [80], сечение трапецеидальное, размещен на расстоянии 8 м от водовыпуска из Р-6. Подводящий канал облицован железобетонными плитами, отводящий – выполнен в земляном русле. Параметры гидропоста: $b = 0,96$ м; $m = 0,59-0,67$; $i = 0,002$; расходы воды – $Q=0,1-0,3$ м³/с.

Результаты многолетних замеров позволили построить график пропускной способности гидропоста на канале Р-6-03 (рис. 3.7).

Замеры расходов воды, проведенные в 2008 г. показали несоответствие фактических и расчетных расходов. Причем результаты измеренных расходов воды меньше расчетных значений.

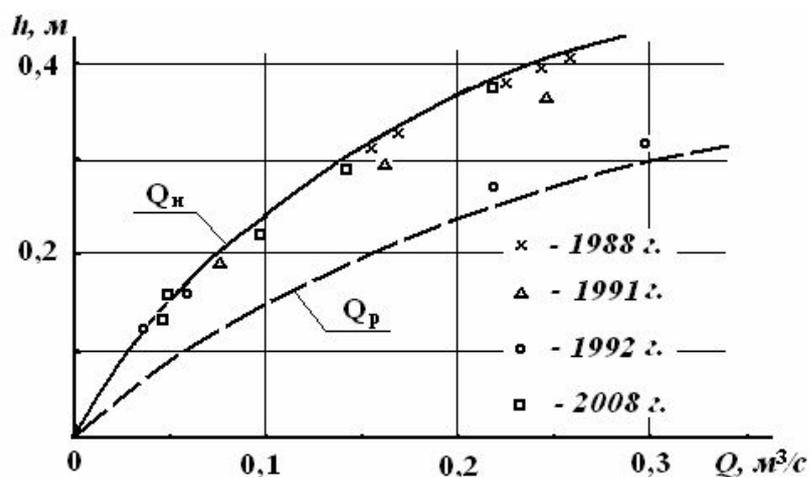


Рис. 3.7. Пропускная способность гидропоста на канале Р-6-03 на отводе из Атбашинского магистрального канала.

Кроме того, было установлено, что измеренные (максимальные) скорости течения воды составляет менее 0,30 м/с. Тогда как расчетные - 0,5-1,0 м/с.

Приведенные результаты указывают на то, что гидропост на канале Р-6-03 (рис. 3.7) работает в затопленном режиме. Это подтверждается нынешним положением сооружения. Измерение расходов воды проводится службой эксплуатации либо с поправкой (до 0,15 м), либо «на глаз» (отсутствие данных измерений последних лет связано с трудностью применения гидровертушек для измерения малых скоростей течения воды).

В процессе натурных обследований было изучено состояние работы гидропоста на канале Р-6-05, являющимся отводящим каналом из Атбашинского магистрального канала (Аламудинское РУВХ).

Гидропост на канале Р-6-05 построен в 1954 году. Тип гидропоста – «фиксированное русло», сечение трапецеидальное, подводящий канал облицован в бетон, отводящий - в земляном русле. Измерительный участок облицован железобетонными плитами. Параметры гидропоста: $b = 1,0$ м; $h_{стр} = 1,1$ м; $i = 0,0006$ [80].

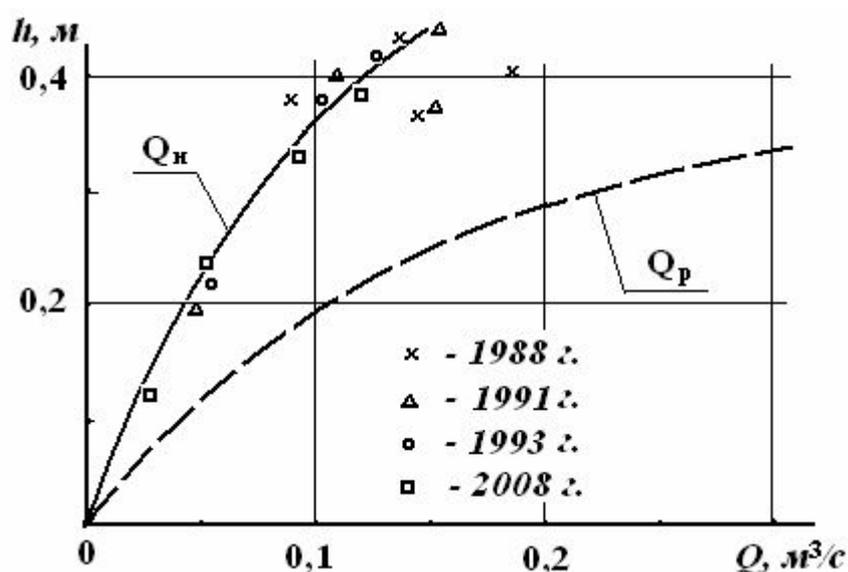


Рис. 3.8. Пропускная способность гидропоста типа «фиксированное русло» на канале Р-6-05.

Графики зависимости $Q_p=f(h)$ и $Q_u=f(h)$ приведены на рис. 3.8. На них видно явное несовпадение расчетной графической зависимости и экспериментальной кривой. Это указывает на неблагоприятную работу сооружения. При этом в периоды заиления и зарастания отводящего канала, как показывает опыт эксплуатации гидропоста, в расходные характеристики сооружения вносятся поправки в пределах 5 - 30 см.

Было проведено обследование **гидропоста № 7** [80] на отводе канала им. Сапарбаева-2 системы р.Чили-Сай (Ноокатское РУВХ). Гидропост построен в 1972 году, тип - “фиксированное русло”, сечение трапецеидальное. Сопряжение участка гидропоста с подводящим водотоком (с трубчатым водовыпуском) выполнено при помощи колодца – гасителя. Отводящие каналы (правый, прямой и левый) выполнены в земляном русле (рис. 3.9). На отводящем канале отсутствует инженерное водораспределительное сооружение, поэтому водоподача в отводы осуществляется примитивным способом, с применением местных подручных строительных материалов.

Параметры гидропоста: $b = 0,5$ м; $h_{стр} = 0,6$ м; $i = 0,005$; $m = 1,25$, пропускная способность – 0,1 - 0,4 м³/с.



Рис. 3.9. Гидропост №7 на отводе канала Сапарбаева-2
(вид с верхнего бьефа).

При подаче воды в прямой и правый отводы (их трасса проходит почти перпендикулярно горизонталям) гидропост работает в режиме свободного истечения воды. Поэтому он был аттестован с условием проведения частых замеров при подаче воды в левый отвод, а также водоподаче одновременно во все три отвода. Назначенный срок межповеречного периода 2 года.

Тарифовочная зависимость представлена на рис. 3.10.

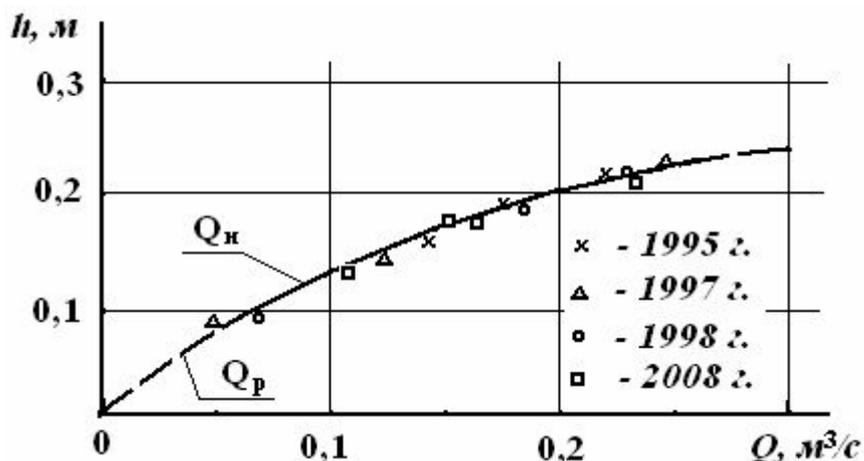


Рис. 3.10. Пропускная способность гидропоста №7 на отводе канала Сапарбаева-2.

Опыт эксплуатации последних лет указывает на то, что гидропост иногда работает в подтопленном режиме истечения. В такие периоды учет воды на нем не достаточно точный. При этом появление такого режима вызвано заилением и зарастанием левого отводящего канала. Зная указанную особенность гидропоста, служба эксплуатации старается не допускать этого.

Гидропост № 12 расположен на отводе канала Р-12 системы р.Чу (УМРК Чуйской долины). Отвод из Р-12 построен из Г-образных блоков, имеет прямоугольное поперечное сечение, ширина $b = 1,1$ м, длина 13,0 м, $h_{стр} = 1,3$ м. Его трасса проходит поперек горизонталей. Отвод заканчивается водораспределительным сооружением — «двойником», подающим воду в прямой и в правый отводящие водотоки.

Водовыпуск в прямой водоток оснащен плоским затвором, водовыпуск в правый водоток не имеет затвора. Однако его порог размещен на 0,4 м выше порога подводящего канала. На правом водотоке размещен гидропост №12, имеющий параметры $b=0,9$ м; $h_{стр} = 0,65$ м; $i = 0,0015$; $m = 1$, сечение гидропоста трапецеидальное, облицован монолитным бетоном, построен в 1970 году, тип «фиксированное русло», расход $Q=0,1 - 0,4$ м³/с.

Трасса канала, на котором построен гидропост, проходит почти параллельно горизонталям. На отводящем от гидропоста канале, имеющем бетонную облицовку, функционирует водораспределительное сооружение-двойник (рис. 3.11), оснащенное плоскими затворами. Им обеспечивается подача воды в левый (его трасса проходит перпендикулярно горизонталям) и прямой (его трасса проходит почти параллельно горизонталям) отводы. Отводящие каналы построены в земляном русле без облицовки.

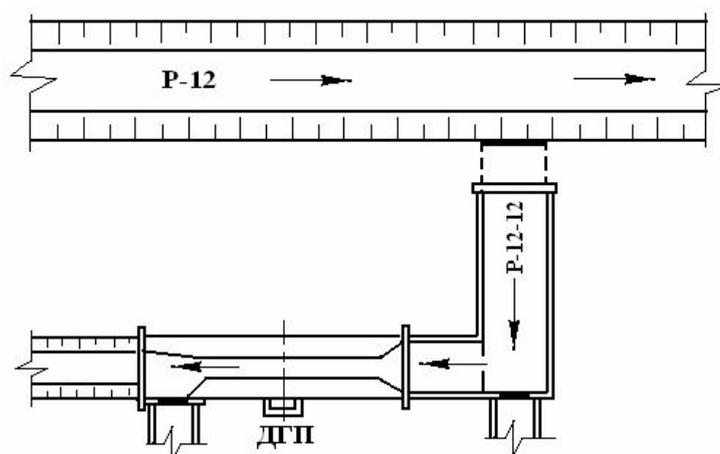


Рис. 3.11. Гидропост №12 на отводе канала P-12 системы р.Чу.

В 2000 году прямой канал, проходящий в земляном русле, был очищен от наносов и растительности. Однако он быстро был заилен наносами, что неблагоприятно отразилось на пропускной способности гидропоста.

Прямой отводящий канал, очищенный от наносов и растительности в 2000 году, стал быстро заиливаться наносами. Поэтому уже в 2001 году его влияние отрицательно сказалось на работе гидропоста: уменьшилась пропускная способность сооружения. В 2002 году его работа ухудшилась:

был еще больше затруднен пропуск даже минимальных расходов воды порядка 100-120 л/с.

Графики пропускной способности сооружения $Q_p=f(h)$ и $Q_u=f(h)$ приведены на рис. 3.12. График $Q_p=f(h)$ был получен в результате градуировки гидропоста, когда он работал при равномерном режиме, т.е. свободном истечении воды.

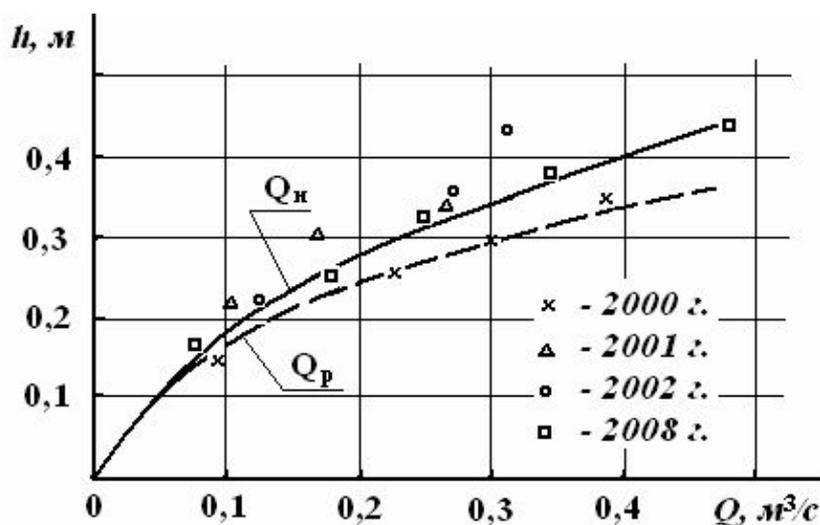


Рис. 3.12. Пропускная способность гидропоста №12 на отводе канала Р-12 системы р.Чу.

Данные этих графиков свидетельствуют, что они совпадают при протекании минимальных (100-150 л/с) расходов воды. При прохождении повышенных расходов воды график $Q_u=f(h)$ указывает на меньшую пропускную способность сооружения, что может быть объяснено только низкой пропускной способностью прямого отводящего канала, что было подтверждено наблюдениями, проведенными в 2008 г.

Учет водных ресурсов осуществлялся в основном «на глаз», поскольку скорости потока резко уменьшились (от 0,4 - 1,0 м/с при равномерном режиме до 0,1 - 0,2 м/с при подтопленном и затопленном) и появились трудности по их замерам. При проведении замеров расходы определялись с поправками в пределах 10-25 см.

Попытки градуировки гидропоста для случаев, когда подача воды осуществляется только прямо, влево или одновременно прямо и влево не дали положительного результата. Причиной тому непрерывное заиливание и зарастание прямого отводящего канала и одновременная подача воды в оба отводящих канала. В обоих случаях гидропост работал в затопленном режиме истечения, что сильно осложняло измерения расходов воды.

Проведенные натурные наблюдения и обследования гидропостов типа «фиксированное русло» на каналах Кыргызской Республики позволили сделать ряд выводов:

- гидропосты типа «фиксированное русло» не применимы на каналах с большими уклонами из-за наличия бурного и сверхбурного режимов течения в каналах-быстротоках;
- проблемным является использование гидропостов типа «фиксированное русло» и на каналах с малыми уклонами в земляном русле, поскольку режим работы гидропостов с отводящими каналами в земляном русле очень сложный и зависит от уклона трассы канала; деформации русел каналов в результате заиливания и зарастания; наличия сетевых (водораспределительных) сооружений, размещенных в нижнем бьефе гидропостов и др.;
- режим истечения на существующих гидропостах чаще всего подтопленный или затопленный, очень редко – свободный. Свободный режим истечения обеспечивается, когда отводящие каналы в земляном русле работают после очистки их от наносов и растительности. Однако в процессе эксплуатации оросительных систем, когда каналы заиливаются наносами и зарастают растительностью, возникает необходимость в перерегулировке водоподачи на сооружении;
- в условиях подтопленного режима истечения измерение расходов воды на гидропостах типа «фиксированное русло» проводится с введением в расходные характеристики сооружений поправок. Эти поправки вносятся,

как правило, для согласования с отградуированным графиком зависимости $Q_u=f(h_u)$ при равномерном движении воды на сооружении и сохранения этого графика в виде ориентира. Такие поправки, вводимые в напор h , чаще всего, не стабильны и лишь осложняют работу сооружения, они не понятны водопользователям, которые, в этом случае, требуют проведения повторных измерений и построения нового графика зависимости $Q_u=f(h_u)$;

- обычно гидропост типа «фиксированное русло» в вегетационный период, в зависимости от степени заиления и зарастания отводящего канала, должен быть отградуирован несколько раз, что выполнить достаточно трудно по причине больших затрат времени на проведение замеров;
- все каналы, на которых установлены гидропосты типа «фиксированное русло» имеют уклон дна на участках расположения гидрометрического сооружения меньше критического;
- для размещения на ирригационном канале-быстротоке гидропоста типа «фиксированное русло» необходимо устройство на этом канале участка с уклоном меньше критического для размещения на нем гидропоста, что вызывает дополнительные сложности не только при проектировании, но и при строительстве такого канала.

3.1.2 Водомерные сооружения типа «водослив с тонкой стенкой»

Основные требования, предъявляемые к водомерным сооружениям типа «водослив с тонкой стенкой», заключается в режиме работы со свободным (незатопленным) истечением жидкости [52, 130], при котором уровень воды в нижнем бьефе должен находиться на уровне или ниже порога водослива (рис. 3.13). Другие условия применимости водосливов характеризуются данными табл. 3.1.

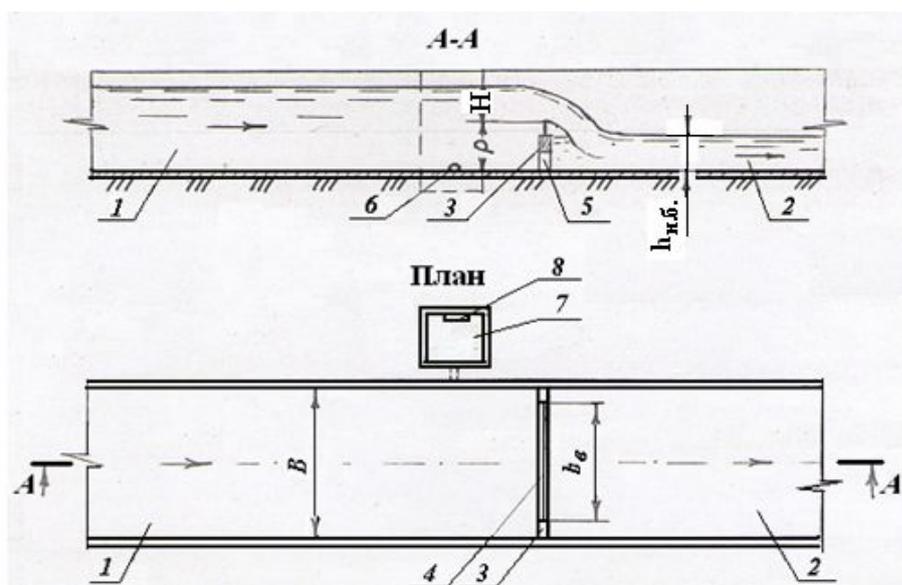


Рис. 3.13. Схема водомерного сооружения типа «водослив с тонкой стенкой»:
 1 и 2 – подводящий и отводящий каналы; 3 – диафрагма; 4 – водослив; 5 – наносопромывное отверстие; 6 – соединительная (водопроводящая) труба;
 7 – успокоительный колодец; 8 – уровнемерная рейка.

Таблица 3.1 – Параметры мерных водосливов

Сечение водослива	Допустимые значения напора, м		Допустимые значения ширины порога, м		Минимальная высота порога, м	Параметр кинетичности потока в подводящем канале
	$H_{\text{мин}}$	$H_{\text{мах}}$	$B_{\text{мин}}$	$B_{\text{мах}}$		
Треугольное	0,05	0,4	-	-	0,10	0,45
Трапецидальное	0,05	1,0	0,25	3,0	0,30	0,45
Прямоугольное	0,03	1,0	0,15	3,0	0,10	0,50

Дополнительные требования к водосливам заключаются в следующем:

а) для треугольных водосливов

$$H/p=0,1 \dots 0,2 \quad (3.1)$$

и
$$P/B=0,1 \dots 1,0, \quad (3.2)$$

где P- высота порога водослива;

Н - напор воды над порогом водослива;

В - ширина поводящего канала;

б) для трапецеидальных водосливов

$$(B_d - b)/2 > 0,2 \quad (3.3)$$

$$\text{и} \quad H_{\max} = (0,10 \dots 0,35)b; \quad (3.4)$$

где b - ширина порога водослива;

B_d - ширина канала по дну;

в) для прямоугольных водосливов:

- без сжатия

$$H/p < 1,5 \quad (3.5)$$

$$\text{и} \quad b > 0,2 \text{ м}; \quad (3.6)$$

- с боковым сжатием

$$H/p < 2,5; \quad b > 0,15 \text{ м} \quad (3.7)$$

$$\text{и} \quad (B-b)/2 > 0,1. \quad (3.8)$$

Водосливы устанавливаются на прямолинейных в плане участках каналов, устойчивых к размыву и зарастанию. Отводящие каналы, вместе с принятыми параметрами водосливов, должны обеспечить заданный (свободный) режим истечения воды через пороги водосливов.

На оросительных системах Кыргызской Республики водосливы с тонкой стенкой построены на транзитной части каналов, на участках водоводов между водовыпускными и водораспределительными сооружениями, размещенными в нижнем бьефе гидропостов.

Отводящие участки гидропостов на каналах проходят, в основном, в земляном русле, подверженном заилению и зарастанию.

Обследование состояния водомерных сооружений и изучение их метрологических характеристик проводились на объектах, построенных на оросительных системах Чуйской, Таласской и Ошской областей. В результате исследований были установлены параметры гидропостов с водосливом с тонкой стенкой, представленные в табл. 3.2.

Таблица 3.2 - Параметры гидростов типа «водослив с тонкой стенкой»

Места расположения водосливов	Максимальные расходы воды, м ³ /с	Параметры водосливов		
		ширина по дну, м	высота, м	высота порога, м
Каналы (с земляным руслом, облицованные бетоном и каменной отмосткой)	0,100-1,000	0,50-1,00	0,30-0,60	0,20-0,50
Колодцы - гасители	0,600-3,00	0,60-3,00	0,40-1,00	0,20-1,00

Водомерные сооружения размещены:

на каналах - на расстоянии 5-300 м от головных сооружений;

в колодцах – гасителях - на расстоянии 3 – 30 м от головных регуляторов.

Параметры некоторых водомерных сооружений и режим их работы приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристики каналов Кыргызской Республики и водомерных сооружений на них

Наименование оросительной системы	Наимен. гидростота	Расход воды м ³ /с	Ширина водослива по дну, м	Высота порога водослива, м	Режим истечения через водослив	Рекомендации по улучшению работы гидростота - нарастить порог на высоту, мм
ВБЧК	Р-13-1	1,0	1,5	0,60	Подтоплен.	150
-	Р-13-2	0,3	0,8	0,70	-«-	200
-	Р-13	1,0		0,70	-«-	200
-	Р-15	1,0	1,3	0,80	-«-	300
-	Р-16	2,0	2,0	0,70	-«-	250
-	Р-18	1,6	2,0	1,12	-«-	250
-	Р-6	2,0	2,0	0,30	-«-	300
ВБЧК	Р-23	1,0	1,5	0,76	-«-	500
-	Р-26	1,0	1,5	0,36	-«-	150
-	Р-27	1,0	1,0	0,57	-«-	200
-	Р-31	0,6	1,0	0,33	-«-	100
Канал «Отводящий»	Тата	1,4	0,9	0,32	-«-	50-100
ЮБЧК	Р-12	1,21	1,5	1,0	-«-	150

Продолжение табл. 3.3						
ЗБЧК	Р-5	0,8	1,25	0,4	-«-	100
-	Р-19	3,0	3,5	0,2	-«-	150-200
-	Р-21	2,5	3,0	0,3	-«-	150-200

Опыт эксплуатации водомерных сооружений с водосливами указывает на следующее.

Точность измерения расходов воды на многих гидропостах низкая, что является следствием строительства водомерных сооружений без учета подтопления со стороны нижнего бьефа.

Подпоры с нижнего бьефа возникают, как правило, в результате:

- низкой посадки самого водослива при строительстве (рис. 3.14);
- малой высоты порога водослива (рис. 3.15);
- заиления и зарастания отводящих участков водотоков (рис. 3.16);
- влияния режима работы водораспределительных сооружений, размещенных в нижнем бьефе гидропостов.



Рис. 3.14. Гидропост на Р-21-1 Оросительная система ЗБЧК.

Измерительный участок сооружения заилен наносами. Учет воды на водосливе не ведется.

До последнего времени гидропосты строились на готовых каналах, построенных без учета особенностей возведения водомерных сооружений.

Этим затруднялась работа по выбору измерительных участков для строительства гидропостов с водосливами. Поэтому они часто возводились на неудачно выбранных участках, что не могло не отразиться на работе водомерных сооружений.



Рис. 3.15. Гидропост на Р-24-3 Оросительная система ЗБЧК.

Если измерительный участок выбирается удачно и параметры водослива устанавливаются правильно, то гидропост функционирует нормально.

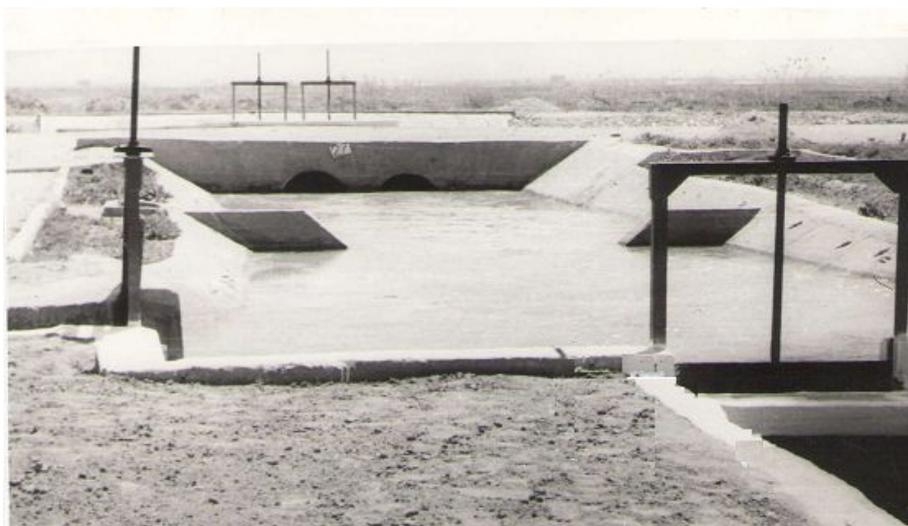


Рис. 3.16. Гидропост №27. Оросительная система ЗБЧК.

Водослив затоплен. При таком режиме гидропост не может использоваться в качестве средства для измерения расходов воды

В случае строительства гидропостов без учета требований для обеспечения нормальной работы водосливов происходит следующее:

- а) водомерные сооружения работают в подтопленном режиме, и для обеспечения работы в свободном режиме приходится наращивать пороги водосливов на 150 - 500 мм;
- б) гидропосты типа водослив работают в затопленном режиме (рис. 2.16), при котором, так же как при подтопленном, водосливы не желательно использовать в качестве средств для измерения расходов воды.

В последнем случае учет воды практически не ведется, а если и ведется, то расход воды определяются «приблизительно» и «на глаз», что недопустимо в условиях платного водопользования.

Для гидропостов с водосливом «с тонкой стенкой», по данным эксплуатации характерны следующие отклонения от требований нормативных документов:

- недостаточная высота порога водосливов, в результате имеют место подтопление и затопление (рис. 3.16) истечения с нижнего бьефа;
- негативное влияние на режим работы сооружения отверстий для промыва наносов, устраиваемых в водосливной стенке (отверстий в диафрагме) (рис. 3.13). Эти отверстия должны открываться только в период промыва наносов, а в остальное время они должны закрываться во избежание подачи неучтенной воды. Однако они в вегетационный период, как правило, не закрываются, что приводит к большим техническим потерям;
- заиление наносами не только верхнего бьефа, но и измерительного участка (рис. 3.14), чем выводятся из строя водомерные сооружения с водосливами;
- заиление и зарастание отводящих каналов в земляном русле, вызывающие не только подпор с нижнего бьефа, но и затопленный режим истечения (рис. 3.16). С их появлением гидропосты не могут использоваться в качестве рабочих средств для измерения расходов воды. Работа

гидропостов восстанавливается только после очистки отводящих каналов от наносов и растительности (рис. 3.15).

В соответствии с [52, 130], водосливы с такой стенкой должны работать только со свободным истечением. В случае невыполнения этого требования, эти водосливы не могут применяться в качестве средств для измерения расходов воды.

При свободном, с периодическим переходом в подтопленный режим истечения, водосливы могут обеспечивать водоучет только при свободном истечении. Их не рекомендуют применять при подтопленном истечении. Они не рекомендуются для водоучета и при затопленном истечении.

Исходя из изложенного, могут быть сделаны следующие выводы:

- при работе водослива с тонкой стенкой в случае перехода из свободного истечения в подтопленное, русло должно очищаться от наносов и растительности (рис. 3.15). Если этим не удастся достичь цели и обеспечит свободное истечение, то следует применять водосливы с изменяемой высотой порога или использовать другие средства водоучета;
- при переходе подтопленного истечения в затопленное в ряде случаев целесообразно применять водомерные сооружения, работающие по перепаду напоров Z , либо средства водоучета, использующие в работе другой принцип действия.

3.1.3 Водомерные сооружения типа «лотки-водомеры»

Из числа разработанных водомерных сооружений типа «лотки-водомеры», в данном разделе рассматриваются гидропосты – лотки Вентури и лотки Паршала. В Кыргызстане эти сооружения построены в качестве экспериментальных объектов. Поэтому в республике их не так много.

Основные требования, предъявляемые к таким гидропостам, следующие: они должны работать только в режиме свободного

(незатопленного) истечения жидкости [50, 130]. Дополнительные условия их применимости характеризуются данными табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Условия применимости лотков-водомеров

Наименование лотка	Допустимые значения напора, м		Допустимые значения ширины горловины, м		Макс. значение параметра кинетичности в подводящем канале
	h_{\min}	h_{\max}	b_{\min}	b_{\max}	
Лотки Вентури прямоугольного сечения а) с боковым сжатием б) с донным сжатием	0,10	2,00	0,10	3,00	0,60
	0,06	2,00	0,10	5,00	0,60
Лотки Вентури трапецеидального сечения	0,05	2,00	0,10	3,00	0,60

Другие условия применимости и рекомендации по конструированию лотков Вентури приведены в [52]. Условия применимости лотков Паршала и требования, предъявляемые к ним, идентичны лоткам Вентури.

Следует отметить, что хотя в Кыргызской Республике лотки Вентури и Паршала были построены в соответствии с разработанными для них рекомендациями, однако их работу нельзя считать удовлетворительной. Перед лотками скапливаются наносы, иногда наносы откладываются в пределах горловины лотков, истечение через лотки из свободного режима истечения переходит в затопленное, это возникает из-за заиления и зарастания отводящих в земляном русле каналов.

В качестве примеров можно привести лотки Паршала, построенные на двух отводах канала Савай из р. Кара - Дарья. Параметры этих лотков: ширина горловины 0,50 и 0,75 м, откосы $m = 0$, $h_{\text{стр}} = 0,65$ и 0,85 м; расходы $Q_{\max} = 0,300 - 1,100 \text{ м}^3/\text{с}$, глубины потока $h_{\max} = 0,50 - 0,75$ м, скорости течения воды $v_{\max} = 0,65 - 1,30 \text{ м/с}$, параметры кинетичности потока $Fr_{\max} = 0,07 - 0,29$.

Лотки возведены на отводах с трассами, проложенными как поперек горизонталей, так и почти параллельно им, т.е. малыми уклонами дна.

Отводящие от гидростов участки каналов выполнены в земляном русле и не имеют облицовок. Обследование состояния описанных гидростов показывает, что практически все они работают в затопленном режиме, вызванным заилением и зарастанием отводящих в земляном русле каналов.

Следует отметить, что в настоящее время почти все гидросты, построенные в виде лотков Вентури и Паршала, не отвечают предъявляемым к ним требованиям. Поэтому они должны быть реконструированы. Однако, из-за отсутствия средств на реконструкцию, их временно продолжают использовать, превратив эти сооружения из типа «лотки» в тип «фиксированное русло» и проводя периодически замеры вертушкой для определения расходов воды методом «площадь – скорость». При таком переходе резко (до 15-20 %) повышаются погрешности измерения расходов воды, что недопустимо при платном водопользовании.

Необходимо также кратко перечислить основные недостатки гидростов с подтопленным и затопленным режимами истечения. Сведения по этим вопросам представлены в табл. 3.5.

На режим работы гидростов оказывают влияние и водораспределительные сооружения, размещенные в верхнем и нижнем бьефе гидростов. Их влияние характеризуется тем, что на гидростках типа:

- «Фиксированное русло» – измеренные расходы Q_u не соответствуют их расчетным значениям Q_p при равномерном режиме течения;
- «Водосливы с тонкой стенкой» – подача воды с повышенными скоростями течения приводит к образованию в верхнем бьефе нежелательных гидравлических явлений – прыжков, водоворотов, волнений водной поверхности и др., ухудшающих условий учета водных ресурсов;

Таблица 3.5 – Основные недостатки гидропостов на каналах Кыргызстана

Тип гидропоста	Требования для нормальной работы гидропоста	Недостатки, возникаемые при эксплуатации гидропоста	Причины неудовлетворительной работы гидропоста	Пути улучшения работы гидропоста
1. «Фиксированное русло»	Течение воды в пределах измерительного участка и особенно в измерительном створе должно быть равномерным	Подпор воды с нижнего бьефа	Заиление и зарастание отводящего в земляном русле канала	1. Регулярная очистка отводящего канала от наносов и растительности 2. Применение водомерных сооружений, разработанных специально для подпорного режима истечения с напором Z
			Влияние водораспределительного сооружения, размещенного в нижнем бьефе гидропоста.	Применение водомерных сооружений, разработанных специально для подпорного режима истечения с напором Z
			Влияние водораспределительного сооружения в нижнем бьефе, заиление и зарастание отводящего канала.	То же
		Заиление измерительного участка наносами	1.Нарушение призматической формы русла измерительного участка 2.Сложность определения параметров потока при измерении расходов воды	1.Очистка сооружения от наносов 2.Измерение расходов воды после проведения очистных работ

2. Водосливы с тонкой стенкой	Свободное истечение, с горизонтом воды в нижнем бьефе на уровне или ниже порога водослива	Подпор воды с нижнего бьефа	Заиление и зарастание отводящего канала	1. Очистка отводящего канала от наносов и растительности 2. Применение водомерных сооружений, разработанных для работы в подпорном режиме истечения.
			Влияние водораспределительного сооружения с нижнего бьефа	1. Применение водослива с регулируемым по высоте порогом: 2. Использование спецсооружений, разработанных для условий подпорного режима истечений
			Влияние водораспределительного сооружения с нижнего бьефа, заиление и зарастание отводящего канала	Применение сооружений, работающих с напором Z
		Заиление сооружения наносами	Малая высота порога водослива	1. Регулярная очистка сооружений от наносов 2. Применение водослива с регулируемым по высоте порогом 3. Применение спецсооружений с напором Z
3. «Лотки» (Вентури, Паршала)	Свободное (незатопленное) истечение жидкости	Подпор воды с нижнего бьефа	Заиление и зарастание отводящего канала	1. Регулярная очистка отводящего канала от наносов и растительности 2. Замена на другие типы гидростов. Например: на водосливы с регулируемым по высоте порогом или спецсооружений с напором Z .

- «Лотки» Вентури и Паршала – измеренные расходы, так же как на сооружениях типа «Фиксированное русло», отличаются от их расчетных значений, в пределах лотков появятся сбойные и другие течения, осложняющие учет воды на сооружении;
- Подпор, создаваемый регуляторами водораспределительных сооружений, расположенных в нижнем бьефе гидростов, также вызывает подтопление водомеров.

Проведенное натурное обследование водомерных сооружений Кыргызстана позволяет сделать ряд **выводов**:

- гидросты типов «фиксированное русло», «водосливы» и «лотки», построенные на каналах с земляным руслом, со временем начинают работать в подтопленном и затопленном режимах истечения, чем не только ухудшают метрологические характеристики сооружений, но и со временем приводят к тому, что сооружения абсолютно перестают обеспечивать водоучет. Причина – заиление и зарастание отводящего в земляном русле канала;
- гидросты типа «Водослив», размещенные перед водораспределителями, тоже работают в подпорном режиме, что недопустимо в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями;
- для обеспечения нормальной работы гидростов, построенных на каналах в земляном русле, отводящие от них каналы должны регулярно очищаться от наносов и растительности, что, как показывает практика, не всегда удается сделать. Поэтому учет воды на гидростах с подтопленным и затопленным режимами истечения осуществляется приблизительно, что недопустимо в условиях коммерческого водоучета;
- в перспективе все гидросты, работающие с подтопленным или затопленным режимом истечения, должны быть заменены на другие, обеспечивающие требуемые режимы истечения.
- ни одна из рассмотренных конструкций водомерных сооружений не применима на каналах-быстротоках, где скорости течения выше

критических. 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.

3.2 Направление совершенствования средств водоучета на каналах-быстротоках

Сегодня, в условиях перехода к рыночным отношениям остро встала проблема экономии водных ресурсов, строгого учета оросительной воды.

Использование усовершенствованных средств водоучета на каналах-быстротоках, а не только на каналах с докритическими уклонами, позволит обеспечить баланс стока воды на всей гидромелиоративной системе. Это предполагает создание новых конструкций водомерных сооружений, предназначенных для учета воды на каналах с критическими и сверхкритическими уклонами, позволяющих исключить недостатки существующих конструкций и обеспечивающих однозначную зависимость расхода или стока от измеряемого параметра, например уровня воды.

Для создания новых усовершенствованных сооружений водоучета на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны следует руководствоваться техническими условиями и требованиями к этим средствам, представленными в разделе 2.8.

Прежде всего, средство водоучета должно обеспечивать максимальное выполнение технологических операций непосредственно на пункте водоучета. Важна также, особенно при коммерческом водоучете, защищенность сооружений и их приборных элементов от злоумышленного воздействия, то есть невозможность как-то повлиять на фиксируемые прибором данные или изменить их.

Возможность быстрой замены и реставрации элементов сооружений водоучета, по какой-либо причине вышедших из строя, позволяет до минимума сократить сроки ремонта и восстановления метрологических качеств пункта водоучета [3]. Для реализации этих направлений одним из

наиболее приемлемых может считаться разумное упрощение конструкций водомерного сооружения.

Современные водомеры для каналов с большими уклонами должны обеспечивать требуемую точность измерения. При этом следует помнить, что измерение параметров расхода и стока воды в каналах-быстротоках с высокоскоростным нестационарным режимом течения является достаточно трудоемким процессом. Разработка водомеров для каналов-быстротоков должна проводиться с учетом законов гидродинамики.

Надежность работы водомерного сооружения зависит также от его способности не реагировать на наличие плавника, мусора и взвешенных наносов в канале.

При проектировании водомерного сооружения необходимо учитывать возможность его действия как в условиях «полуинженерной» эксплуатации, так и в условиях полной автоматизации оросительной системы.

Создание нового усовершенствованного образца водомера, способного обеспечить технологический процесс водоучета на высоком современном уровне, должно предусматривать оптимальную стоимость проекта и внедрения сооружения. Простота конструктивного исполнения и эксплуатации должна сочетаться с минимальными затратами на изготовление и монтаж водомера. Сооружение должно обеспечивать надежность как конструкции, так и технологического процесса водоучета.

Вышеизложенное дает возможность разработать конструкцию усовершенствованного водомерного сооружения для каналов горно-предгорной зоны, отвечающую техническим условиям и требованиям (раздел 2.8) к ним.

3.3 Усовершенствование конструкции водомерного сооружения для быстротечных каналов

Проведенный в первых разделах диссертационной работы обзор и анализ характеристик водомерных сооружений на каналах оросительных систем позволил прийти к заключению о нецелесообразности использования

существующих конструкций водомеров на каналах с уклонами больше критических.

Ранее (глава 1) было отмечено, что существующие конструкции водомерных сооружений имеют ряд недостатков в работе. Большинство из них включают конструктивные элементы, перегораживающие поток (затворы, водосливы и др.). При установке такого водомера на канале-быстротоке происходит волнообразование, фонтанирование и выплескивание воды на сооружении за пределы канала из-за создания сопротивления высокоскоростному потоку в канале.

Недостатком других водомерных сооружений, включающих элемент – соединительную трубку, через которую канал соединяется с водомерным колодцем, является то, что соединительная трубка обычно выполняется малого диаметра, в результате чего уровень воды в водомерном колодце изменяется значительно медленнее, чем расход в транзитном канале. При этом погрешность измерений расхода воды такими сооружениями может достигать 50% фактических.

С целью увеличения эксплуатационной надежности устройства за счет стабилизации уровня в успокоительном колодце и учета скоростного напора в канале предложена новая усовершенствованная конструкция водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ).

ВСКСТ включает измерительный участок канала, измерительный створ, успокоительный колодец, сообщенный с измерительным участком канала, и уровнемерную рейку, успокоительный колодец сообщен с измерительным участком канала донной траншеей (рис. 3.17).

В донной траншее установлены разделительные перегородки, снабженные отсекающими козырьками в верхней части и преобразующими козырьками на внутренней стороне перегородок, делящих траншею на камеры с равной по течению площадью входных отверстий.

В свою очередь донная траншея покрыта решеткой с продольными стержнями.

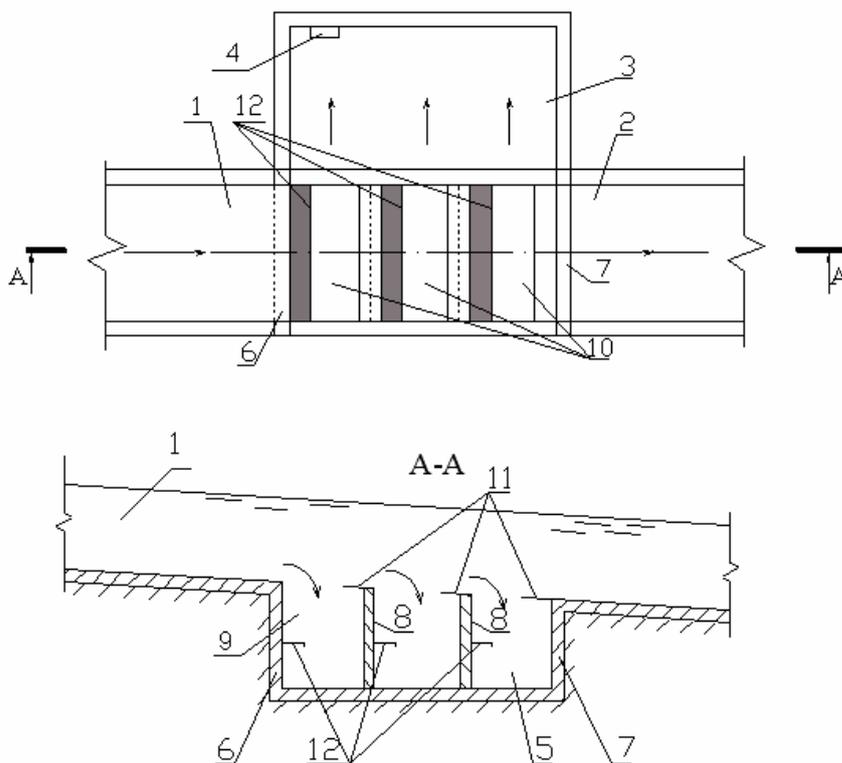


Рис. 3.17. Схема водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ) (решетка не показана): 1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – успокоительный колодец; 4 – уровнемерная рейка; 5 – донная траншея; 6 – передняя стенка донной траншеи; 7 – задняя стенка донной траншеи; 8 – вертикальные разделительные перегородки; 9 – камеры; 10 – входные отверстия; 11 – отсекающие козырьки; 12 – Г-образные козырьки.

Соединение успокоительного колодца с измерительным участком канала донной траншеей позволяет разделительными перегородками с отсекающими и преобразующими козырьками наполнять успокоительный колодец до расчетного уровня и гасить энергию сверхбурного потока, переводя его в спокойное состояние в успокоительном колодце, тем самым повышая точность измерений. При этом для обеспечения эффекта детурбулизации потока донная траншея покрыта шарнирно прикрепленной к

торцу верхней передней стенки решеткой с продольными стержнями, как показано на рис. 3.18.

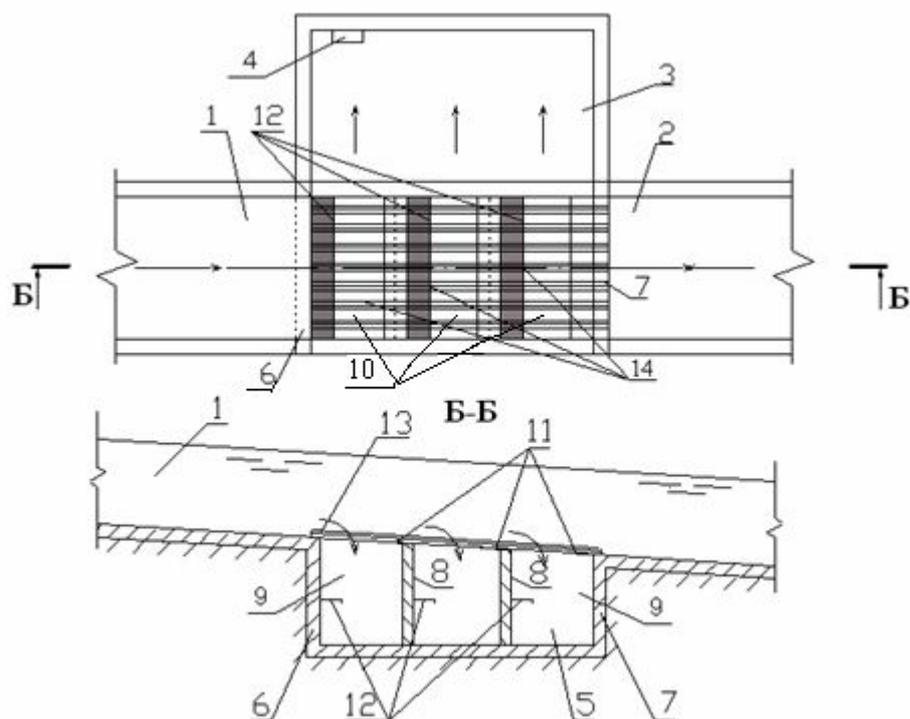


Рис. 3.18. Схема водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ) (с решеткой): 1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – успокоительный колодец; 4 – уровнемерная рейка; 5 – донная траншея; 6 – передняя стенка донной траншеи; 7 – задняя стенка донной траншеи; 8 – вертикальные разделительные перегородки; 9 – камеры, 10 – входные отверстия; 11 – отсекающие козырьки; 12 – Г-образные козырьки; 13 – решетка; 14 – продольные стержни решетки.

Хорошая обтекаемость высокоскоростным потоком продольных стержней решетки в совокупности с действием перегородок и козырьков позволят при меньших размерах траншеи пропустить через нее больший расход в успокоительный колодец.

Водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением работает следующим образом.

Высокоскоростной сверхбурный поток, проходя по каналу, имеющему уклон дна $i > i_{кр}$, через отверстия между стержнями 14 решетки 13,

отсекаемый отсекающими козырьками 11, поступает в камеры 9 донной траншеи 5, где за счет действия преобразующих козырьков 12 происходит перевод винтового движения потока в поступательное по направлению к успокоительному колодцу 3 (рис. 3.18).

Измерение уровней воды в успокоительном колодце обеспечивается при помощи уровнемерной рейки 4.

Благодаря продольному расположению стержней 14 решетки относительно потока, уменьшаются гидравлические сопротивления при обтекании стержней 14 высокоскоростным потоком, поступающим из канала в камеры 9 донной траншеи 5.

В результате того, что разделительные перегородки 8 расположены перпендикулярно к направлению движения сверхбурного потока в канале и снабжены отсекающими козырьками 11, во-первых, уменьшается сбойность потока при входе в успокоительный колодец 3, повышая при этом точность измерений в колодце; во-вторых, за счет достаточно большой площади отверстий 10 уровень воды в успокоительном колодце достаточно точно отражает динамику измерения расходов в измерительном створе 2 канала, что позволяет повысить точность измерений, а, следовательно, и эксплуатационную надежность процесса водоучета. Плавник и крупные фракции донных наносов благодаря продольным стержням 14 решетки 13 не попадают в траншею 5 и в успокоительный колодец 3, а проносятся транзитным потоком (рис. 3.18).

Предлагаемая конструкция водомерного сооружения позволяет переводить поток из бурного и сверхбурного состояния в измерительном участке 1 канала в спокойное состояние в успокоительном колодце 3 без устройства специальных гасителей энергии бурного потока, снижая погрешность измерения расхода воды в измерительном створе 2 путем повышения точности измерения уровня воды в успокоительном колодце 3 и

повышения эксплуатационной надежности. На предложенную конструкцию водомерного сооружения получен Патент КР [154].

Для разработки методики расчета усовершенствованной конструкции ВСКСТ необходимо было провести гидравлические исследования физической модели водомерного сооружения в соответствии с методикой лабораторных исследований, изложенной в разделе 3.4.

Физическая модель ВСКСТ, установленная на гидравлическом лабораторном лотке (ГЛЛ) в лаборатории гидротехнических сооружений Кыргызско-Российского Славянского университета, представлена на рис. 3.19.



а)

б)

Рис. 3.19. Физическая модель ВСКСТ, установленная на гидравлическом лабораторном лотке: а) вид со стороны успокоительного колодца; б) вид сверху.

Модель ВСКСТ была выполнена по разработанным чертежам из дерева, металла и органического стекла (рис. 3.19) и смонтирована на лабораторном гидравлическом лотке.

Модельные лабораторные исследования ВСКСТ необходимо было провести прежде всего для подтверждения предположений о возможности водоучета данной конструкцией. Второй этап лабораторных исследований позволил установить рациональные конструктивные и гидравлические

параметры вододелителя, которые были положены в основу методики инженерного расчета предложенной конструкции.

Использование водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением предлагаемой конструкции позволит повысить эксплуатационную надежность данного класса сооружений, расширить их функциональные возможности для применения на каналах не только с бурным, но и со сверхбурным режимом течения, эффективно используя для водоучета высокоскоростных потоков на линейных сооружениях, расположенных в предгорной и горной местности.

3.4 Программа и методика поведения лабораторных исследований водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ)

3.4.1 Описание модельной установки и модели устройства

Лабораторные исследования усовершенствованной конструкции водомерного сооружения были выполнены на базе кафедры гидротехнического строительства и водных ресурсов Кыргызско-Российского Славянского университета (КРСУ).

Лабораторная установка ГЛЛ в лаборатории гидротехнических сооружений кафедры «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» (ГТСиВР) КРСУ, представляет собой закольцованную систему, включающую напорный бак-успокоитель 1, лабораторный лоток 2, на котором установлена модель вододелителя 3, отводящий канал 4 с мерным водосливом 5, приемную камеру 6, соединяющуюся системой трубопроводов 7 с баком-успокоителем, вода в который перекачивается при помощи насосного агрегата 8 (рис. 3.20, 3.21).

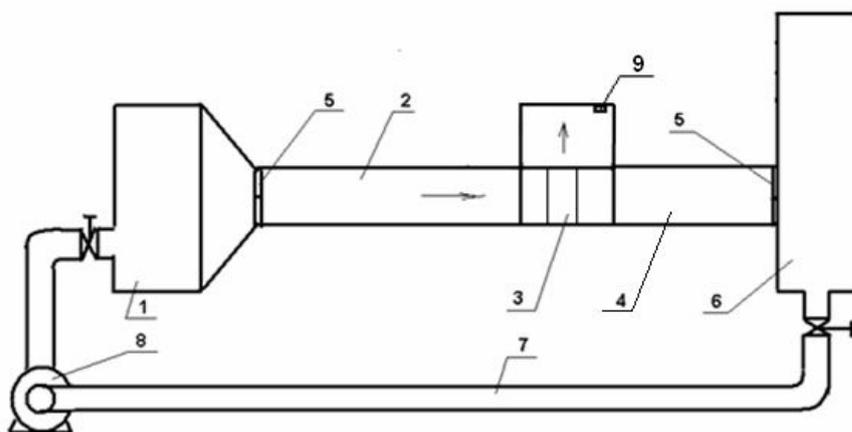


Рис. 3.20. План лабораторной установки для проведения гидравлических исследований водомерного сооружения для каналов со сверхбурным режимом течения: 1 – бак-успокоитель; 2 – лабораторный лоток; 3 - модель ВСКСТ; 4 – отводящий лоток; 5 – мерный водослив; 6 – приемная камера; 7 – система трубопроводов; 8 – насосный агрегат; 9 – уровнемерная рейка.

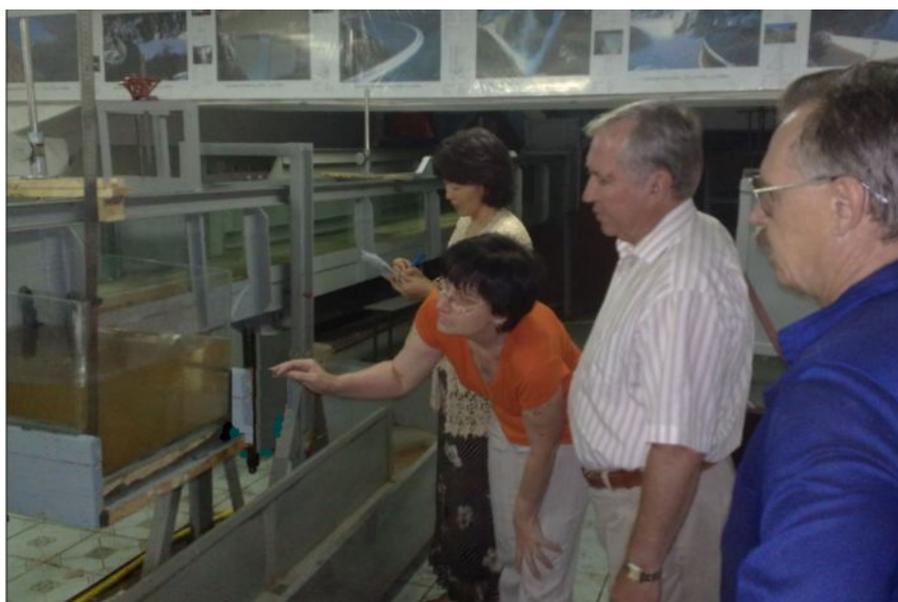


Рис. 3.21. Гидравлический лабораторный лоток в лаборатории кафедры ГТСиВР КРСУ.

Измерение расхода воды, поступающей из бака 1 в ГЛЛ 2, производилось 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.

Регулирование поступающего в ГЛЛ расхода воды производилось верхней задвижкой, а регулирование отводимого расхода при исследовании модели вододелителя – затворами-шторками на выходе из вододелителя.

Уклон ГЛЛ изменялся от нулевого до сверхкритического (более 0,02) с помощью специального винтового подъемника.

Стенки ГЛЛ 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 качеством бетонного покрытия каналов-быстротоков.

Для измерения глубины воды и колебания уровня свободной поверхности использовался шпитценмасштаб (мерная игла).

Необходимо отметить, что мерные водосливы, шпитценмасштаб и гидравлический лабораторный лоток (ГЛЛ) прошли в 2008 г. Метрологическую аттестацию в ПКТИ «Водавтоматика и метрология», на что выданы соответствующие сертификаты.

Для проведения экспериментов с высокоскоростным волновым (сверхбурным) потоком был разработан емкостной волнограф, который способен регистрировать колебания уровня воды (ондограф) в зоне влияния ВСКСТ.

Лабораторные модели усовершенствованной конструкции водомера ВСКСТ были рассчитаны и запроектированы исходя из соображений учета расхода воды, проходящего по ГЛЛ.

Модели ВСКСТ изготовлены (в соответствии с планом работ хоздоговорной темы ХГ-01-08) на базе лаборатории гидротехнических сооружений кафедры ГТСиВР КРСУ. Линейный масштаб моделирования, исходя из размеров ГЛЛ, принят равным 1:13, что больше минимально допустимого, обеспечивающего автомодельность по Рейнольдсу [11].

Масштабы моделирования (по Фрудру) скорости, расхода, других гидравлических параметров сверхбурного и трансформированного потока приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6 – Масштабные коэффициенты при моделировании ВКСРТ по Фрудру

Наименование величин	Обозначение величин	Формулы пересчета	Масштабн. коэффициенты
1	2	3	4
Линейные размеры (длина, ширина, высота)	l	λ	13
Скорость воды	V	$\lambda^{0,5}$	3,65
Расход воды	Q	$\lambda^{2,5}$	609,3
Время	t	$\lambda^{0,5}$	3,65
Ускорение	a	λ	13
Сила	F	λ^3	2370
Мощность	N	$\lambda^{3,5}$	8655

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. В качестве натурального объекта был принят участок Аламудунского подпитывающего канала (АПК) с прямоугольной формой поперечного сечения.

Размеры лотка подводящего участка ГЛЛ прямоугольного сечения на модели составляют: длина 3,6 м, ширина лотка 0,3 м, высота бортов 0,3 м, уклон дна равен 0,0216, что в масштабе соответствует размерам натурального АПК. Транзитный участок модели имеет такие же геометрические размеры и форму сечения, как и подводящий.

Размеры модели траншейной части водомерного сооружения 472x300x312 (мм). Успокоительный колодец имеет размеры 472x450x562 (мм).

Успокоительный колодец выполнен из дерева и оргстекла, что позволяет наблюдать в нем уровни воды. Измерительная линейка прикреплена к прозрачной стенке колодца и используется для замеров уровней воды в колодце (рис. 3.19).

Шпитценмасштаб на модели был передвижным, что позволяло выполнять измерения глубин бурного и трансформированного потока в различных фиксированных створах, в том числе контролировать измерения уровня в успокоительном колодце.

Жесткость успокоительного колодца модели водомера обеспечивалась установкой ее на несущей деревянной форме с обрамлением стальным уголком и фиксацией самой фермы к ГЛЛ.

Контроль размеров, формы и уклона модели выполнялся ежедневно перед началом и при завершении серии опытов по аналогии с контролем расхода воды в начале и конце каждого опыта.

Кроме того, контроль измерения расходов на экспериментальной установке производился методом баланса расходов, измеренных на головном и двух концевых мерных водосливах.

За счет тщательной герметизации стыков модели потери воды на протечку были сведены к минимуму и не превышали 3...5 % расхода Q в подводящей к модели части ГЛЛ.

3.4.2 Программа и методика поведения лабораторных исследований ВСКСТ

Для обоснования возможности водоучета усовершенствованной конструкцией водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ) и для оптимизации его параметров необходимо было провести гидравлические лабораторные исследования модели ВСКСТ.

Целью лабораторных исследований ВСКСТ является обоснование возможности водоучета с применением ВСКСТ и определение гидравлических параметров сооружения.

Для реализации поставленной цели на стадии подготовки и проведения модельных исследований требовалось решить следующие **основные задачи**:

- Рассчитать и запроектировать лабораторную модель ВСКСТ;
- Изготовить из металла, дерева и органического стекла модель ВСКСТ;
- Обосновать объем лабораторных исследований с учетом существующей измерительной аппаратуры и технических средств;
- Наметить этапы проведения лабораторных исследований;
- Разработать общую и детальную методику проведения предстоящих исследований;
- Провести лабораторные исследования ВСКСТ;
- Выполнить обработку экспериментальных данных;
- На основе результатов исследований разработать методику расчета усовершенствованной конструкции водомера.

Проведение намеченных основных задач осуществлялось в несколько **этапов** [131]:

- I. Подготовительный этап, предполагающий проведение подготовительных работ, включающих расчет и разработку модели конструкции, обоснование объема исследований, разработку методики проведения исследований и др.
- II. Основной этап, включающий непосредственное проведение гидравлических исследований ВСКСТ, состоящий следующих **подэтапов**:
 - 1) Проведение поисковых исследований с целью обоснования водоучета предложенной конструкцией;

2) Изучение подходных условий в ГЛЛ при работе ВСКСТ, изучение волнового процесса на сооружении при различных расходах и степенях водоотбора;

3) Лабораторные исследования процесса изменения уровня воды в успокоительном колодце в зависимости от расхода воды, пропускаемого по ГЛЛ;

4) Изучение волновых процессов на водозаборном сооружении при различных коэффициентах водоотбора;

III. Этап обработки выполненных замеров и проведенных наблюдений, получение графических и формализованных зависимостей $Q = f(H)$ для ВСКСТ.

Особенности методики проведения намеченных исследований и наблюдений состояла в следующем:

- Анализ водоучета водомерным сооружением для каналов со сверхбурным течением проводился при наполнениях в ГЛЛ меньших и равных критической глубине $h_{кр}$, таким образом, чтобы обеспечивалось условие $i_{кр}^{11} \leq i_{лр}$, где $i_{кр}^{11} \approx 4 \cdot i_{кр}$ [114]. Здесь $h_{кр}$ и $i_{кр}$ - критическая глубина и критический уклон лабораторного лотка, соответствующие переходу потока из бурного состояния в спокойное, $i_{лр}$ - фактический уклон лотка в опытах.

- В процессе проведения лабораторных исследований оценивалось наличие эффекта водоучета при различных величинах расходов Q_i в транзитном лотке (ГЛЛ).

Расходы на входе в ГЛЛ и на выходе из него измерялись с помощью прошедших метрологическую аттестацию в ПКТИ «Водавтоматика и метрология» треугольных мерных водосливов Томсона с углом выреза 90° .

- Измерение глубин и геометрических напоров на модели в силу пульсации на свободной поверхности волнового потока выполнялись для гребня и

подошвы катящейся волны по методу Р.Брока с многократной повторностью ($n \geq 5$) шпигенмасштабом с точностью до 1 мм.

- Измерение глубин в успокоительном колодце проводились при помощи металлической мерной линейки с ценой деления 1 мм с контролем шпигенмасштабом и повторностью замеров $n \geq 3$.
- Имитация катящихся волн на гидравлическом лотке (ГЛЛ) осуществлялась специально изготовленным волнопродуктором типа входной шторки. При этом период и амплитуда катящихся волн определялся по известным Рекомендациям ВНИИГ [84] и сравнивался с данными натурных измерений на канале Аламудунский подпитывающий (АПК).

В основу статистической обработки экспериментальных данных для получения эмпирических зависимостей положен метод наименьших квадратов.

Порядок проведения модельных исследований.

Проведение детальных лабораторных исследований ВСКСТ предполагалось при изучении:

- 1) Водомерной способности усовершенствованной конструкции сооружения;
- 2) Зависимости изменения уровня воды в успокоительном колодце от изменения расходов воды в ГЛЛ;
- 3) Возможности составления тарировочной кривой, являющейся водомерной характеристикой ВСКСТ;
- 4) Возможной точности учета расходов воды в транзитном канале при помощи ВСКСТ;
- 5) Водомерной способности и конструктивных параметров ВСКСТ с двумя камерами донной траншеи.

Проведение поисковых гидравлических исследований водомерной способности усовершенствованной конструкции сооружения осуществлялось в следующем порядке.

Расходы воды, пропускаемые по транзитному лотку, принимались до 4,0 л/с, что в пересчете на натуру составляет 24,4 м³/с. При этом наполнения

в транзитном лотке составляли $H=0,67 \dots 3,37$ см, а в успокоительном колодце уровни воды изменялись в пределах $h=21,5 \dots 24,7$ см.

Наполнения в ГЛЛ замерялись в створе сооружения при помощи шпитценмасштаба.

Основная цель проводимого исследования была установить наличие и описание закономерности между наполнением в успокоительном колодце и расходом воды в транзитном лотке.

Изучение зависимости изменения уровня воды в успокоительном колодце от изменения расходов воды в ГЛЛ. В процессе этого исследования расход воды, поступающий на сооружение, изменялся в соответствии с разработанным графиком – то в нарастающем порядке, то в убывающем. Это позволило исключить систематическую погрешность измерений. При этом замерялись уровни воды в успокоительном колодце, соответствующие заданным расходам воды в ГЛЛ, велись наблюдения и фотосъемка за структурой потока и процессом волногашения на выходе из донной траншеи в успокоительный колодец.

Анализ результатов замеров уровней, расходов воды и составления тарифовочной кривой проводились при расходах в транзитном лотке $Q = 0,019; \dots 3,793$ л/с при наличии (сверхбурный поток) и отсутствии (бурный поток) катящихся волн в потоке.

Анализ полученных зависимостей представлен ниже в табличной и графической форме.

Обобщение опытных данных и получение расчетных зависимостей $Q = f(h)$ предполагало вычерчивание тарифовочной кривой и получения формализованной зависимости указанного типа для целей водоучета на канале-быстротоке предложенным водомерным сооружением.

Обработка результатов лабораторных исследований модели ВСКСТ проводилась с использованием персональной ЭВМ.

Проведение лабораторных исследований модели водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением позволило в дальнейшем разработать методику гидравлического расчета ВСКСТ и практических рекомендаций к использованию конструкции.

3.5 Лабораторные исследования водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ)

Лабораторные гидравлические исследования ВСКСТ предполагали, прежде всего, подтверждение водомерных свойств конструкции.

На начальном этапе исследований необходимо было установить, изменяется ли наполнение в успокоительной камере пропорционально изменению расходов воды в транзитном лотке.

Поисковые исследования необходимо было провести как для бурного режима течения воды в лотке, так и для сверхбурного (волнового) режима.

В процессе исследований по транзитному гидравлическому лотку пропускались расходы воды, не превышавшие $4,0 \text{ л/с}$. Такие небольшие значения расходов назначались из условия образования сверхбурного режима течения в естественных условиях при данном уклоне дна. При этом наполнения в транзитном лотке изменялись от $H=2,14 \text{ см}$ до $H=3,31 \text{ см}$ при волновом режиме в ГЛЛ. Уровни воды в успокоительном колодце колебались в пределах $h=23,25 - 24,65 \text{ см}$.

Регулирование транзитных расходов воды в ГЛЛ осуществлялось задвижкой на трубопроводе, расположенной рядом с баком-успокоителем (рис. 3.22). Измерение наполнений на мерном водосливе на входе в гидравлический лоток выполнялось при помощи шпитценмасштаба с точностью до 1 мм.



Рис. 3.22. Замер наполнений на мерном водосливе при входе в ГЛЛ.

Замеры выполнялись с трехкратной повторностью с целью исключения случайной ошибки измерений. Результаты замеров заносились в лабораторный журнал наблюдений.

Поскольку основная цель проводимого исследования состояла в том, чтобы установить наличие закономерности между наполнением в успокоительном колодце и расходом воды в транзитном лотке, по результатам измерений была составлена табл. 3.7.

По результатам замеров был построен график (рис. 3.23), наглядно демонстрирующий монотонную зависимость изменения наполнений в успокоительном колодце при изменении расходов воды в ГЛЛ для случая отсутствия в лотке волн.

Проследим зависимость $H_g = f(Q)$ при волновом режиме движения воды в лотке. В этом случае по результатам табл. 3.7 можно построить зависимости, изображенные на рис. 3.24.

Таблица 3.7 – Изменения наполнений в успокоительном колодце модели ВСКСТ при изменении расходов воды в ГЛЛ

№ опыта	Транзитный расход воды Q, л/с	Наполнения в успокоительном колодце при отсутствии волн в ГЛЛ, см	Минимальные наполнения в успокоительном колодце при наличии волн в ГЛЛ, см	Максимальные наполнения в успокоительном колодце при наличии волн в ГЛЛ, см
1	2,394	13,95	13,9	14
2	1,927	13,7	13,65	13,7
3	2,356	13,95	13,9	14
4	3,663	14,45	14,4	14,5
5	3,713	14,5	14,45	14,5
6	3,565	14,45	14,4	14,5
7	1,520	13,45	13,4	13,45
8	2,795	14,15	14,1	14,15
9	3,383	14,40	14,35	14,4
10	3,665	14,45	14,4	14,5

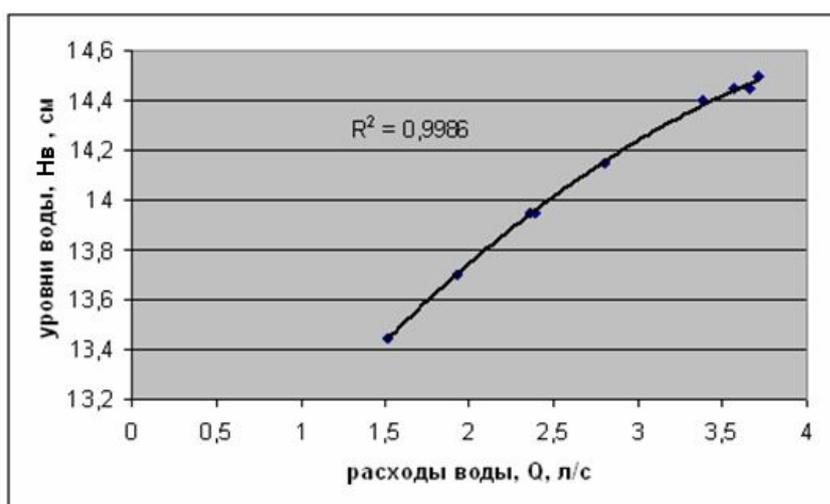
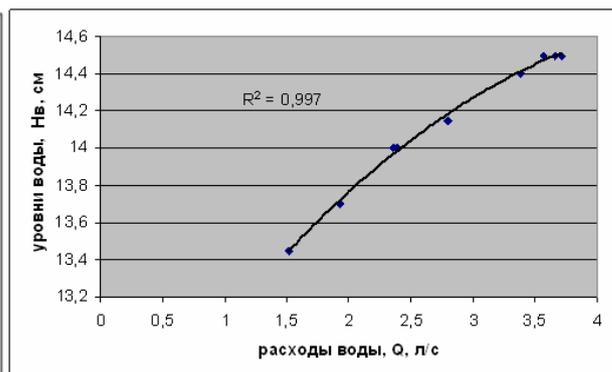
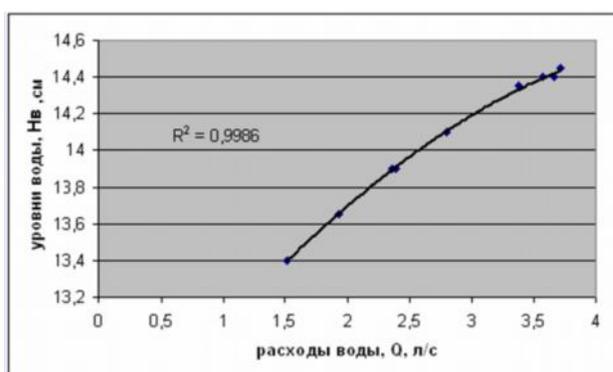


Рисунок 3.23 – Зависимость наполнений в успокоительном колодце от изменения транзитных расходов в лотке.



а)

б)

Рис. 3.26. Зависимость колебаний уровня воды в успокоительном колодце от расхода в лотке: а) минимальный; б) максимальный.

Графики на рисунках 3.23 и 3.24 наглядно демонстрируют монотонные зависимости наполнения в успокоительном колодце от расхода воды в транзитном лотке. Это наблюдается при бурном и при сверхбурном (волновом) режимах течения в транзитном лотке.

Таким образом, поисковыми исследованиями была обоснована целесообразность водоучета водомерным сооружением для каналов со сверхбурным течением предложенной конструкции на каналах-быстротоках. Погрешность водоучета, обеспечиваемая предложенным водомерным сооружением, при бурном (безволновом) режиме течения в ГЛЛ составляет 4%, а при сверхбурном (волновом) режиме – до 6 %.

В процессе изучения **изменения уровня воды в успокоительном колодце от изменения расходов воды в ГЛЛ** проводились более детальные, по сравнению с поисковыми, замеры наполнений в успокоительном колодце и в транзитном лотке. В процессе этого исследования расход воды, поступающий на сооружение, изменялся в соответствии с разработанным графиком – то в нарастающем, то в убывающем порядке. Это позволило исключить систематическую погрешность измерений. При этом замерялись уровни воды в успокоительном колодце, соответствующие заданным расходам воды в ГЛЛ, и велись наблюдения за структурой потока и процессом волногашения на выходе из донной траншеи в успокоительный колодец.

При безволновом режиме течения в ГЛЛ колебаний уровня в успокоительном колодце практически не наблюдалось.

По результатам замеров (в случае отсутствия волн в ГЛЛ) была составлена табл. 3.8.

Таблица 3.8 – Изменения наполнений в успокоительном колодце модели ВСКСТ при изменении расходов воды в ГЛЛ (при отсутствии волн в ГЛЛ)

№ опыта	Транзитный расход воды Q, л/с	Наполнения в ГЛЛ, см	Наполнения в успокоительном колодце, см
1	1,297	1,78	13,3
2	2,394	1,98	13,94
3	1,927	1,88	13,7
4	2,356	1,93	13,96
5	3,663	2,31	14,55
6	3,713	2,34	14,58
7	3,565	2,27	14,50
8	3,793	2,53	14,65
9	3,664	2,37	14,53
10	3,614	2,34	14,52
11	2,590	2,07	14,1
12	1,520	1,77	13,45
13	2,795	2,13	14,14
14	3,383	2,30	14,45
15	3,665	2,38	14,6
16	3,714	2,40	14,63
17	3,783	2,43	14,6

По результатам замеров (в случае наличия волн в ГЛЛ) была составлена табл. 3.9.

Таблица 3.9 – Изменения наполнений в успокоительном колодце модели ВСКСТ при изменении расходов воды в ГЛЛ (при наличии волн в ГЛЛ)

№	Транзитный	Минимальн	Максималь	Минимальное	Максимальное
---	------------	-----------	-----------	-------------	--------------

опыт а	расход воды Q, л/с	ое наполнение в ГЛЛ, см	ное наполнение в ГЛЛ, см	наполнение в успокоительном колодце, см	наполнение в успокоительном колодце, см
1	1,297	1,48	1,99	13,25	13,32
2	2,394	1,68	2,18	13,95	14
3	1,927	1,58	2,09	13,65	13,7
4	2,356	1,62	2,13	13,85	14,0
5	3,663	2,02	2,51	14,45	14,65
6	3,713	2,04	2,54	14,45	14,6
7	3,565	1,97	2,48	14,45	14,50
8	3,793	2,21	2,75	14,65	14,7
9	3,664	2,02	2,58	14,5	14,55
10	3,614	2,03	2,52	14,5	14,55
11	2,590	1,77	2,27	14,05	14,1
12	1,520	1,47	1,98	13,4	13,45
13	2,795	1,82	2,33	14,1	14,15
14	3,383	2,0	2,51	14,4	14,45
15	3,665	2,08	2,59	14,55	14,6
16	3,714	2,09	2,63	14,6	14,65
17	3,783	2,13	2,64	14,55	14,6

При волновом режиме течения в ГЛЛ в успокоительном колодце происходят незначительные колебания уровня воды, которые в 7,2 – 10,8 раз меньше колебаний в транзитном лотке и не могут оказать негативное воздействие на точность водоучета. Погрешность водоучета при бурном течении составила 4-5 %, при сверхбурном – 5-7 %. Таким образом, была доказана волногасящая и водомерная способность предложенной конструкции водомерного сооружения.

Была замечена хорошая обтекаемость прутьев решетки водомерного сооружения (имеющую ромбовидную форму сечения) водой, которая позволила исключить образование всплесков и фонтанирования на сооружении.

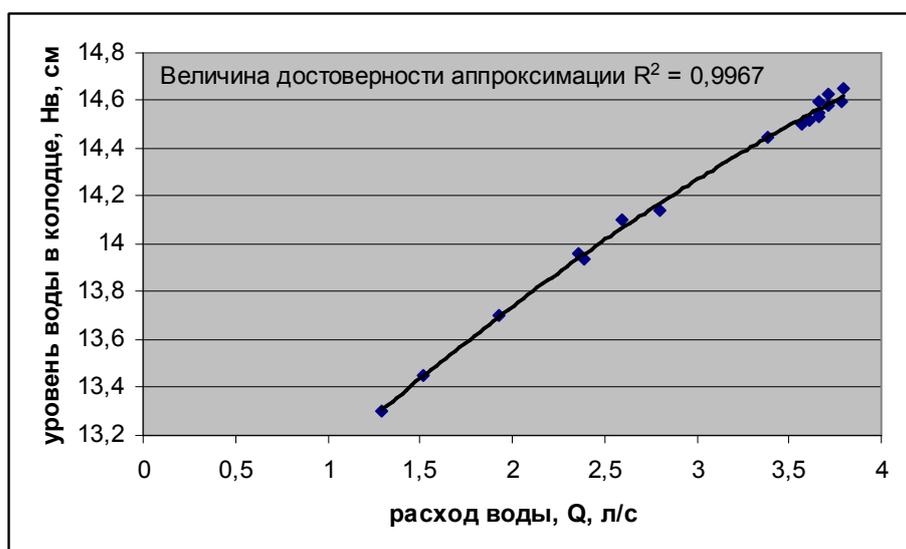
Замеры расходов воды в лотке и глубин в лотке и успокоительном колодце позволили построить тарировочную кривую, которую в натуральных условиях можно использовать для коммерческого водоучета.

Анализ результатов замеров уровней, расходов воды и составления тарировочной кривой проводились при расходах в транзитном лотке $Q = 1,297; \dots 3,793 \text{ л/с}$ при наличии и отсутствии катящихся волн в потоке.

Тарировочная кривая, в основу которой положены данные таблицы 3.8, представлена на рис. 3.27.

На графике тарировочной 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, $H_{\min} = 11,5 \text{ см}$.

По результатам расчетов табл. 3.9 построена тарировочная кривая для сверхбурного (волнового) потока на рис. 3.28.



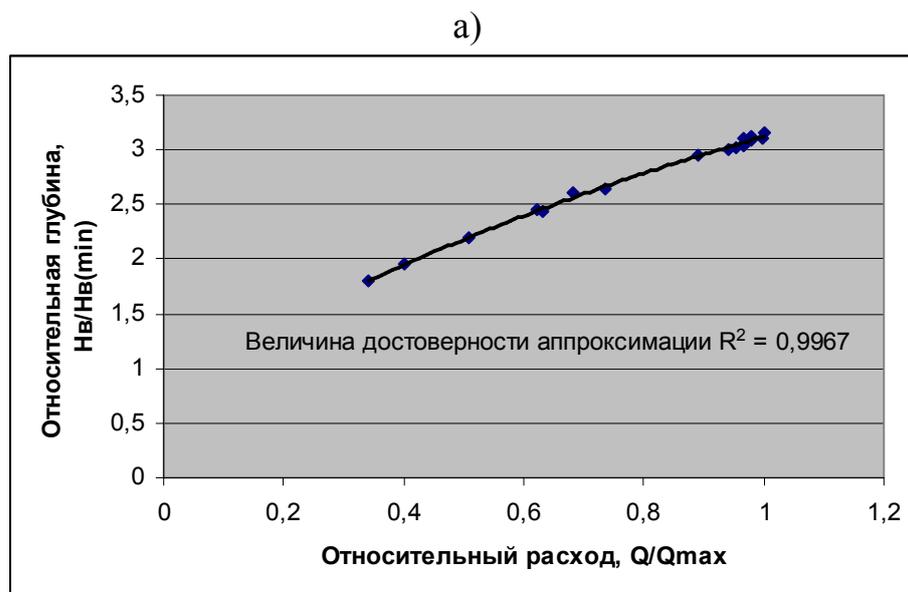
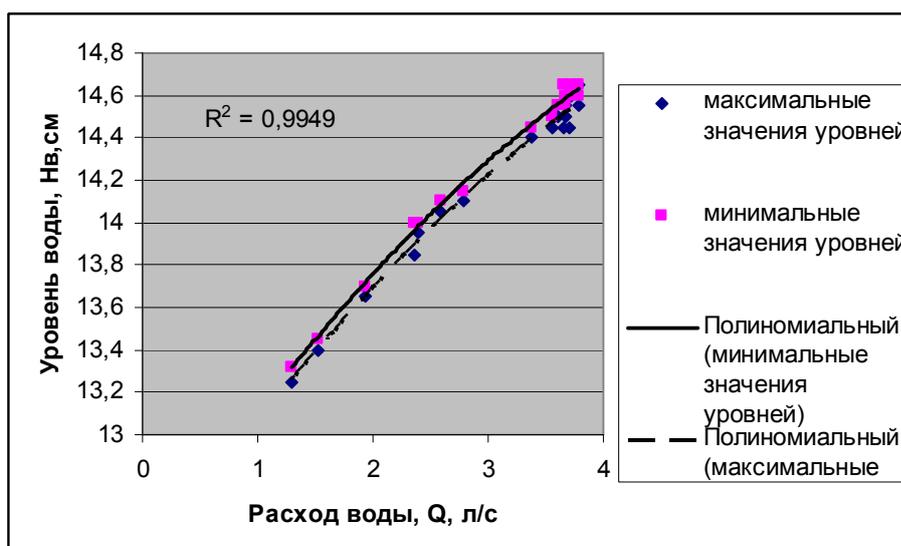
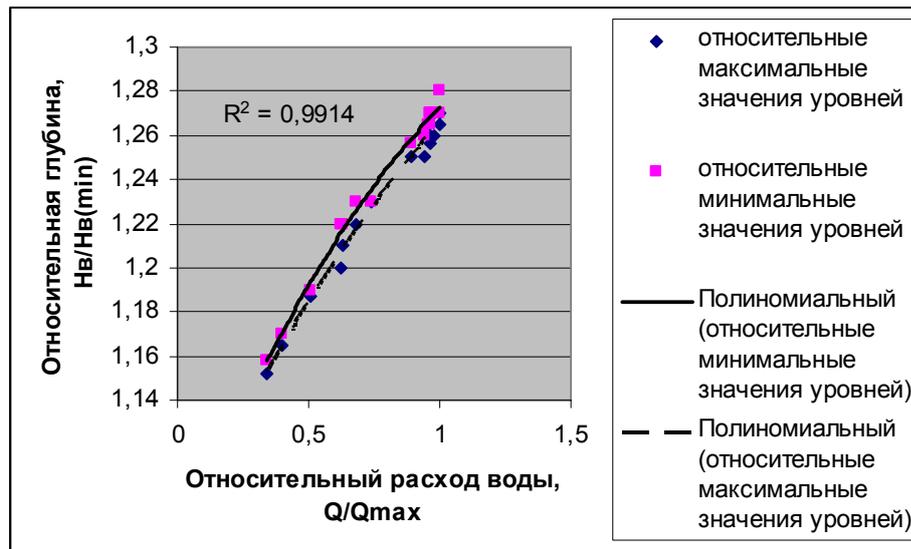


Рис. 3.27. Тарировочная зависимость модели ВСКСТ для бурного потока:
а) в абсолютных единицах; б) в относительных единицах.

Обработка результатов лабораторных исследований модели ВСКСТ и построение тарировочной кривой проводились с использованием персональной ЭВМ в программе Microsoft Excel методом наименьших квадратов. Величины достоверности аппроксимации построенных тарировочных кривых составили: для бурного режима $R^2=0,997$; для сверхбурного режима $R^2=0,9914$.





б)

Рис. 3.28. Тарировочная зависимость модели ВСКСТ для сверхбурного потока: а) в абсолютных единицах; б) в относительных единицах.

Используя график (рис. 3.27), можно по измеренным наполнениям в успокоительном колодце определить расход воды, пропускаемый по лотку.

Таким образом была доказана возможность водоучета на каналах с уклонами дна больше критических при помощи ВСКСТ. Причем, как видно на рис. 3.28, водоучет может проводиться не только при бурном, но и при сверхбурном течении в канале.

Для **оптимизации параметров ВСКСТ** нужно было провести дополнительные **исследования волногасящей способности конструкции**.

В процессе исследований параметров успокоительного колодца необходимо было выбрать такую ширину колодца, при которой наблюдалось наибольшая волногасящая способность конструкции водомерного сооружения при нестационарном волновом режиме течения в ГЛЛ.

Величины расходов воды, пропускаемые по ГЛЛ, принимались равными $Q^6 = 0,02; 1,5; 2,8; 3,8 \text{ л/с}$ из условия образования на натурном объекте при расходах, соответствующих этим расходам, волнового (сверхбурного) режима течения при данном уклоне дна. Колебания уровня воды в успокоительном колодце наблюдались при трех вариантах ширины

колодца $b_{ук} = 40; 45; 50$ см при ширине подводящего лотка $b = 30$ см.

Результаты замеров колебаний уровня воды в колодце отражены в табл. 3.10.

Таблица 3.10 – Колебания уровней воды в успокоительном колодце при сверхбурном характере потока в транзитном канале

№ п/п	Расход воды в ГЛЛ, л/с	Колебания уровня воды в ГЛЛ, см	Ширина модели колодца, м	Максимальные уровни в колодце $H_{в_{max}}$, см	Минимальные уровни в колодце $H_{в_{min}}$, см	Диапазон колебаний уровней в колодце, см	Относительное приращение диапазона колебаний УВ в колодце
1	0,02	0,65 – 0,88	0,4	11,7	11,4	0,3	6,0
			0,45	11,6	11,55	0,05	0
			0,5	11,6	11,55	0,05	0
2	1,50	2,25 – 2,70	0,4	13,7	13,4	0,3	3,0
			0,45	13,6	13,5	0,1	0
			0,5	13,6	13,5	0,1	0
3	2,80	2,62 – 3,23	0,4	14,1	13,8	0,35	3,5
			0,45	14,0	14,1	0,1	0
			0,5	13,95	14,05	0,1	0
4	3,80	2,88 – 3,26	0,4	14,7	14,3	0,4	2,7
			0,45	14,5	14,35	0,15	0
			0,5	14,5	14,35	0,15	0

Анализ данных табл. 3.10 дает возможность выбрать наиболее рациональную ширину успокоительного колодца.

Для модели водомерного сооружения принятых размеров наиболее рациональная ширина колодца составляет 0,45 м или $1,5b$. При ширине, меньшей, чем 0,45 м, равной $1,5b$, колебания в колодце возрастают в 2,7...6,0 раз по сравнению с колодцем, ширина которого больше 0,45 м. С увеличением ширины колодца большей, чем 0,45 м ($1,5b$), колебания остаются неизменными.

Исходя из экономических соображений строительства ВСКСТ принимаем для модели $b_{ук} = 0,45$ м.

При пересчете в относительных величинах получаем значение ширины успокоительного колодца:

$$b_{ук} = 1,5 \cdot b, \quad (3.9)$$

где b – ширина транзитного канала по дну.

Соблюдение условия (3.9) позволит минимизировать колебания уровня воды в успокоительном колодце и, тем самым, повысить точность водоучета сверхбурного волнового потока до 4...4,5 %.

Проведенные лабораторные исследования модели ВСКСТ позволили сделать следующие **выводы**:

1. Усовершенствованная конструкция водомерного сооружения обладает способностью водоучета, т.е. измерения расхода бурных и сверхбурных потоков в канале-быстротоке.
2. Замеры расходов воды и глубин в лотке и успокоительном колодце позволили построить тарировочную кривую, которую (после преобразования в относительные величины) в натуральных условиях можно использовать для коммерческого водоучета, т.к. погрешность в измерении расхода составляет от 3,5% до 5%.
3. Ширина успокоительного колодца водомерного сооружения определяется из выражения: $b_{ук} = 1,5 \cdot b$.

Полученные в процессе исследований параметры водомерного сооружения вошли в состав методики гидравлического расчета водомера.

3.6 Исследование показателей качества водоучета ВСКСТ

Для того чтобы рекомендовать предложенное устройство в качестве водомерного сооружения на каналах оросительных систем, необходимо было экспериментальным путем проверить качество работы сооружения и обосновать его диапазон регулирования.

Автором настоящей публикации в составе группы исследователей КРСУ были проведены лабораторные исследования качества водоучета на модели ВСКСТ.

В процессе исследований по транзитному гидравлическому лотку пропускались расходы воды $Q=1,0 - 28,45$ л/с. Небольшие значения расходов от 1,0 л/с до 4,0 л/с соответствовали сверхбурному режиму течения.

При волновом режиме в гидравлическом лабораторном лотке (ГЛЛ) глубины, одновременно являющиеся напором над решеткой водомерного сооружения, изменялись от $H=2,14$ см до $H=3,31$ см. Уровни воды в успокоительном колодце колебались в пределах $H_e=13,1...18,45$ см. Значение минимального уровня в успокоительном колодце $H_{в(мин)}$ и максимального расхода воды Q_{max} в ГЛЛ принималось исходя из возможностей лабораторной установки равными $H_{min}=11,5$ см и $Q_{max}=30$ л/с.

Продуцирование волн в ГЛЛ при малых расходах воды осуществлялось при помощи волнопродуктора, изготовленного в лаборатории гидравлики и энергетики кафедры ГТСиВР КРСУ в соответствии с планом работ по хоздоговорной теме ХГ-01-08.

Необходимость использования волнопродуктора для получения волн в ГЛЛ объясняется тем, что длина ($L=6,0$ м) лабораторного лотка недостаточна для формирования катящихся волн естественным путем.

Регулирование транзитных расходов воды в ГЛЛ 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.

Глубины в ГЛЛ в створе сооружения замерялись в соответствии с методикой выполнения лабораторных исследований, описанной выше в разделе 3.4.

Основная цель проводимого исследования состояла в том, чтобы установить процент отклонений фактических расходов воды в ГЛЛ, определенных по водосливу Томсона, от их расчетного значения,

соответствующего определенному уровню воды в успокоительном колодце. Поэтому в процессе исследований качества функционирования действующей модели ВСКСТ в успокоительном колодце на модели замерялись наполнения и по расчетной тарифовочной кривой определялись величины расходов Q_p воды в гидравлическом лабораторном лотке. Параллельно с этим при помощи мерного водослива в голове ГЛЛ проводились замеры фактических значений расходов в момент замеров наполнений. Значения расходов воды, установленных по тарифовочной кривой и по наполнениям на мерном водосливе сравнивались между собой. При этом определялся процент отклонения фактического значения расхода от расчетного.

Для получения формализованной зависимости расхода Q в ГЛЛ от наполнения $H_в$ в успокоительном колодце установлены относительные значения расходов Q/Q_{max} и наполнений $H_в/H_{в(min)}$ в успокоительном колодце, по которым получена зависимость $Q/Q_{max}=f(H_в/H_{в(min)})$, рекомендуемая к использованию в практических целях.

По результатам измерений была составлена табл. 3.11.

Таблица 3.11 - Динамика наполнений в успокоительном колодце модели ВСКСТ

№ опыта	Наполнение в успокоительном колодце, $H_в$, см	Наполнение в колодце при волновом режиме, $H_в$, см	Расход в ГЛЛ по тарифовочной кривой Q_p , л/с	Относительное наполнение в успокоительном колодце, $H_в/H_{в(min)}$	Относительный расход воды, Q/Q_{max}	Измеряемый расход в ГЛЛ, Q , л/с	Относительная ошибка измерения расхода в ГЛЛ, %
1	13,10	13,1–13,15	1,154	1,14	0,0385	1,213	5,1
2	13,55	13,5-13,55	1,648	1,18	0,0549	1,701	3,2
3	14,05	14,0-14,05	2,562	1,22	0,0854	2,641	3,1
4	14,45	14,45-14,47	3,573	1,26	0,1191	3,691	3,3
5	15,0	15.0	5,368	1,3	0,1789	5,234	-2,5

6	15,55	15,55	7,630	1,35	0,2543	7,432	-2,6
7	16,05	16,05	10,09	1,4	0,3363	10,372	2,8
8	16,50	16,50	12,642	1,43	0,4214	12,958	2,5
9	16,95	16,95	15,502	1,47	0,5167	15,827	2,1
10	17,50	17,50	19,426	1,52	0,6475	19,853	2,2
11	18,05	18,05	23,813	1,57	0,7938	23,122	-2,9
12	18,45	18,45	27,304	1,6	0,9101	26,376	-3,4

Относительная ошибка измерений расходов воды предложенным водомерным сооружением составляла 2,1 – 5,1%, 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. 3.29), которая может использоваться при установке данного вододелителя на каналах-быстротоках с различными габаритными размерами.

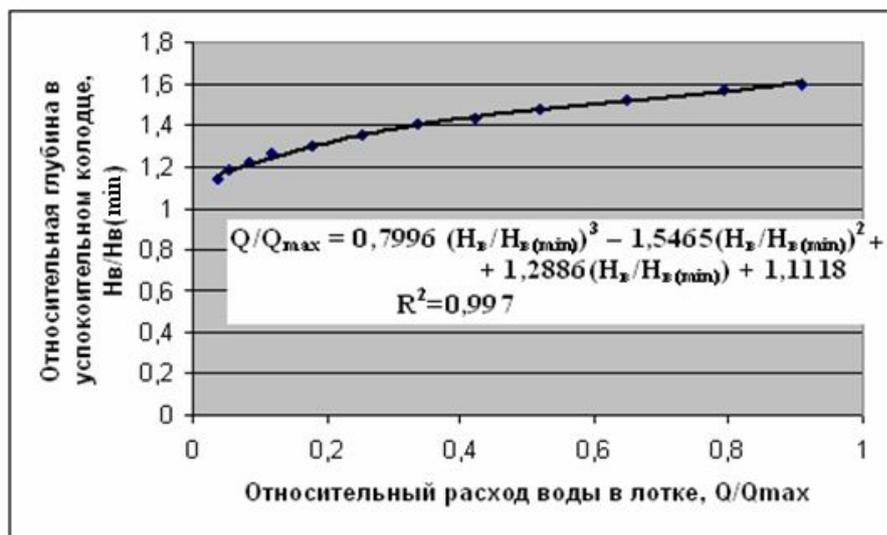


Рис. 3.29. Относительная тарировочная кривая $Q/Q_{max}=f(H_v/H_{vmin})$.

Проведенные исследования подтвердили водомерные свойства предложенной конструкции не только при сверхбурном, но и при бурном режимах течения, что наглядно отражено в табл. 3.11. Помимо этого, исследования ВСКСТ позволили обосновать рекомендуемый диапазон

регулирования расходов воды предложенной конструкцией водомерного сооружения.

По данным табл. 3.11 были получены расчетные тарировочные зависимости:

для бурного потока воды в транзитном канале:

$$Q/Q_{\max} = 0,7996 (H_B/H_{B(\min)})^3 - 1,5465(H_B/H_{B(\min)})^2 + 1,2886(H_B/H_{B(\min)}) + 1,1118, \quad (3.10)$$

где H_B – отсчет по водомерной рейке в успокоительном колодце водомерного сооружения; $H_{B(\min)}$ – минимальная глубина воды в успокоительном колодце, после предварительного его заполнения, при отсутствии воды в транзитном канале;

для сверхбурного (волнового) потока воды в транзитном канале:

$$Q/Q_{\max} = 0,9223 (H_B/H_{B(\min)})^3 - 1,7198 (H_B/H_{B(\min)})^2 + 1,3482 (H_B/H_{B(\min)}) + 1,1103. \quad (3.11)$$

Анализ результатов исследования качества водоучета водомерным сооружением для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ) позволяет сделать следующие **выводы**:

- Предложенная конструкция водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ) обеспечивает требуемое качество водоучета ($\pm 4-5\%$) на каналах-быстротоках с бурным и ($\pm 5-7\%$) сверхбурным режимами течения в канале.
- Относительная тарировочная зависимость для водоучета предложенным водомерным сооружением ВСКСТ при бурном потоке в канале имеет вид (3.10).
- Относительная тарировочная зависимость для водоучета предложенным водомерным сооружением ВСКСТ при сверхбурном (волновом) потоке в канале имеет вид (3.11).

- Предложенное водомерное сооружение рекомендуется использовать на каналах с уклонами больше критических и расходами воды в канале $Q = 5 - 25,0 \text{ м}^3/\text{с}$, которые соответствуют исследованным на модели значениям расходов воды расходам в натуральных условиях.

3.7 Исследование водомерной способности и конструктивных параметров ВСКСТ с двумя камерами донной траншеи

Использование рассмотренной усовершенствованной конструкции водомера с тремя и более камерами донной траншеи целесообразно на крупных магистральных каналах-быстротоках с большими расходами воды $Q \geq 5,0 \text{ м}^3/\text{с}$. На каналах с бурным и сверхбурным режимом течения и сравнительно небольшими расходами $Q < 5,0 \text{ м}^3/\text{с}$ не всегда оправдано наличие в конструкции водомера трех и более камер донной траншеи. Из экономических соображений рационально устройство указанной конструкции водомера с двумя камерами. Это позволит значительно уменьшить габаритные размеры вододелителя и уменьшить расход материала на строительство сооружения.

Однако для подтверждения возможности использования двухкамерной траншеи на ВСКСТ необходимо провести гидравлические исследования. Такие исследования позволят выявить водомерные характеристики облегченной конструкции водомера и обосновать возможность его применения для целей водоучета на быстротечных каналах.

Схема двухкамерного варианта ВСКСТ представлена на рис. 3.30.

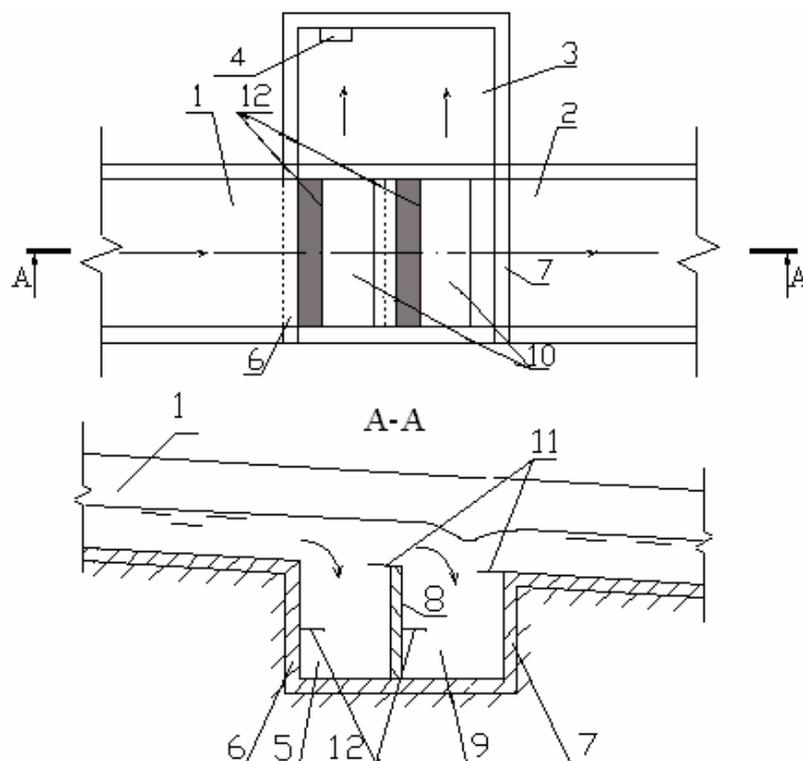


Рис. 3.30. Схема двухкамерного ВСКСТ (без решетки): 1 – подводящее русло; 2 – отводящее русло; 3 – успокоительный колодец; 4 – водомерная рейка; 5 – первая камера донной траншеи; 6 – передняя по потоку стенка; 7 – задняя по потоку стенка; 8 – разделительная перегородка; 9 – вторая камера донной траншеи; 10 – входные отверстия в донную траншею; 11 – горизонтальные козырьки; 12 – Г-образные козырьки.

В процессе лабораторных исследований по ГЛЛ пропускались расходы воды с величинами от 1,55 л/с до 3,9 л/с. Наполнения в лотке изменялись от $H=1,9$ см до $H=3,4$ см при волновом режиме в ГЛЛ. Уровни воды в успокоительном колодце колебались в пределах $H_g=13,46\dots 14,53$ см.

Методика проведения исследований описана в разделе 3.4.

Результаты измерений глубин в успокоительном колодце и расходов воды, пропускаемых по лотку, отражены в табл. 3.12.

Таблица 3.12 – Изменения наполнений в успокоительном колодце для ВСКСТ с двухкамерной траншеей (в пересчете на натуру)

№ опыта	Транзитный расход воды Q, л/с	Наполнения в успокоительном колодце при отсутствии волн в ГЛЛ, м	Минимальные наполнения в успокоительном колодце при наличии волн в ГЛЛ, м	Максимальные наполнения в успокоительном колодце при наличии волн в ГЛЛ, м
1	2,4	1,78	1,77	1,8
2	1,9	1,61	1,605	1,612
3	2,26	1,69	1,68	1,73
4	3,65	2,03	2,02	2,03
5	3,82	2,06	2,05	2,055
6	3,55	2,0	1,99	2,01
7	1,55	1,46	1,45	1,47
8	2,79	1,85	1,83	1,86
9	3,38	1,99	1,98	2,01
10	3,9	2,09	2,08	2,087

По результатам замеров был построен график (рис. 3.31), наглядно демонстрирующий монотонную зависимость изменения наполнений в успокоительном колодце при изменении расходов воды в ГЛЛ для случая отсутствия в лотке волн.

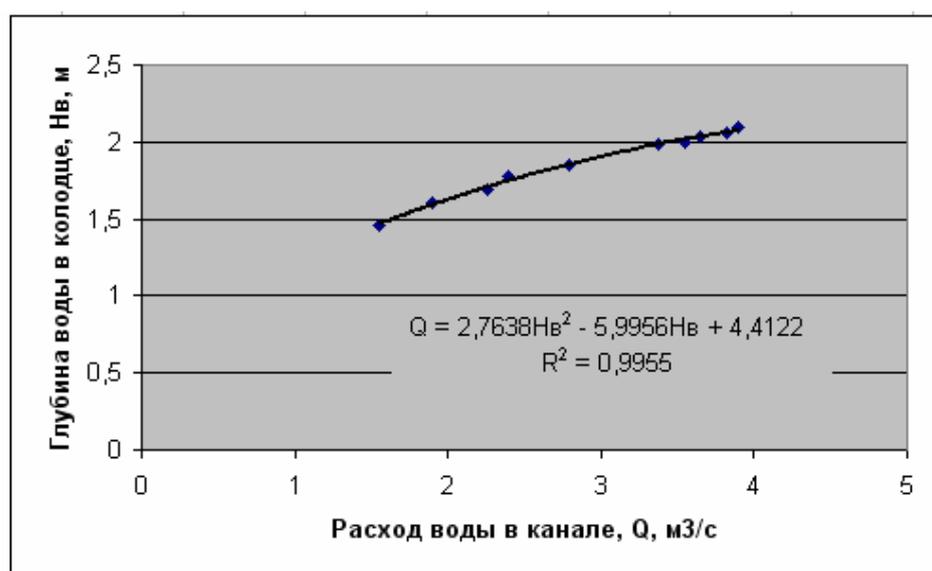


Рис. 3.31. Зависимость наполнений в успокоительном колодце от изменения транзитных расходов в канале.

Проследим зависимость $Q = f(H_e)$ при волновом режиме движения воды в лотке. В этом случае по результатам табл. 3.12 можно построить графические зависимости, изображенные на рис. 3.32.

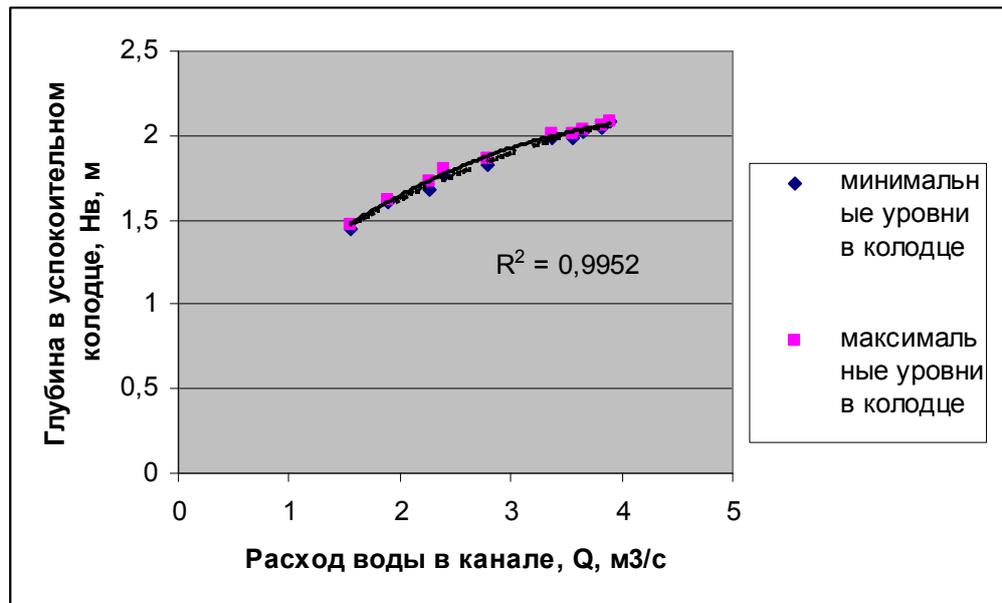


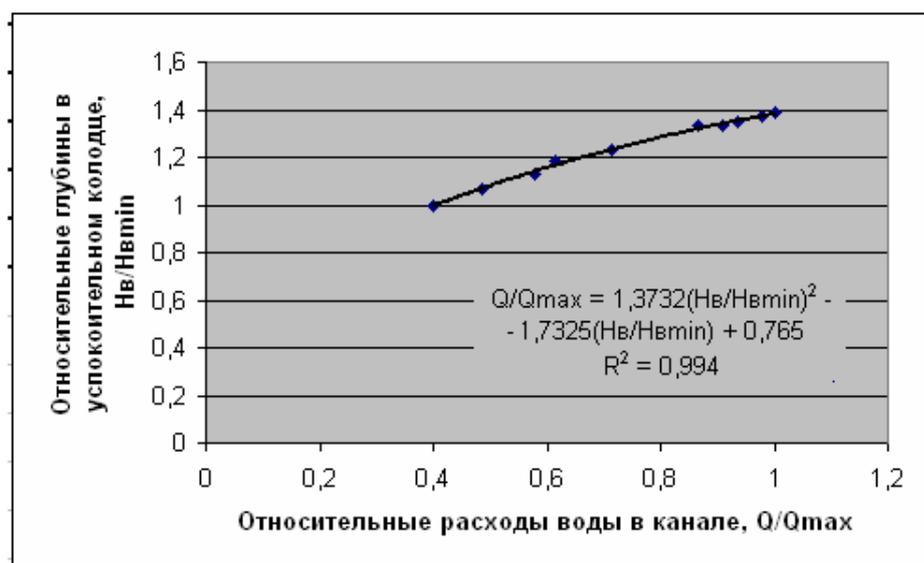
Рис. 3.32. Зависимость колебаний уровня воды в успокоительном колодце от расхода в канале.

Для построения относительной тарировочной зависимости $Q/Q_{max} = f(H_e/H_{e(min)})$ данные табл. 3.12 необходимо было переписать в относительных величинах, которые представлены в табл. 3.13. Минимальная глубина в успокоительном колодце в натуральных условиях $H_{e(min)} = 1,5 м$.

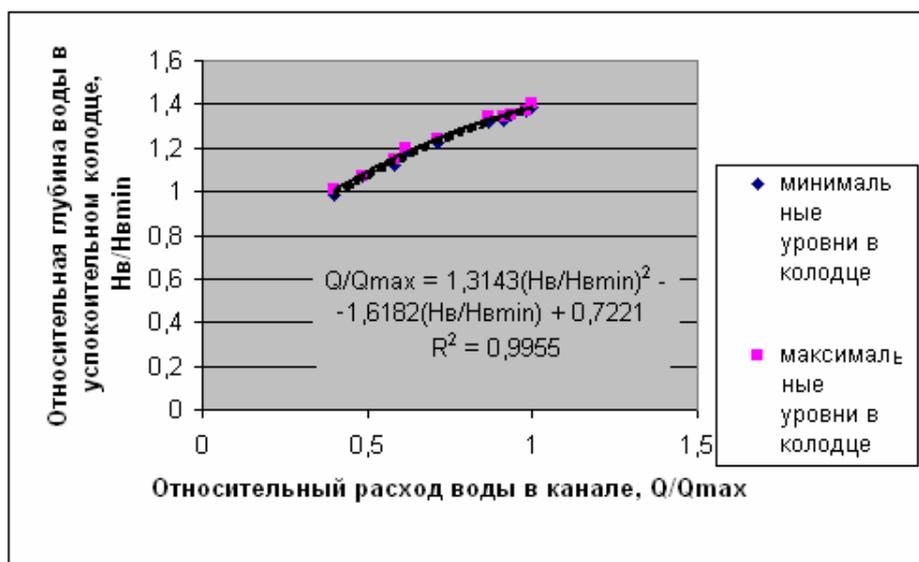
По результатам табл. 3.13 построены графики зависимости $Q/Q_{max} = f(H_e/H_{e(min)})$ в относительных величинах, которые представлены на рис. 3.33. Графики на рис. 3.31, 3.32 и 3.33 демонстрируют монотонные зависимости наполнения в успокоительном колодце от расхода воды в транзитном лотке. Это наблюдается при бурном и при сверхбурном (волновом) режимах течения в транзитном канале.

Таблица 3.13 – Изменения относительных глубин в успокоительном колодце в зависимости от изменений относительных расходов воды в канале для ВСКСТ с двухкамерной траншеей (в пересчете на натуру)

№ опыта	Транзитный расход воды Q, л/с	Наполнения в успокоительном колодце при отсутствии волн в ГЛЛ, м	Минимальные наполнения в успокоительном колодце при наличии волн в ГЛЛ, м	Максимальные наполнения в успокоительном колодце при наличии волн в ГЛЛ, м
1	0,615	1,187	1,18	1,2
2	0,487	1,07	1,07	1,07
3	0,579	1,127	1,12	1,15
4	0,936	1,35	1,35	1,35
5	0,979	1,37	1,37	1,37
6	0,91	1,33	1,33	1,34
7	0,4	1	0,98	1,01
8	0,715	1,23	1,22	1,24
9	0,866	1,33	1,32	1,34
10	1,0	1,39	1,39	1,4



а)



б)

Рис. 3.33. Относительная тарировочная кривая $Q/Q_{max}=f(H_o/H_{emin})$ для ВСКСТ с двумя камерами: а) для бурного потока; б) для сверхбурного потока.

В результате исследований модели ВСКСТ с двухкамерной траншеей была подтверждена целесообразность использования рассматриваемого водомера на каналах с бурным и сверхбурным течением. Точность водоучета, обеспечиваемая предложенным водомерным сооружением, при бурном (безволновом) режиме течения в ГЛЛ составляет 4-5,5%, а при сверхбурном (волновом) режиме – 5-7 %.

По результатам исследований модели ВСКСТ с двухкамерной траншеей можно сделать **выводы**:

- ВСКСТ с двухкамерной траншеей может служить средством водоучета на каналах-быстротоках с расходами $Q < 5,0 м^3 / с$.
- Относительная тарировочная зависимость для водоучета водомерным сооружением ВСКСТ с двухкамерной траншеей и бурным режимом течения в канале имеет вид:

$$Q/Q_{max} = 1,3732(H_v/H_{v(min)})^2 - 1,7325(H_v/H_{v(min)}) + 0,765. \quad (3.12)$$

Величина достоверности аппроксимации составляет для бурного потока $R^2=0,994$.

- Относительная тарировочная зависимость для водоучета водомерным сооружением ВСКСТ с двухкамерной траншеей и сверхбурным режимом течения в канале имеет вид:

$$Q/Q_{\max} = 1,3143 (H_B/H_{B(\min)})^2 - 1,6182 (H_B/H_{B(\min)}) + 0,7221. \quad (3.13)$$

Величина достоверности аппроксимации составляет для сверхбурного потока $R^2=0,9955$.

Проведенные гидравлические исследования усовершенствованных конструкций водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением позволили разработать методику гидравлического расчета ВСКСТ, изложенную в следующем подразделе диссертации.

3.8 Методика расчета усовершенствованного водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ)

Результаты проведенных гидравлических исследований и анализ априорной информации (Глава 1) позволили разработать методику расчета водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением.

Расчет ВСКСТ с двумя и более камерами донной траншеи сводится к определению его конструктивных и гидравлических параметров при заданных параметрах канала-быстротока.

Исходные данные для расчета ВСКСТ:

1. Максимальный форсированный расход транзитного канала $Q_{\phi}, м^3/с$;
2. Расход максимального волнообразования $Q_{\max}^{\phi}, м^3/с$. Если расход максимального волнообразования не известен, то он определяется по зависимости Арсенишвили К.И. [87];
3. Уклон дна канала i ;
4. Ширина по дну $b, м$;
5. Строительная высота канала $h_{стр}, м$;
6. Сечение канала: *трапецидальное или прямоугольное*;

7. Максимальная глубина $h_{\phi}, м$;

8. Глубина в канале при расходе максимального волнообразования $h_{\max}^6, м$;

9. Скорость воды в канале при максимальном расходе волнообразования $v_{\max}^6, м/с$.

При больших уклонах ($i > 0,02$) каналов расход максимального волнообразования, чаще всего, равен максимальному расходу воды в канале $Q_{\max}^6 = Q_{\phi}$.

Высота волны $h_6 \leq h_{кр}$ [86].

Порядок расчета ВСКСТ:

1. Если в транзитном канале величина максимального расхода воды $Q_{\phi} < 5,0 м^3 / с$ [2], принимается две камеры в донной траншее. Если в транзитном канале величина максимального расхода воды $Q_{\phi} \geq 5,0 м^3 / с$, принимается три камеры в донной траншее.

Расход воды, попадающий в каждую камеру при глубине, соответствующей максимальному расходу волнообразования в транзитном канале, принимаем:

$$\Delta Q = Q_{\max}^6 / N, \quad (3.14)$$

где N – число камер в траншее.

При устройстве водомерного сооружения на канале с бурным режимом течения, расчет сооружения проводим на нормальный расход Q_n воды в канале. В этом случае: $\Delta Q = Q_n / N$.

2. Длина решетчатой плиты определяется по формуле [121]:

$$l_{пл} = \sum a_i + \sum t_i + a_k, \quad (3.15)$$

где a_i – длина входного отверстия в камеру траншеи; t_i – толщина стенка траншеи; a_k – длина горизонтального отсекающего козырька.

Для чего сначала определяется длина плиты под одной камерой a_i .

Длина плиты под первой камерой определяется из формулы Е.А.Замарина [132,133]:

$$a_i = \frac{\Delta Q_i}{\mu p b \sqrt{2gH_i}}, \quad (3.16)$$

где μ – коэффициент расхода плиты с продольными прорезями определяется по эмпирической формуле [1]:

$$\mu = 0,0002Fr^2 - 0,0104Fr + 0,54434; \quad (3.17)$$

где Fr - параметр Фруда, $Fr = \alpha v_{\max}^6 / gh_{\max}^6$, (3.18)

h_{\max}^6 – глубина воды в канале при максимальном расходе волнообразования; α – коэффициент Кориолиса для сверхбурного потока, $\alpha = 1,045$ [29]; $p = \omega_{отс} / \omega_{пл}$ – доля площади отверстий во всей плите.

Действующий напор над секцией водомера:

$$H_i = h_{\max}^6 + \alpha v_{\max}^6 / 2g. \quad (3.19)$$

Поскольку водомерное сооружение имеет N секций, общая длина плиты принимается равной:

$$\sum a_i = N \cdot a_i. \quad (3.20)$$

Толщина армированных перегородок между камерами принимается равной $t = 0,1 \dots 0,2 \text{ м}$.

Длина отсекающих козырьков в конце каждой камеры принимается, согласно рекомендаций Голубенко М.И. [1], одинаковой и равной:

$$a_k = 0,2a_i. \quad (3.21)$$

Общая длина горизонтальных козырьков составит:

$$\sum a_k = N \cdot a_k. \quad (3.22)$$

Длина каждой камеры:

$$l_{\kappa} = a_i + a_{\kappa} = 1,2a_i. \quad (3.23)$$

3. Глубина донной траншеи определяется из условия неподтопленного истечения по формуле:

$$h_{mp} = \frac{Q_{\max}^g}{l_{nl} v_{mp}} + \Delta h, \quad (3.24)$$

где v_{mp} - скорость движения воды в траншее с уклоном дна, равным критическому, т.е. с критической глубиной;

Δh - запас, $\Delta h = 0,2 \dots 0,4$ м [3].

Уклон дна донной траншеи принимается близким к нулевому.

4. Параметры успокоительного колодца.

Строительная высота успокоительного колодца:

$$h_{\text{кол}} = h_{mp} + h_{\text{стр}}. \quad (3.25)$$

Ширина успокоительного колодца:

$$b_{\text{кол}} = 1,5 \cdot b, \quad (3.26)$$

где b – ширина канала по дну.

5. Параметры Г-образных козырьков.

Ширина Г-образных козырьков, устанавливаемых горизонтально в средней части тыльной стороны перегородок, по рекомендациям М.И. Голубенко [63], равна:

$$b_{\text{зк}} = 0,12l_i. \quad (3.27)$$

Длина вертикальной части козырьков: $h_{\text{зк}} = 0,5b_{\text{зк}}. \quad (3.28)$

6. Глубина расположения Г-образного козырька относительно дна канала:

$$h_{\text{расп}_{\text{зк}}} = 0,5h_{mp}. \quad (3.29)$$

Проведенные натурные исследования водомерных сооружений, разработки и исследования усовершенствованных водомерных сооружений позволили сделать **ВЫВОДЫ**:

- Натурное обследование водомерных сооружений на каналах оросительных систем Кыргызской Республики показали, что существующие водомерные сооружения не применимы на каналах-быстротоках, где скорости течения выше критических. Установка на бурном и сверхбурном потоке устройств, создающих дополнительные сопротивления, в виде водосливов и лотков приводит к выплескам воды за пределы канала, а также вызывает постепенное разрушение водомерного сооружения и частей канала.
- Применяемые на каналах-быстротоках водомерные сооружения в виде различного типа гидрометрических постов и щелевых водосливов не позволяют обеспечить требуемое качество водоучета из-за вносимых в поток возмущений в виде элементов сооружений.
- С целью обеспечения водоучета на каналах-быстротоках горно-предгорной зоны разработана усовершенствованная конструкция водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ). Предложенная конструкция ВСКСТ обеспечивает требуемое качество водоучета ($\pm 4 \dots 7\%$) на каналах-быстротоках с бурным и сверхбурным (волновым) режимами течения в канале.
- Использование рассмотренной усовершенствованной конструкции водомера с тремя и более камерами донной траншеи целесообразно на крупных магистральных каналах-быстротоках с большими расходами воды $Q \geq 5,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Относительная тарировочная зависимость для водоучета предложенным водомерным сооружением ВСКСТ бурного потока имеет вид (3.10), сверхбурного потока – вид (3.11).
- ВСКСТ с двухкамерной траншеей может служить средством водоучета на каналах-быстротоках с расходами $Q < 5,0 \text{ м}^3/\text{с}$. Относительная

тарировочная зависимость для водоучета водомерным сооружением ВСКСТ с двухкамерной траншеей бурного потока имеет вид (3.12), сверхбурного потока – вид (3.13).

- По результатам проведенных гидравлических исследований разработана методика расчета усовершенствованной конструкции водомерного сооружения типа ВСКСТ для каналов горно-предгорной зоны.

ГЛАВА 4

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ СООРУЖЕНИЙ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ

4.1 **Натурные исследования вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения**

4.1.1 **Программа и методика натурных исследований вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения**

Как отмечалось в разделе 1.5, к числу современных конструкций вододелителей на быстротечных каналах относится Вододелитель ВКБТ для каналов с бурным течением (А.св. СССР № 1654447) [64], модельные исследования которого проведены в Кыргызской аграрной академии и КРСУ [119, 120]. Дальнейшей модификаций этой конструкции является Вододелитель для каналов со сверхбурным режимом течения (ВКСРТ) (Патент КР № 447, 2001, авторы Лавров Н.П., Жусупов М.К., Кулибаев У.Д., Рохман А.И.) [70], который отличается от прототипа способом крепления и формой решетки с треугольными вырезами. Вододелители типа ВКБТ и ВКСРТ построены в 2000-2001 г. в составе водозаборного сооружения для резервного водоснабжения ТЭЦ (ВСПВТ) г. Бишкек. Поэтому данное сооружение было выбрано нами для проведения натурных исследований вододелителя наиболее оправданной на сегодня конструкции. Конструктивная схема этого сооружения приведена в работе Лаврова Н.П. и Исабекова Т.А. [65].

Для дальнейшего совершенствования конструкции ВКСРТ с целью обеспечения водоподачи из каналов-быстротоков представляет интерес изучение гидравлических характеристик натурального объекта и сравнение этих данных с результатами модельных исследований ВКСРТ.

Целью натурных исследований является уточнение гидравлических характеристик и установление режимов работы ВКСРТ, выработка рабочих гипотез о работе сооружения в условиях нестационарного волнового потока и обоснование новых усовершенствованных конструкций вододелителей для сверхбурных потоков на быстротечных каналах.

Для реализации поставленной цели на стадии подготовки и проведения натурных исследований требуется решить следующие **основные задачи:**

- проанализировать материалы существующих проектных документов, расчетов и результатов ранее проведенных модельных исследований рассматриваемых водораспределительных сооружений из каналов-быстротоков;
- обосновать состав и объем натурных наблюдений и исследований с учетом имеющейся измерительной аппаратуры и технических средств измерения;
- наметить этапы проведения гидравлических исследований;
- разработать общую и детальную методику проведения предстоящих исследований ВКСРТ в составе ВСПВТ г. Бишкек;
- провести натурные исследования и наблюдения гидравлических режимов ВКСРТ;
- выполнить обработку экспериментальных данных и их сравнение с результатами модельных исследований прототипа - ВКБТ;
- на основе анализа результатов лабораторных и натурных исследований аналогов наметить пути совершенствования конструкций водораспределительных сооружений для каналов-быстротоков со сверхбурным течением.

Проведение намеченных основных задач осуществлялось в несколько **этапов:**

- I. Подготовительный этап, предполагающий проведение подготовительных работ, включающих анализ существующей информации, в частности модельных исследований ВКСРТ и ВКБТ, обоснование объема исследований, разработку методики проведения исследований и др.
- II. Основной этап, включающий непосредственное проведение натуральных замеров и наблюдений в зоне влияния ВКСРТ, состоящий следующих **подэтапов:**
- 1) изучение гидравлических характеристик транзитного канала в верхнем бьефе сооружения;
 - 2) исследование гидравлических характеристик отводящего канала в нижнем бьефе сооружения при различных величинах расходов в отвод;
 - 3) исследование пропускной способности ВКСРТ при различных расходах воды в Аламединском подпитывающем канале-быстротоке (АПК) и различных открытиях боковых затворов вододелителя;
 - 4) изучение процесса трансформации катящихся волн на сооружении при различных расходах воды и пропорциях водоотбора.
- III. Этап обработки результатов натуральных исследований, включающих вычислительную обработку выполненных проведенных замеров и систематизацию наблюдений, получение расчетных зависимостей и обоснованных рекомендаций по модернизации конструкции водозаборных сооружений из каналов-быстротоков.

Методика проведения намеченных исследований и наблюдений состояла в следующем:

1. При изучении гидравлических характеристик АПК на подходе к сооружению необходимо было замерить колебания уровней воды в канале и получить характеристики катящихся волн в быстротоке. Замерить скорости потока перед сооружением при различных расходах воды в канале-быстротоке. Замеры наполнений в канале проводились протарированной гидрометрической штангой в отдельных сечениях канала методом многократных измерений, предложенным Р.Броком [99].

Скорости воды в АПК определялись методом поплавков и для контроля в отдельных случаях (при местных скоростях меньше 4 м/с) замерялись гидрометрической вертушкой.

2. При изучении истечения из водозаборного сооружения гидрометрической штангой замерялись наполнения и остаточные волновые колебания в отводящем канале, а гидрометрической вертушкой марки ГР-99 определялись скорости воды на мерных вертикалях в двух створах на выходе из сооружения.
3. Для замеров уровней и скоростей воды в поперечных сечениях отводящего канала в мерных створах натягивался трос и выполнялись замеры вдоль этих сечений. В связи с большой глубиной (до 2,0 м) замеры скоростей и глубин воды в отводящем канале выполнялись с моста и лодки вдоль натянутого в мерном створе троса. Количество точек измерения скоростей на мерных вертикалях в соответствии с нормативными гидрометрическими рекомендациями [134] изменялось от двух до пяти на одной вертикали.
4. Исследование пропускной способности ВКСРТ проводились при различных величинах водоотбора из АПК в отводящий канал. Требуемая величина расхода водоотбора устанавливалась различными открытиями боковых затворов в донных камерах ВКСРТ.
5. Обработка натурных данных состояла в следующем. Расчет расхода водоотвода выполнялся известным в гидрометрии [134] методом «площадь – скорость». По результатам опытных данных определялась величина относительного действующего напора $m_в$ и коэффициент расхода ВКСРТ. Строилась эпюра придонных и поверхностных скоростей по вертикалям и определялась степень неравномерности распределения местных скоростей и удельных расходов в нижнем бьефе водodelителя. Рассчитывалась глубина в гребне и подошве исходной (в верхнем бьефе ВКСРТ) и трансформированной (в нижнем бьефе ВКСРТ в АПК и отводящем канале) катящейся волны. Определялась высота волны в каждом створе измерения и оценивался коэффициент трансформации волн неустойчивости. Проверялась применимость экспериментальных зависимостей, полученных ранее [119, 120] в ходе модельных исследований прототипа – ВКБТ и ВКСРТ к описанию гидравлических процессов на ВКСРТ.

Проведение детальных **натурных исследований** предполагалось с целью изучения:

- 1) пропускной способности водodelителя типа ВКСРТ;
- 2) стабилизирующей способности ВКСРТ;

- 3) равномерности распределения скоростей и удельных расходов воды на выходе их ВКСРТ в отводящий канал;
- 4) процесса трансформации катящихся волн в зоне водозаборного сооружения на АПК;
- 5) изменения поля скоростей на подходе к водозаборному сооружению на АПК и в отводящем канале;
- 6) процесса волногашения на выходе из сооружения в отводящий канал при различных коэффициентах водоотбора.

Проведение **гидравлических исследований волнообразования** в зоне водозаборного сооружения на АПК осуществлялось в следующем порядке.

Расходы воды, пропускаемые по каналу-быстротоку АПК, в створе ВКСРТ, из условий ирригационного использования этого канала, лимитируемых эксплуатационной организацией УМРК, изменялись от $5,1 \text{ м}^3/\text{с}$ до $8,3 \text{ м}^3/\text{с}$. Величина расходов воды на АПК принималась по данным диспетчерской службы УМПК с контролем методом «площадь – скорость» в нижнем бьефе водораспределительного узла на пересечении АПК с ВБЧК. Подробная схема ВСПВТ с расположением створов, в которых замерялись глубины и скорости воды в зоне влияния вододелителя типа ВКСРТ, представлена на рис. 4.9 в подразделе 4.1.5.

Открытия боковых затворов ВКСРТ для подачи воды в отводящий канал, ограничивались величиной 0,3 м, исходя из ограничений при эксплуатации БТЭЦ.

Наполнения в створах АПК замерялись гидрометрической штангой со служебного мостика и берегов канала. Замеры проводились в двух поперечных створах (в верхнем и нижнем бьефах ВКСРТ) на АПК и в двух створах на отводящем канале в нижнем бьефе ВКСРТ.

Скорости на подходе к водозаборному сооружению замерялись способом поверхностных поплавков

Предварительно протарированной в Чуйском облводхозе гидрометрической вертушкой замерялись скорости в створе сооружения со служебного мостика.

Исследования процесса волногашения на выходе из ВКСТ в отводящий канал выполнялись при расходах отвода до $3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ из условий эксплуатации канала во время проведения исследований.

Замеры глубин воды в отводящем канале выполнялись гидрометрической штангой вдоль трех сечений по методу Р.Брока [136]. Метод заключался в том, что для определения максимальной глубины в гребне катящейся или трансформированной волны h_{\max} брался отсчет по гидрометрической штанге при касании дна канала. Затем заостренный конец штанги устанавливался таким образом, чтобы при прохождении не менее 5 - ти волн неустойчивости гребень лишь одной волны касался конца штанги, а все остальные волны проходили ниже, не касаясь её. Разность отсчетов этого положения штанги и отсчета на дне дают величину h_{\max} . Аналогично определялась минимальная глубина в гребне катящихся и трансформированных волн h_{\min} . Только при этом гидрометрическая штанга устанавливалась в сверхбурном или трансформированном потоке так, что при прохождении не менее 20-ти волн лишь одна подошва волн отрывалась от конца штанги, а все остальные только касались его.

Анализ влияния процента водоотбора на трансформацию катящихся волн в канале на сооружении выполнялся при пропуске не менее трех различных расходов по АПК и при трех различных открытиях боковых затворов на ВКСРТ.

Наполнения при этом замерялись при помощи штанги со смотрового мостика.

Все проведенные замеры заносились в таблицы и на графики экспериментальных исследований ВКСРТ. При этом уточнялись эмпирические зависимости для определения гидравлических параметров, необходимых для проектирования и эксплуатации ВКСРТ.

По результатам анализа натуральных исследований ВКСРТ были сделаны выводы о степени соответствия этой конструкции вододелителя требованиям, предъявляемым к водораспределительным сооружениям из быстротечных каналов, а также направления дальнейшего совершенствования этого класса сооружений с учетом их энергетического назначения.

4.1.2 Натурные исследования пропускной способности ВКСРТ

В состав ВСПРТ входят два вододелителя: вододелитель для каналов с бурным режимом течения (ВКБРТ) и вододелитель для каналов со сверхбурным режимом течения (ВКСРТ). Первый из вододелителей типа ВКБРТ был детально исследован в лабораторных и натуральных условиях в 2002-2003 г.г.[65]. Второй вододелитель типа ВКСРТ был исследован на волновой установке Киргизского СХИ в 1993-1994 г.г. [119, 120]. Гидравлические исследования ВКСРТ были выполнены в масштабе 1:20 и включали изучение его пропускной и волногасящей способности.

Представляет практический интерес натурная проверка полученных на модели ВКСРТ экспериментальных данных с целью дальнейшей модернизации конструкции вододелителя для его усовершенствования и использования на каналах-быстротоках в горно-предгорной зоне. Помимо этого, уточнение функциональной зависимости расхода воды в отвод в зависимости от величины открытия боковых затворов ВКСРТ необходимо для эксплуатационного персонала ТЭЦ и УМРК.

Следует отметить, что натуральный образец ВКСРТ в составе водозаборного сооружения для резервного водоснабжения Бишкекской ТЭЦ имеет некоторые конструктивные отличия от исследованного на модели вододелителя типа ВКСРТ-1. Реальный натуральный вододелитель ВКСРТ [65], во-первых, из технологических соображений имеет три камеры донного колодца одинаковой ширины ($a_n=1,5$ м), в то время как модельный вариант

ВКСРТ-1 в соответствии с патентом на изобретение [70] был выполнен с камерами возрастающей ширины ($a_1=0,033$ м; $a_2=0,036$ м; $a_3=0,041$ м). Во вторых, у натурального вододелителя в соответствии с патентом КР № 447 на входе в первую камеру был устроен скос длиной 40 см и глубиной 5 см для размещения решетки с треугольными вырезами.

Натурные эксперименты выполнялись при величинах расходов воды в подводящем канале-быстротоке АПК: $Q=5,1-8,3$ м³/с. Пропускная и стабилизирующая способности вододелителя исследовались при $Q=5,1; 6,0; 7,2; 8,3$ м³/с. Величина расхода воды определялась по данным диспетчерской службы УМРК с контролем вертушечными замерами в зоне квазиравномерного режима движения воды (нижний бьеф водораспределительного узла на пересечении АПК с ВБЧК).

Расход воды в отводящий канал ТЭЦ устанавливался путем открытия боковых затворов двух первых камер ВКСРТ. Величины открытий затворов в каждом из опытов были одинаковыми для обоих затворов и равны $a=0,08$ м, $a=0,18$ м и $a=0,3$ м.

Третья камера донного колодца с наибольшими размерами трапецеидальных вырезов (до 25 см) в процессе двухлетней эксплуатации была полностью завалена путевыми наносами (камнем, булыжником) и открыть ее не представлялось возможным. Этот недостаток конструкции ВКСРТ, вызванный конструкцией решетки с треугольными вырезами, был учтен при дальнейшем совершенствовании конструкции вододелителя.

На первом этом эксперимента нами была подтверждена обратная функциональная связь между изменением относительного напора m_e в конце H'_k и в начале H'_n донного водоприемного отверстия в зависимости от коэффициента водозабора $\alpha_B = Q_{отв}/Q$. Эта зависимость по результатам модельных исследований ВКСРТ была аппроксимирована в виде многочлена:

$$m_e = 1 - 2\alpha_B + 1.833\alpha_B^2 + 0.052\alpha_B^3 - 2.707\alpha_B^4 + 1.822\alpha_B^5. \quad (4.1)$$

При свободном истечении через решетчатую плиту действующий напор вначале плиты вычислялся как

$$H_n = h_0 + \alpha v_0^2 / 2g , \quad (4.2)$$

а в конце плиты как

$$H'_k = h_1 + \alpha v_1^2 / 2g . \quad (4.3)$$

Здесь h_0 и h_1 - средние между глубиной в гребне h_{max} и подошве волны h_{min} глубины сверхбурного потока, в начале и конце плиты; v_0 и v_1 - средние скорости потока, рассчитанные по этим глубинам.

Для натурального эксперимента по результатам многократных замеров глубин [135], выполненных гидрометрической штангой по методу Р.Брока [75,120], вычислялся относительный напор $m_e = H'_k / H_n$, изменяющийся в пределах от $m_e = 0.49$ при коэффициенте водоотбора $\alpha_b = 0.36$ до $m_e = 0.95$ при $\alpha_b = 0.093$ в соответствии с табл. 4.1.

В графической форме экспериментальная зависимость $m_e = f(\alpha_b)$ представлена на рис. 4.1, где полученные точки ложатся в окрестностях опытной кривой $m_e = f(\alpha_b)$, построенной по зависимости (4.3), с отклонениями, не превышающими 7,3 %.

Таблица 4.1 - Результаты натуральных измерений гидравлических параметров на водodelителе типа ВКСРТ в составе водозаборного сооружения на АПК для ТЭЦ г.Бишкек

Расход воды в АПК (верхн. бьеф ВКСРТ) $Q, \text{ м}^3/\text{с}$	Открытие боковых затворов ВКСРТ $a, \text{ м}$	Глубина в гребне и подошве кат. волн в верх. бьефе ВКСРТ $h_{max}/h_{min}, \text{ м}$	Расход в отводящем канале ВКСРТ, $Q_{отв}, \text{ м}^3/\text{с}$	Коэффициент водозабора $\alpha_b = Q_{отв}/Q$	Относит. действующий напор, m_e	
					H'_k/H_n	по формуле (4.1)
6.0	0.08	0.59/0,24	0,56	0,093	0,95	0,83
6.0	0.18	0,57/0,24	1,40	0,23	0,65	0,63
6.1	0.30	0,59/0,23	2,22	0,36	0,49	0,485
8.3	0.08	0,66/0,28	0,60	0,07	0,89	0.869

8.3	0.18	0,65/0,28	1,51	0,18	0,78	0.698
8.3	0.30	0,67/0,27	2,31	0,27	0,51	0.583

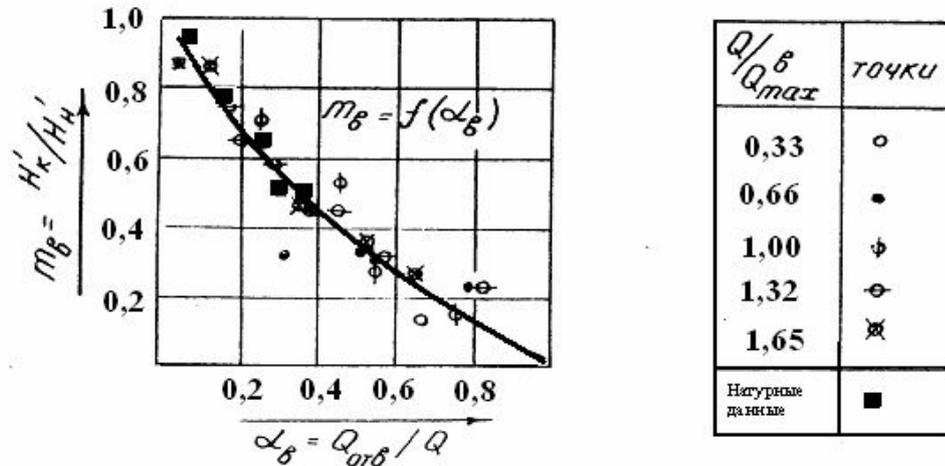


Рис. 4.1. Зависимость относительного действующего напора над решеткой m_g от коэффициента водоотбора α_g .

Следовательно, эмпирическая зависимость (4.1) для определения относительного напора при истечении через решетку вододелителя типа ВКСРТ может применяться в проектных расчетах.

После уточнения зависимости между относительным действующим напором $H'_k/H_n = m_g$ и коэффициентом водоотбора α_g были выполнены натурные исследования пропускной способности вододелителя.

В процессе проведения экспериментальных исследований проводились сопоставления с теоретическими зависимостями гидравлических характеристик потока на вододелителе [136-138].

Они заключались, во-первых, в определении коэффициента расхода вододелителя опытным путем, который исходя из расходной формулы, равен

$$\mu = \frac{Q_{отб}}{p \cdot l_n \cdot \sqrt{2gH_{cp}}}, \quad (4.4)$$

где $Q_{отб}$ – расход отвода; p – доля площади отверстий в решетчатой плите; l_n – длина решетчатой плиты; H_{cp} – средний напор над решетчатой плитой.

Доля отверстий в решетчатой плите на модели и в натуре составляла 0,6, длина решетчатой плиты l_n над двумя камерами ВКСРТ в натуральных условиях составляла 3,2 м, а ширина была равна ширине быстротока $b=3.9$ м.

Глубины волнового потока в начальном и конечном створах (h_{max} и h_{min} , h'_{max} и h'_{min}), необходимые для определения действующего напора h_{cp} , как указывалось ранее, измерялись по методу Р.Брока.

Сравнительный анализ коэффициентов расхода, рассчитанных по опытным данным и по формуле 4.4, приведен в табл. 4.2, и изменялся в широких пределах от 0.02 до 0.13. Доля отверстий в плите составляла $P=0,6$.

Сравнительно малые величины коэффициентов расхода ($\mu = 0,02...0,15$) по сравнению с водовыпускам конструкций Арсенишвили К.И. и Натишвили О.Г. [66], для которых $\mu=0.2 - 0.37$, объясняется тем, что эти исследователи не учитывали влияния скорости подходящего потока на пропускную способность сооружения.

В результате, действующий напор в расчетах этих исследователей занижается, а коэффициент расхода завышается.

Таблица 4.2 – Результаты натурной проверки пропускной способности ВКСРТ

Q м ³ /с	Q _{отв.} м ³ /с	H _{cp} м	μ (опыт)	v _{cp} м/с	h _{cp} , м	Fr _{cp}	a/a _{max}	μ (теор)	Относ. Ошиб. Δμ, %
5,1	0,48	0,37	0,03	3,8	0,38	3,9	0.13	0,03	0
5,1	1,27	0,35	0,07	3,7	0,37	3,8	0.3	0,08	7,7
5,1	2,10	0,33	0,14	3,8	0,37	3,7	0.5	0,15	6,6
6.0	0.56	0.41	0.02	5.2	0.42	6.88	0.13	0.02	0
6.0	1.40	0.32	0.07	5.0	0.41	6.51	0.3	0.09	11.0
6.0	2.22	0.30	0.13	5.1	0.41	6.78	0.5	0.15	13.0
7,2	0,58	0,42	0,02	5,5	0,43	7,17	0.13	0,02	0
7,2	1,46	0,36	0,08	5,4	0,38	7,82	0.3	0,09	12,5

7,2	2,27	0,31	0,12	5,4	0,36	8,25	0.5	0,13	8,3
8.3	0.60	0.45	0.02	6.1	0.47	8.46	0.13	0.02	0
8.3	1.51	0.41	0.08	6.0	0.46	8.36	0.3	0.08	0
8.3	2.31	0.35	0.12	6.2	0.47	8.74	0.5	0.13	7.0

Ранее [75,119] по результатам лабораторных исследований проф. Лавровым Н.П. были получены статистическими методами эмпирические зависимости для коэффициентов расхода в зависимости от числа Фруда, рассчитанного для среднего сечения над донным водоприемным отверстием.

Так, при разных относительных открытиях зависимость для определения коэффициента расхода имеет вид:

$$\text{при } a/a_{max}=0.25 \quad \mu=0.02 + 0.64/(1+ Fr_{cp}); \quad (4.5)$$

$$\text{при } a/a_{max}=0.5, \quad \mu=0.03 + 1.0/(1+ Fr_{cp}); \quad (4.6)$$

$$\text{при } a/a_{max}=0.75, \quad \mu=0.07 + 0.93/(1+ Fr_{cp}); \quad (4.7)$$

$$\text{при } a/a_{max}=1.0, \quad \mu=0.06 + 1.36/(1+ Fr_{cp}); \quad (4.8)$$

Проверка сходимости натуральных величин коэффициента расхода, вычисленных по формуле (4.4) с величинами μ , определенными по эмпирическим зависимостям Лаврова Н.П. (4.5) и (4.6), показала (табл.4.3), что отклонения составляют от нуля до 13,0 %.

Причем кинетичность реального сверхбурного потока в канале-быстротоке АПК ($Fr_{cp} = 3,7 - 8.74$) была несколько меньше, чем для модельного потока ($Fr_{cp} \geq 10$).

Для малого открытия боковых затворов ВКСРТ ($a=0.08$ м; $a/a_{max}=0.13$) эмпирических зависимостей в процессе лабораторных исследований ранее получено не было.

По натурным измерениям для этой цели можно предварительно рекомендовать эмпирическую зависимость при $a/a_{max}=0.1 - 0.13$ в виде

$$\mu = 0.01 + 0.95 / (1 + Fr_{cp}) \quad (4.9)$$

Однако эта зависимость нуждается в уточнении на модели. Для наглядности, полученные в натуральных условиях значения коэффициента расхода μ для вододеливателя типа ВКСРТ нанесены на графики $\mu = f(Fr_{cp}, a/a_{max})$, приведенные на рис. 4.2.

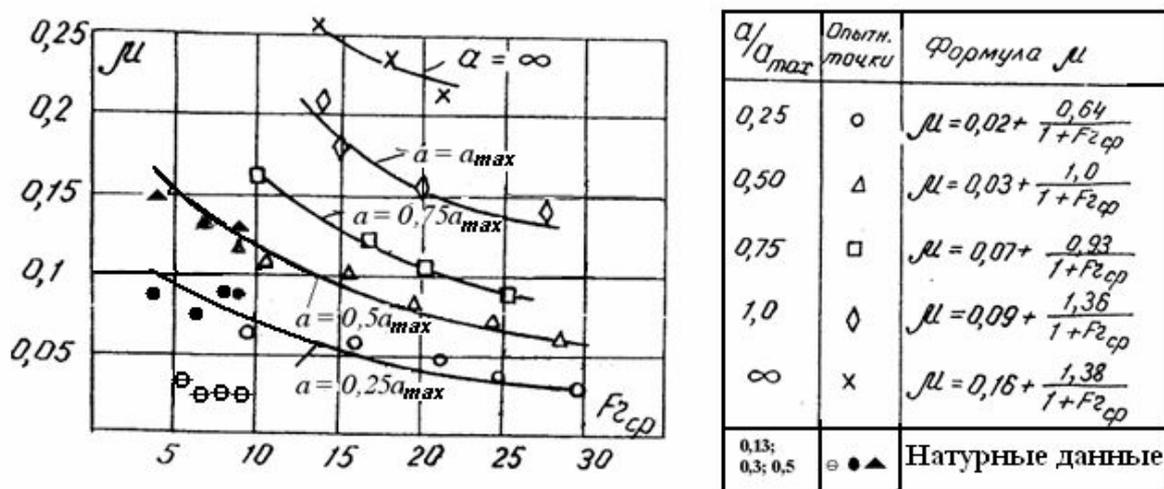


Рис. 4.2. Изменение коэффициента расхода μ в зависимости от числа Фруда Fr_{cp} .

Анализ соответствия натуральных и модельных исследований пропускной способности ВКСРТ позволил рекомендовать эмпирические формулы (4.5) – (4.9) для практического использования в приближенных расчетах расхода воды в отводящий канал.

4.1.3 Натурная проверка стабилизирующей способности ВКСРТ

Проведенный ранее лабораторный эксперимент [75,120] показал, что решетка с треугольными вырезами в совокупности с перегородками специальной конструкции и плоским щитом вододеливателя типа ВКСРТ обладают стабилизирующим действием на расход отвода, в особенности при больших расходах в старшем канале.

Пользуясь полученными в ходе натурных исследований данными, была проверена возможность использования ВКСРТ в качестве стабилизатора расхода воды.

Для этого вначале проверялось, соблюдается ли пропорция водоотбора $\alpha_B = Q_{отв}/Q$ при изменении относительного расхода в старшем канале Q/Q_{max}^B , с изменением относительного открытия боковых затворов вододелиителя. Кроме известных обозначений, приведенных здесь, Q_{max}^B – это расход максимального волнообразования в старшем канале АПК. По результатам выполненных ранее теоретических расчетов и натурных наблюдений [62,64] известно, что расходом, при котором в АПК образуются катящиеся волны наибольшей амплитуды, является расход $Q_{max}^B = 7,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для наблюдаемых расходов воды $Q=5,1; 6,0; 7,2; 8,3 \text{ м}^3/\text{с}$ относительные расходы в АПК соответственно равны $Q/Q_{max}^B=0,73; 0,86; 1,03; 1,19$. Относительные расходы водоотбора при открытиях затворов $a/a_{max} = 0,13; 0,3; 0,5$ представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Проверка стабилизирующей способности ВКСРТ

Относительный расход водоподдачи, Q/Q_{max}^B	Относительный расход водоотбора отвода $Q_{отв}/Q_{max}^B$ при относительных открытиях затворов		
	$a/a_{max} = 0,13$	$a/a_{max} = 0,3$	$a/a_{max} = 0,5$
0,73	0,07	0,18	0,3
0,86	0,08	0,2	0,317
1,03	0,08	0,21	0,32
1,19	0,085	0,22	0,33

Полученные точки были нанесены на график зависимости $\alpha_B = f(Q/Q_{max}^B)$, построенный на основании лабораторных исследований ВКСРТ (рис. 4.3).

Анализ графического соответствия натуральных и лабораторных замеров позволил заметить некоторое снижение (на 8-16%) пропускной способности при водоотборе с малым расходом в подводящем канале $Q/Q_{\max}^B=0,86$.

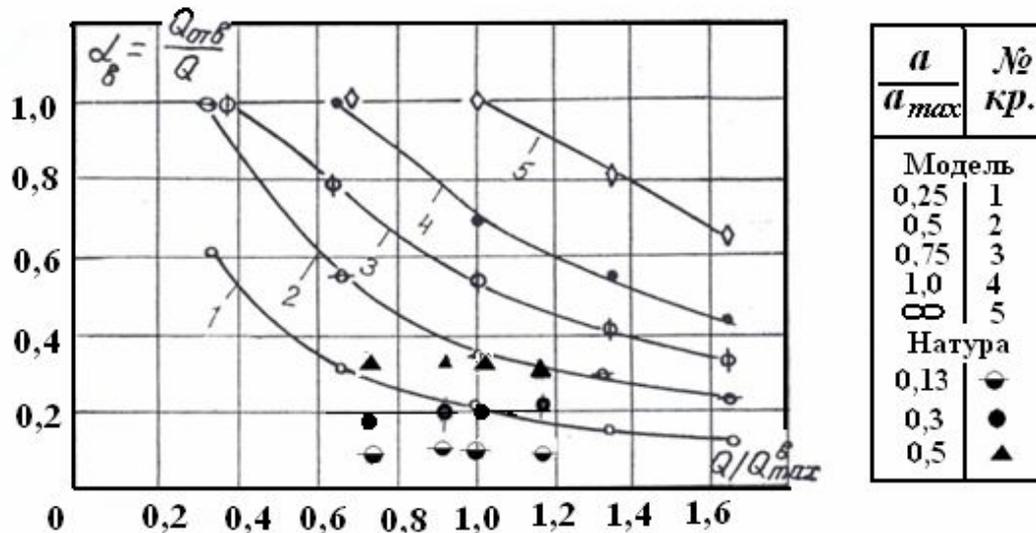


Рис. 4.3. Изменение коэффициента водозабора α_s с изменением расхода старшего канала и относительного открытия затвора вододеливателя a/a_{\max} .

Для среднего по величине расхода АПК $Q/Q_{\max}^B=1,03$ и $Q/Q_{\max}^B=1,19$ сходимость лабораторных и натуральных данных вполне приемлемая. Для открытия $a=0,13$ м ($a/a_{\max}=0,5$) при расходах воды: $Q=7,2$ м³/с ($Q/Q_{\max}^B=1,03$) и $Q=8,3$ м³/с ($Q/Q_{\max}^B=1,19$) точки совпали с опытной кривой 2 (рис. 4.3) $\alpha_s=f(Q/Q_{\max}^B)$.

При открытии затворов на натурном объекте $a=0,18$ м ($a/a_{\max}=0,3$) точка оказалась выше опытной кривой 1 на рис. 4.3. Но если учесть, что эта опытная кривая 1 построена для меньшего открытия $a/a_{\max}=0,13$, чем открытие лабораторного затвора $a/a_{\max}=0,25$, то такое отклонение закономерно.

Отличием в процессе водозабора на модели ВКСРТ и в натурном варианте является некоторое нарушение тенденции уменьшения величины коэффициента водозабора α_s с увеличением расхода воды в старшем канале (см. кривые 1-5 на рис. 4.3). Это может быть связано с тем, что на натурном

сооружении не работала последняя, засоренная камера вододелителя и общий гидравлический процесс из-за этого изменился.

Практически параллельное горизонтальное расположение опытных натуральных точек на графике $\alpha_B = f(Q/Q_{max}^B)$ является косвенным свидетельством стабилизирующих свойств вододелителя сверхбурного потока ВКСРТ.

Для того, чтобы убедиться в наличии таких свойств, то есть в постоянстве расхода воды, поступающей в отвод, например, в отводящий канал, была проверена стабилизирующая способность ВКСРТ, путем наложения тех же натурные данные на полученный в экспериментах [119] график зависимости относительного расхода отвода $Q_{отв}/Q_{max}^B$ к относительному расходу водоподачи, то есть поступление из верхнего бьефа старшего канала Q/Q_{max}^B (рис. 4.4). Для этого воспользуемся данными табл. 4.3.

График зависимости $Q_{отв}/Q_{max}^B = f(Q/Q_{max}^B)$ изображен на рис. 4.4.

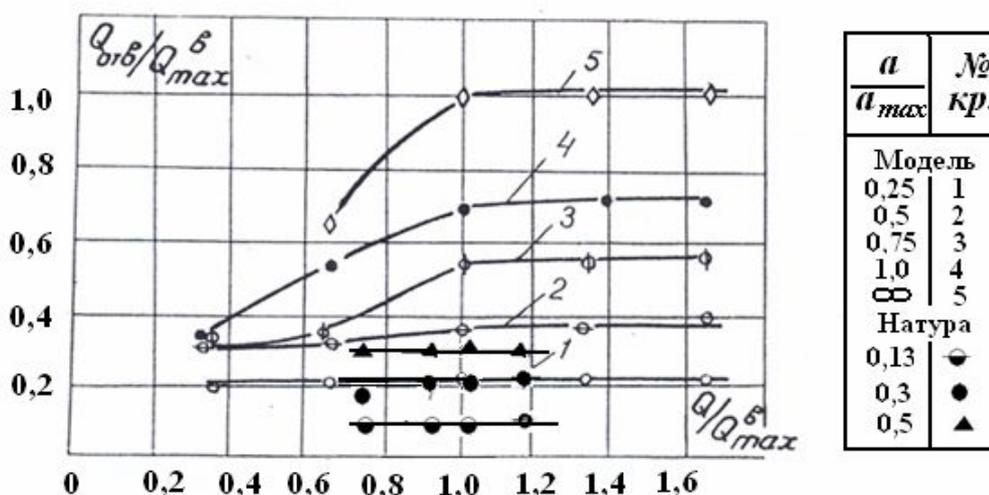


Рис. 4.4. Зависимость относительного расхода отбора воды $Q_{отв}/Q_{max}^B$ вододелителем типа ВКСРТ от относительного расхода подачи Q/Q_{max}^B .

Графическая зависимость относительного отводимогорасхода $Q_{отв}/Q_{max}^B$ от относительного транзитного расхода Q/Q_{max}^B в АПК показывает, что при малом открытии боковых затворов (рис. 4.4, линия 1 для $a/a_{max} = 0,25$), отводимый расход $Q_{отв}$ остается практически постоянным, он составляет

$0,21Q_{\max}^B$ для всего диапазона колебаний исследуемых расходов воды в АПК. При этом натурные точки для различных относительных расходах водоподачи Q/Q_{\max}^B практически ложатся на прямые, параллельные горизонтальной линии 1.

При увеличении открытия боковых затворов (линии 2–5 на рисунке 4.4) стабилизация расхода в отвод по данным лабораторных исследований сохраняется при средних и больших расходах (от $Q/Q_{\max}^B = 1,0$ до $Q/Q_{\max}^B = 1,6$), когда отклонение от средней величины подаваемого в отводящий канал расхода $Q_{\text{отв}}$ не превышает 4,37%. При относительно малых расходах быстротечного канала ($Q/Q_{\max} < 0,33$) и больших открытиях затворов $a/a_{\max} = 0,5$ и более, водозабор в отвод близок или равен 100%. И, естественно, стабилизации отводимого расхода не происходит, т.к. с изменением расхода подводящего канала-быстротока изменяется и расход отвода.

Таким образом, процесс вододеления может осуществляться предлагаемым устройством путем использования его стабилизирующих свойств. В частности, при подаче постоянного расхода воды в отводящий канал или трубопровод можно установить определенное открытие боковых затворов ВКСРТ и не менять его с изменением расхода в старшем канале-быстротоке. Учитывая необходимость стабильной водоподачи в отводящий канал в течение заданного времени, это свойство исследуемого вододелителя представляется достаточно важным. Особенно ценно при использовании данных конструкций вододелителей на оросительных системах, осуществляющих принцип непосредственного отбора расходов из канала старшего порядка.

Не менее важным для эксплуатации вододелителей является способ определения расхода и объема воды, поданной в отвод. На основании модельных и натуральных гидравлических исследований вододелителя бурного потока типа ВКБРТ, проведенных в КРСУ в рамках хоздоговорных исследований [139, 140] была рекомендована формула Замарина Е.А. для

определения расхода воды в отвод БТЭЦ при истечении из-под плоских боковых затворов в виде

$$Q_{отв} = \mu_3 \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2gH}, \quad (4.10)$$

где μ_3 – коэффициент расхода при истечении из-под плоских боковых затворов ВКБРТ, по данным исследований [65, 140] равный 0,48-0,58;

a – величина открытия затвора (в реальных условиях измеряется по величине хода верхнего винта затворов); b – суммарная ширина боковых затворов ВКБРТ, для исследуемого сооружения равная 4,5м;

H – осредненный действующий напор, равный по результатам исследований [120] сумма среднего геометрического и скоростного напоров:

$$H = \frac{H_n + H_k}{2} + \frac{\alpha v_0^2}{2g}, \quad (4.11)$$

где H_n и H_k – глубина в начале и конце решетчатой плиты,

v_0 – средняя скорость бурного потока на подходе к ВКБРТ, $v_0 = Q / H_n B$;

Q – расход воды перед вододелителем;

B – ширина сбросного канала-быстротока, $B=4,0$ м.

Результаты натурных замеров $Q_{отв}/Q_{отв}^{max} = f(H/h_{кр}^{max})$, выполненных нами в 2006 г. были нанесены на графики результатов модельных и натурных исследований ВКСРТ и ВКБРТ, построенные ранее [119, 140]. Результат сравнения показан на рис.4.5.

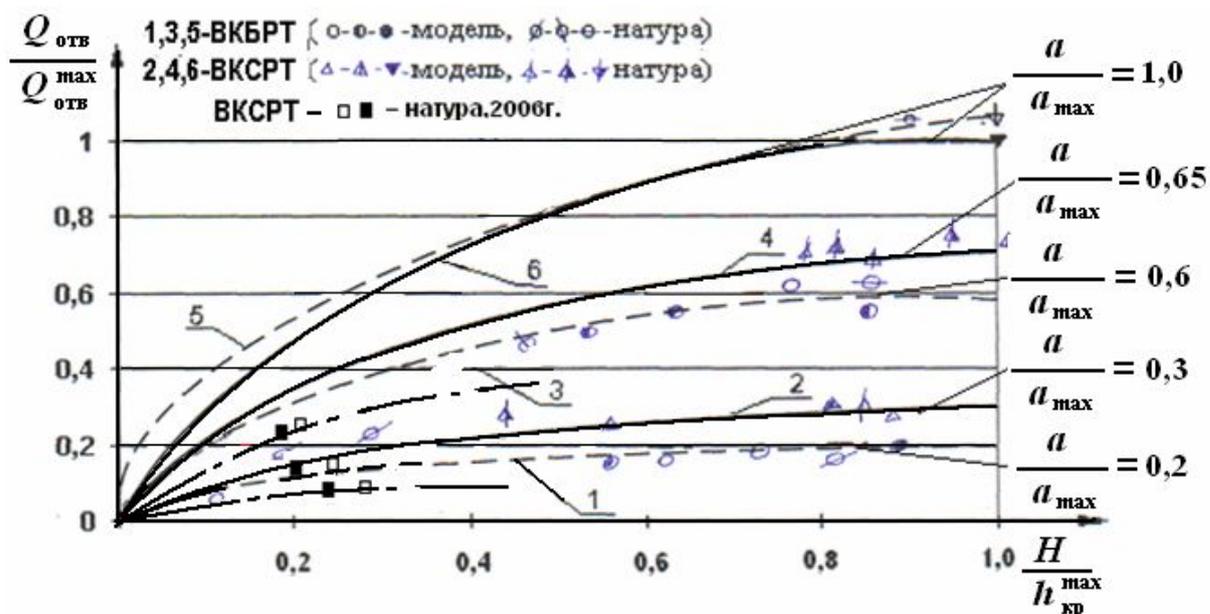


Рисунок 4.5 - Зависимость расхода водоподачи из вододелителей типа ВКБРТ и ВКСРТ от действующего напора.

Кривые 1, 3, 5 на рисунке 4.5 построены по формуле Замарина Е.А. [133] для ВКБРТ, кривые 2, 4, 6 – для ВКСРТ. При этом величина действующего напора сверхбурного (волнового) потока определялась по описанной в п. 4.1.1 методике.

На график зависимости относительного расхода $Q_{отв}/Q_{отв}^{max}$ от относительного напора $H/h_{кр}^{max}$ нанесены точки, полученные как в предшествующих исследованиях вододелителей [119, 139, 140], так и в ходе описываемых натуральных экспериментов, проведенных нами в 2006 г. Здесь $h_{кр}^{max}$ - критическая глубина потока при максимальном расчетном расходе воды в канале. Данные обработки волнового напора и расхода отвода в относительных координатах для нанесения новых точек на график (рис. 4.5) приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Данные для определения относительного расхода отвода ВКСРТ от относительного напора

Средний напор над решеткой, H_{cp} м	Расход отвода $Q_{отв}$ м	Открытие боковых затворов a , м	Относительное открытие a/a_{max}	Относительный напор $H/h_{кр}^{max}$	Относительный расход отвода $Q_{отв}/Q_{отв}^{max}$
0,41	0,56	0,08	0,13	0,25	0,056

0,32	1,40	0,18	0,30	0,20	0,14
0,30	2,22	0,30	0,50	0,18	0,22
0,45	0,60	0,08	0,10	0,28	0,06
0,41	1,51	0,18	0,30	0,25	0,06
0,35	2,31	0,30	0,50	0,21	0,23

Среднее квадратичное отклонение (несмещенный стандарт выборки) теоретических значений расхода отвода $Q_{отн}$ от опытных не превышало величины $\sigma_Q = 0,013$ для лабораторных измерений и величин $\sigma_Q = 0,046$ для натуральных замеров. Как видно, относительные открытия двух боковых затворов в новом эксперименте $a/a_{max} = (0,13; 0,30; 0,50)$ несколько отличались от соответствующих открытий затворов на модели $a/a_{max} = (0,2; 0,4; 0,6)$. Однако проследить закономерность изменения расхода отвода с изменением напора над решеткой ВКСРТ с помощью графиков на рис. 4.5 можно.

Нормирующими показателями для расхода $Q_{отв}$ выбрана максимальная величина отбора воды в каждый из отводов водозаборного сооружения для резервного водоснабжения БТЭЦ, равная $Q_{max} = 10 \text{ м}^3/\text{с}$, для напора H – максимальное значение критической глубины, равное для обоих подводящих каналов (сбросной канал БТЭЦ и АПК) $H/h_{кр}^{max} = 1,63 \text{ м}$.

Персоналу ТЭЦ чаще приходится решать не прямую, а обратную задачу вододеления: определять необходимое открытие затворов ВКБРТ при известном расходе $Q_{отв}$ водоподачи на БТЭЦ. Эту величину легко определить из формулы (4.5), произведя предварительные измерения гидравлических величин a , H_n и H_k и вычислив v_0 . Аналогичным образом определяются расходы водоподачи из АПК через вододелитель сверхбурного потока типа ВКСРТ. Формула расхода (4.5) при этом не претерпевает изменения, однако, учитывая волновой характер сверхбурного потока в АПК, глубины H_n и H_k приходится определять методом осреднения путем измерения глубины в гребне h'' и в подошве h' катящихся волн.

Коэффициент расхода μ для ВКСРТ определяется по эмпирическим зависимостям (4.5) – (4.8) или по графику на рис. 4.2.

При малых расходах водоподачи из вододелителя бурного потока ВКБРТ ($Q_{\text{отв}} < 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$) можно устанавливать одинаковую для всех трех боковых затворов величину открытия. При большем отборе воды из сбросного канала возникает неравномерность распределения удельных расходов [119, 140] на выходе из ВКСРТ, приводящая к сбойности потока, образованию водоворотов и обратных течений. Чтобы избежать этих нежелательных гидравлических явлений в подводящем канале, которые могут вызвать размывы грунтовой части этого канала в нижнем бьефе вододелителя, рекомендуется следующий прием [139]. Открытие боковых затворов ВКСРТ следует увеличивать по направлению течения в верхнем сбросном канале. Например, при заборе расхода воды $Q_{\text{отв}} = Q = 2,5 \text{ м}^3/\text{с}$ в результате исследований были подобраны [140] величины открытий боковых затворов, соответственно равные $a_1 = 12 \text{ см}$, $a_2 = 18 \text{ см}$ и $a_3 = 25 \text{ см}$ при которых наблюдалось равномерное распределение скоростей и удельных расходов воды по ширине отводящего канала.

Однако этот метод является нетехнологичным, и вряд ли будет использоваться эксплуатационным персоналом из-за сложности подбора величины открытий.

4.1.4 Изучение волногасящей способности ВКСРТ

Одной из задач исследований гидравлического режима было изучение влияния водораспределительного сооружения на структуру потока в транзитном и отводящем каналах. Наиболее благоприятным является режим, когда в отводе и в транзитном канале в створе установки вододелителя ниже по течению не происходит роста катящихся волн или иных поверхностных возмущений, а наоборот, наблюдается их уменьшение.

Для исследования волногасящей способности вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения в лабораторных условиях ранее

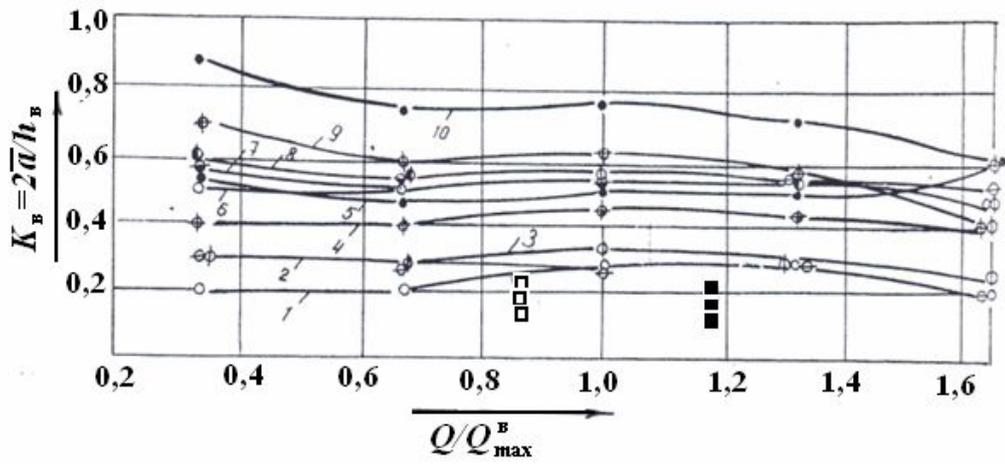
были выполнены [120] измерения волновых параметров потока в пяти створах: в старшем канале перед вододелителем (глубина воды в гребне h_{\max} и подошве h_{\min} катящейся волны); на решетке в конце донного колодца (соответственно глубины h'_{\max} и h'_{\min} ; в нижнем бьефе вододелителя по транзиту на расстоянии 0,5 м от конца колодца; в отводящем канале перед плоским затвором глубины H_{\max} и H_{\min} и за этим щитом H'_{\max} и H'_{\min} .

После соответствующей статистической обработки и вычисления высоты волны в старшем канале перед вододелителем h_b и за ним $2a$ и размеров вторичных волн в отводе $2a'$ были определены [120] коэффициенты трансформации волны $K_g=2a/h_b$ и $K'_g=2a'/h_b$ для транзита и отвода. На основании этих измерительных и вычислительных операций были построены: графики трансформации катящейся волны, поступающей через вододелитель в отводящий канал (рис. 4.6, а) и график изменения относительной глубины потока перед затвором отвода (рисунок 4.6, б), т.е. над решеткой вододелителя.

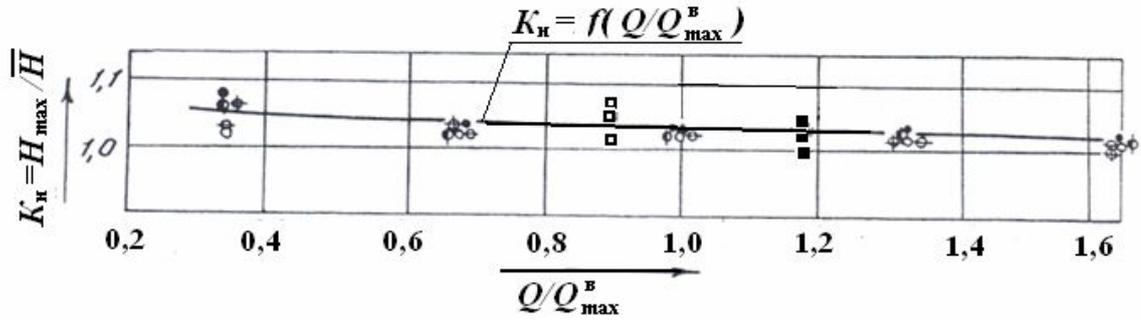
Нами были проведены аналогичные исследования [137, 138, 141] на натуре – вододелителе ВКСРТ на АПК (рис. 4.7). На графики трансформации катящихся волн, построенные по результатам модельных исследований были нанесены данные натурных измерений аналогичных волновых параметров. Для этого вначале в форме табл. 4.5 был выполнен расчет этих относительных величин для створа в нижнем бьефе затвора.

Следует заметить, что замер волновых глубин H_{\max} и H_{\min} и амплитуды $2a$ вторичных волн в натурных условиях в отводящем канале ТЭЦ выполнялся не сразу за боковыми затворами, а на удалении 6 м от них, после пролета дорожного моста.

а)



б)

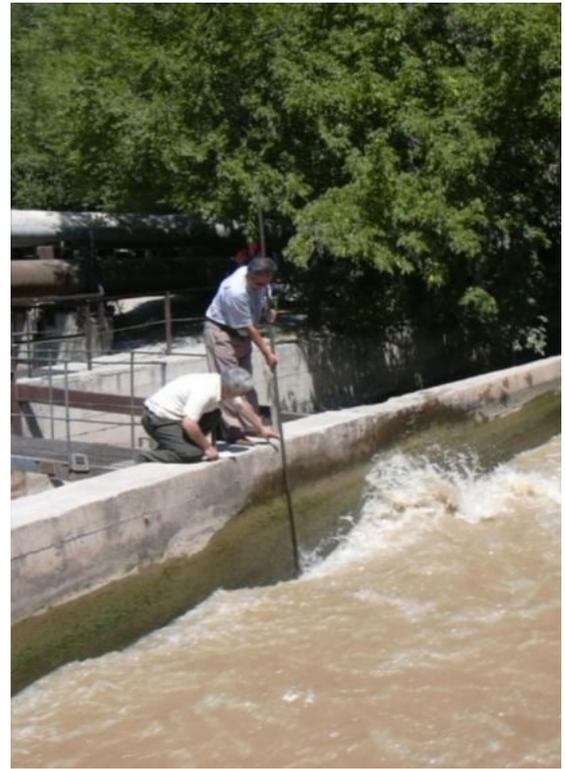


Относительное открытие затвора на модели a/a_{max}	0,25	0,5	0,75	1,0	∞
№ кривых для измерений в нижнем бьефе затвора	1	2	3	4	5
№ кривых для измерений перед затвором отвода	6	7	8	9	10
Открытие затвора в натуре a/a_{max}	0,13	0,3	0,5		
Коэффициент K_v	0,13	0,18	0,20		

Рис. 4.6. Трансформация катящихся волн, поступающих через вододелиТЕЛЬ в отвод.



а)



б)

Рис. 4.7. Замер наполнений в транзитном канале АПК: а) во время прохождения гребня катящейся волны; б) при прохождении подошвы катящейся волны.

Таблица 4.5 - Относительные значения волновых параметров на отводящем канале ВКСРТ в натуральных условиях

Относит. расход водоподач и Q/Q_{\max}^B	Относит. открытие затвора a/a_{\max}	Максимальная высота катящейся волны, h_v , м	Максимальная высота вторичной волны за затвором $2a$, м	Коэффициент трансформации волны $2a/h_v$	Относит. глубина в гребне H_{\max}/H
0,86	0,13	0,35	0,05	0,14	1,05
0,86	0,3	0,33	0,08	0,24	1,06
0,86	0,5	0,36	0,07	0,19	1,05
1,19	0,13	0,38	0,05	0,13	1,04
1,19	0,3	0,38	0,05	0,13	1,04
1,19	0,5	0,40	0,08	0,2	1,05

По графику на рис. 4.6 а видно, что все натурные величины коэффициента трансформации катящихся волн K'_g оказались на 3...55 % меньше величин K_g , полученные на модели. Это означает, что волногасящая способность реального водodelителя несколько выше, чем у его модельного образца.

В то же время анализ сходимости натурных и модельных результатов относительного изменения глубины (ординаты) в гребне трансформированной в водodelителе волны $K_n = H_{\max}/H$ демонстрирует почти полное совпадение результатов модельных и натурных измерений (рис. 4.6 б).

Первый из приведенных графиков $K'_g=f(Q/Q_{\max}^B)$ демонстрирует заметную волногасящую способность сооружения, в особенности за затвором отвода, т.е. непосредственно в начале отводящего канала (кривые 1...5 на рис. 4.6 а). Высота трансформированной волны в этом створе отвода в 2...5 раз меньше высоты катящейся волны, поступающей в водodelитель с быстротока.

Несмотря на то, что коэффициент трансформации волны перед затворами водodelителя (кривые 6...10 на рис. 4.6 а) выше, чем за ними и достигает величины $K'_g=0,5-0,8$; это мало влияет на пропускную способность за счет большой глубины потока в этом створе. Так, относительная глубина в гребне вторичной волны перед затворами отвода не превышает средней глубины больше, чем на 1,0–6,0%. Это можно проследить по изменению относительной глубины $K_n = H_{\max}/H$ с изменением относительного расхода быстротока $Q/Q_{\max}^{\text{отв}}$ при различных открытиях затворов a (рис. 4.6 б). Так же как на модели, в натурных условиях заметно, что волногасящая способность сооружения по отношению к потоку воды в отводе несколько повышается с увеличением расхода быстротока Q и снижается с увеличением открытия боковых затворов a . Анализ распределения статических напоров в колодце и отводящем канале показывает [75,119], что основная часть скоростного напора потока,

поступающего в водоприемную камеру вододеливателя, гасится в пределах этой камеры в результате реактивного, диссипирующего и распределительного воздействия решетки, перегородок с системой козырьков и перегородки в виде щита. Заметных сбоев течения в отводе за вододеливателем не наблюдается.

Волногасящая способность вододеливателя по отношению к потоку, транзитом следующему по каналу быстротоку через это сооружение, проявляется заметно слабее.

Коэффициент трансформации катящихся волн $K_g = 2a/h_B$ не снижается ниже величин 0,5 – 0,89. Вместе с тем, как показывает график изменения относительной глубины h'_{max}/h_{max} , построенный (рис.4.8) в зависимости от изменения коэффициента водоотбора $\alpha_B = Q_{отв}/Q$, повышения глубины в гребне волны по транзиту за вододеливателем не происходит. Здесь h'_{max} – максимальная глубина в гребне волны при данном расходе Q и коэффициента водоотбора α_B , h_{max} – наибольшая глубина в гребне при отсутствии водоотбора, т.е. в верхнем бьефе ВКСРТ.

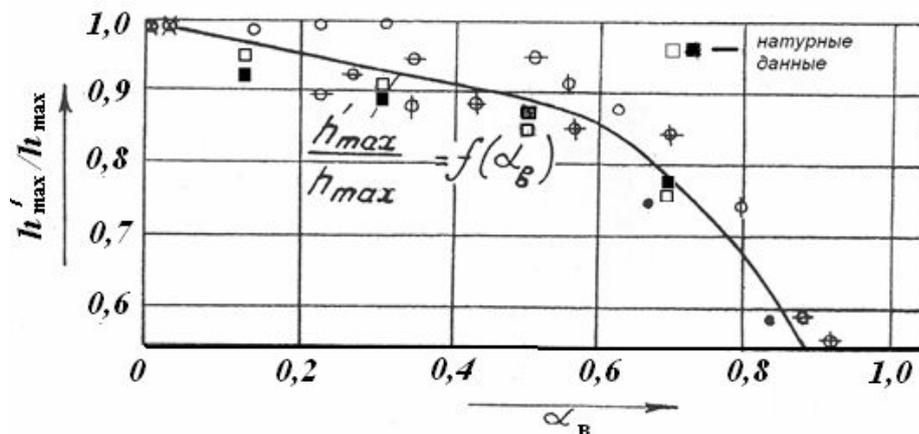


Рис. 4.8. Изменение относительной ординаты в гребне волны по транзиту за вододеливателем от величины α_B .

Относительная глубина h'_{max}/h_{max} в начале (при $\alpha_B = 0-0,4$) незначительно, а затем (при $\alpha_B = 0,4-0,9$) резко понижается (см. рис. 4.8). Причем в натуральных условиях эффект волногашения проявляется даже на 3-6% больше (рис. 4.8), чем на модели. Подъема горизонта воды над

водоприемным отверстием и по транзиту на отводящем участке быстротока удалось избежать, выполнив отсекающую грань козырьков в верхней части перегородок в виде острой кромки.

Проведенные лабораторные и натурные исследования пропускной и волногасящей способности конструкции вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения (ВКСРТ) подтвердили его эффективность по этим характеристикам. Возможность применения ВКСРТ в условиях высокоскоростных нестационарных потоков может быть окончательно подтверждена после оценки кинематической структуры потока в зоне влияния ВКСРТ.

4.1.5 Натурные исследования кинематической структуры потока на АПК в зоне влияния ВКСРТ

Любое водораспределительное сооружение оказывает влияние на поток воды в транзитном и отводящем каналах в зоне его установки. Для оценки характера и величины воздействия вододелителя на поток изучается кинематическая структура потока в зоне установки сооружения [123,135]. Изучение кинематической структуры потока предполагает определение изменения глубин и скоростей потока воды на сооружении.

Измерения глубин проводились на подводящем и транзитном участке АПК, на отводящем участке этого канала и на самом ВКСРТ.

Глубины потока и скорости течения замерялись сначала на подводящем участке 1, имеющем уклон дна $i=0,0284$, при расходе воды $Q=6,0 \text{ м}^3/\text{с}$. А затем – на том же участке при расходе $Q=8,3 \text{ м}^3/\text{с}$. Схема расположения створов представлена на рис. 4.9.

Створ 1 располагался на 43 м выше по течению входа ВКСРТ. Промеры глубин потока в створе 1 проводились только по одной вертикали, которая располагалась на расстоянии 0,5 м от правой стенки канала. Такое

ограничение было сделано из условия безопасности проведения исследований.

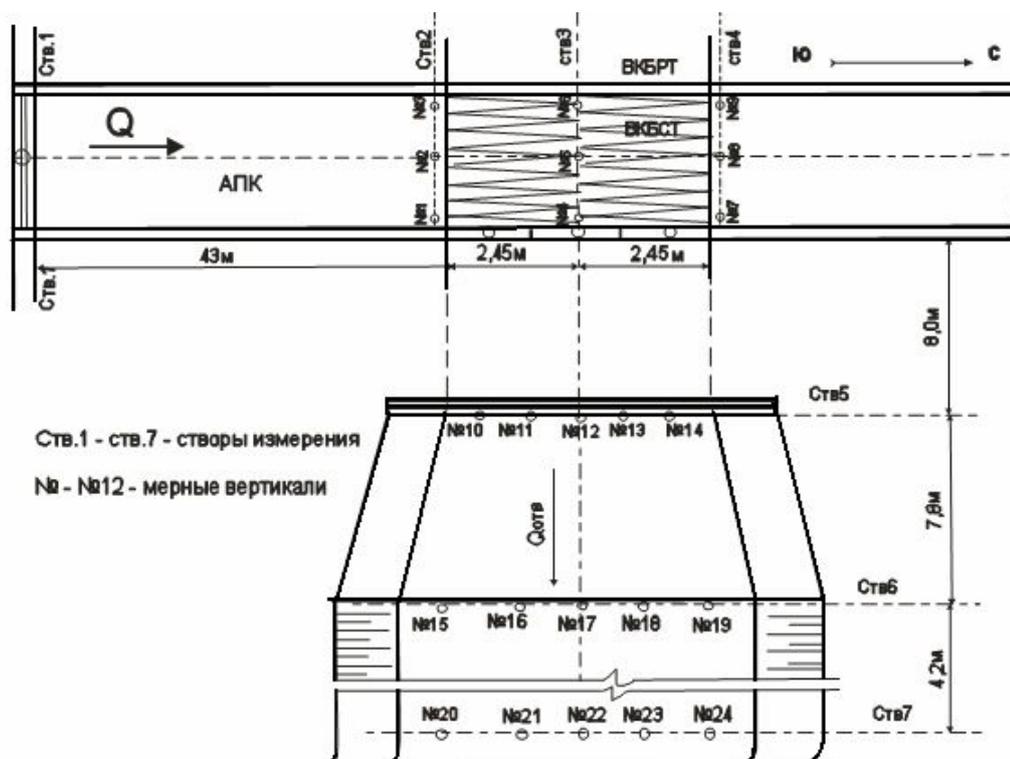


Рис. 4.9. Схема расположения створов и вертикалей измерения глубин и скоростей воды в зоне влияния вододелиителя типа ВКСРТ на Аламединском подпитывающем канале.

Створ 2, расположенный на входе в ВКСРТ, а створы 3 и 4 – в середине и в конце вододелиителя соответственно. Замеры в этих створах проводились со служебного мостика.

Для выполнения промеров глубин использовалась типовая 3-х метровая гидрометрическая штанга. Местные скорости в пунктах №1 – №24 замерялись гидрометрической вертушкой ВГ–1, прошедшей предварительную метрологическую аттестацию.

Промеры глубин воды, а также скоростей отводимого потока в створе 5 проводились с автодорожного моста. Створ 5 располагается в конце прямоугольного туннеля под дорогой, ширина которой 5 м. Для выполнения промеров глубин и скоростей потока в отводящем канале в створах 6 и 7 использовалась рыбацкая лодка (рис. 4.10).



а)



б)

Рис. 4.10. Замеры скоростей в отводящем канале: а) подготовка к проведению замеров скоростей; б) производство замеров скоростей.

Положение лодки при выполнении замеров фиксировалось при помощи троса, оба конца которого закреплялись по берегам отвода.

Замеры скоростей потока в створе 5 выполнялись на пяти мерных вертикалях в точке $0,2h$ и точке $0,8h$ (h – глубина потока) на каждой из вертикалей.

Створ 6 находился на участке перехода прямоугольного русла канала в трапецеидальное, на расстоянии 1 м от створа 5. Створ 7 размещался на расстоянии 6,8 м от створа 6 вниз по течению, где заканчивается прямолинейный участок и начинается поворот отводящего канала (рис. 4.9).

Местные скорости потока v_i замерялись в определенных точках вертикали на глубинах $0,2h$ и $0,8h$, в соответствии с рекомендациями [134].

На указанных глубинах в створах 6 и 7, изменяющихся при расходе $Q=2,31$ м³/с и открытии боковых затворов $a=0,3$ м от $h_7=0,74$ м до $h_7=0,82$ на 5-ти мерных вертикалях, размеченных у бортов через 1,5 м, а в остальной части

живого сечения через 2 м. Замеры глубин и скоростей потока воды в шести створах канала при расходе $Q=6,0 \text{ м}^3/\text{с}$, близком к расходу максимального волнообразования АПК и при одинаковом открытии боковых затворов равном $a_1 = a_2 = 0,18 \text{ м}$ представлены в табл.4.6.

Таблица 4.6 - Данные натурных измерений глубин и местных скоростей потока в зоне влияния ВКСРТ при расходе АПК $Q=6.0 \text{ м}^3/\text{с}$ и открытий боковых затворов $a_1=a_2=0,18 \text{ м}$

№ створа	№ мерный вертикали	Глубина в гребне h_{\max} М	Глубина в подошве h_{\min} М	Скорости в точках вертикали v_n м/с
2	1	0,57	0.24	$v_{1(\max)}^{0,6h}=5.0$; $v_{1(\min)}^{0,6h}=4,1$
	2	0,59	0.24	$v_{2(\max)}^{0,6h}=5.1$; $v_{2(\min)}^{0,6h}=4,3$
	3	0,58	0.23	$v_{3(\max)}^{0,6h}=5.0$; $v_{3(\min)}^{0,6h}=4,0$
3	4	0,55	0.23	$v_{4(\max)}^{0,6h}=4.9$; $v_{4(\min)}^{0,6h}=4,1$
	5	0,56	0.23	$v_{5(\max)}^{0,6h}=5.1$; $v_{5(\min)}^{0,6h}=4,2$
	6	0,54	0.22	$v_{6(\max)}^{0,6h}=4.8$; $v_{6(\min)}^{0,6h}=3,8$
4	7	0,53	0.22	$v_{7(\max)}^{0,6h}=4,8$; $v_{7(\min)}^{0,6h}=4,0$
	8	0,54	0.21	$v_{8(\max)}^{0,6h}=5,0$; $v_{8(\min)}^{0,6h}=4,1$
	9	0,52	0.21	$v_{9(\max)}^{0,6h}=4,8$; $v_{9(\min)}^{0,6h}=4,0$
5	10	1,50	1.46	$v_{10}^{0,2h}=0,187$; $v_{10}^{0,8h}=0,199$
	11	1,52	1.47	$v_{11}^{0,2h}=0,205$; $v_{11}^{0,8h}=0,215$
	12	1,50	1.45	$v_{12}^{0,2h}=0,207$; $v_{12}^{0,8h}=0,215$
	13	1,45	0.41	$v_{13}^{0,2h}=0,166$; $v_{13}^{0,8h}=0,174$
	14	1,45	1.38	$v_{14}^{0,2h}=0,007$; $v_{14}^{0,8h}=0,013$
6	15	0,70	0.65	$v_{15}^{0,2h}=0,179$; $v_{15}^{0,8h}=0,185$
	16	0,71	0.66	$v_{16}^{0,2h}=0,197$; $v_{16}^{0,8h}=0,205$
	17	0,70	0.66	$v_{17}^{0,2h}=0,191$; $v_{17}^{0,8h}=0,199$

	18	0,66	0.6	$v_{18}^{0,2h}=0,158; v_{18}^{0,8h}=0,168$
	19	0,63	0.57	$v_{19}^{0,2h}=0,004; v_{19}^{0,8h}=0,005$
Продолжение таблицы 4.6				
7	20	0,67	0.63	$v_{20}^{0,2h}=0,17; v_{20}^{0,8h}=0,183$
	21	0,67	0.64	$v_{21}^{0,2h}=0,179; v_{21}^{0,8h}=0,188$
	22	0,66	0.63	$v_{22}^{0,2h}=0,173; v_{22}^{0,8h}=0,18$
	23	0,63	0.59	$v_{23}^{0,2h}=0,151; v_{23}^{0,8h}=0,162$
	24	0,59	0.55	$v_{24}^{0,2h}=0,008; v_{24}^{0,8h}=0,013$

Как уже упоминалось, третий, последний по течению затвор вододелителя ВКСРТ в натурном эксперименте не открывался, т. к. последняя камера сооружения была завалена путевыми наносами – камнем и крупным гравием. Это произошло потому, что размеры (ширина) треугольных расширяющихся по течению отверстий решетки над этой камерой составляла от 18 до 25 см. Данное свойство ВКСРТ, работающего как камнеуловитель, является существенным недостатком данного типа траншейного вододелителя.

Для более полного анализа кинематической структуры сверхбурного и трансформированного вододелителем ВКСРТ потока цифровая информация, приведенная в табл. 4.6, была дополнена графической.

Результаты замеров скоростей потока позволили построить плановые эпюры распределения скоростей ($v_i^{0,6h}$) в АПК (рис.4.11). Были также построены вертикальные эпюры распределения придонных скоростей потока (рис. 4.12). Графически изображены также плановые эпюры придонных ($v_i^{0,2h}$) скоростей потока в отводящем канале (рис. 4.13).

Анализ построенных эпюр показал, что, несмотря на гораздо меньшую абсолютную величину выходных скоростей в отводящем канале ($v=0...0,215$ м/с) по сравнению со скоростями воды в старшем канале АПК ($v=3,8...5,1$ м/с), заметна большая неравномерность их распределения.

Фактически наблюдается сбойность потока в отводящем канале в сторону правого откоса, что хорошо прослеживается на эпюрах скоростей.

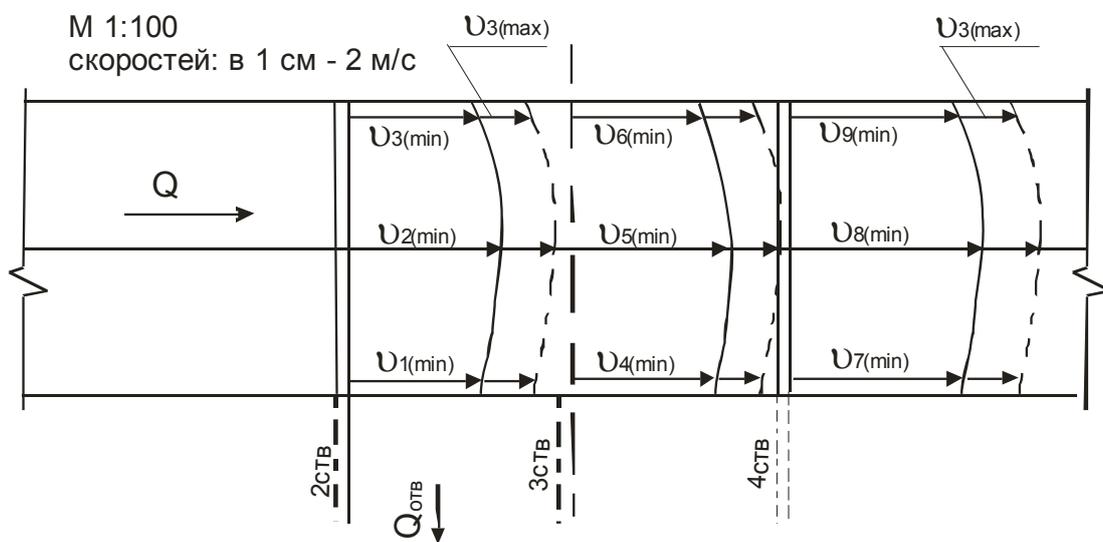


Рис. 4.11. Эпюры распределения местных скоростей в канале АПК.

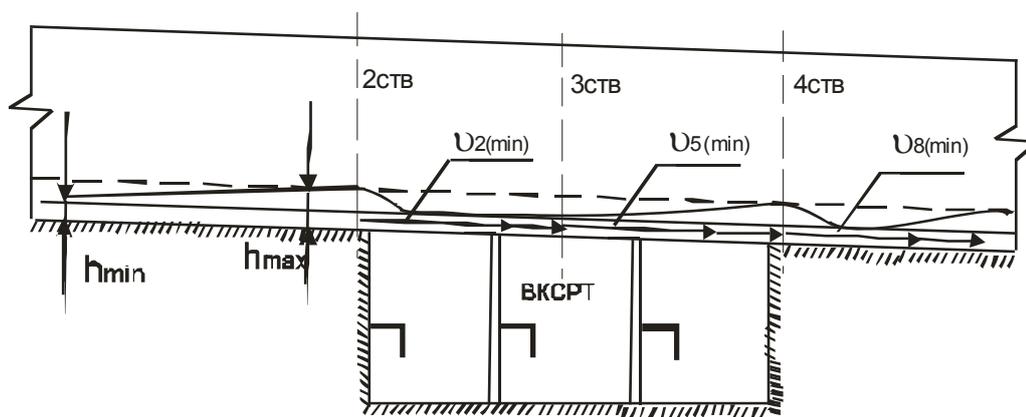


Рис. 4.12. Продольный профиль по оси потока в канале АПК.

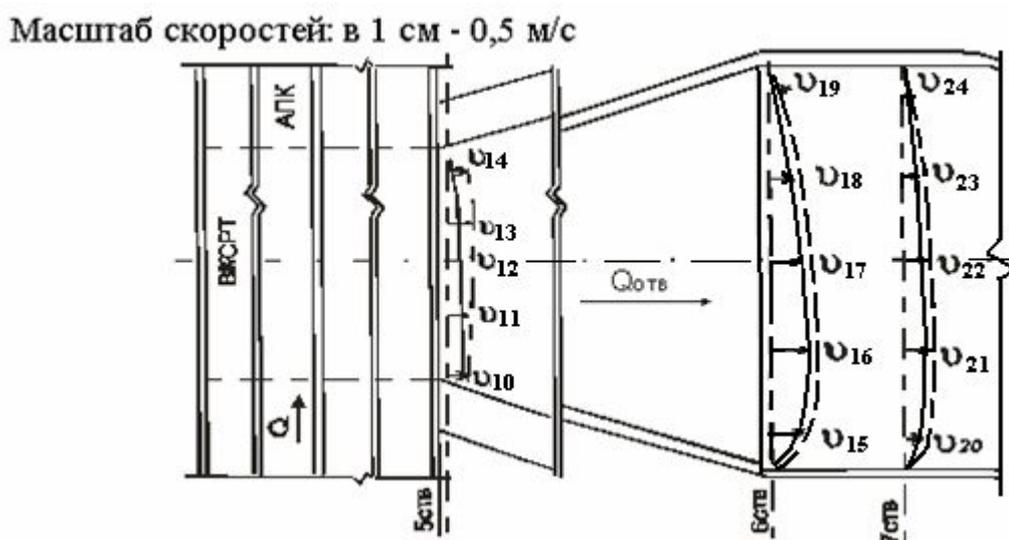


Рис. 4.13. Эпюры местных скоростей в отводящем канале ВКСРТ.

Поскольку натуральный вариант ВКСРТ выполнен с отступлением от патента КР № 447, т.е. камеры вододелителя имеют не увеличивающуюся по течению, а одинаковую ширину, скорости, глубины и удельные расходы (табл. 4.6 и рис. 4.13) убывают по величине от правого берега отводящего канала к левому. Наблюдается заметный сбой динамической оси (свал) потока к правому берегу отводящего канала (рис. 4.13). Это является следствием того, что удельные расходы воды, отбираемые камерами ВКСРТ одинаковой ширины, убывают по течению подводящего канала. Такое же явление наблюдалось при натурных исследованиях вододелителя бурного потока ВКБРТ [139, 140] в составе водозаборного сооружения для резервного водоснабжения ТЭЦ г.Бишкек. Участок переформирования эпюр до симметричной формы не заканчивается на рассматриваемой длине отводящего канала, равной 20 м.

Различие между величинами скоростей в плане для каждого из трех створов отводящего канала (створы 5,6,7) доходит до 97% (к примеру, скорости на крайних вертикалях 6-го створа $v_{16}^{0,8h}=0.185$ м/с, а $v_{19}^{0,8h}=0,005$). Следует иметь в виду, что при увеличении расхода отбора $Q_{отв}$, эта неравномерность и свал потока к одному берегу будут возрастать, что повышает опасность размыва русла отводящего канала. При малом

водоотборе, наоборот, наблюдается отложение путевых наносов – гравия, песка в нижнем бьефе ВКСРТ.

В то же время влияние вододелителя на кинематику потока в транзитном канале АПК, как показывают данные натурального эксперимента, минимально. Эпюры распределения плановых скоростей (рис. 4.11) в верхнем, нижнем бьефах и в створе вододелителя (створы 2, 3 и 4) имеют аналогичную форму как для минимальных, так и для максимальных величин, соответствующих прохождению подошвы и гребня катящихся волн по каналу АПК.

4.1.6 Результаты натуральных исследований вододелителя типа ВКСРТ на Аламединском подпитывающем канале

Результаты натуральных исследований вододелителя типа ВКСРТ, а также сравнительного анализа с результатами ранее проведенных модельных исследований этого сооружения, позволяют сделать следующие **выводы**:

1. В результате натурального эксперимента подтверждена обратная функциональная связь между изменением относительного напора воды m_e в начале и конце донного водоприемного отверстия в зависимости от коэффициента водоотбора α_B . Подтверждено также, что полученная ранее в лабораторных условиях [29], эмпирическая зависимость $m_e = f(\alpha_B)$ пригодна для практики проектирования.
3. Экспериментально уточнена зависимость коэффициента расхода μ ВКСРТ от параметра Фруда Fr_{cp} . Установлено, что коэффициенты расхода ВКСРТ имеют меньшую величину, чем коэффициенты расхода донных водовыпусков Арсенишвили К.И. и Натишвили О.Г. Указанное не означает наличие у ВКСРТ меньшей пропускной способности, чем у вихревых водовыпусков, поскольку при расчете несколько занижен действующий напор.

4. Натурным экспериментом подтверждено свойство стабилизации ВКСРТ при малых ($a/a_{\max} < 0,3$) открытиях боковых затворов. Поэтому, подача воды в отвод в определенных диапазонах изменения расхода Q транзитного канала и открытия затворов a может осуществляться при $a = \text{const}$, что упрощает эксплуатацию вододеливателя. При малых расходах в канале-быстротоке старшего порядка и больших величинах открытий затворов стабилизирующие свойства ВКСРТ исчезают. Это следует учитывать при эксплуатации сооружения.
5. В натуральных условиях на сооружении наблюдается большее волногашение, чем, в свое время, на модели ВКСРТ, поскольку коэффициенты трансформации катящихся волн $K_g = 2a'/h_b$ в отводящем канале оказались на натуре на 3...5% меньше модельных. Однако тенденция изменения глубин потока в гребне трансформированных катящихся волн природы и модели идентична. Высота трансформированных волн в отводящем канале ВКСРТ в среднем в 2–5 раз меньше высоты поступивших в него катящихся волн.
6. Волногашение транзитного потока за вододеливателем прослеживается значительно слабее $K_b = 0,5–0,89$. Не смотря на это, следует отметить, что при любых открытиях боковых затворов и при закрытых затворах увеличение глубин потока не наблюдается, следовательно данный тип вододеливателя не вызывает значительных сопротивлений потоку в транзитном канале-быстротоке и не уменьшают пропускную способность канала.
7. Натурными исследованиями подтверждено гашение основной части скоростного напора сверхкритического потока в камерах донной траншеи ВКСРТ за счет совместного воздействия на скоростной поток решетчатой плиты, перегородок, горизонтальных и Г-образных козырьков. Происходит уменьшение скоростей потока от 4,8–5,1 м/с в АПК до 0,004–0,22 м/с в отводящем канале. Также в процессе двухгодичной эксплуатации, третья камера ВКСРТ, имеющая крупные размеры решетки

с трапецеидальными вырезами (шириной от 18 см до 25 см) была полностью завалена путевыми наносами – камнями и крупным гравием. Это свойство ВКСРТ, работающего как камнеуловитель, является существенным недостатком данного типа сооружения.

8. В натуральных условиях в отводящем канале ВКСРТ создает значительную неравномерность распределения плановых скоростей. Различие между величинами скоростей на выходе из вододеливателя доходит до 97% (у правого берега отводящего канала в створе первой камеры вододеливателя скорость потока равна $v=0,185$ м/с, а у левого берега в створе третьей камеры скорость воды $v=0,005$ м/с).

При повышении расхода водоотбора эта разница выходных скоростей еще более увеличивается и может привести к размывам грунтового русла отводящего канала. При малом водоотборе на натурном сооружении наоборот, наблюдается отложение гряды наносов - гравия, песка в отводящем канале.

9. В целом, анализ результатов лабораторных и натуральных исследований вододеливателя типа ВКСРТ подтвердили его работоспособность и возможность применения для ирригационных систем в условиях водоотбора из каналов с высокоскоростным волновым потоком при условии некоторой доработки и усовершенствования конструкции этого сооружения.

4.2 Совершенствование водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках ирригационных систем

4.2.1 Водораспределители-стабилизаторы отводимого расхода воды на каналах второго порядка

В условиях горно-предгорной зоны нарушение стабильной подачи воды потребителям вызвано многими факторами: интенсивностью колебания

расходов воды в источниках орошения, техническим состоянием оросительных систем, неравномерностью водоподачи потребителям, связанной с возрастанием их количества в условиях аграрной реформы и другими причинами. Анализ имеющихся технических решений, направленных на стабилизацию отводимого расхода, указывает на то, что подача воды постоянным расходом может быть достигнута не только сложными средствами автоматики и телемеханики, но и разработкой специальных водораспределителей-стабилизаторов расхода, использующих гидравлические свойства потока. При этом стабилизацию отводимого расхода из каналов второго порядка, в которых поток имеет числа Фруда в пределах $1,0 < Fr \leq 1,5$, рационально осуществлять, например, за счет использования полигонального в плане лотка-водослива. Такое решение целесообразно использовать на межхозяйственных и хозяйственных каналах оросительных систем предгорной зоны. При разумном подходе, используя принцип стабилизации водоподачи за счет поддержания постоянного уровня воды над щитовым отверстием отвода ($H_o = const$, где H_o - действующий напор), можно с определенной точностью стабилизировать уровень воды в верхнем бьефе водораспределителя и через него – отводимый расход.

Расход каждого отводящего отверстия при неподтопленном истечении будет определяться по известной формуле [15]:

$$Q_o = \mu a b_o \sqrt{2gH_o}, \quad (4.12)$$

где μ – коэффициент расхода щитового отверстия; a - открытие затвора;
 b_o - ширина отводящего отверстия; H_o – действующий напор.

Пропускная способность водослива при неподтопленном истечении определяется по известной формуле [15]:

$$Q = ml \sqrt{2gH_o}^{3/2}, \quad (4.13)$$

где m – коэффициент расхода водослива, l – длина водосливной части сооружения, $l = l_1 + l_2 + 2l_3$ (рис. 4.14), обеспечивающая функционирование одного отвода.

Из формулы (4.13) следует, что величину H_0 при постоянном расходе можно регулировать длиной лотка-водослива: чем длиннее l , тем меньше глубина H_0 и наоборот.

Установим зависимость длины лотка-водослива от действующего напора, при которой обеспечивается постоянство отводимого расхода воды. Для этого перепишем формулу (4.13) в следующем виде:

$$m\sqrt{2g} \cdot l \cdot H_0^{3/2} = const. \quad (4.14)$$

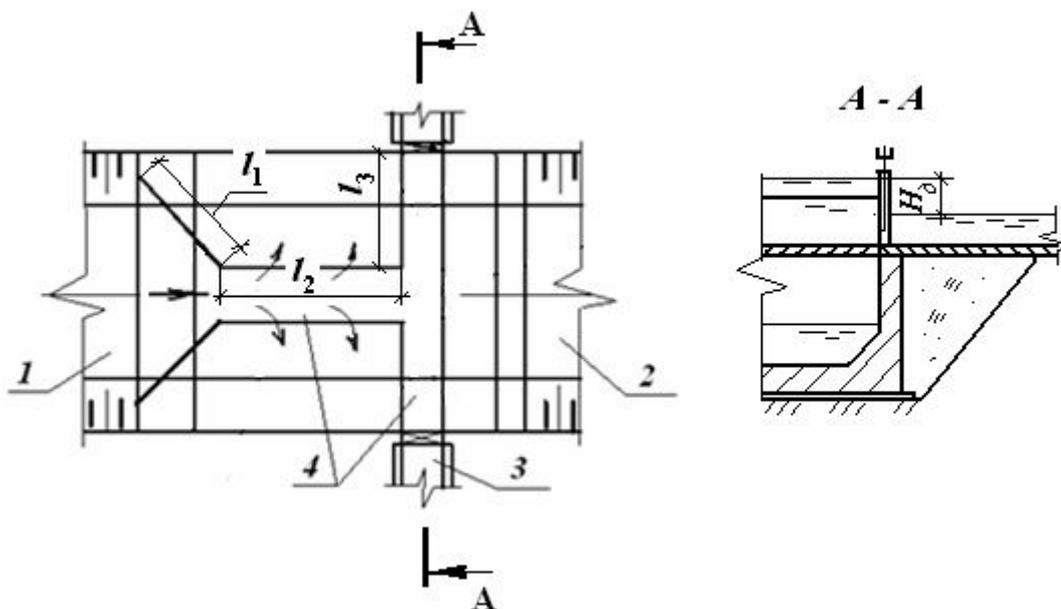


Рис. 4.14. Схема вододеливателя с полигональным в плане водосливом: 1, 2, 3 – подводящий, транзитный и отводящий каналы; 4 – лоток.

Из (4.14) следует, что

$$\frac{Q}{m\sqrt{2g}} = l \cdot H_0^{3/2} = C, \quad (4.15)$$

где C – водомерная константа.

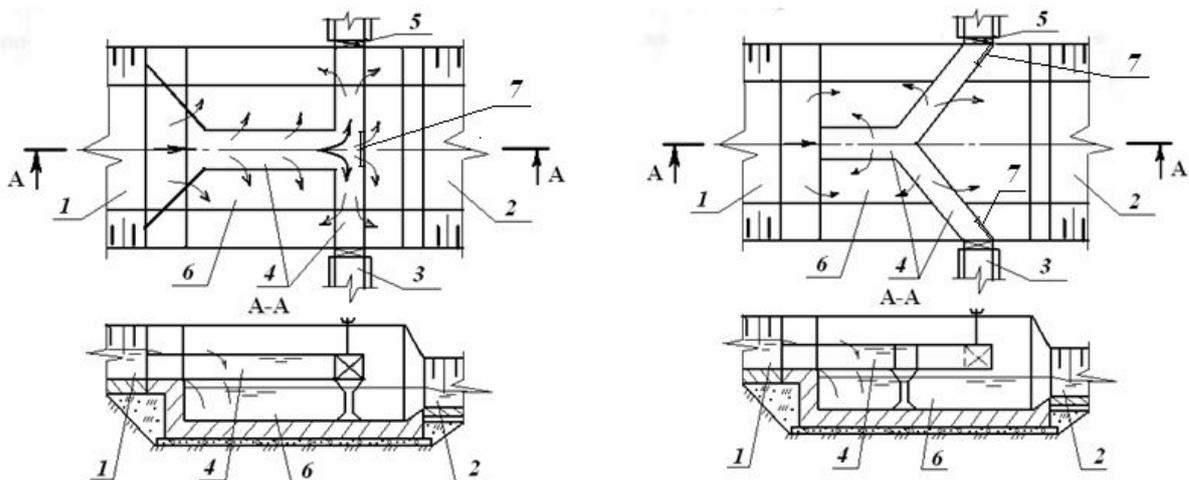
Таким образом, получим зависимость длины лотка-водослива от действующего напора:

$$l = \frac{C}{H_0^{3/2}}. \quad (4.16)$$

Водомерная константа C является постоянной величиной для конкретного сооружения. Определив на конкретном сооружении по формуле (4.12) значение напора H_0 , при котором будет обеспечиваться стабилизация водоподачи с погрешностью 5–7%, можно установить наиболее рациональную длину лотка-водослива.

Из выражения (4.16) видно, что чем протяженнее лоток-водослив, тем благоприятнее условия для стабилизации уровня воды в верхнем бьефе щитового отверстия 5 (рис. 4.15).

Ниже приводятся предлагаемые компоновки водораспределителей (рис. 4.15), в состав которых вошел полигональный в плане лоток-водослив [62]. Представляется, что эти компоновки могут быть приняты за основу при реконструкции и строительстве открытых регуляторов, в том числе совмещенных с сопрягающими сооружениями-быстротоками и перепадами. Необходимый для этого запас отметок (перепад) довольно часто имеется на каналах второго и третьего порядка, расположенных в нижнем бьефе каналов-быстротоков и являющихся вместе с ними составными элементами оросительных систем горно-предгорной зоны.



а) б)

Рис. 4.15. Вододелители с полигональными в плане водосливами (А.с. 1133341 СССР. Водораспределитель для каналов/ Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К., Дуюнов П.И.: а) с Т-образным водопроводящим лотком; б) с V-образным водопроводящим лотком: 1, 2, 3 – подводящий, транзитный и отводящий каналы; 4 – двухсторонний полигональный лоток-водослив; 5 – плоский затвор; 6 – колодец; 7 – промывное отверстие.

В состав водораспределителя, приведенного на рис. 4.15 а, включен Т-образный в плане водопроводящий лоток (лоток-водослив), концы которого подсоединены к подводящему и отводящим каналам. При этом параметры сечения лотка-водослива принимаются таким образом, чтобы обеспечить требуемую подачу воды в отводы, а излишки сбрасывать через кромки стенок лотка-водослива в водоприемный колодец, сопряженный с транзитным каналом. Высота Т-образного лотка-водослива по всей длине и на ответвлениях принимается одинаковой и равной глубине потока, при которой для полностью открытых затворов обеспечивается подача максимальных расходов воды в отводы. При этом следует стремиться к тому, чтобы высоту лотка-водослива назначать наименьшей, а подачу максимальных расходов в отводы осуществлять за счет увеличения ширины лотка. При расчете в первом приближении рекомендуется принимать $b_d = (1,2 \dots 1,5)h_d$, где b_d - ширина лотка, h_d - высота лотка. Уровень дна лотка должен совпадать с отметкой дна отводящего канала.

Благодаря выполнению лотка Т-образной в плане формы, водосливной фронт получается довольно длинным и дает возможность сбрасывать излишки воды и тем самым обеспечивает стабилизацию отводимых расходов.

Кроме того, облегчается гидродинамическая нагрузка на дно колодца, что положительно повлияет на прочность и целостность сооружения.

Рассматриваемый водораспределитель работает следующим образом: вода из канала поступает в лоток-водослив 4, оттуда в его ответвления и из них через затворы 5 в отводящие каналы 3. При наличии в подводящем канале расхода воды большего, чем требуется в отводящие, излишки воды через кромку стенок лотка сбрасываются в колодец, а оттуда – в транзитный канал.

Разработанный водораспределитель имеет ряд преимуществ по сравнению с известными конструкциями, к числу которых относятся:

- а) сооружение автоматически обеспечивает постоянство уровня воды перед затворами, расположенными в головной части отводов, и, следовательно, стабилизирует отводимые расходы;
- б) за счет удлиненного фронта водосброса (через стенки лотка Т-образной формы) обеспечивается беспрепятственный сброс повышенных расходов в транзитный канал, что автоматически исключает аварийные ситуации на сооружении;
- в) компактность водораспределителя за счет того, что колодец располагается под Т-образным лотком, а не за сооружением в нижнем бьефе;
- г) простота и надежность в работе и эксплуатации;
- д) отсутствие затвора в голове транзитного канала, упрощающее конструкцию вододелителя.

На рис. 4.15 б приведена другая компоновка водораспределителя, по которой видно, что:

- а) водопроводящий лоток в плане выполнен в форме буквы V, и, благодаря этому, водослив имеет еще большую длину, по сравнению с вариантом, приведенным на рис. 4.15 а;
- б) отвод воды производится не под углом 90^0 , как это имело место на рис. 4.15 а, (т.е. по схеме бокового водослива), а под меньшим углом, благодаря чему используется скоростной напор потока и повышается пропускная способность сооружения. Это позволит уменьшить габариты водораспределителя.

Для промыва отложившихся в верхнем бьефе рассмотренных сооружений взвешенных наносов, в пределах системы лотков можно предусмотреть промывное отверстие, перекрываемое плоским затвором или шандорами. Высота этих перегородивающих устройств принимается равной высоте стенок лотков.

На основании поисковых исследований было установлено, что габаритные размеры водопроводящего лотка определяются гидравлическим расчетом при максимальном отводящем расходе воды $Q = Q_1 + Q_2$ (где Q_1 - расход левого отвода; Q_2 - расход правого отвода). При этом может быть использована формула Шези для равномерного движения воды при заданном уклоне дна лотка и принятом соотношении $h_d/b_d = 0,67...0,83$.

Глубину колодца принимают из условия неподтопленного истечения в колодец.

Колодец на транзитном канале позволяет обеспечить свободное истечение излишков воды через полигональный водослив в транзитный канал.

Данные водораспределители-стабилизаторы по результатам поисковых исследований позволяют обеспечить постоянство отводимых расходов воды с погрешностью не превышающей 5-7% (в

пределах точности водосливов) при колебании уровней перед водопроводящим лотком $H_{\max}/H_{\min} = 1,2 \dots 1,3$ и числах Фруда потока, не превышающих $Fr = 1,5$.

Графическая зависимость относительного расхода Q/Q_{\max} отвода от относительного напора H/H_{\min} на входе в полигональный лоток-водослив при различных открытиях плоских затворов представлена на рис. 4.16.

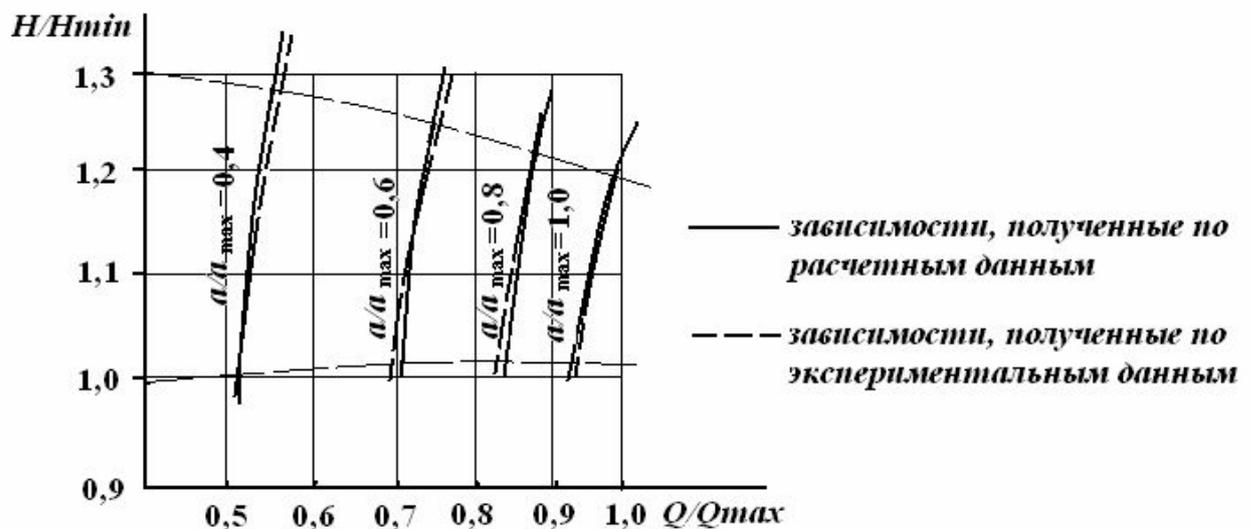


Рис. 4.16. Графическая зависимость относительного расхода Q/Q_{\max} отвода от относительного напора H/H_{\min} водораспределителя-стабилизатора с полигональным водосливом.

Зависимости, представленные на рис. 4.16, построенные по расчетным данным, идентичны полученным в процессе поисковых исследований с точностью до 96 %.

4.2.2 Водораспределитель с шахтным колодцем

Помимо вододелителей траншейного типа на быстротечных лотковых каналах Кыргызской Республики по индивидуальным проектам построены вододелители, состоящие из колодца-гасителя и открытых регуляторов, причем количество отводов

составляет от 2-х до 4-х. Отводы выполнены как боковыми, так и фронтальными. Проведя натурные исследования функционирования одного из таких вододелителей на канале Койбердинский системы р. Шамси, было установлено, что водораспределителям с достаточно мелким колодцем-гасителем и открытыми фронтальными регуляторами присущи следующие недостатки:

- а) поток набегает на низовую стенку колодца-гасителя, в результате часть воды выплескивается за борт сооружения;
- б) резкое расширение потока приводит к образованию в колодце-гасителе водоворотных зон, косых прыжков и волнений уровня воды;
- в) в начальной части транзитного канала имеет место сбойное течение потока.

Эти и другие недостатки, вызванные в основном неполным гашением кинетической энергии потока в колодце-гасителе, ухудшают эксплуатацию сооружений, уменьшают КПД системы, удорожают стоимость ремонтных работ и приводят к другим нежелательным последствиям.

Устранить указанные недостатки при вододелении на каналах-быстротокеах можно путем включения в состав сооружения шахтного колодца с водовыпускными окнами в нижней части (рис. 4.17).

Предложенный водораспределитель [62] состоит из колодца-гасителя 1, шахтного колодца 2, установленного в колодце-гасителе. В нижней части шахтного колодца имеются водовыпускные окна 3. Для предотвращения выплескивания воды из шахтного колодца, последний сверху частично перекрыт плитой 4.

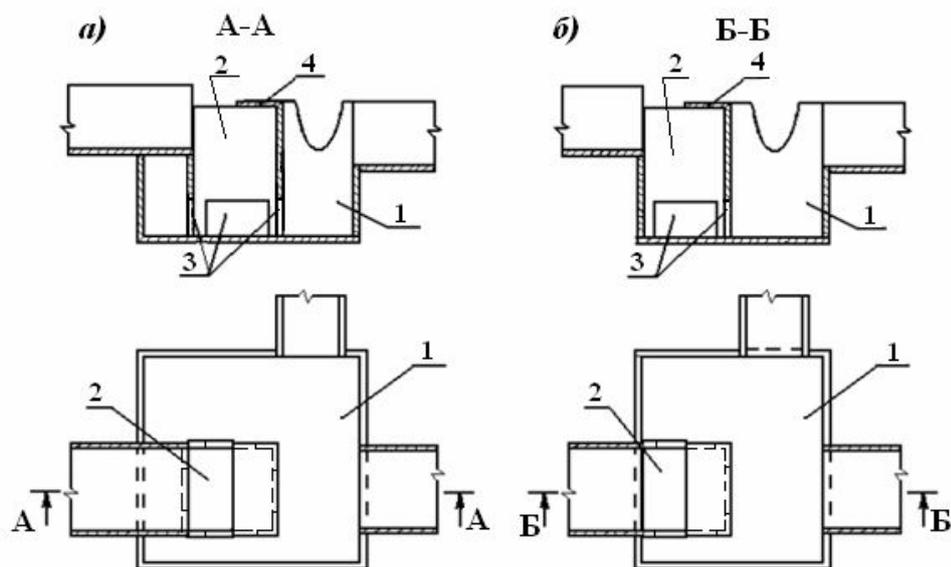


Рис. 4.17. Схемы водораспределителей с шахтным колодецом: а) с водопропускными окнами в 4-х стенах шахтного колодца; б) то же с окнами в 3-х стенах шахтного колодца.

Пороги отводов размещаются на одной или на разных отметках порога затвора в зависимости от типоразмеров отводящих лотков и величины отбираемых расходов.

Водораспределители на рассматриваемой конструкции могут быть трубчатые и открытые. Трубчатые водовыпуски могут оснащаться клапанным затвором, открытые – плоским затвором.

В предложенном сооружении вода из подводящего канала поступает в шахтный колодец, откуда, погасив в нем основную часть своей кинетической энергии, проходит через окна 3 в колодец-гаситель 1. В колодец-гасителе 1 завершается полное гашение кинетической энергии потока, и из него вода подается в отводящие каналы.

Расчетная схема предложенных водораспределителей с шахтными колодцами представлены на рис. 4.18.

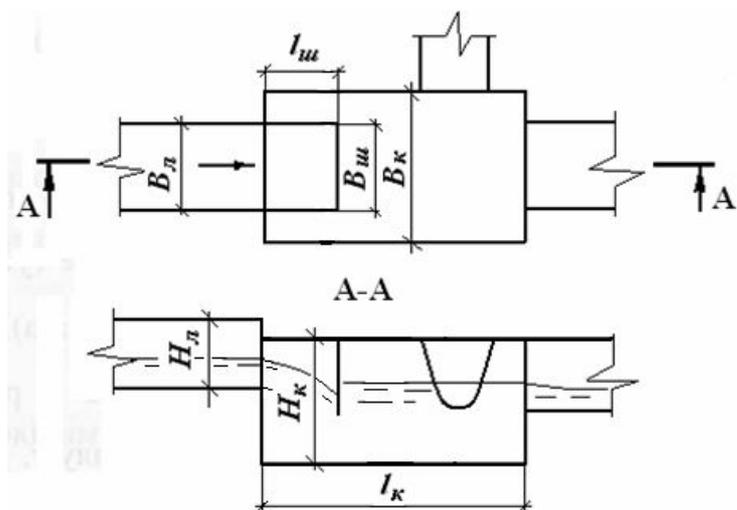


Рис. 4.18. Расчетная схема водораспределителя с шахтным колодцем.

При проектировании водораспределителя с шахтным колодцем-гасителем следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- ширина шахты $B_{ш}=B_{л}$, где $B_{л}$ – ширина лотка (рис. 4.18);
- длина шахты $l_{ш}=(1,0...3,0)B_{ш}$, притом с увеличением бурности потока шахтный колодец должен удлиняться;
- шахтный колодец частично перекрывается сверху железобетонной плитой;
- стенки шахтного колодца выполняются выше, но не более чем на $0,5 H_{л}$, чем стенки колодца-гасителя, где $H_{л}$ – высота подводящего лотка;
- верх стенок колодца-гасителя должен располагаться на одной отметке с дном подводящего лотка или превышать ее на $(0,2...0,25) H_{л}$;
- ширина $B_{к}=(1,4...1,6)B_{ш}$ (без учета толщины стенок шахтного колодца) и длина $l_{к}=1,5B_{ш}$;

- расход водовыпускных отверстий в шахтном колодце определяется по формуле затопленного истечения через донное отверстие:

$$Q = n\omega\mu\sqrt{2gz} \quad (4.17)$$

где n - количество отверстий; ω - площадь отверстия; μ - коэффициент расхода бокового донного отверстия; z - перепад уровней в шахтном колодце и колодце-гасителе.

На основе (4.17) площадь водовыпускного отверстия в шахтном колодце

$$\omega = \frac{Q}{n\mu\sqrt{2gz}}, \quad (4.18)$$

где $z = \nabla Y_{ш} - \nabla Y_{к}$ при этом $\nabla Y_{ш}$ - отметка уровня воды в шахтном колодце (условно ее можно принять равной отметке дна подводящего лотка), $\nabla Y_{к}$ - отметка уровня воды в колодце, принимаемая из расчета пропуска расчетного расхода по транзитному каналу.

Предложенная методика расчета и конструирования водораспределителей с шахтным колодцем может быть усовершенствована по мере накопления новых экспериментальных данных.

4.2.3 Водораспределители-водомеры

Более универсальной представляется компоновка узла «водораспределитель-водомер», приведенная на рис. 4.19 [62].

Она позволяет осуществить регулирование водоподдачи одним затвором, установленным в старшем канале, и может найти применение на регуляторах, совмещенных с сопрягающими сооружениями.

Состав сооружения приведен на рис. 4.19, в соответствии с которым, затвор размещается только в голове транзитного канала, водослив - в головной части отвода. В состав сооружения включен и уступ, с ниже описанным назначением.

На предложенном сооружении затвор 4 предназначен для регулирования водоподдачи в отвод 3, при этом его высота назначается из расчета, чтобы она обеспечила полное перекрытие водопропускного отверстия при необходимости направления всего расхода воды в сторону водослива.

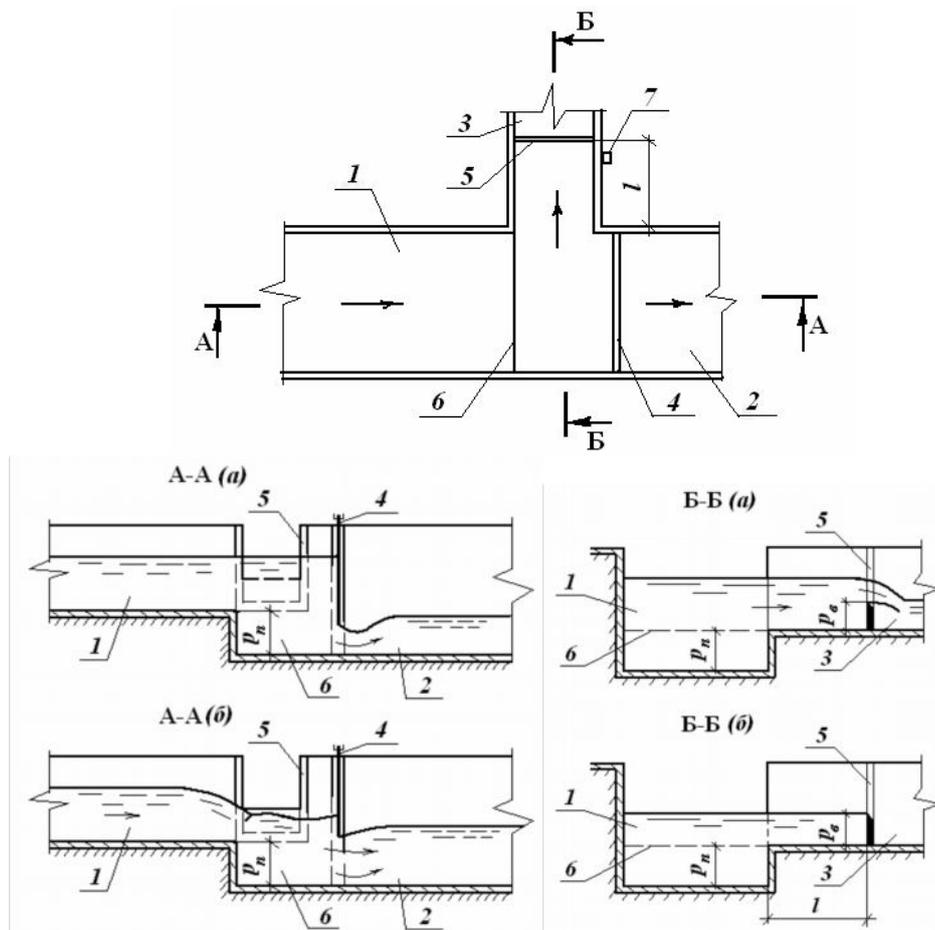


Рис. 4.19. Схема узла «водораспределитель-водомер» с уступом перед затвором: а) при поступлении воды в отвод, б) при непоступлении воды в отвод: 1, 2 и 3 - подводящий, транзитный и

отводящий каналы; 4 - затвор; 5 - водослив с тонкой стенкой; 6 - уступ; 7 - успокоительный колодец.

Водослив 5 с тонкой стенкой может иметь любую форму поперечного сечения и выполняться с фиксируемым или регулируемым по высоте порогом, при этом его высота назначается таким образом, чтобы при полностью поднятом затворе уровень воды в верхнем бьефе не достигал отметки порога водослива. В этом случае вода в отвод 3 не поступает.

Водослив 5 устанавливается вглубь отвода 3 в соответствии с приведенными в [62] требованиями.

Проведенные поисковые лабораторные и исследования показали, что уступ высотой P_n (рис. 4.19), устраиваемый в конце подводящего канала, также относится к числу основных элементов сооружения. Он введен в состав сооружения для того, чтобы обеспечить пропуск всего расхода в транзитный канал 2, когда появляется необходимость в прекращении подачи воды в отвод.

В последнем случае, при полностью открытом затворе 4, уровень воды в верхнем бьефе должен устанавливаться ниже (на 3-5 см) отметки порога водослива. В этом случае, даже при заметном волнении водной поверхности, поступление воды в отвод не будет наблюдаться.

Уступ выполняется в виде перепада, как это показано на рис. 4.19, или быстротока, т.е. этот прием следует применять на регуляторах, совмещенных с сопрягающими сооружениями.

При поднятом затворе на подходе к уступу образуется кривая спада с минимальной глубиной на его кромке. Далее, при падении потока с уступа, происходит дальнейшее снижение уровня водной поверхности в пределах сооружения. Именно благодаря такому понижению уровня воды в предложенном сооружении достигается прекращение водоподдачи в отвод. Предложенное сооружение позволяет:

- регулировать водоподачу в отвод одним затвором, установленным в конце вододелителя, т.е. в начале транзитного канала;
- использовать нижнюю часть (ниже порога) водослива в качестве перегораживающего сооружения, когда отсутствует необходимость в заборе воды в отвод;
- использовать водослив в качестве средства для измерения расхода воды с достаточной точностью при помощи размещенной в успокоительном колодце водомерной рейки.

По результатам поисковых исследований установлено, что высота уступа P_n назначается такой, чтобы при полностью поднятом затворе уровень воды перед сооружением установился бы несколько ниже (на 3-5 см) отметки порога водослива.

Сооружение работает в двух режимах:

- при подпертом верхнем бьефе - в таком случае осуществляется водоподача в отвод, при этом регулирование уровня воды перед сооружением и подача воды в отвод осуществляется при помощи затвора, установленного в голове транзитного канала;
- в режиме сброса всего расхода в транзитный канал - в этом случае затвор полностью находится в верхнем положении и подача воды в отвод не производится.

Эффективность предлагаемого вододелителя - водомера заключается в улучшении условий эксплуатации, когда регулирование водоподачи осуществляется одним затвором, установленным в голове транзитного канала.

Регуляторы, совмещенные с сопрягающими сооружениями, могут быть реконструированы в виде вододелителя-водомера, выполненного по типу лоткового шугосброса на деривационных каналах ГЭС (на рис. 4.20).

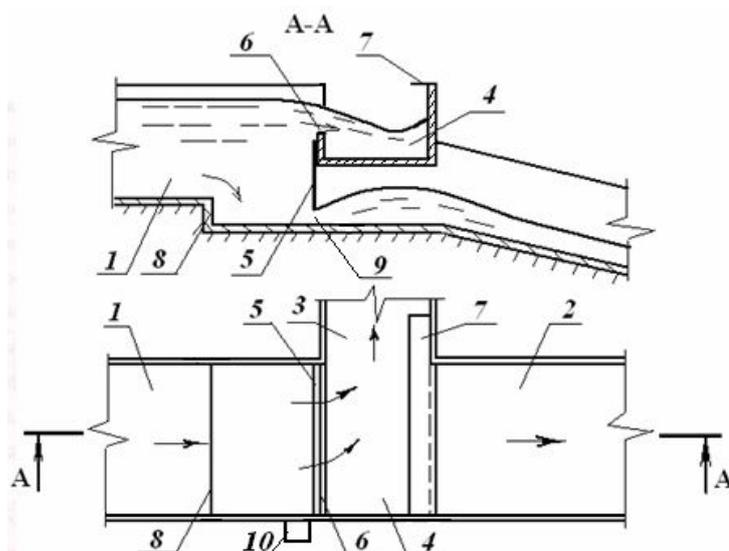


Рис. 4.20. Схема вододелителя-водомера с водоприемным лотком: 1, 2 и 3 – подводящий, транзитный и отводящий каналы; 4 – водоприемный лоток; 5 – затвор; 6 – водослив с тонкой стенкой; 7 – козырек; 8 - уступ; 9 – водопро-пускное отверстие; 10 – успокоительный колодец с водомерной рейкой.

Это сооружение, размещенное на старшем канале, включает, кроме известных элементов, водоприемный лоток 4, в верхней стенке которого размещен водослив с тонкой стенкой 6. Перед передней стенкой лотка размещен плоский затвор 5. Лоток оснащен козырьком, устраняющим выплескивание воды из него. Концы лотка закреплены в береговых устоях сооружения, затвор является донным. При полностью поднятом положении затвора уровень воды в лотке установится на 5-10 см ниже порога водослива.

Сопряжение подводящего и транзитного каналов осуществляется при помощи уступа, благодаря чему увеличивается высота водопропускного отверстия. Этим обеспечивается пропуск всего расхода воды в транзитный канал при прекращении водоподачи в отвод.

Предлагаемый вододелитель-водомер работает следующим образом. В случае, когда забор воды в отвод не производится, она сбрасывается через водопропускное отверстие в транзитный канал. При этом затвор находится в

верхнем положении, уровень воды в верхнем бьефе может установиться на 3-5 см ниже отметки порога водослива.

В случае, когда появится необходимость в подаче воды в отвод, производится перекрытие водопропускного отверстия затвором. В результате происходит подъем уровня воды в верхнем бьефе и, по мере превышения этого уровня отметки порога водослива, осуществляется подача воды через водослив в лоток и далее в отводящий канал. Перекрытие водопропускного отверстия производится до тех пор, пока не установится необходимый напор над водосливом, при котором осуществляется подача расчетного расхода.

Водоучет осуществляется при помощи водомерной рейки, размещенной в успокоительном колодце 10. Величина напора на водосливе определяется при помощи этой водомерной рейки, нуль которой соответствует отметке порога водослива. При необходимости изменения расхода воды, подаваемого в отвод, производится перерегулировка перекрытия пропускного отверстия при помощи плоского затвора.

Наносы, поступающие в верхний бьеф сооружения, не попадают в отводящий канал из-за того, что забор воды осуществляется из верхних слоев воды. Кроме того, они легко смываются в транзитный канал сбрасываемыми в нижний бьеф расходами воды.

Проведенные поисковые исследования вододелителя-водомера с водоприемным лотком позволили построить графические зависимости (рис. 4.21) относительного расхода отвода от относительной глубины в успокоительном колодце. На рис. 4.21 приведены расчетная и экспериментальная зависимости $Q/Q_{\max} = H/H_{\min}$, на которых видно некоторое отличие экспериментальных данных от теоретических, что можно объяснить особенностью конструктивного исполнения водоприемного лотка. Отсюда следует, что каждое конкретное сооружение такого типа нуждается в отдельной градуировке.

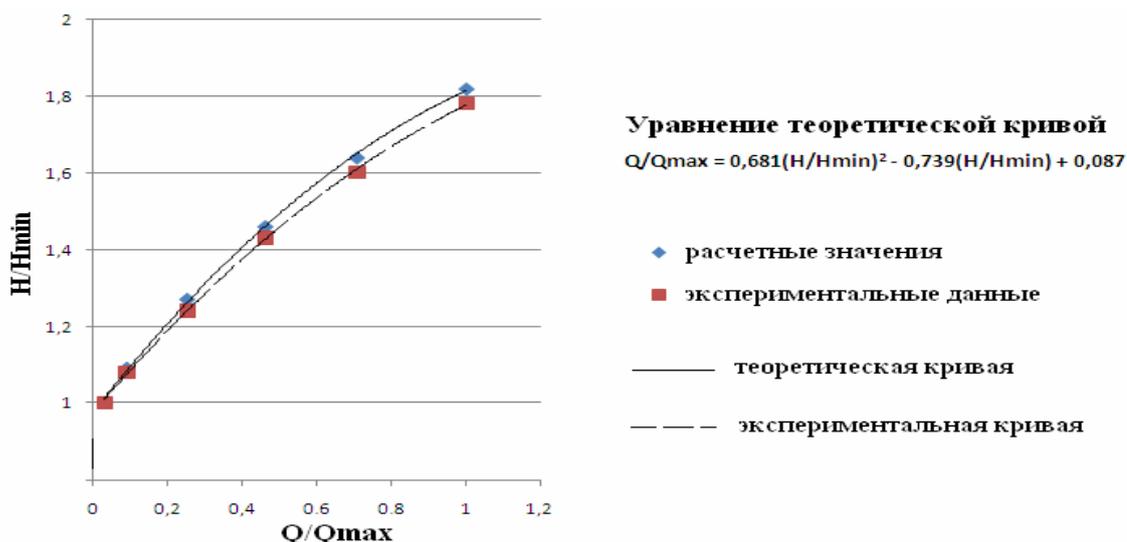


Рис. 4.21. Графические зависимости $Q/Q_{\max} = H/H_{\min}$ для вододелителя-водомера с водоприемным лотком.

Эффективность предлагаемого сооружения заключается:

- в повышении точности водоучета, т.к. отводимые расходы измеряются на водосливе б (рис. 4.20) с погрешностью 5-7%;
- в упрощении измерений, т.к. функции водовыпуска и водомера выполняются одним сооружением, поэтому его легко эксплуатировать;
- в снижении стоимости строительства, т.к. вместо двух сооружений - водовыпуска и водомера - строится одно.

Для рассмотренных компоновок водораспределителей, водораспределителей-стабилизаторов и вододелителей-водомеров проведены поисковые исследования, по результатам которых выявлена явная предпочтительность для каналов-быстротоков вододелителей траншейного типа с колодцем-гасителем. Приведенные конструкции используют принцип деления потока в плане и по вертикали, наиболее типичный для вододеления на каналах-быстротоках. Для отсекаания и направления отводящего потока чаще всего используется полка или козырек.

На основе изучения особенностей рассмотренных компоновок вододелителей были разработаны усовершенствованные водораспределительные сооружения траншейного типа, описанные в следующем разделе.

4.3 Усовершенствование конструкции вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ)

В предыдущем подразделе диссертации отмечалось, что существующие конструкции вододелителей имеют ряд недостатков в работе. Большинство из них обладают недостаточной эксплуатационной надежностью из-за неравномерности распределения скоростей и удельных расходов воды на выходе из камеры в грунтовый отводящий канал, приводящие к его размыву, а также завышенной стоимостью строительства из-за необходимости облицовки головного участка отводящего канала в бетон, требующего дополнительного расхода материалов.

С целью увеличения эксплуатационной надежности при снижении затрат на строительство водораспределительного сооружения предложена усовершенствованная конструкция вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ) [142]. Усовершенствованная конструкция разработана на основе известных ранее вододелителей для каналов-быстротоков типа ВКСРТ [64,70].

ВКСТ включает донную траншею, размещенную между подводящим и транзитным каналами, отводящие каналы, разделенные плоскими затворами равной ширины, расположенные в траншее разделительные перегородки с горизонтальными козырьками в верхней части и Г-образными козырьками на внутренней стороне, как показано на рис. 4.19.

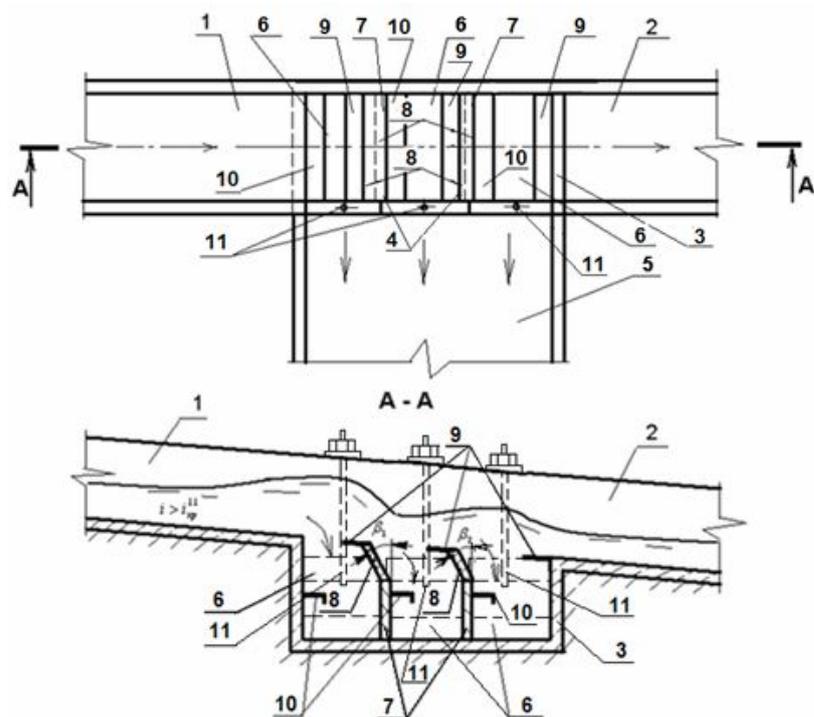


Рис. 4.19. Схема вододелителя для каналов со сверхбурным течением (Патент №1043, 2008 на имя Лаврова Н.П., Атамановой О.В., Бейшекеева К.К., Аджыгуловой Г.С.) (решетка не показана): 1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – донная траншея; 4 – разделительные перегородки; 5 – отводящий канал; 6 – камеры; 7 – вертикальная часть перегородок; 8 – наклонная часть перегородок; 9 – горизонтальные козырьки, 10 – Г-образные козырьки; 10 – плоские затворы.

Разделительные перегородки делят траншею на камеры с возрастающей по течению площадью. Вододелитель покрыт шарнирно прикрепленной к верхней передней кромке колодца решеткой с продольными стержнями ромбовидного сечения.

Разделительные перегородки выполнены с изломами в вертикальной плоскости, причем верхние наклонные части разделительных перегородок расположены под углами β_1 и β_2 к нижним вертикальным частям перегородок, углы β_1 и β_2 функционально зависят от коэффициента водоотбора $\alpha_e = Q_{oms}/Q$, где Q_{oms} – расход отводящего канала, Q – расход подводящего канала. Углы наклона β_1 и β_2 рассчитываются на стадии

проектирования вододелителя и являются неизменными в процессе эксплуатации сооружения.

Выполнение разделительных перегородок с изломами в вертикальной плоскости при расположении их верхних частей под углами β к ней, функционально зависящими от величины водоотбора, обеспечивает увеличение площадей входных отверстий камер по потоку. В то же время, действующий напор потока при истечении в эти камеры уменьшается по течению за счет отбора воды, чем достигается более равномерное распределение скоростей воды и удельных расходов на выходе из камер в отводящий канал. Вододелитель можно использовать и для двухстороннего, и для одностороннего отбора воды в отводящие каналы (рис. 4.20).

Конструктивное исполнение перегородок вододелителя исключает сбойность потока, размывы откосов и дна отводящего канала, выполняемого в грунтовом русле, позволяет располагать перегородки перпендикулярно к транзитному течению, увеличивая степень гашения кинетической энергии нестационарного высокоскоростного потока в камерах и уменьшая выходные скорости, а следовательно, и размывы отводящего грунтового канала, что исключает необходимость его облицовки в бетон, снижая стоимость строительства сооружения.

Предлагаемая конструкция вододелителя позволяет переводить поток из бурного и сверхбурного состояния в подводящем канале в спокойное состояние в отводящем канале без устройства специальных гасителей энергии бурного потока, как при неподтопленном, так и при подтопленном истечении воды из-под затворов.

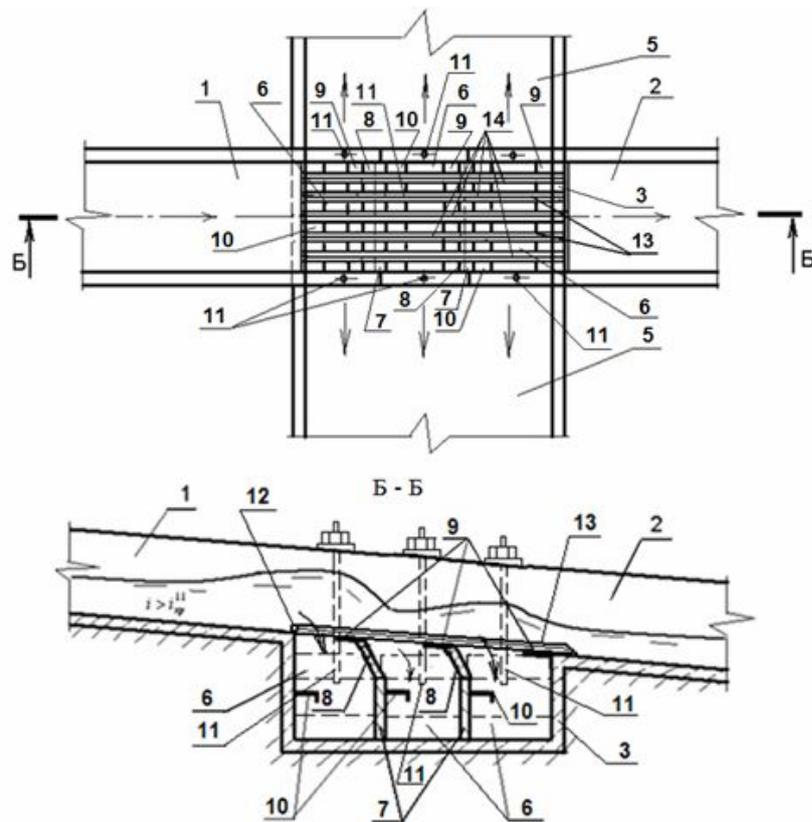


Рис. 4.20. Схема вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ)

(с решеткой): 1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал;

3 – донная траншея; 4 – разделительные перегородки; 5 – отводящий канал;

6 – камеры; 7 – вертикальная часть перегородок; 8 – наклонная часть

перегородок; 9 – горизонтальные козырьки, 10 – Г-образные козырьки;

11 – плоские затворы; 12 – шарниры; 13 – решетка.

ВКСТ работает следующим образом. Высокоскоростной сверхбурный поток из подводящего канала, имеющего уклон дна больше критического, через отверстия между стержнями решетки, отсекаемый горизонтальными козырьками, поступает в камеры донной траншеи, где за счет действия Г-образных козырьков происходит перевод винтового движения потока в поступательное по направлению к отводящим каналам. Расход воды, поступающей из камер траншеи в отводящий канал, регулируется боковыми затворами. Если расход $Q_{отв}$ меньше расхода Q , поступающего по подводящему быстротечному каналу, то оставшаяся часть потока проходит

над траншеей и поступает в транзитный канал. Однако при необходимости может быть произведен отвод в канал всего расхода подводящего канала.

Для разработки методики расчета усовершенствованной конструкции ВКСТ необходимо провести гидравлические исследования физической модели вододеливателя в соответствии с методикой лабораторных исследований, изложенной в разделе 4.3.

Физическая модель ВКСТ (рис. 4.21) выполнена из дерева, металла и органического стекла и смонтирована на ГЛЛ в лаборатории гидротехнических сооружений Кыргызско-Российского Славянского университета.

Проведенные лабораторные исследования модели ВКСТ позволяют установить наиболее рациональные конструктивные и гидравлические параметры вододеливателя и были положены в основу методики инженерного расчета предложенной конструкции.



Рис. 4.21. Физическая модель вододеливателя для каналов со сверхбурным течением: а) со снятыми затворами; б) с установленными затворами.

Использование вододеливателя для каналов со сверхбурным течением предлагаемой конструкции позволит повысить эксплуатационную надежность данного класса сооружений, расширить их функциональные возможности для применения на каналах не только с бурным, но и со сверхбурным режимом течения, эффективно используя для вододеливания

высокоскоростных потоков на линейных сооружениях, расположенных в предгорной и горной местности.

4.4 Программа и методика поведения лабораторных исследований вододелителя для каналов со сверхбурным течением

На основе обзора и анализа существующих конструкций вододелителей скоростных потоков на каналах-быстротоках с целью устранения их недостатков была предложена новая усовершенствованная конструкция Вододелителя для каналов со сверхбурным течением ВКСТ [142, 143], описание которой дано в разделе 4.2.

Для разработки методики гидравлического расчета усовершенствованной конструкции вододелителя ВКСТ и оптимизации ее параметров необходимо было изготовить лабораторную установку, установить на ней модель вододелителя, подобрать измерительные приборы, инструменты и провести гидравлические исследования.

Целью лабораторных исследований являлось определение гидравлических характеристик и установление наиболее рациональных параметров вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ).

Для реализации поставленной цели на стадии подготовки и проведения натурных исследований требуется решить следующие **основные задачи**:

- рассчитать, запроектировать, изготовить и смонтировать установку в виде гидравлического лабораторного лотка (ГЛЛ) для модельных исследований ВКСТ;
- изготовить из металла, дерева и органического стекла модель усовершенствованной по результатам предыдущих модельных и натурных исследований аналогов конструкции вододелителя типа ВКСТ;
- обосновать объем лабораторных исследований с учетом имеющейся лабораторной базы, измерительной аппаратуры и технических средств;

- наметить основные этапы проведения лабораторных исследований;
- разработать общую и детальную методику проведения модельных исследований;
- провести лабораторные гидравлические исследования физической модели ВКСТ;
- выполнить обработку экспериментальных данных, сравнить полученные характеристики вододелителя с полученными ранее характеристиками аналогов;
- на основе результатов исследований внести дополнительные конструктивные изменения и разработать методику расчета усовершенствованной конструкции ВКСТ.

Выполнение основных задач по аналогии с выполненными ранее аналогичными исследованиями вододелителей [139] намечено в несколько **этапов:**

- I. Подготовительный этап, предполагающий проведение подготовительных работ, включающих расчет и разработку модели конструкции, обоснование объема исследований, разработку методики проведения исследований и др.
- II. Основной этап, включающий непосредственное проведение гидравлических модельных исследований ВКСТ, включающий:
 - 1) изучение подходных условий в ГЛЛ при работе ВКСТ, изучение волнового процесса на модели при различных расходах и степенях водоотбора.;
 - 2) экспериментальное определение коэффициента расхода истечения воды через решетчатую плиту и боковые затворы модели вододелителя в зависимости от кинетичности потока F_r в старшем канале;
 - 3) определение пропускной способности модели ВКСТ в целом и, в частности, коэффициента расхода μ в зависимости от среднего напора над решетчатой плитой H_p ;

- 4) установление коэффициента водоотбора α_e в зависимости от изменения расхода в ГЛЛ, анализ стабилизирующих свойств ВКСТ;
- 5) обобщение опытных данных и получение расчетных зависимостей $\mu = f(Fr)$.

III. Этап обработки выполненных замеров и проведенных наблюдений, получение расчетных зависимостей и разработка методики инженерного расчета ВКСТ.

Лабораторная установка ГЛЛ в лаборатории гидротехнических сооружений кафедры ГТСиВР КРСУ, представляет собой закольцованную систему, включающую напорный бак-успокоитель 1, лабораторный лоток 2, на котором установлена модель вододелителя 3, отводящий канал 4 с мерным водосливом 5, приемную камеру 6, соединяющуюся системой трубопроводов 7 с баком-успокоителем, вода в который перекачивается при помощи насосного агрегата 8 (рис. 4.22, 4.23). Приведенная лабораторная установка отличается от приведенной выше на рис. 3.22 наличием модели вододелителя 3 и отводящим каналом 4.

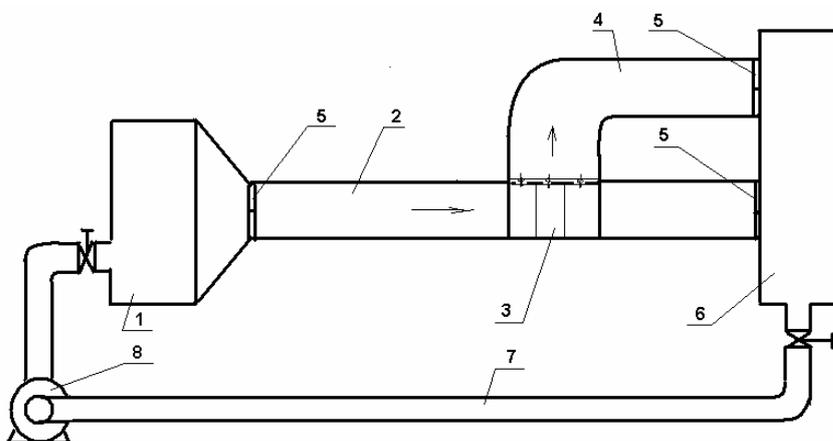


Рис. 4.22. План лабораторной установки для проведения гидравлических исследований вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения: 1 – бак-успокоитель; 2 – лабораторный лоток; 3 – модель вододелителя; 4 – отводящий канал; 5 – мерный водослив; 6 – приемная камера; 7 – система трубопроводов; 8 – насосный агрегат.



Рис. 4.23. ГЛЛ в лаборатории кафедры ГТСиВР КРСУ.

Измерение расхода воды, поступающей из бака 1 в ГЛЛ 2, производилось с помощью мерного водослива Томсона 5. Для гашения энергии потока, поступающего от насоса 8 к мерному водосливу 5 в баке-успокоителе 1 устраивался сотовый гаситель.

Регулирование поступающего в ГЛЛ расхода воды производилось верхней задвижкой, а регулирование отводимого расхода – затворами-шторками на выходе из вододелителя. Уклон ГЛЛ изменялся от нулевого до сверхкритического (более 0,02) с помощью специального винтового подъемника. Стенки ГЛЛ выполнены прозрачными из стекла для фотографирования и видеосъемки гидравлических процессов. Шероховатость дна лотка рассчитана и выполнена по правилам физического моделирования в соответствии с качеством бетонного покрытия натурального канала-быстротока АПК.

Для измерения глубины воды и колебания уровня свободной поверхности использовался шпитценмасштаб (мерная игла). Для проведения экспериментов с высокоскоростным волновым (сверхбурным) потоком был разработан емкостной волнограф, который способен регистрировать колебания уровня воды (ондограф) в зоне влияния ВКСТ.

Лабораторная модель усовершенствованной конструкции вододелителя (раздел 4.2) смонтирована на ГЛЛ в лаборатории гидротехнических сооружений кафедры ГТСиВР КРСУ. Линейный масштаб моделирования исходя из размеров модели принят равным 1:13, что больше минимально допустимого, обеспечивающего автомодельность по Рейнольдсу [11]. В качестве натурального образца канала был выбран АПК в зоне ВСРВТ. Масштабы моделирования (по Фрудру и Гамбаряну [84]) скорости, расхода, других гидравлических параметров сверхбурного и трансформированного потока идентичны приведенным выше в табл. 3.6.

Особенности **методики** проведения намеченных исследований и наблюдений состояла в следующем:

- Оценка пропускной способности в зависимости от наполнений в ГЛЛ производилась при различных соотношениях транзитного и отводимого расходов воды. При этом особенно тщательно анализировалась работа сооружения при наполнениях в канале-быстротоке, меньших и равных второму критическому $i_{кр}^{II} \approx 4 \cdot i_{кр}$ [84];
- Исследования пропускной способности вододелителя проводились с целью определения коэффициента расхода μ для отдельных элементов модели ВКСТ (решетчатая плита, боковые затворы) и для всей модели в целом.
- В процессе проведения лабораторных исследований оценивалось наличие эффекта стабилизации водоподачи при различных величинах коэффициента водоотбора $\alpha_\epsilon = Q_{отв} / Q_i$, где $Q_{отв}$ – расход отвода, Q_i – расход в ГЛЛ.
- Расходы в верхнем бьефе ВКСТ и в нижнем бьефе ГЛЛ и отводящего лотка замерялись при помощи мерных водосливов Томсона с углом треугольного выреза 90° . При этом напор H_ϵ на мерном водосливе определялся шпигельмасштабом (мерной иглой), а расход истечения рассчитывается по формуле:

$$Q = 1343H_g^{2,47} . \quad (4.15)$$

Мерные водосливы оттарированы объемным способом и прошли метрологическую аттестацию.

- Измерение глубин на модели из-за пульсации свободной поверхности волнового потока выполнялись по методу Р.Брока с многократной повторностью ($n \geq 5$) шпигенмасштабом с точностью до 1 мм.
- Имитация катящихся волн на гидравлическом лотке (ГЛЛ) осуществлялась простейшим волнопродуктором типа входной шторки. При этом период и амплитуда катящихся волн определялся по известным Рекомендациям ВНИИГ [84] и сравнивался с данными натурных измерений на канале АПК.
- Величины открытий затворов на модели вододелителя замерялись мерной линейкой с ценой деления 1 мм.
- Замеры скоростей воды выполнялись микровертушкой, имеющей цифровую индикацию скорости с точностью до 0,01 м/с.

В основу статистической обработки экспериментальных данных для получения эмпирических зависимостей положен метод наименьших квадратов.

Порядок проведения лабораторных исследований был следующим:

- 1) изучение структуры потока на модели в ГЛЛ, а также волнообразования в зоне установки модели;
- 2) определение пропускной способности модели ВКСТ;
- 3) установление коэффициента водоотбора α_g в зависимости от изменения расхода в ГЛЛ;
- 4) анализ наличия эффекта стабилизации отводимых расходов воды при различных значениях коэффициента водоотбора;
- 5) изучение скоростной структуры потока в отводящем лотке.

Гидравлические исследования структуры потока в зоне установки модели осуществляется в следующем порядке.

Расходы воды, пропускаемые по транзитному лотку, принимались на модели до $30,0 \text{ л/с}$, что соответствовало максимальному натурному расходу в АПК, при котором образуются катящиеся волны, равному $18,27 \text{ м}^3/\text{с}$. При этом устанавливались открытия отводящих затворов $a = 3; 6; 9 \text{ см}$.

Наполнения в пяти створах ГЛЛ (один из створов – створ центрального отводящего затвора модели) замерялся шпигенмасштабом и записываются емкостным волнографом.

Микровертушкой замерялись скорости в створе модели сооружения.

Пропускная способность модели ВКСТ исследовалась при различных величинах расходов воды в транзитном лотке $Q \leq 30 \text{ л/с}$ и различных сочетаниях открытий затворов в камерах вододелителя. При этом проводились наблюдения за структурой потока и процессом волнообразования на выходе из вододелителя в отводящем лотке.

По результатам проведенных исследований анализировалось изменение коэффициента водоотбора α_e в зависимости от изменения расхода в ГЛЛ.

Стабилизирующие свойства ВКСТ оценивались при расходах в ГЛЛ $Q = 5; 10; 15; 20; 30 \text{ л/с}$ и коэффициентах водоотбора $\alpha_e = 0,2; 0,5; 1,0$. При этом определялись зависимости вида:

$$Q_{отв} / Q_{max\ отв} = f(Q / Q_{max}), \quad (4.16)$$

где $Q_{отв} / Q_{max\ отв}$ - относительный расход отвода воды;

Q / Q_{max} - относительный расход транзитного лотка.

Анализ зависимостей типа (4.16) представлен в табличной и графической форме (раздел 4.4).

Обобщение опытных данных и получение **расчетных зависимостей** $\mu = f(Fr)$ позволило определить параметр Фруда для среднего сечения модели сооружения по зависимости:

$$Fr_{cp} = \alpha v_{cp}^2 / gh_{cp}, \quad (4.17)$$

где h_{cp} - глубина; v_{cp} - средняя скорость потока на сооружении.

В процессе исследований необходимо было проанализировать изменения значений коэффициентов расхода μ при различных открытиях затворов.

Изучение структуры отводимого потока и характера трансформированных волн в отводящем лотке при различных величинах коэффициентов водоотбора и расходах транзитного лотка позволило уточнить компоновку и параметры сооружения.

Обработка результатов лабораторных исследований модели ВКСТ проводилась в соответствии с рекомендациями [144] с использованием ПЭВМ.

Проведение лабораторных исследований модели вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения дало возможность разработать методику гидравлического расчета ВКСТ и практические рекомендации к использованию конструкции на оросительных каналах горно-предгорной зоны.

4.5 Гидравлические исследования усовершенствованной конструкции вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ)

4.5.1 Модельные исследования гидравлических параметров усовершенствованной конструкции вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ)

Гидравлические исследования ВКСТ [145, 146] предполагали, прежде всего, установление пропускной способности вододелителя. Пропускная способность является важным фактором в оценке эффективности водораспределительных сооружений. Поэтому целью гидравлических исследований усовершенствованной конструкции вододелителя для каналов

с бурным режимом течения явилось уточнение пропускной способности сооружения.

Модельные исследования проводились на модели вододеливателя ВКСТ для принятых уклонов лотка и наполнения в лотке, соответствующих наблюдаемым в натуре расходам: $Q = 0,67; 1,34; 2,01; 2,68; 3,187; 5,0; 10,0$ м³/с. При этом наиболее подробно изучалась пропускная способность при меньших расходах, поскольку именно при этих расходах имеет место сверхбурный режим течения потока в лотке. Максимальный волновой расход АПК ТЭЦ г. Бишкек в натуре составляет $Q_{\max} = 12,5$ м³/с. Соответственно величина подаваемого в лоток быстротока расхода изменялась пятикратно – от 1,1 л/с до 16,4 л/с. Для каждого из указанных расходов Q определялась величина одинакового открытия всех трех боковых затворов ВКСТ a при значениях коэффициента водоотбора $\alpha_в = Q_{\text{отб}}/Q = 0,1; 0,2 \dots 1,0$.

Расход на модели замерялся мерными водосливами Томсона, а напор – аттестованным шпитценмасштабом.

В процессе исследований установлена связь между относительным действующим напором $m_в = H_к/H_n$ и коэффициентом водоотбора $\alpha_в = Q_{\text{отб}}/Q$. Напоры H_n и $H_к$ на вододелителе в начале и конце донной траншеи показаны на рис. 4.24.

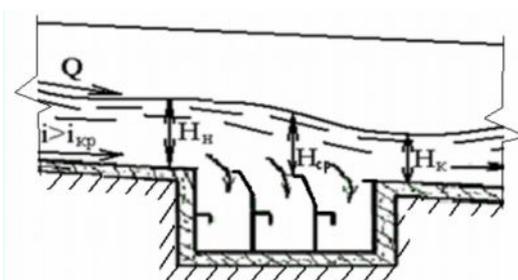


Рис. 4.24. Схема измерений гидравлических параметров на модели усовершенствованной конструкции вододеливателя.

Результаты замеров и расчетов представлены в форме табл. 4.7 и графиков на рис. 4.20. Кривые 1–5 на рисунке 4.25 соответствуют расходам в ГЛЛ, равным $Q = (0,2-1,0)Q_{\max}$.

Таблица 4.7 – Результаты экспериментальных исследований относительного напора m_ϵ над решеткой вододелителя ВКСТ

$\alpha_\epsilon = \frac{Q_{омв}}{Q}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0
$Q=1,1$ л/с, $Q/Q_{max}=0,05$									
$m_\epsilon = \frac{H_\kappa}{H_n}$	0,73	0,68	0,53	0,4	0,3	0,18	0,1	0,05	0
$Q=2,2$ л/с, $Q/Q_{max}=0,1$									
Продолжение табл.4.7									
m_B	0,73	0,7	0,55	0,425	0,32	0,18	0,1	0,05	0
$Q=3,3$ л/с, $Q/Q_{max}=0,15$									
m_B	0,7	0,72	0,56	0,45	0,3	0,20	0,15	0,06	0
$Q=4,4$ л/с, $Q/Q_{max}=0,2$									
m_B	0,8	0,73	0,6	0,45	0,35	0,23	0,1	0,03	0
$Q=5,3$ л/с, $Q/Q_{max}=0,25$									
m_B	0,85	0,80	0,6	0,5	0,35	0,26	0,17	0,08	0
$Q=8,2$ л/с, $Q/Q_{max}=0,4$									
m_B	0,86	0,81	0,65	0,55	0,38	0,28	0,19	0,1	0
$Q=16,4$ л/с, $Q/Q_{max}=0,8$									
m_B	0,86	0,83	0,68	0,6	0,40	0,3	0,20	0,1	0
$\Delta m_B, \%$	14,1%	15%	7,6%	20%	14,2%	10%	10%	37,5%	0

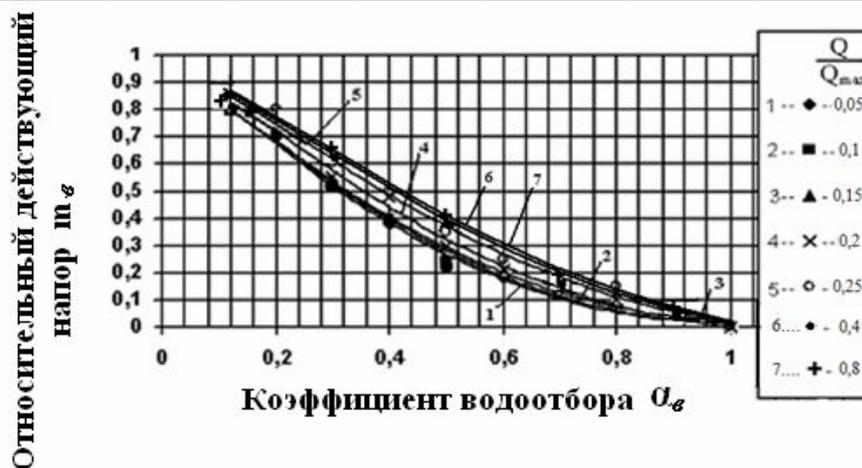


Рис. 4.25. Зависимость относительного действующего напора над решеткой m_ϵ от коэффициента водоотбора α_ϵ .

Экспериментально установлена зависимость для определения $m_e=f(\alpha_B)$:

$$m_e=0,375\alpha_B^2-1,4307\alpha_B+1,0545. \quad (4.18)$$

Исследования пропускной способности модели заключались в определении по результатам эксперимента коэффициента расхода ВКСТ, который рассчитывался по формуле:

$$\mu = \frac{Q}{pl_nb\sqrt{2gH_{cp}}}, \quad (4.19)$$

где p – доля площади отверстий в решетчатой плите по отношению к общей площади плиты, $p=F_{отв}/F_{общ}$; l_n – длина решетчатой плиты; b – ширина быстROTOка; H_{cp} – средний напор над решетчатой плитой: $H_{cp}=(H_n+H_k)/2$.

Доля отверстий в решетчатой плите p составляла 0,6, длина решетчатой плиты l_n , была равна 0,382 м, а ширина вододелителя была равна ширине быстROTOка $b=0,3$ м.

Измерения глубин потока в начальном H_n и конечном H_k створах, выполнялись, как показано на рис. 4.26, мерной иглой. При этом замерялись уровни подошвы и гребня волны на вододелителе.



Рис. 4.26. Замер наполнений в концевой части ВКСТ.

Коэффициенты расхода μ изменялись в пределах от 0,14 до 0,46 при различных параметрах Фруда и открытиях боковых затворов. Параметр Фруда $Fr_{cp} = \alpha v_{cp}^2 / gh_{cp}$ рассчитывался для среднего сечения решетчатой плиты (h_{cp} - глубина, v_{cp} - средняя скорость потока на решетчатой плите). Наименьшие по абсолютной величине коэффициенты расхода (от 0,135 до 0,335) наблюдались при малых открытиях боковых затворов $a = 0,3 \dots 0,5$ см (на натуре эти открытия соответствует $a_{нат} = 4,0 \dots 6,5$ см). При максимальном открытии боковых затворов $a_{max} = 2,5$ см (в натуре 32,5 см) коэффициент расхода изменялся от 0,41 до 0,46. Полученные по результатам эксперимента значения коэффициента расхода μ в зависимости от Fr_{cp} приведены в таблицах 4.8, 4.9 и на графиках (рис.4.27).

Таблица 4.8 – Результаты расчета коэффициента расхода μ усовершенствованного вододелителя от параметра Фруда Fr_{cp}

$a/a_{max}=0,15$		$a/a_{max}=0,25$		$a/a_{max}=0,35$		$a/a_{max}=0,75$		$a/a_{max}=1,0$	
Fr_{cp}	μ	Fr_{cp}	μ	Fr_{cp}	μ	Fr_{cp}	μ	Fr_{cp}	μ
5	0,335	3	0,349	4	0,41	8	0,44	10	0,46
10	0,25	8	0,31	9	0,35	15	0,37	14	0,44
15	0,17	13	0,26	15	0,32	20	0,34	18	0,42
20	0,14	20	0,22	19	0,28	23	0,31	22	0,415
25	0,135	23	0,2	25	0,26	25	0,3	25	0,41

Таблица 4.9 – Коэффициенты расхода вододелителя

При a/a_{max}	Формулы μ
0,15	$\mu = 0.0006Fr_{cp}^2 - 0.0282Fr_{cp} + 0.464$
0,25	$\mu = 0.0001Fr_{cp}^2 - 0.0103Fr_{cp} + 0.3806$
0,35	$\mu = 0.0002Fr_{cp}^2 - 0.0123Fr_{cp} + 0.4537$
0,75	$\mu = 0.0001Fr_{cp}^2 - 0.012Fr_{cp} + 0.5276$
1,0	$\mu = 0.0002Fr_{cp}^2 - 0.0104Fr_{cp} + 0.5443$

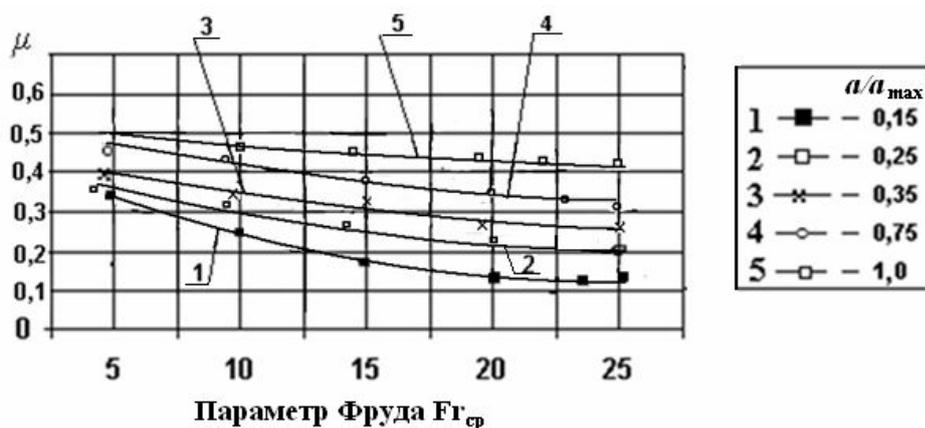


Рис. 4.27. Зависимость коэффициента расхода ВКСТ от параметра Фруда.

Полученные в результате модельных исследований формулы для коэффициентов расхода μ в зависимости от числа Фруда, представленные в табл. 4.9, рекомендуются для расчета вододелителя при проектировании. При обработке результатов эксперимента использовался метод наименьших квадратов. Величина аппроксимации полученных зависимостей составляет 96%, что позволяет сделать вывод о возможности использования формул (табл.4.9) для расчетов вододелителя. Анализ графических зависимостей на рис. 4.27 показывает, что коэффициент расхода μ вододелителя уменьшается с увеличением параметра $Fr_{ср}$ при каждом открытии. Это явление наблюдается и у других вододелителей траншейного типа и свидетельствует об увеличении силы вертикальной составляющей давления с уменьшением скоростей потока. Т.о. при меньших скоростях потока и параметре Fr , удельный расход воды, поступающий в траншею вододелителя, больше.

Экспериментально была проверена пропускная способность затворов, установленных на выходе их донной траншеи. Расход истечения из-под затворов определялся по известной формуле [114]:

$$Q = \mu_3 ab \sqrt{2g(H_0 - h_c)} = \mu_3 ab \sqrt{2g\bar{H}}, \quad (4.20)$$

где μ_3 – коэффициент расхода затвора; H_0 – напор с учетом скорости подхода; h_c – сжатая глубина за плоским затвором; \bar{H} – осредненный

действующий напор, равный по результатам измерений

$$H = \frac{H_n + H_k}{2} + \frac{\alpha v_0^2}{2g}.$$

Экспериментально установленное значение коэффициента расхода плоского затвора, определенное из формулы (4.20) $\mu_{пл} = 0,58 \dots 0,62$.

Экспериментально исследовался также относительный расход водоотбора. По результатам модельных исследований определялись значения $Q_{омв} / Q_{max}$, а также их изменение в зависимости от коэффициента водоотбора $\alpha_v = Q_{омв} / Q$ и относительного расхода водоотбора $Q_{омв} / Q_{max}$.

Максимальный расход Q_{max} в ГЛЛ на модели составлял 16,5 л/с, а максимальное открытие боковых затворов $a_{max} = 2,5$ см.

Полученные экспериментально зависимости $\alpha_v = f(Q_{омв} / Q_{max})$ представлены на рис. 4.28. Результаты замеров и расчетов отражены в табл. 4.10.

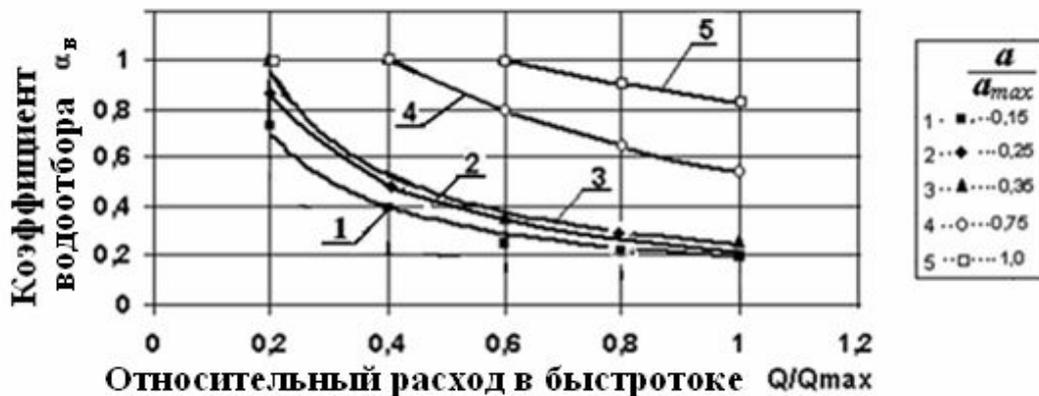


Рис. 4.28. Изменение коэффициента водоотбора α_v с изменением расхода старшего канала и открытия затвора вододелителя.

Анализ табл. 4.10 показывает, что полный (100 %) водоотбор наступает для малого расхода $Q/Q_{max} = 0,2$ в ГЛЛ при относительном открытии затворов $a/a_{max} = 0,75$. При расходах $Q/Q_{max} = 0,6$ в ГЛЛ 100%-ный водоотбор происходит при относительном открытии $a/a_{max} = 1,0$. Поэтому, полный водоотбор возможен при открытиях боковых затворов больше значения $a = 1,2a_{max}$, т.е. до 3 см, что на натуре соответствует $a = 0,4$ м.

Таблица 4.10 – Результаты измерений для определения зависимости $\alpha_g = f(Q/Q_{max})$

Относительный расход в быстройтоке Q/Q_{max}	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Открытия боковых затворов $a=0,4$ см, $a/a_{max}=0,15$					
$\alpha_g = Q_{отв}/Q$	0,75	0,4	0,25	0,21	0,18
Открытия боковых затворов $a=0,6$ см, $a/a_{max}=0,25$					
$\alpha_g = Q_{отв}/Q$	0,85	0,5	0,33	0,28	0,25
Открытия боковых затворов $a=0,7$ см, $a/a_{max}=0,35$					
$\alpha_g = Q_{отв}/Q$	0,95	0,55	0,38	0,31	0,28
Открытия боковых затворов $a=0,9$ см, $a/a_{max}=0,75$					
$\alpha_g = Q_{отв}/Q$	1,0	1,0	0,8	0,65	0,55
Открытия боковых затворов $a=2,5$ см, $a/a_{max}=1,0$					
$\alpha_g = Q_{отв}/Q$	1,0	1,0	1,0	0,9	0,83

Экспериментально установлено, что с увеличением расхода в канале-быстройтоке (рис. 4.28) коэффициент водозабора α_g уменьшается, что является закономерным ввиду уменьшения коэффициента расхода ВКСТ при увеличении скорости потока в канале-быстройтоке.

Для проверки стабилизирующей способности [147] ВКСТ было прослежено на модели изменение отводимого расхода $Q_{отв}$ в зависимости от изменения относительного расхода Q/Q_{max} воды в канале-быстройтоке.

Результаты замеров $Q_{отв}/Q_{max} = Q/Q_{max}$ представлены в виде графиков на рис. 4.29 и табл. 4.11.

В процессе эксперимента открытия боковых затворов изменялись от $a=0,4$ см до $a=2,5$ см, что позволило обеспечить величины относительных расходов отвода $Q_{отв}/Q_{max}$ от 0,12 до 0,83.



Рис. 4.29. Зависимость относительного расхода водоотбора $Q_{отв}/Q_{max}$ от относительного расхода водоподачи по быстротоку Q/Q_{max} .

Таблица 4.11 – Данные измерений для определения зависимости

$$Q_{отв}/Q_{max}=f(Q/Q_{max})$$

Q/Q_{max}	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$a/a_{max}=0,15$					
$Q_{отв}/Q_{max}$	0,12	0,15	0,18	0,19	0,20
$a/a_{max}=0,25$					
$Q_{отв}/Q_{max}$	0,15	0,20	0,22	0,25	0,23
$a/a_{max}=0,35$					
$Q_{отв}/Q_{max}$	0,20	0,25	0,30	0,29	0,30
$a/a_{max}=0,75$					
$Q_{отв}/Q_{max}$	0,20	0,41	0,49	0,54	0,56
$a/a_{max}=1,0$					
$Q_{отв}/Q_{max}$	0,20	0,42	0,61	0,74	0,83

По графику на рис. 4.29, видно, что при открытиях затворов $a/a_{max}=0,15; 0,25$ и $0,35$ (линии 1, 2, 3 на рис. 4.29), отводимый расход воды изменяется на незначительную величину при изменении транзитного расхода воды в канале-быстротоке. Особенно это свойство проявляется при $Q/Q_{max}>0,4$. Для открытий затворов $a/a_{max}< 0,35$ при $Q/Q_{max}>0,4$ величина отводимого расхода воды изменяется в пределах 5–7%. Это говорит о том, что при водоподаче небольших расходов воды ВКСТ может служить стабилизатором расхода воды в отвод.

4.5.2 Модельные исследования изменения глубин и скоростей потока в зоне влияния ВКСТ

При обосновании технологического процесса водораспределения на каналах-быстротоках отмечалась важность такого свойства вододелителей, как невмешательство в высокоскоростной нестационарный поток воды, проходящий транзитом по каналу-быстротоку. Это свойство является значимым по двум причинам: первое – это необходимость исключить выплески воды за пределы канала, приводящие к нарушению надежности сооружения и потере оросительной воды, и второе – это сохранение пропускной способности канала-быстротока в зоне устройства вододелителей. Чтобы оценить наличие этого свойства у предложенной конструкции вододелителя ВКСТ, проследим на модели изменение глубин воды в канале-быстротоке.

При пропуске расходов воды в ГЛЛ от 1,1 л/с до 16,4 л/с, были выполнены промеры глубин в шести створах, первый из которых был расположен на удалении $1,5 b$ выше оси ВКСТ, второй - непосредственно перед вододелителем, третий, четвертый и пятый – над каждой секцией вододелителя и последний на расстоянии $1,5 b$ ниже оси ВКСТ.

Промеры глубин (табл. 4.12) и их колебаний от минимальной глубины h_{min} (по подошве волны) до максимальной глубины h_{max} (по гребню волны) производились в каждом из указанных створов на модели с помощью шпитценмасштаба.

На основании анализа промеров глубин было установлено, что влияние ВКСТ на пропускную способность ГЛЛ и гидравлический режим транзитного лотка минимальное (поперечный профиль отводящего канала ровный) и распространяется на участке протяженностью не более $1,5 b$ (рис. 4.30) от створа вододелителя вниз по течению.

Таблица 4.12 – Изменение относительной глубины потока $h_{\max} / h_{кр}$

x/b	Расходы воды в долях от Q_{\max}			
	0,4 Q_{\max}	0,5 Q_{\max}	0,6 Q_{\max}	0,8 Q_{\max}
0	0,518	0,63	0,875	0,931
1,5	0,518	0,63	0,875	0,931
1,75	0,427	0,518	0,84	0,903
2,25	0,035	0,336	0,56	0,77
2,75	0	0,2	0,46	0,672
4	0	0,195	0,45	0,63

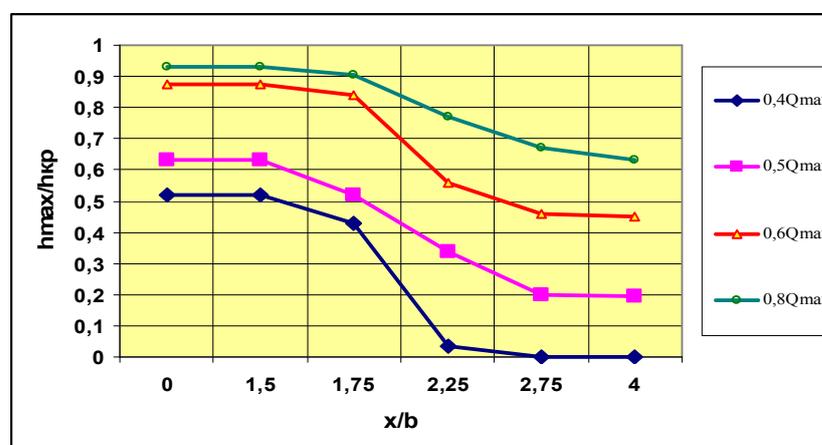


Рис. 4.30. Изменение относительной глубины $h_{\max} / h_{кр}$ потока на модели вододелителя.

Общая глубина потока в зоне влияния вододелителя не повышается, над третьей секцией ВКСТ удельный расход плавно распределяется по ширине канала (рис. 4.31).

Замеры скоростей потока в ГЛЛ и отводящем лотке проводились микровертушкой, закрепленной на штативе. Результаты замеров скоростей заносились в журнал наблюдений. Замеры скоростей потока [148] проводились в нескольких створах транзитного и отводящего лотков в соответствии со схемой на рис. 4.32, с тем, чтобы результаты сравнить с результатами натуральных исследований (с учетом масштабных коэффициентов).

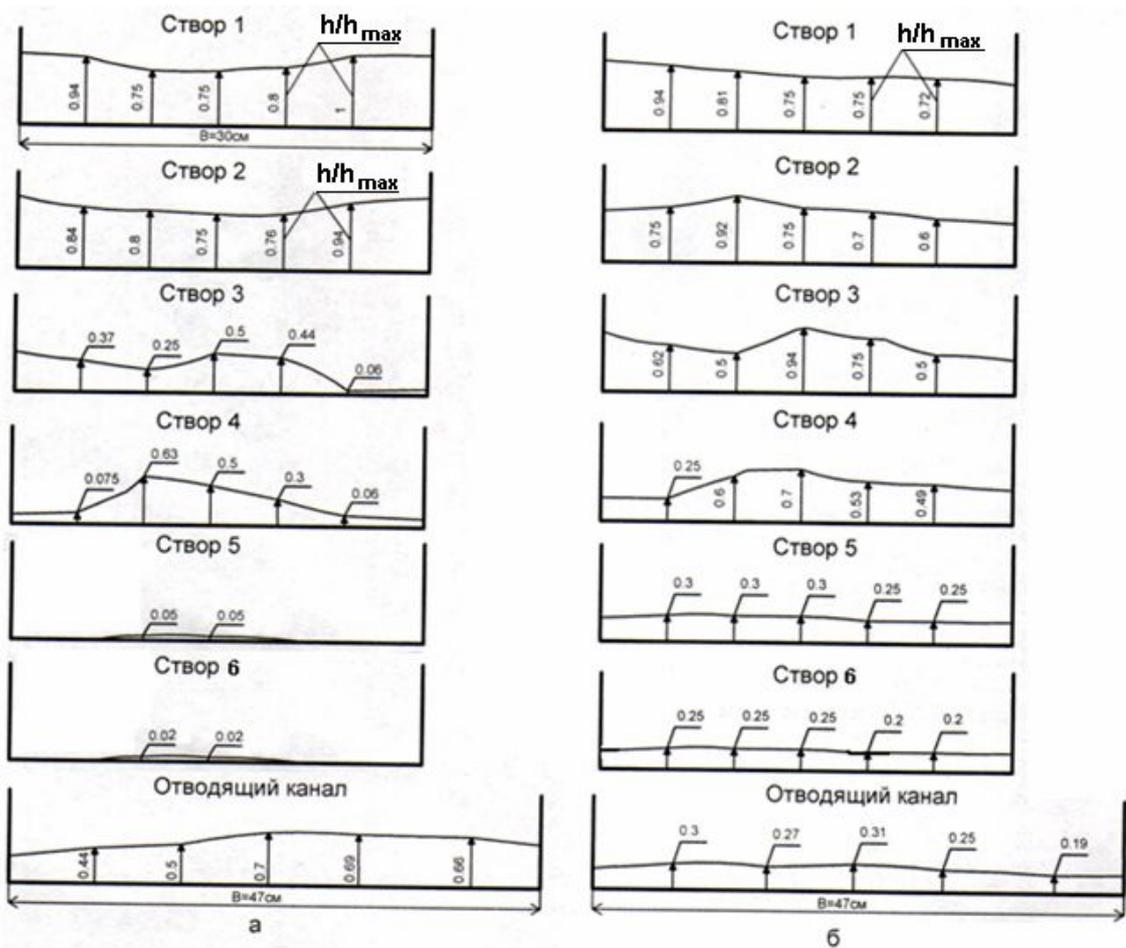


Рис. 4.31. Поперечные профили по ширине ГЛЛ над ВКСТ и в отводящем канале: а) при $Q=0,6Q_{\max}$ и $a=a_{\max}$; б) при $Q=0,5Q_{\max}$ и $a=0,5a_{\max}$.

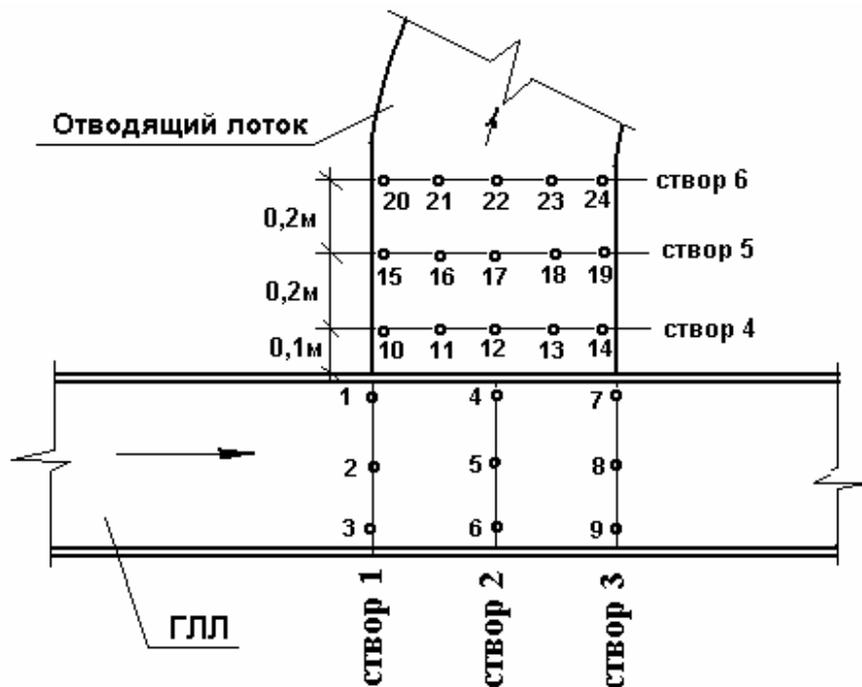


Рис. 4.32. Схема расположения створов на модели ВКСТ, в которых выполнялись замеры скоростей.

Полученные значения скоростей сведены в табл. 4.13, по которой построены эпюры скоростей, изображенные на рис. 4.33.

Анализ замеров скоростей в ГЛЛ и отводящем лотке позволяет сделать заключение об относительной равномерности распределения скоростей на выходе из вододелителя в отводящий канал.

Таблица 4.13 – Данные модельных измерений местных скоростей потока в ГЛЛ и отводящем лотке в зоне влияния модели ВКСТ при транзитном расходе $Q=6.0 \text{ м}^3/\text{с}$ и открытиях боковых затворов $a_1=a_2=0,18 \text{ м}$

№ створа	№ мерной вертикали	Скорости в точках вертикали v_n м/с	
		На глубине $h=0,2h$	На глубине $h=0,8h$
1	1	$v_1^{0,2h}=1,17$	$v_1^{0,8h}=1,19$
	2	$v_2^{0,2h}=1,23$	$v_2^{0,8h}=1,25$
	3	$v_3^{0,2h}=1,14$	$v_3^{0,8h}=1,17$
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	$v_6^{0,2h}=1,09$	$v_6^{0,8h}=1,10$
3	7	$v_7^{0,2h}=1,10$	$v_7^{0,8h}=1,12$
	8	$v_8^{0,2h}=1,17$	$v_8^{0,8h}=1,18$
	9	$v_9^{0,2h}=1,05$	$v_9^{0,8h}=1,08$
4	10	$v_{10}^{0,2h}=0,053$	$v_{10}^{0,8h}=0,057$
	11	$v_{11}^{0,2h}=0,059$	$v_{11}^{0,8h}=0,061$
	12	$v_{12}^{0,2h}=0,059$	$v_{12}^{0,8h}=0,061$
	13	$v_{13}^{0,2h}=0,047$	$v_{13}^{0,8h}=0,05$
	14	$v_{14}^{0,2h}=0,051$	$v_{14}^{0,8h}=0,054$
5	15	$v_{15}^{0,2h}=0,051$	$v_{15}^{0,8h}=0,053$
	16	$v_{16}^{0,2h}=0,056$	$v_{16}^{0,8h}=0,059$
	17	$v_{17}^{0,2h}=0,055$	$v_{17}^{0,8h}=0,057$

	18	$v_{18}^{0,2h}=0,045$	$v_{18}^{0,8h}=0,048$
	19	$v_{19}^{0,2h}=0,049$	$v_{19}^{0,8h}=0,049$
Продолжение табл.4.13			
6	20	$v_{20}^{0,2h}=0,049$	$v_{20}^{0,8h}=0,052$
	21	$v_{21}^{0,2h}=0,051$	$v_{21}^{0,8h}=0,054$
	22	$v_{22}^{0,2h}=0,049$	$v_{22}^{0,8h}=0,051$
	23	$v_{23}^{0,2h}=0,043$	$v_{23}^{0,8h}=0,046$
	24	$v_{24}^{0,2h}=0,047$	$v_{24}^{0,8h}=0,050$

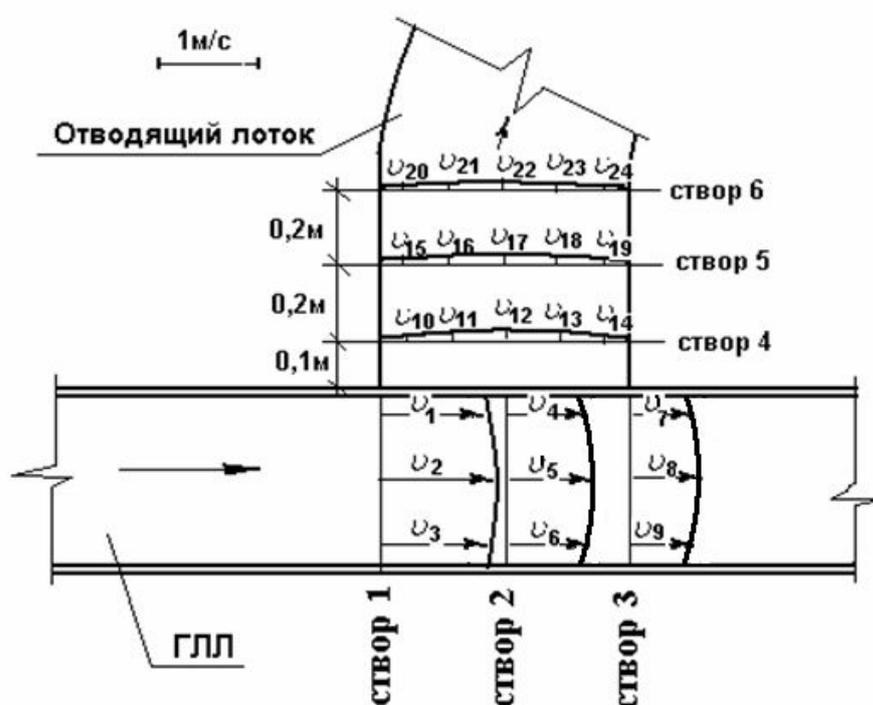


Рис. 4.33. Эпюры распределения средних скоростей в ГЛЛ и отводящем канале в зоне влияния модели ВКСТ при расходе подводящего канала $Q=0,5Q_{\max}$ и открытии затворов $a=0,5a_{\max}$.

Проведенные гидравлические исследования позволили сделать следующие **выводы**:

1. Коэффициенты расхода усовершенствованной конструкции ВКСТ принимают значения от $\mu=0,335-0,41$. Среднее значение $\mu_{cp}=0,38$.

2. Усовершенствованная конструкция вододелителя для сверхбурных потоков ВКСТ обладает на 12% большей пропускной способностью, чем ее прототип – водовыпуск для каналов с бурным течением (ВКБТ) за счет наиболее обтекаемой ромбовидной формы стержней сородерживающей решетки.
3. Предложенная конструкция ВКСТ может использоваться при вододелении на каналах не только со сверхбурным, но и с бурным течением. При этом более высокая пропускная способность новой конструкции по сравнению с ВКБТ позволит снизить стоимость строительства водораспределительного сооружения.
4. ВКСТ позволяет обеспечить достаточно равномерное распределение скоростей на выходе из вододелителя и устранить сбойность потока в отводящем канале.
5. Влияние ВКСТ на гидравлический режим транзитного канала при открытиях боковых затворов $a \leq 0.5a_{max}$ минимальное, что подтверждается результатами исследований скоростной структуры потока на вододелителе.

4.6 Методика расчета вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ)

По результатам проведенных исследований усовершенствованной конструкции вододелителя для каналов со сверхбурным течением была разработана методика его гидравлического расчета.

Исходными данными для расчета ВКСТ являются следующие параметры: максимальный расход в канале Q_{max} и расход максимального волнообразования Q_{max}^B , уклон дна подводящего участка быстротока i и отводящего i_2 , коэффициент шероховатости облицовки n , ширина по дну b и коэффициент заложения откосов m , параметры катящихся волн: фазовая

скорость C_{*np} , наибольшая длина и период λ_{max} , τ_{max} , наибольшая глубина в гребне $h''_{np(max)}$, минимальная глубина в подошве h'_{np} , высота волны $h_{в np}$, расход отводящего канала $Q_{отв}$ (при наличии двух отводов, расход каждого из них) и коэффициент водоотбора $\alpha_в = Q_{отв}/Q$. Перечисленные волновые характеристики определяются согласно методике, приведенной в рекомендациях [149].

Предложенный вододелитель для каналов со сверхбурным режимом течения (ВКСТ) предназначен для забора воды из магистральных каналов-быстротоков с уклоном дна i_2 отводящего участка транзитного канала за вододелителем больше критического $i_{кр}$. Расход отвода $Q_{отв} \leq Q$, т.е. сооружение может быть рассчитано на 100% односторонний или двухсторонний водоотбор ($\alpha_в=1$) в открытый ирригационный канал или деривацию. Вододелитель для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ) новой конструкции рекомендуется применять на быстротечных каналах взамен вододелителя ВКСРТ. Уклон дна подводящего участка быстротока $i''_{кр} \leq i < 0,08$, расход воды $Q \leq 25 \text{ м}^3/\text{с}$ (при такой же максимальной величине отбора $Q_{отв}$), уклон дна на отводящем участке $i_2 \geq i_{кр}$.

Рассмотрим основы гидравлического расчета сооружений водораспределения при перечисленных выше исходных данных.

Конструкция вододелителя и расчетная схема описана в разделе 4.2.

Основные габаритные размеры донной траншеи вододелителя определяются по характеристикам отводящего канала из условия пропуска расчетного расхода отводов (одного или двух) аналогично ВСКСТ [70].

7. Количество камер донной траншеи принимаем из следующего условия.

При величине отводимого расхода воды $Q_{отв} < 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$ принимаем одну камеру донной траншеи; при $1,0 \text{ м}^3/\text{с} < Q_{отв} < 3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ принимаем две камеры; при $Q_{отв} > 3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ принимаем три камеры траншейного типа.

8. Общая длина плиты вододелителя равна:

$$l_{пл} = \sum a_i + \sum t_i + \sum a_k, \quad (4.21)$$

где a_i – ширина по верху камер между перегородками; t_i – толщина перегородок с учетом верхнего горизонтального козырька; a_k – ширина верхнего горизонтального козырька на задней стенке траншеи вододелителя.

Сначала определим длину плиты под первой камерой при максимальном расходе волнообразования.

$$a_1 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_1 \cdot \rho_1 \cdot b \sqrt{2g \cdot H_1}}, \quad (4.22)$$

где $\Delta Q_i = Q_{омс} / n$, n – количество принятых секций вододелителя; μ_1 – коэффициент расхода плиты над первой секцией определяем по зависимостям из табл. 4.9, например:

$$\mu_1 = 0.0002 Fr_{cp}^2 - 0.0104 Fr_{cp} + 0.5443, \quad (4.23)$$

где параметр Фруда:

$$Fr_1 = \frac{\alpha \cdot v_6^2}{g \cdot h_1}, \quad (4.24)$$

где h_1 – глубина в середине первой секции.

Коэффициент Кориолиса для сверхбурного потока принят равным $\alpha = 1,045$. Действующий напор на первой секции решетчатой плиты вычисляем с учетом скорости v_6 .

Полный действующий напор над первой секцией вододелителя:

$$H_1 = h_6 + \frac{\alpha \cdot v_6^2}{2 \cdot g}. \quad (4.25)$$

Глубину в середине второй секции плиты принимаем равной:

$$h_2 = h_6 / 2. \quad (4.26)$$

Средняя скорость потока принимается одинаковой для всей решетчатой плиты.

Параметр Фруда для второй секции плиты:

$$Fr_2 = \frac{\alpha \cdot v_6^2}{g \cdot h_2} \quad (4.27)$$

Коэффициент расхода μ_2 для второй секции плиты принимаем по табл. 4.9.

Полный напор над второй секцией вододелителя:

$$H_2 = h_2 + \frac{\alpha \cdot v_6^2}{2 \cdot g}. \quad (4.28)$$

Длина плиты над второй камерой вододелителя:

$$a_2 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_2 \cdot \rho_2 \cdot b \sqrt{2g \cdot H_2}}. \quad (4.29)$$

Глубину в середине третьей секции плиты принимаем равной:

$$h_3 = h_2 / 2. \quad (4.30)$$

Расчет параметров третьей секции донной траншеи проводится по аналогии с двумя первыми.

Суммарная толщина входных отверстий секций вододелителя $\sum a_i$ составит:

$$\sum a_i = a_1 + a_2 + a_3.$$

Толщину армированной перегородки между камерами принимаем равной $t=0,1 \dots 0,2$ (м).

Суммарная толщина перегородок при трех секциях траншеи и двух стенок равна:

$$\sum t_i = 4 \cdot t. \quad (4.31)$$

Длину отсекающих горизонтальных козырьков в конце каждой камеры принимаем, согласно рекомендаций Голубенко М. И. [63]:

$$a_k = 0,2 \cdot a_2. \quad (4.32)$$

Общая длина козырьков:

$$\sum a_k = 2 \cdot a_k. \quad (4.33)$$

Длина каждой камеры по низу будет равна:

$$l_1 = l_2 = l_i = \frac{\sum a_i + \sum a_k}{n}, \quad (4.34)$$

где n – количество принятых секций водodelителя.

Проверочный расход воды в отвод при полностью открытых боковых отверстиях плоских затворов водodelителя, т.е. при свободном истечении вычисляется по зависимости:

$$Q_{омв} = \mu \cdot p \cdot l_n \cdot b \cdot \sqrt{2gH'_{cp}}, \quad (4.35)$$

где μ – коэффициент расхода решетчатой плиты;

$P = \omega_{омв} / \omega_{nl}$ – доля площади отверстий во всей плите,

$$P = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n_k} \quad (4.36)$$

l_n и b – длина и ширина решетчатой плиты;

H'_{cp} – действующий напор в середине решетчатой плиты равный

$$H'_{cp} = 0,5(H'_n + H'_k) = 0,5(H'_n + m_b H'_n), \quad (4.37)$$

где $H'_n = h_{max} + \alpha v_1^2 / 2g, \quad (4.38)$

$m_b = H'_k / H'_n$ – относительный напор, вычисляемый по зависимости:

$$m_b = 0,375\alpha_b^2 - 1,4307\alpha_b + 1,0545. \quad (4.39)$$

Коэффициент расхода плиты μ определяется в зависимости от степени открытия боковых затворов a/a_{max} и параметра Фруда для потока в подводящем канале Fr_{cp} по следующим эмпирическим зависимостям, представленным в табл. 4.9.

9. Параметры донной траншеи.

Глубина донной траншеи определяется по формуле:

$$h_{mp} = h_{кр.мп} + \Delta h ; \quad (4.40)$$

$$h_{кр.мп} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot \Delta Q^2}{g \cdot l_i^2}} ; \quad (4.41)$$

Δh – запас, $\Delta h = 0,2$ м.

Уклон дна траншеи должен быть равен или больше критического исходя из условия транспорта донных наносов:

$$i_{mp} = \frac{Q^2}{\omega^2 \cdot C^2 \cdot R} , \quad (4.42)$$

где ω – площадь живого сечения потока в траншее:

$$\omega = h_{mp} \cdot l_1 . \quad (4.43)$$

Параметры траншеи определяются типовым гидравлическим расчетом из уравнения Шези [114].

Углы наклона перегородок β определяем геометрически исходя из соблюдения параметров a_i и a_k с тем, чтобы обеспечивалось равенство секций траншеи по низу.

Параметры Г-образных козырьков.

Ширина Г-образных козырьков:

$$b_{з.к.} = 0,12 \cdot l_1 . \quad (4.44)$$

Длина вертикальной части козырьков:

$$h_{з.к.} = 0,5 \cdot b_{з.к.} . \quad (4.45)$$

Глубина расположения Г-образного козырька относительно дна канала:

$$h_{расп.з.к.} = 0,5 \cdot h_{mp} . \quad (4.46)$$

Глубина донной траншеи в ее конце определяется геометрически исходя из уклона дна канала.

Результаты проведенных исследований и разработанная методика расчета ВКСТ позволили составить рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации усовершенствованных вододелителей, нашедших отражение в разделе 5.4 диссертации.

ГЛАВА 5

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ, ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОМЕРНЫХ И ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГОРНО-ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ

5.1 Опыт внедрения водомерного и водораспределительных сооружений на канале Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского района Жалалабатской области

Массив расположения канала Верхний Ак-Куп располагается в предгорной зоне.

Канал Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского района Жалалабатской области забирает воду из р. Кылдау с расходом 2,8 м³/с (форсированный расход) для обеспечения поливной водой орошаемую площадь 2 800 га.

Канал Верхний Ак-Куп находится в бассейне р.Кугарт, которая в верховье на первых 17 км от истоков (до одноименного притока) называется Кылдау.

По административному положению р.Кугарт находится на территории Тогуз-Тороусского района Джалалабатской области.

Истоки р.Кугарт находятся на восточном склоне Ферганского хребта на высоте 3000-3200м. Имея общее направление течения на север, и пройдя 50 км р. Кугарт впадает в р. Кекирим в 2,3 км от устья. В свою очередь р.Кекирим является одним из крупных притоков р.Нарын.

Водозабор канала Верхний Ак-Куп находится в 29 км от устья р.Кылдау и 1 км ниже устья р.Ойкаин. Площадь водосбора реки в створе водозабора – 249 км², средневзвешенная высота – 2486 м, средний уклон русла - 33‰, ширина русла реки в межень составляет 8-15 м, в половодье – 20-25 м и более. Максимальная глубина в межень – 1,0 м, в половодье – до

2,5 м. По типу питания р.Кугарт (Кылдау) относится к группе рек снегово-ледникового питания.

Трасса канала Верхний Ак-Куп пересекает большое количество сухих водотоков, на которых сток наблюдается только в периоды таяния снега (март-апрель), выпавшего зимой в бассейнах водотоков и выпадения ливневых осадков, преимущественно в апреле – июне.

Наибольшую опасность представляют водотоки в начале трассы канала до ПК6, где она проходит в узкой, труднодоступной долине, крутизна склонов достигает 200-300%. В бассейнах водотоков развита эрозия. Далее по трассе канала, за исключением сая на ПК 29+47, который является селевым наносоводного типа, водотоки являются неселевыми. Бассейны их имеют густой травяной покров, русла устойчивые, задернованные, размыв отсутствует.

Расчет максимальных расходов воды на водотоках, пересекаемых трассой канала произведен согласно [150, 151].

На водотоках, где сели отсутствуют, максимальные расходы воды подсчитаны по формуле предельной интенсивности [151]:

$$Q_{P\%} = q_{1\%} \cdot \varphi \cdot H \cdot \delta \cdot \lambda_{P\%} \cdot A, \quad (5.1)$$

где $q_{1\%}$ – максимальный модуль стока вероятностью превышения равной 1%, определяется в зависимости от гидроморфометрической характеристики русла, продолжительности склонового добега и района нахождения водотока; $H_{1\%}$ – максимальный суточный слой осадков вероятностью превышения $P=1\%$, принятый по станции Казарман; φ – сборный коэффициент стока; $\lambda_{P\%}$ – переходный коэффициент от расхода $P=1\%$ к расходу другой обеспеченности; δ – коэффициент, учитывающий зарегулированность стока проточными озерами, прудами; A – площадь водосбора, км².

Максимальные наносоводные селевые расходы подсчитаны по формуле [151]:

$$Q_c = \frac{Q_{жс}}{1 - 2,33 \sin \alpha}, \quad (5.2)$$

где Q_c – селевой расход, м³/с; $Q_{жс}$ – жидкий расход воды, м³/с; α – угол наклона русла на участке длиной 300 м от сооружения вверх по течению.

Максимальные грязекаменные селевые расходы подсчитаны по упрощенной формуле [151]:

$$(Q_c)_{\max} = K_s \cdot K \cdot Q_{\max}, \quad (5.3)$$

где K_s – коэффициент валообразования, принимаемый при расходах менее 1000 м³/с равным 2,5; K – коэффициент, учитывающий характер русла, грунты, обрушения бортов русла, устойчивость грунта и др. факторы.

Расчетные расходы приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 - Максимальные расходы воды на временных водотоках

№ №	ПК на канале	A, км ²	L, км	i рус- ла, ‰	Sin α	Расчетные расходы, м ³ /с				Примеча ние
						1%	3%	5%	10%	
1.	0+42	1,6	3,7	336	0,37	16,3	13,7	12,4	10,7	грязека менные
2.	6+00	0,9	2,0	100	0,26	14,7	12,3	11,1	9,70	грязека менный
3.	18+29	0,3	1,4	195	0,16	0,61	0,51	0,46	0,40	наносо- водный
4.	19+57	2,4	4,5	213	0,16	2,49	2,09	1,90	1,64	наносо- водный
5.	29+47	4,3	5,3	211	0,12	3,21	2,69	2,44	2,12	наносо- водный
6.	41+96	0,6	3,0	99	0,22	0,55	0,47	0,41	0,37	наносо- водный
7.	56+12	5,6	8,3	130	0,09	3,13	2,62	2,38	2,06	наносо- водный
8.	64+53	8,0	9,0	140	0,06	3,87	3,26	2,94	2,56	наносо- водный
9.	91+45	0,7	1,9	166	0,06	0,70	0,59	0,53	0,47	наносо- водный

Продолжение табл. 5.1										
10.	93+00	0,9	2,3	104	0,09	0,90	0,76	0,68	0,59	наносо- водный
11.	111+18	7,1	7,0	135	0,16	6,35	5,34	4,83	4,19	наносо- водный
12.	121+44	0,8	2,7	74	0,06	0,43	0,36	0,33	0,28	наносо- водный
13.	127+53	3,3	5,6	117	0,06	1,66	1,40	1,27	1,09	наносо- водный
14.	136+42	12,1	8,7	165	0,06	6,59	5,53	5,01	4,35	наносо- водный
15.		0,75	1,87	352	0,23	35,0	29,4	26,6	23,1	грязeka менные

Первой (I-ой) очередью строительства определено проектирование основного канала протяженностью 13,6 км и 1,47 км сбросного канала для обеспечения поливной водой земель площадью 458 га. На ПК 136+00 основного канала запроектирован тройник, от которого вода поступает в отвод на село Чет-Булак для обеспечения поливной водой и в сбросной канал (рис.5.1) [150].

На сбросном участке канала Верхний Ак-Куп (быстроток) запроектированы: один гидрост типа ВСКСТ на ПК37+70 и два вододелителя типа ВКСТ на ПК38+30 и ПК150+70 для обеспечения поливной водой 176,7 га орошаемых земель (I очередь). Быстроточный участок канала облицован и имеет трапециевидальное поперечное сечение. Уклон канала равен 0,0615, ширина по дну 1,0 м, заложение откосов 1,5, наполнение 0,34 м, коэффициент шероховатости 0,017 и рассчитан на пропуск форсированного расхода воды с расходом 2,8 м³/с (табл. 5.2).

Гидравлические расчеты запроектированных конструкций водомера и вододелителей выполнены в соответствии с методиками расчета, приведенными в главах 3 и 4 диссертации.

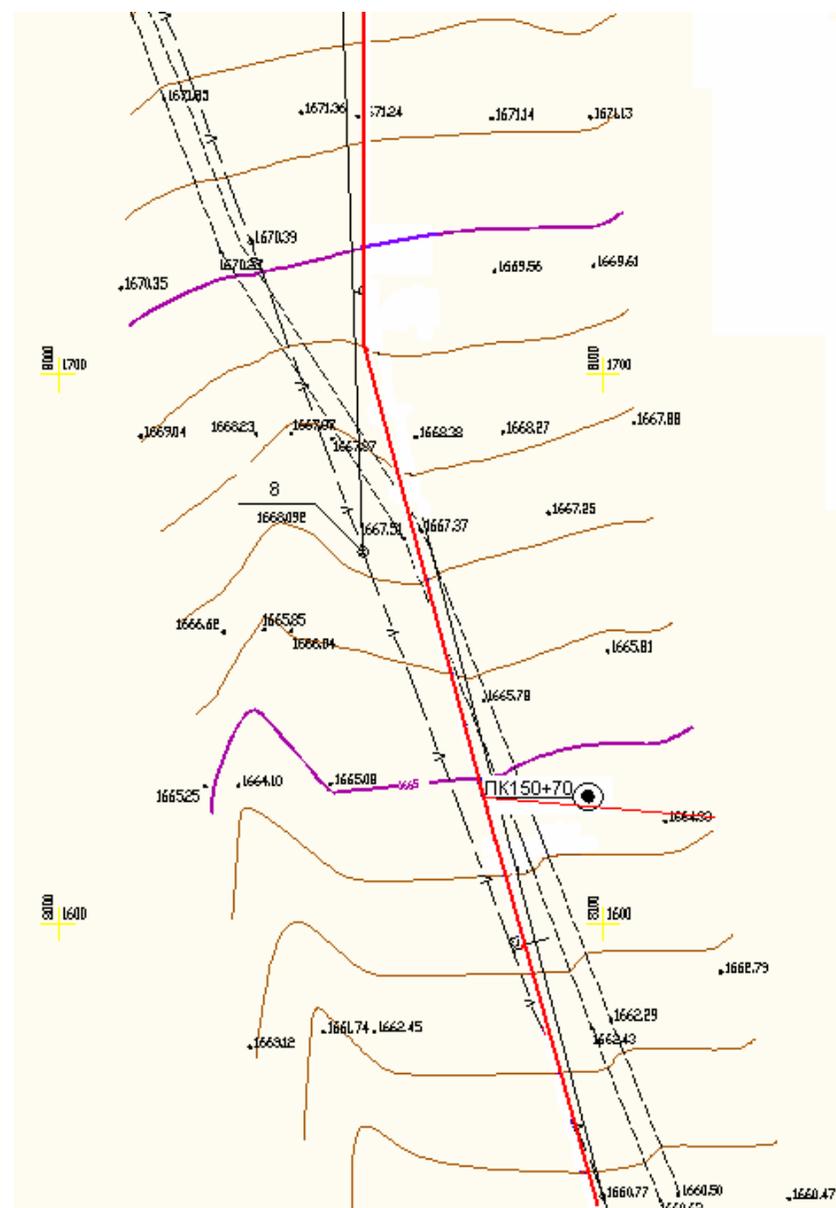
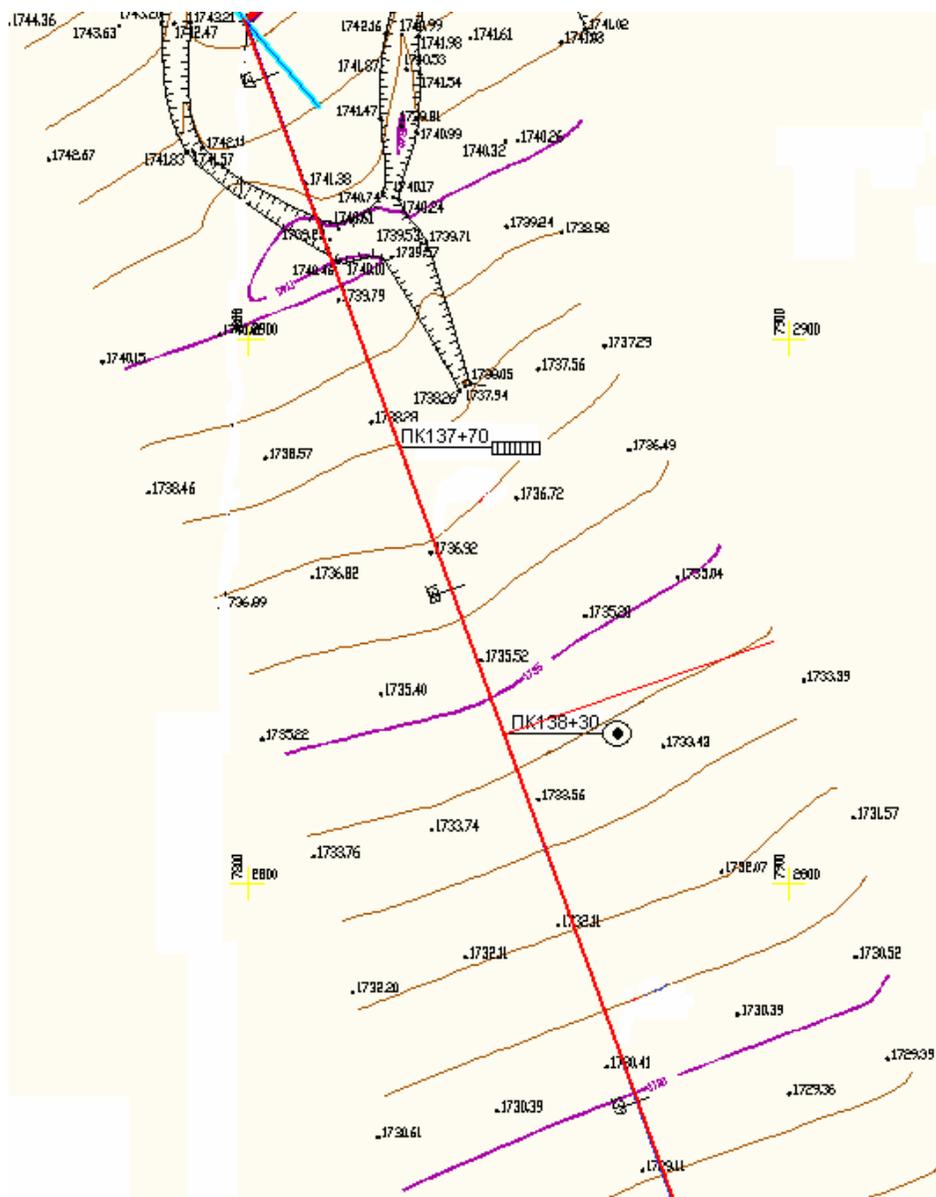


Рис. 5.1. Генплан участков канала Ак-Куп, на которых расположены гидропост и вододелители.

Таблица 5.2 – Гидравлический расчет канала Верхний Ак-Куп

Ширина по дну b , м	Заложение откоса, m	Коэффициент шероховатости, n	Уклон, i	Наполнение, h , м	Площадь сечения w , m^2	Смоченный периметр x , м	Гидравлический радиус сечения, R , м	Коэффициент Шези, C	Расход, Q , $m^3/сек$	Скорость течения V , м/сек	Критическое наполнение $h_{кр}$, м (трапециoidalное сечение)
1	1,5	0,017	0,0615	0,34	0,52	2,24	0,23	44,92	2,8	5,37	0,62

Расчет водомерного и водораспределительных сооружений выполнялся в соответствии со схемами на рисунках П.2.1 и П.2.1 в Приложении 2 последовательно: сначала был рассчитан гидропост, а затем два одинаковых вододелителя.

Проведенные расчеты позволили запроектировать указанный комплекс гидросооружений на канале Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороузского района Жалалабатской области, а затем установить экономический эффект в объеме 12,5 млн. сомов от внедрения предлагаемых мероприятий в производство.

Копия акта внедрения водомерного сооружения и двух водовыпусков из канала Верхний Ак-Куп прилагается (Приложение 3).

5.2 Опыт внедрения водораспределительного сооружения на Иссык-Атинском подпитывающем канале для орошения земель АВП «Эпкин-Суу» Иссык-Атинского района Чуйской области

Водораспределительное сооружение располагается на Иссык-Атинском подпитывающем канале ПК 36+82 в Иссык-Атинском районе Чуйской области в 12 км южнее поселка А.Токтоналиева, который находится в 50 км от г.Бишкек и в 30 км от районного центра г.Кант (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Схема существующей оросительной сети АВП «Эпки́н-Суу» Иссык-Атинского района.

Иссык-Атинский подпитывающий канал (ИПК) берет свое начало в БДР, расположенном на р. Иссык-Ата. Направление воды в канале на месте объекта внедрения северное. 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 месте реконструированного водораспределительного сооружения располагался водовыпуск траншейного типа, не оборудованный средствами защиты от наносов и наполовину забитый камнями.

В соответствии с ранее разработанным проектом [152], траншейный водовыпуск соединен при помощи труб диаметром 1,0 м, проложенными под дорогой, проходящей вдоль Иссык-Атинского подпитывающего канала, с водораспределительным колодцем, откуда поступает во внутрихозяйственную оросительную сеть.

В процессе проведения проектно-изыскательских работ на объекте внедрения были составлены естественноисторическая, климатическая, геологическая, гидрологическая и другие характеристики объекта [152].

По результатам геодезической съемки было получено планово-высотное обоснование, позволившее построить профиль трассы Иссык-Атинского подпитывающего канала, уточнить его уклон, наполнения в канале, а также построить профиль трассы отводящего канала и запроектировать водораспределительное сооружение на объекте внедрения.

Расчет водомерного и водораспределительного сооружений на ИПК выполнялся в соответствии с описанными в разделах 3.8 и 4.6 методиками их расчета, полученными на основе экспериментальных исследований, выполненных в КРСУ при непосредственном участии автора диссертации [153]. Расчеты приведены в Приложении 4.

Проектно-конструкторские разработки водомерного сооружения типа ВСКСТ и водораспределительного сооружения, включающего ВКСТ, выполнялись в соответствии с техническим заданием на проектирование,

исходя из полученных расчетных характеристик вододелителя. Комплект чертежей, включающий чертеж общего вида, арматурно-опалубочный чертеж, сборочный чертеж сооружения, а также детализировку металлоконструкций сооружения, послужили основанием для реконструкции водораспределительного сооружения на Иссык-Атинском подпитывающем канале. Основные параметры ВКСТ на ИПК таковы: размеры отверстия в дне канала: $3,37 \times 1,20 \times 3,65$ (м), донный колодец включает две камеры траншейного типа, длина волногасящей плиты $l_k = 3,65$ м, глубина донной траншеи $h_{tr}^n = 0,8$ м, угол наклона вертикальной части перегородки $\beta = 30^\circ$, ширина Г-образного козырька $b_{ск} = 0,17$ м, длина отсекающего козырька $a_k = 0,25$ м.

Проведение монтажно-строительных работ на объекте внедрения осуществлялось силами Иссык-Атинского РПРЭО (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Водораспределительное сооружение на ИПК на ПК36+82:

а) вид с верхнего бьефа ВКСТ на отводящий участок ИПК; б) вид с нижнего бьефа ВКСТ на подводящий участок ИПК.

Расчет экономической эффективности от внедрения комплекса мероприятий для орошения земель АВП «Эпкин-Суу» Иссык-Атинского района приведен ниже в разделе 1.5.

5.3 Опыт внедрения водораспределительного сооружения на Бургандинском массиве Кадамжайского района Баткенской области (III – очередь)

Постановлением правительства Кыргызской Республики № 593 от 14 декабря 2007 г. в программу строительства водохозяйственных объектов и освоения новых орошаемых земель включен объект «Орошение Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области» (III-очередь).

Объект внедрения находится в Кадамжайском районе Баткенской области Кыргызской Республики, в 80 км от г. Кызыл-Кия, в 2 км от с. Факел (рис. 5.4).

В геоморфологическом отношении участок работ повсеместно приурочен к адырной зоне, обрамляющей Бургандинскую долину с северо-запада.

Адырная зона вытянута в субширотном направлении, т.е. параллельно оси основной региональной тектонико-геоморфологической единицы – Ферганской депрессии. Рельеф местности представляет собой сильно расчлененную эрозионными саями поверхность адырного типа.

Геологическое строение изучаемого участка характеризуется повсеместным распространением аллювиально-пролювиальных отложений современного и верхнечетвертичного возрастов ($арQ_{III-IV}$). Сейсмичность района в соответствии со СНиП 20-02-2004 составляет 8 баллов.

Уровень подземных вод находится на глубине более 30 м. По химическому составу подземные воды относятся к сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-магниевым, по степени жесткости к мягким и умеренно жестким, по общей минерализации к пресным и слабо солоноватым.

Запроектированная оросительная сеть берет начало из Бургандинского магистрального канала системы р.Сох.

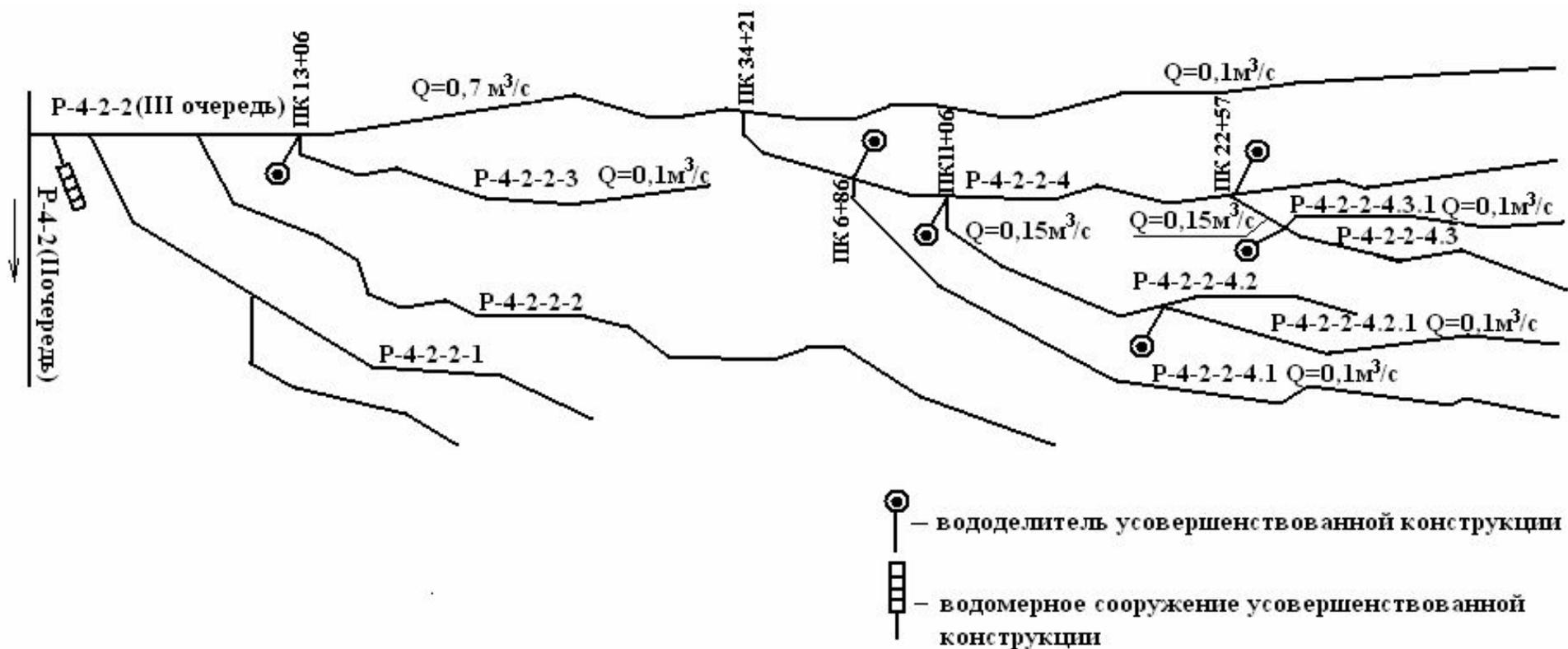


Рис. 5.4. Схема оросительной системы Бургандинского массива орошения Кадамжайского района Баткенской области (III – очередь).

В настоящее время построен магистральный канал до ПК15+57,5, включающий дюкер (I-очередь); магистральный канал от ПК15+57,5 до своего конца на ПК32+00, распределительная оросительная сеть второго порядка (P-1, P-2, P-4, P-5) и часть распределительной сети третьего порядка (P-4-1, P-5-1) (II-очередь). Ведется подготовка к строительству III очереди объекта.

Предлагаемые вододелители типа ВКСТ в количестве 6 шт. запроектированы на каналах P-4-2-2 (ПК 13+06), P-4-2-2-4 (ПК06+86, ПК11+06, ПК22+57), P-4-2-2-4.2 (ПК 12+45) и P-4-2-2-4.3 (ПК01+76) трапецеидального сечения распределительной сети III очереди строительства. Характеристики каналов Бургандинской системы, на которых предусматривается строительство следующие. Максимальный расход распределительного канала P-4-2-2 $Q_{\phi} = 0,7 \text{ м}^3 / \text{с}$, уклон дна $i = 0.0458$, канал выполнен в бетонной облицовке. Расход канала P-4-2-2-4 изменяется от $Q_{\phi} = 0,6 \text{ м}^3 / \text{с}$ в голове до $Q_{\phi} = 0,1 \text{ м}^3 / \text{с}$ в концевой части на ПК 35+66, средний уклон канала $i = 0.05$. Максимальные расходы воды в каналах P-4-2-2-4.2 и P-4-2-2-4.3 составляют $Q_{\phi} = 0,15 \text{ м}^3 / \text{с}$, средние уклоны трассы этих каналов $i = 0,035 \dots 0.05$. Каналы выполнены в бетонной облицовке. Расход одностороннего отбора воды во внутривозвратные каналы предусмотрен в пределах от $Q_o = 0,1 \text{ м}^3 / \text{с}$ до $Q_o = 0,25 \text{ м}^3 / \text{с}$. Подробный гидравлический расчет одного из вододелителей приведен в Приложении 5.

Поскольку вододелители расположены на каналах трапецеидального сечения, их конструкции несколько отличаются от ВКСТ, сконструированных для прямоугольного сечения русла. Схема одного из вододелителей типа ВКСТ на канале P-4-2-2 (ПК 13+06) приведена в Приложении 5.

В голове распределителя P-4-2-2 на ПК01+05 запроектировано водомерное сооружение ВСКСТ, гидравлический расчет которого выполнен в соответствии с методикой расчета, приведенной в разделе 3.8.

При проектировании III очереди оросительной сети Бургандинского массива предусмотрены меры по предупреждению и борьбе со смывом почв, включающие агротехнические мероприятия, имеющие важное значение. Эти мероприятия заключаются в восстановлении и повышении плодородия почвы, применении специальных способов обработки почвы и посева, проведению простейших мер по задержанию и регулированию поверхностного стока. В качестве инженерного приема, обеспечивающего снижение скорости поверхностного стока и предупреждение смыва почвенного слоя на склонах, рекомендуется террасирование.

На массиве орошения предусматривается возделывать сады и виноградники.

Экономическая эффективность предлагаемых мероприятий обоснована расчетом ТЭП, приведенным в Приложении 6 диссертации. Общие ежегодные чистые выгоды составляют 6,7 млн. сомов.

Проведенные разработки, исследования и апробация в производственных условиях предложенных сооружений позволили составить рекомендации по расчету, проектированию, строительству и эксплуатации водомерных и водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках.

5.4 Основные рекомендации по расчету, проектированию, строительству и эксплуатации водомерных и водораспределительных сооружений

5.4.1 Рекомендации по расчету, проектированию, строительству и эксплуатации водомерных сооружений

В основу проектирования водомерных сооружений положен гидравлический расчет. Его целью является определение геометрических

размеров сооружения, необходимых и достаточных для качественного водоучета на канале.

Предлагаемые водомерные сооружения могут применяться на каналах-быстротоках с бурным и сверхбурным режимами течения, при чем, не только в голове каналов, где еще не успел сформироваться волновой режим течения, но и на транзитной части перед распределительными сооружениями, где имеет место высокоскоростное нестационарное движение потока воды в канале.

Исходными данными для расчета ВСКСТ является следующие параметры: максимальный расход в канале Q_{\max} и расход максимального волнообразования Q_{\max}^B , уклон дна подводящего участка быстротока i и отводящего участка i_2 , коэффициент шероховатости облицовки n , ширина по дну b и коэффициент заложения откосов m , параметры катящихся волн: фазовая скорость C_{*np} , наибольшая длина и период λ_{\max} , τ_{\max} , наибольшая глубина в гребне $h''_{np(max)}$, минимальная глубина в подошве h'_{np} , высота волны $h_{6 np}$. Перечисленные волновые характеристики определяются согласно методики, приведенной в рекомендациях [1, 65].

Водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ) новой конструкции рекомендуется применять на быстротечных каналах горно-предгорной зоны. Уклон дна подводящего участка быстротока $0,08 > i > i_{кр}$, расход воды $Q \leq 25 \text{ м}^3/\text{с}$.

Необходимо отметить, что водомер ВСКСТ может применяться и для учета воды на ирригационных каналах, а также деривационных каналах для микро и малых ГЭС.

Основные конструктивные размеры водомерного сооружения типа ВСКСТ определяются в соответствии с методикой его гидравлического расчета, представленной в разделе 3.8.

Рекомендации по проектированию и эксплуатации водомерного сооружения состоят в следующем.

Уровнемерная рейка устанавливается и закрепляется на задней стенке успокоительного колодца так, чтобы к ней был доступ оператору.

Сооружение поверяется метрологической службой после ввода в эксплуатацию и подписания акта внедрения в производство.

На начальной стадии проектирования водомерного сооружений на канале–быстротоке необходимо предварительно выполнить технические изыскания. Содержание изыскательских работ оговариваются инструкциями по водохозяйственному строительству [155].

Сооружение водоучета принимается того же класса капитальности, что и быстротечный канал, на котором оно проектируется [156].

Статические и динамические нагрузки, оказывающие воздействие на водомерное сооружение усовершенствованной конструкции определяются по СНиП II – 57 – 75 и существующей методике.

Для строительства бетонных и железобетонных элементов водомерного сооружения, выполняемых по СНиП 11.06.08 – 87, рекомендуется применять, гидротехнический бетон, отвечающий требованиям СНиП II. 03. 01 – 84.

Удобно и экономично строить сооружения с использованием сборного железобетона. Например, для строительства боковых стенок сооружения можно использовать серийно выпускаемые Г-образные блоки. В случае строительства ВСКСТ можно выполнить стенки успокоительной камеры, перегородки донной траншеи и др. из сборных армированных плит на заводе железобетонных изделий.

Размеры типовых конструктивных элементов сооружений из сборного железобетона должны отвечать единой модульной системе и назначаться с учетом СНиП П-54-77, П-56-77. Число типоразмеров необходимо сократить до минимума, при этом следует руководствоваться номенклатурой изделий, выпускаемых предприятиями строительной индустрии отрасли.

Защита от коррозии металлических элементов водомерного сооружения должна предусматриваться согласно СНиП II – 03. 11 – 85 «Защита строительных конструкций от коррозии». Металлические части сооружений подлежат окраске водостойкой краской.

Таким образом, проектирование вышеперечисленных водомерных сооружений сводится к определению на основе гидравлического расчета размеров их основных элементов, определению материалов для использования этих элементов и компоновке их в единое целое.

При проектировании комплекса гидротехнических сооружений на быстротечных каналах со сверхбурным течением, включающих водомерное сооружение, необходимо учитывать их влияние на работу друг друга. Это влияние ограничивается прямой гидравлической связью, так как обратной гидравлической связи в потоках с бурным и сверхбурным течением нет. Следовательно, характер функционирования средств управления, находящихся ниже по течению, не сказывается на работе вышележащих сооружений.

В то же время изменение параметров течения сооружениями и конструкциями для управления сверхбурными потоками, расположенными выше по течению, вызывают перестройку работы нижерасположенных сооружений.

Изменение расхода может быть учтено уравнением баланса [68], используемого при рассмотрении способов автоматизации объекта.

Эксплуатация и обслуживание водомерного сооружения должна проводиться персоналом РУВХ, который закреплен за данным сооружением и участком канала.

В задачи гидрометров входит своевременное выполнение замеров гидравлических характеристик потока, поддержание ВСКСТ в рабочем состоянии, обеспечение эксплуатационной надежности сооружения.

К эксплуатационному обслуживанию водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ) относятся следующие виды работ:

- наблюдение уровней воды в успокоительном колодце;
- учет расходов и стока воды в канале-быстротоке;
- пропуск паводковых расходов;
- очистка решетки и успокоительного колодца от сора и плавающих тел, а также периодическая очистка водоприемной траншеи влекомых наносов.

Перед началом эксплуатации сооружения осуществляется тарировка водомерного поста, которая повторяется ежегодно перед началом каждого эксплуатационного сезона.

Режим эксплуатации водомерного сооружения, кроме того, включает профилактику, ремонт, надзор за работой сооружения и его охрану.

Учет расходов воды обеспечивается наблюдением путем снятия визуальной информации по водомерной рейке, либо автоматически при помощи датчиков уровня, установленных в успокоительной камере. Величина стока определяется перемножением полученных расходов на время поддержания данного расхода.

Комплекс мероприятий по борьбе с паводками организуются на головных водозаборных узлах оросительных систем. Однако на этот период должно быть организовано дежурство эксплуатационного персонала, обеспечивающего своевременную очистку водопропускных отверстий и камер всех сооружений, в том числе и сооружений водоучета, от мусора и наносов.

При обслуживании водомерного сооружения необходимо [32]:

- следить за сохранностью, чистотой и пригодностью к работе решетки, чтобы исключить возможность ее перекоса и заклинивания;

- периодически осуществлять технический осмотр с устранением обнаруженных дефектов;
- в периоды прекращения подачи воды в канал-быстроток и опорожнения успокоительной камеры осуществлять осмотр внутренних и внешних частей, находящихся в рабочем состоянии под водой;
- в случае забивки камеры донного колодца удалить наносы и плавник;
- в вегетационный период периодически производить осмотр и очистку уровнемерной рейки.

При консервации на зиму необходимо провести очистку решетки сооружения, а также перегородок и козырьков от мусора и грязи, окрасить металлические поверхности с внутренней и внешней сторон.

Рекомендации по поддержанию водомерного сооружения в рабочем состоянии [32]

Для поддержания водомерного сооружения в рабочем состоянии выполняются следующие виды работ:

- а) натурное наблюдение за состоянием и работой сооружения;
- б) уход за сооружением;
- в) ремонт сооружения.

Контроль за состоянием и работой водомерного сооружения осуществляется:

- а) визуальным наблюдением;
- б) инструментальным измерением.

Визуальное наблюдение проводится путем наружного осмотра сооружения при ежедневных обходах его эксплуатационным персоналом и использованием простейших подручных оборудования.

Инструментальное измерение осуществляется эксплуатационным персоналом при необходимости определения степени деформации (разрушения) сооружения для подсчета объема и стоимости восстановительных работ.

При эксплуатации водомерного сооружения регулярно проводится наблюдение:

- а) за деформацией сооружения (осадки, размывы, оползни, заиление, зарастание и др.);
- б) за фильтрацией через основания сооружения и суффозией грунта;
- в) за воздействием ледяного покрова и низких температур на бетонные и металлические части сооружения.

Состав наблюдений за деформацией земляных насыпей вдоль сооружения включает наблюдения:

- а) за зарастанием насыпей вдоль подводящего и отводящего участков;
- б) за плановой деформацией участка канала;
- в) за осадками оснований сооружения;
- г) за разрушением откосов подводящего и отводящего участков канала.

Наблюдение за деформацией элементов сооружения заключается:

- а) в повторной нивелировке продольного и поперечных профилей и других характерных необлицованных элементов сооружения;
- б) при просадках, вспучиваниях и других местных деформациях элементов сооружения - отмечают их месторасположение и замеренные параметры.

Наблюдение за состоянием дна и берегов в бьефах сооружения проводится для контроля и выработки необходимых мероприятий по обеспечению устойчивости сооружения путем проведения укрепительных (ремонтных) работ.

Состав наблюдений за деформацией бетонного сооружения включает наблюдение:

- а) за осадками сооружения и его основания;
- б) за перемещением сооружения и отдельных его частей в плане;
- в) за местными деформациями сооружения - истирание, появление крупных трещин, раскрытие швов и др;
- г) за деформацией в бетонной облицовке сооружения.

Наблюдение за состоянием и деформацией бетонной части сооружения проводится визуально персоналом гидроучастка при ежедневных обходах сооружения, а при значительных деформациях (разрушениях) путем нивелировки. Места и размеры деформации отмечаются в журнале.

Состав наблюдений за фильтрацией через основание сооружения включает наблюдение:

- а) за появлением и проявлением фильтрационного расхода и скоростями фильтрации;
- б) за очагами фильтрации и выносом фунта фильтрационным потоком.

Наблюдение проводится, в основном, визуально. При этом должны отмечаться все случаи разрушения откосов и других частей сооружения с целью проведения неотложных восстановительных работ.

Состав наблюдения за отложением наносов включает наблюдение:

- а) за заилением подводящего и отводящего участка канала, верхнего и нижнего бьефа сооружения;
- б) за заилением успокоительного колодца, соединительных труб и других элементов сооружения.

Наблюдения за наносами проводятся с целью очистки сооружения от них и восстановления заданной (прежней) точности измерения расходов воды.

Промеры (нивелировка) отложенных наносов приурочиваются к периодам, когда по рекам транспортируется значительное количество не только взвешенных, но и влекомых наносов (весенние и летние паводки, периоды ливней и продолжительных дождей).

Техническое обслуживание элементов сооружения заключается в следующем [32]:

- а) наружная поверхность элементов сооружения (откосы, бермы и др.) поддерживаются в рабочем состоянии. При обнаружении на них дефектов (трещин, просадок, размывов, оползней, других повреждений) принимаются меры по их устранению;

- б) земляные насыпи вокруг сооружения должны предохраняться от повреждений;
- в) посадка деревьев вдоль берегов подводящего и отводящего участков канала, а также самого сооружения не допускается;
- г) при обнаружении дефектов в пределах сооружения (просадка, оползни и др.) должны быть приняты меры по скорейшему их устранению.

Уход за водопроводящей частью сооружения заключается в следующем [32]:

- а) облицовка сооружения всегда должна содержаться в исправном состоянии. При обнаружении дефектов (просадка, разрушение облицовки и др.) должны приниматься необходимые меры по их устранению;
- б) сооружение должно содержаться в чистоте от наносов и бытового мусора;
- в) при обнаружении просадки за облицовкой сооружения неотлагательно должна производиться засыпка пустот грунтом в смеси с гравием;
- г) при наличии значительной фильтрации через основание сооружения должны быть приняты меры к ее ликвидации;
- д) водопроводящая часть сооружения должна периодически полностью опорожняться от воды для осмотра и ремонта.

Уход за сооружением заключается в следующем [32]:

- а) крупные повреждения при их обнаружении подлежат скорейшему устранению;
- б) скапливаемые в пределах сооружения наносы, во избежание ухудшения метрологических характеристик и разрушения сооружения, должны регулярно удаляться путем промыва или ручной очистки.

Уровнемерная рейка, устанавливаемая в успокоительном колодце, подвергается периодической проверке и, при необходимости, дополнительному креплению.

Ремонт водомерного сооружения имеет ряд особенностей. Не реже одного раза в год комиссией под руководством главного инженера Управления водного хозяйства и с участием работников эксплуатационного

гидроучастка должно проводиться подробное обследование состояния водомерных сооружений.

На основе обследования и материалов текущих эксплуатационных наблюдений комиссия устанавливает объем, состав и календарный график выполнения необходимых работ по ремонту.

Установленные комиссией мероприятия по ремонту сооружения на текущий год должны включаться в производственный план по эксплуатации гидропоста.

Устранение дефектов неотложного характера, выявленных в процессе текущих эксплуатационных наблюдений, выполняется в аварийном порядке по специальному графику, утвержденному главным инженером управления водного хозяйства.

Приемка из текущего ремонта осуществляется начальником гидроучастка, а капитального ремонта специальной комиссией управления водного хозяйства с участием представителей эксплуатационного гидроучастка.

По мере выполнения ремонтных (особенно капитальных) работ по сооружению в его эксплуатационную документацию вносятся соответствующие дополнения и изменения (по режиму истечения, пропускной способности, погрешности измерения и др.), вытекающие из характера и качества проведенных работ.

Места проведенных ремонтных работ, а также все дополнения и изменения в конструкцию сооружения, внесенные при ремонте, должны быть внесены в схемы и чертежи сооружения за подписью начальника эксплуатационного гидроучастка.

Рекомендации по улучшению условий эксплуатации водомерных сооружений [32]

Улучшение условий эксплуатации водомерных сооружений - это комплекс технических и гидрометрических работ, а также организационно-хозяйственных мероприятий, имеющих целью обеспечить учет воды и

контроль правильного ее использования, а также получение гидрометрических данных, необходимых для осуществления правильной технической эксплуатации самого сооружения.

Основная задача нормального содержания водомерного сооружения - это поддержание его в технически исправном состоянии, при этом основным критерием технически исправного состояния сооружения является соответствие его параметров проектным размерам с погрешностью измерения расходов воды, не превышающей 5%.

Обычно основная ответственность при эксплуатации водомерных сооружений ложится на работников гидроучастков, которые, в силу объективных и субъективных причин, не всегда справляются с поставленными задачами: гидропосты работают без соответствующих ремонтов, градуировка сооружений проводится некачественно и порою неправильно, иногда применяются непригодные к использованию средства измерения (вертушки, нивелиры, секундомеры), сами работники нуждаются в повышении квалификации.

Повышение точности измерения расходов воды на водомерном сооружении, в том числе улучшение условий их эксплуатации, требуют выполнения комплекса технических, организационных и хозяйственных мероприятий, к числу которых могут быть отнесены [32]:

- прием на работу специалистов в соответствии с предъявляемыми к ним квалификационными требованиями;
- знание работников гидроучастка своих обязанностей в соответствии с должностными инструкциями;
- систематическое повышение своей деловой квалификации в области учета водных ресурсов и гидрометрии;
- обеспечение работников гидроучастка технической литературой, в первую очередь инструкциями и нормативными документами по проектированию, строительству, эксплуатации и аттестации водомерных сооружений;

- обеспечение работников гидроучастка средствами измерения, в том числе нивелирами, нивелирными рейками, гидрометрическими вертушками, гидрометрическими трубками «Зама», секундомерами и др.;
- регулярные госповерки измерений, в том числе самих водомерных сооружений;
- обеспечение работников гидроучастка вычислительной техникой (персональными компьютерами или калькуляторами с возведением в степень), миллиметровой бумагой, кальками, бланками, необходимыми при выполнении градуировочных, расчетных и других видов работ;
- ежегодное проведение градуировочных работ;
- выполнение капитальных ремонтных работ осенью, текущих - весной;
- обеспечение строительными материалами ремонтных работ, в соответствии с разработанным и утвержденным планом мероприятий;
- обеспечение транспортом для перевозки людей и строительного материала не только в периоды проведения ремонтных работ, но и в периоды осмотра сооружений и проведения замеров на них;
- отдельные категории работников гидроучастка должны быть обеспечены спецодеждой, аптечкой;
- гидрометрические мосты на гидростаях должны быть стационарными, при скоростях течения более 1,5-2,0 м/с – оборудованы перилами. Однако не запрещается использование специально сконструированных переносных гидрометрических мостиков на каналах с малыми расходами воды;
- работники гидроучастка в обязательном порядке должны соблюдать на водомерных сооружениях правила безопасности, гигиены труда и производственной санитарии;
- могут быть и другие предложения, улучшающие условия эксплуатации водомерных сооружений.

Необходимые условия для успешного выполнения работ на водомерных сооружениях должны быть созданы, наравне с работниками самого гидроучастка, и управлением водного хозяйства.

Техника безопасности, гигиена труда и производственная санитария

Все работники гидроучастка должны хорошо знать и повседневно выполнять правила техники безопасности, гигиены труда и производственной санитарии [31,32].

В соответствии с законодательством Кыргызской Республики о труде на администрацию водохозяйственной организации возлагается разработка инструкций по технике безопасности и охране труда. Инструкции устанавливают право на выполнения работ и поведения работников на эксплуатационных гидротехнических участках, в том числе на водомерных сооружениях [32].

Меры по технике безопасности, охране труда и производственной санитарии должны проводиться по заранее разработанному плану (договору), согласованному между администрацией и местным комитетом.

Обязанности работников службы гидроучастка при эксплуатации водомерного сооружения

В обязанности работников службы эксплуатации гидроучастка РУВХ и УМРК входит [32]:

Приемка сооружения и его оборудования после строительства с оценкой пригодности его для измерения расходов воды с допустимой погрешностью;

Заведение технического паспорта на сооружение с выполнением следующих видов работ:

- а) производство нивелировок с охватом подводящего, измерительного и отводящего участков канала;
- б) измерение параметров сооружения и его оборудования;
- в) вычерчивание чертежей (продольного и поперечных профилей и других характерных элементов сооружения и его оборудования);
- г) оформление (заполнение) технического паспорта сооружения.

Подготовка водомерного сооружения к метрологической аттестации с выполнением следующих видов работ [32]:

- а) проведение ремонтных работ на сооружении;
- б) приведение высоты уровня по рейке к нулю графика;
- в) удаление растительности, наносов, бытового мусора с участков в зоне сооружения;
- г) прочистка прорезей на входе в траншею сооружения и успокоительного колодца от наносов;
- д) оформление протокола обследования состояние водомерного сооружения;
- е) сообщение о готовности сооружения к метрологической аттестации в РУВХ и УМРК.

Содержание всей документации (в том числе протокола и свидетельства аттестации, ведомостей измеренных расходов) сооружения в сохранности [32].

Содержание в рабочем (исправном) состоянии сооружения и его оборудования, правильный учет водных ресурсов по ним.

Содержание в рабочем (исправном) состоянии всех средств измерения (нивелира, вертушки, гидрометрической трубки «Зама», секундомера и т.д.), используемых при эксплуатации сооружения.

Сообщение об истечении срока межповерочного интервала сооружения и других средств измерения (нивелира и т.д.) и постановка вопроса об их государственной поверке в управление водного хозяйства.

Своевременное представление в управление водного хозяйства необходимых документов (дефектных актов на ремонт сооружения по определению объемов предлагаемых к выполнению ремонтных работ, проектно-сметной документации по улучшению технического состояния сооружения) для включения в оперативный и перспективный планы управления водным хозяйством.

Своевременное проведение контрольных измерений расходов воды.

Своевременная обработка всех гидрометрических материалов.

Сообщение в соответствующее Управление водного хозяйства данные по расходам воды по данному сооружению в требуемые сроки.

Прекращение по согласованию с Управлением водного хозяйства *подачи воды* водопользователем через сооружение при возникновении аварийных ситуаций, грозящих его разрушением, и принятие мер по быстрой их ликвидации.

Прекращение по согласованию с Управлением водного хозяйства *подачи воды* в заиленные хозяйственные каналы, если по вине водопользователей, не проводящих регулярную их очистку, не обеспечивают пропуск плановых (расчетных) расходов воды.

Совершенствование своей *деловой квалификации* и принятие мер по повышению доверия водопользователей к замерам расходов воды по водомерному сооружению.

Внесение в управление оросительной системы *предложения по улучшению* технического состояния сооружения, а вместе с ним - и метрологических его характеристик.

Соблюдение правил техники безопасности при проведении ремонтных и измерительных гидрометрических работ.

Знание инструкции по ведению гидрометрических работ, правил технической эксплуатации водомерного сооружения и свои должностные инструкции по ведению гидрометрических работ.

5.5.2 Рекомендации по расчету, проектированию, строительству и эксплуатации водораспределительных сооружений

Основой проектирования водораспределительных сооружений является гидравлический расчет, цель которого - определение геометрических размеров сооружения, необходимых и достаточных для пропуска заданного расхода воды [121].

Исходными данными для расчета ВКСТ являются следующие параметры: максимальный расход в канале Q_{\max} и расход максимального волнообразования Q_{\max}^B , уклон дна подводящего участка быстротока i_1 и отводящего i_2 , коэффициент шероховатости облицовки n , ширина по дну b и коэффициент заложения откосов m , параметры катящихся волн: фазовая скорость C_{*np} , наибольшая длина и период λ_{\max} , τ_{\max} , наибольшая глубина в гребне $h''_{np(max)}$, минимальная глубина в подошве h'_{np} , высота волны h_e , $h_{e\ np}$, расход отводящего канала $Q_{отв}$ (при наличии двух отводов, расход каждого из них) и коэффициент водоотбора $\alpha_e = Q_{отв}/Q$. Перечисленные волновые характеристики определяются согласно методики, приведенной в рекомендации [142].

Для быстротечных каналов с уклоном $i_{кр} \leq i < 0,08$, расходом $Q \leq 25 \text{ м}^3/\text{с}$ и параметром Фруда $1 \leq Fr \leq 25$ могут быть рекомендованы несколько типов сооружений водораспределения, в том числе вододелители с постоянной и переменной пропорцией деления расхода α_e , водовыпуски-стабилизаторы и водораспределительные узлы. Область применения этих средств управления сверхбурными потоками определяется их функциональным назначением и особенностями конструкции.

Так, предложенный вододелитель для каналов со сверхбурным режимом течения (ВКСТ) предназначен для забора воды из магистральных каналов-быстротоков с уклоном дна i_2 отводящего участка транзитного канала за вододелителем больше критического $i_{кр}$. Расход отвода $Q_{отв} \leq Q$, т.е. сооружение может быть рассчитано на 100% односторонний или двухсторонний водоотбор ($\alpha_e=1$) в ирригационные каналы. Вододелитель для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ) новой конструкции рекомендуется применять на быстротечных каналах взамен вододелителя ВКРСТ. Уклон дна подводящего участка быстротока $i_{кр} \leq i < 0,08$, расход воды $Q \leq 25 \text{ м}^3/\text{с}$ (при такой же максимальной величине отбора $Q_{отв}$), уклон дна на отводящем

участке $i_2 \geq i_{кр}$. Необходимо отметить, что вододелитель ВКСТ может применяться и для забора воды в деривацию микро и малых ГЭС.

Методика гидравлического расчета сооружений водораспределения при перечисленных выше исходных данных приведена в разделе 4.5.

Перед началом проектирования и строительства водораспределительных сооружений на быстротечных каналах требуется выполнить технические изыскания. Содержание изыскательских работ оговариваются инструкциями по водохозяйственному строительству.

Сооружение водораспределения принимается того же класса капитальности, что и быстротечный канал, на котором оно проектируется [156].

Статические и динамические нагрузки, оказывающие воздействие на водораспределительное сооружение усовершенствованной конструкции определяются по СНиП II – 57 – 75 и существующей методике.

Так, например, статический расчет перегородок вододелителя и других ГТС, входящих в состав водораспределительных сооружений и испытывающих воздействие катящихся волн, выполняется с учетом нестационарного динамического усилия, которое, в соответствии с рекомендациями Б.М. Габриадзе [157] можно определить по формуле:

$$R = \beta_d R_{cm}, \quad (5.4)$$

где β_d - коэффициент динамичности, равный, согласно [156]:

$$\beta_d = (1 + 0,5h_b / h_0) \quad (5.5)$$

R_{cm} – динамическое усилие в случае нестационарного (бурного) потока

$$R_{cm} = \xi K_f / 2 \Omega U_{cx}^2, \quad (5.6)$$

ξ и K_f - коэффициенты сопротивления;

Ω – миделево (горизонтальное) сечение данной перегородки;

U_{cx}^2 - продольная компонента скорости стационарного потока при заданном расходе Q и уклоне дна i канала-быстротока, принимаемая равной средней скорости $U_{cx} = U_0$ при равномерном движении.

Бетонные элементы водораспределительного сооружения выполняются по СНиП 11.06.08–87 с использованием гидротехнического бетона, отвечающего требованиям СНиП II. 03.01–84.

Основные особенности проектирования и строительства ВКСТ аналогичны приведенным выше в подразделе 5.4.1 для водомерных сооружений типа ВСКСТ.

Задачами службы эксплуатации являются периодический осмотр сооружения, выполнение графика водоподачи при работе вододелителя, постоянное поддержание ВКСТ в рабочем состоянии, а также обеспечение его эксплуатационной надежности.

К эксплуатационному обслуживанию вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ) относятся следующие виды работ:

- регулирование расходов воды в отводящий канал;
- учет расходов и стока воды, подающихся в отводящий канал;
- пропуск транзитных, в т.ч. паводковых расходов для других потребителей ВХС;
- защита водоприемников от влекомых наносов, сора и плавающих тел, очистка донной решетки ВКСТ.

Службой эксплуатации обеспечивается также профилактика и ремонт вододелителя, наблюдение за его сохранностью.

Регулирование расходов воды в отводящие каналы по способу непосредственного отбора производится согласно графику водоподачи на орошение путем маневрирования затворами вододелителя.

Основные мероприятия по борьбе с паводками организуются на головных водозаборных узлах оросительных систем. Однако этот период эксплуатации является экстремальным и для сетевых гидротехнических сооружений, так как, во-первых, идет пропуск максимальных расходов из

головного сооружения в систему и, во-вторых, возможно поступление нерасчетных путевых расходов из водотоков, граничащих с каналом-быстротоком и примыкающим к нему.

Поэтому на этот период должно быть организовано дежурство эксплуатационного персонала, обеспечивающего своевременную очистку водопропускных отверстий сооружений от мусора и наносов, выполняющего аварийный подъем затворов с целью недопущения переполнения бьефов канала-быстротока.

При обслуживании вододелителя необходимо:

- следить за сохранностью и пригодностью к работе уплотнений, производить при необходимости их замену, для чего проверять работу затвора в рабочем диапазоне открытия затвора от $a=0$ до $a=a_{max}$, т.е. до полного открытия, чтобы исключить возможность перекоса и заклинивания затворов;
- в процессе работы вододелителя периодически осуществляется технический осмотр с устранением обнаруженных дефектов;
- в периоды прекращения подачи воды в канал-быстроток и опорожнения камеры водоприемника АВУ осуществлять осмотр внутренних и внешних частей, находящихся в рабочем состоянии под водой;
- в случае забивки камеры донной траншеи удалить плавник;
- в эксплуатационный период периодически производить смазку винтовых подъемников.

При профилактических ремонтах необходимо тщательно очистить затворы и перегородку от мусора и грязи, ржавчину удалить металлической щеткой, произвести окраску металлических поверхностей с внутренней и внешней сторон.

Дополнительными мерами к действующим нормам безопасности жизнедеятельности при эксплуатации сооружения являются:

- устройство ограждений на водораспределительном узле;

- размещение на ограждении предупреждающих надписей, запрещающих купание вблизи сооружений, оборудованных затворами;
- сооружение на водораспределительных узлах служебных мостиков с перилами для регулировочных и обслуживающих работ.

Соблюдение перечисленных требований по проектированию и эксплуатации будет способствовать надежной работе водораспределительных сооружений, оборудованных предложенными вододелителями для каналов со сверхбурным течением, в течение длительного периода времени.

5.6 Технико-экономическая эффективность применения сооружений водоучета и водораспределения на каналах оросительных систем Кыргызстана (на примере сооружений на Иссык-Атинском подпитывающем канале)

Сравнительный расчет и оценку экономической эффективности проведем на примере внедренного в производство водораспределительного сооружения на Иссык-Атинском подпитывающем канале в канал Ивановский для орошения земель АВП «Эпкин-Суу» Иссык-Атинского района Чуйской области.

Экономический эффект от реализации в промышленное производство системы водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расходов воды достигается за счет следующих факторов:

- экономии поливной воды;
- снижения себестоимости продукции.

Орошаемая площадь, структура посевов и урожайность культур

Объект расположен на территории Сын-Ташского айыльного округа Иссык-Атинского района Чуйской области.

Обслуживаемая площадь орошаемых земель под каналом Ивановский составляет 1768 га орошаемых земель. На этих землях расположены:

- АВП «Юрьевка-Суу» 1626 га;
- и частично земли АВП «Жетыген-Суу» -142 га. (общая площадь АВП «Жетыген-Суу» составляет 3 799 га).

В табл. 5.3 представлена информация о структуре посевов сельскохозяйственных культур под каналом Ивановский.

При этом 68,9% орошаемых земель занято зерновыми культурами, 16,9% многолетними травами, и остальная часть земель 14,2% используется под посевами картофеля, овощей, подсолнечника и сахарной свёклы.

Таблица 5.3 – Использование орошаемых земель под каналом Ивановский

Культуры	площадь, га	структура,%
Пшеница озимая	630	35,6%
Пшеница яровая	115	6,5%
Ячмень озимый	160	9,0%
Ячмень яровой	60	3,4%
Кукуруза на зерно	255	14,4%
Сахарная свёкла	75	4,2%
Подсолнечник	33	1,9%
Картофель	95	5,4%
Овощи	47	2,7%
Многолетние травы (сено)	298	16,9%
Всего	1768	100,0%

Урожайность сельхозкультур представлена за 3 последние года 2008-2010 года, табл. 5.4.

Таблица 5.4 – Урожайность сельхозкультур

Культуры	кг/га
----------	-------

	2008	2009	2010	ср. за 3 года
Пшеница озимая	2 400	3 200	3 000	2 867
Пшеница яровая	2 200	2 500	2 300	2 333
Ячмень озимый	1 850	2 670	2 000	2 173
Ячмень яровой	1 500	2 100	1 600	1 733
Кукуруза на зерно	6 200	7 600	7 440	7 080
Сахарная свёкла	20 000	24 000	25 000	23 000
Подсолнечник	1 000	1 000	1 000	1 000
Картофель	22 000	22 500	20 000	21 500
Овощи	16 000	18 500	18 000	17 500
Многолетние травы (сено)	7 540	7 730	7 500	7 590

Для определения воздействия намеченных мероприятий по реабилитации водораспределительного сооружения на ИПК приняты следующие предположения:

- Структура посевов в ситуации «с проектом» и «без проекта» не меняется;
- Урожайность сельхозкультур в ситуации «без проекта» принята на основе средней сложившейся за период 2008-2010 годы;
- Урожайность сельхозкультур в ситуации «с проектом» принята с учётом того, что реабилитация вододелителя сможет обеспечить стабильную подачу воду в канал Ивановский. В результате, сельскохозяйственные культуры на подвешенных орошаемых землях в течение вегетационного сезона могут получить один дополнительный полив.

В табл. 5.5 приводится структура посевов и урожайность сельхозкультур «до» и «после» проведения реабилитации.

Таблица 5.5 – Существующие и проектные показатели посевов и урожайности сельхозкультур

Культуры	Без проекта			С проектом			Прибавка урожайности кг/га
	Структура, %	площадь, га	урожайность, кг/га	Структура, %	площадь, га	урожайность, кг/га	

Пшеница озимая	35,6%	630	2 867	35,6%	630	3 067	200
Пшеница яровая	6,5%	115	2 333	6,5%	115	2 633	300
Ячмень озимый	9,0%	160	2 173	9,0%	160	2 373	200
Ячмень яровой	3,4%	60	1 733	3,4%	60	2 033	300
Кукуруза на зерно	14,4%	255	7 080	14,4%	255	7 480	400
Сахарная свёкла	4,2%	75	23 000	4,2%	75	31 000	800
Подсолнечник	1,9%	33	1 000	1,9%	33	1 100	100
Картофель	5,4%	95	21 500	5,4%	95	23 500	200
Овощи	2,7%	47	17 500	2,7%	47	21 500	400
Многолетние травы (сено)	16,9%	298	7 590	16,9%	298	9 090	1500
Всего	100,0%	1 768		100,0%	1 768		

Прибавка урожайности принята на основе «Нормативов прибавки урожайности важнейших сельскохозяйственных культур при повышении водообеспеченности существующих оросительных систем, их реконструкции, улучшении мелиоративного состояния и капитальной планировке земель», разработанных «Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова», Москва 1974 год.

Цены, затраты и прибыль культур

Для экономических расчётов по каждой культуре был составлен бюджет на их выращивание на 1 га «без проекта» и «с проектом».

Цены и затраты на производство культур приняты сложившиеся в Иссык-Атинском районе за 2010 год. Доход от каждой культуры определен как разница между её ценой и затратами на производство. Все расчёты приведены в Приложении 7.

При экономическом анализе затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание (ЭиТО) водораспределительного сооружения учитываются отдельно.

Налог на землю и отчисления в Социальный фонд также были исключены, так как это «передаточные платежи», а не реальные экономические затраты. То же самое касается аренды земель, так как это передаточные платежи между арендаторами и арендодателями. В любом случае, многие, если не все, фермеры имеют собственную землю, таким образом, не платят арендную плату.

Сводная таблица стоимости, затрат и прибыли на 1га приведена в табл. 5.6.

Сводная таблица стоимости, затрат и прибыли на всю площадь приведена в табл. 5.7.

Таблица 5.6 – Сводка по производству культур на 1 га

Культуры	сом/га					
	до реабилитации			после реабилитации		
	Выручка	Затраты	Прибыль	Выручка	Затраты	Прибыль
Пшеница озимая	37 692	17 062	20 631	34 624	17 362	22 960
Пшеница яровая	30 680	16 312	14 368	34 624	16 848	17 776
Ячмень озимый	22 056	11 427	10 629	24 086	11 779	12 307
Ячмень яровой	22 056	11 217	10 839	24 086	11 608	12 478
Кукуруза на зерно	92 748	27 726	65 022	97 988	28 650	69 338
Сахарная свёкла	28 750	25 435	3 315	38 750	30 170	8 580
Подсолнечник	15 500	15 925	-425	17 050	17 121	-71
Картофель	172 000	142 506	29 494	188 000	144 760	43 240
Овощи	105 000	57 968	47 032	129 000	67 545	61 455
Многолетние травы (сено)	26 565	12 882	13 683	31 815	14 210	17 605

Таблица 5.7 – Сводка по производству культур на всю площадь, сом

Культуры	Пло- щадь, га	до реабилитации			после реабилитации		
		Выручка	Затраты	Прибыль	Выручка	Затраты	Прибыль
Пшеница озимая	30	23 746 191	10 748 766	12 997 425	21 813 362	10 938 231	14 464 671
Пшеница яровая	15	3 528 181	1 875 865	1 652 316	3 981 804	1 937 507	2 044 297
Ячмень озимый	660	3 528 972	1 828 331	1 700 641	3 853 724	1 884 625	1 969 099
Ячмень яровой	60	1 323 364	673 024	650 340	1 445 146	696 453	748 693
Кукуруза на зерно	55	23 650 740	7 070 054	16 580 687	24 986 940	7 305 819	17 681 121
Сахарная свёкла	5	2 156 250	1 907 640	248 610	2 906 250	2 262 751	643 499
Подсолнечник	3	511 500	525 532	-14 032	562 650	565 000	-2 350
Продолжение таблицы 5.7							
Картофель	5	16 340 000	13 538 113	2 801 887	17 860 000	13 752 219	4 107 781
Овощи	7	4 935 000	2 724 482	2 210 518	6 063 000	3 174 637	2 888 363
Многолетние травы (сено)	98	7 916 370	3 838 970	4 077 400	9 480 870	4 234 505	5 246 365
Всего	768	87 636 568	44 730 775	42 905 793	92 953 746	46 751 749	49 791 538

Дополнительная прибыль, всего, сом – 6 885 745

Площадь, га – 1 768

Дополнительная прибыль на 1 га, сом – 3 895

Таким образом, в результате реабилитации водораспределительного сооружения на ИПК, дополнительная прибыль от на 1 га составит 3 985 сом, а со всей площади 6885745, сом.

Затраты проекта и ежегодные затраты на ЭиТО

Оценочные капитальные затраты на реабилитацию

водораспределительного сооружения на ИПК определены в сумме 156 100 сом, или 88 сом/га.

Ежегодные затраты, связанные с ЭиТО водораспределительного сооружения на ИПК в существующих условиях составляют:

2008 год 68 720 сом;

2009 год 79 630 сом;

2010 год 52 57 сом.

Среднегодовые затраты по ЭиТО «без проекта» составляют 66 970 сом, после реабилитации, т.е. «с проектом» эти затраты ежегодно будут составлять 5 300 сом. Таким образом, за счёт снижения затрат на ЭиТО ежегодно экономия составит 61670 сом.

Учитывая дополнительный доход от сельскохозяйственного производства, общий дополнительный чистый доход от мероприятий составит **6 974 415** сомов ($6\,885\,745 + 61\,670 = 6\,974\,415$).

ВЫВОДЫ

1. Оросительные системы в горно-предгорной зоне, отличающейся сложностью рельефа и большими уклонами местности, включают каналы-быстротоки с бурным и сверхбурным режимами течения воды в них. Существующие водораспределительные сооружения на каналах-быстротоках позволяют лишь частично обеспечить требования, предъявляемые к ним в условиях вододеления бурного потока в канале. При наличии сверхбурного потока в канале-быстротоке характеристики большинства существующих вододелителей резко ухудшаются, снижая надежность работы водораспределительного сооружения. Решение проблемы водораспределения на каналах-быстротоках требует создания новых научно-обоснованных конструкций водораспределительных сооружений траншейного типа, исключающих прямое вмешательство элементов сооружения в высококинетичный скоростной поток.
2. В настоящее время для водоучета на гидромелиоративных системах горно-предгорной зоны используются гидрометрические сооружения, к которым относятся гидропосты с фиксированным руслом, гидрометрические лотки, мерные водосливы и водомерные насадки. Эти водомерные сооружения на каналах-быстротоках не обеспечивают необходимой точности измерения расхода и объема стока воды, что особенно необходимо в условиях рыночной экономики. Исходя из основного назначения водомеров, разработана классификация целей и средств водоучета на оросительной системе. Анализ использования водомеров в условиях бурного и сверхбурного потоков на каналах-быстротоках предопределяет их дальнейшее совершенствование на базе преобразования энергии высокоскоростных потоков.
3. Предложена технология и схемы водоучета и водораспределения на быстротечных каналах оросительных систем в горно-предгорной зоне. Обоснована необходимость дальнейшего совершенствования водомерных и водораспределительных сооружений для улучшения их

технологических характеристик, повышения надежности работы самих сооружений и гидромелиоративной системы в целом.

4. Теоретически определены гидравлические характеристики сооружений для водоучета и водораспределения на каналах-быстротоках, позволившие обосновать особенности функционирования этих сооружений на каналах горно-предгорной зоны.

Математически получены выражения (2.34), (2.38), (2.42), описывающие истечение через водораспределительные сооружения траншейного типа, что позволило рассмотреть характеристики этих сооружений в условиях свободного, затопленного и подтопленного истечения на выходе из вододелителя в отводящий канал.

Математически полученные выражения в частных производных (2.56) – (2.68) позволили оценить особенности функционирования вододелителя траншейного типа в различных гидравлических режимах. Анализ зависимостей (2.56) – (2.64) показал, что наиболее приемлемыми с точки зрения регулирования и стабилизации отводимых расходов воды являются режимы свободного и затопленного истечения из-под затворов. Зависимости (2.66) – (2.68) выявляют также явную нестабильность гидравлических характеристик отводимого потока при переходе его из свободного истечения в затопленное, и наоборот (т.е. в подтопленном режиме истечения). Поэтому вододелители траншейного типа не рекомендуется применять на каналах-быстротоках в тех створах, где прогнозируется подпорно-переменный режим истечения из-под затворов вододелителей в отводящий канал.

5. Аналитически получено уравнение (2.44) для определения границ между свободным и затопленным истечением через вододелитель траншейного типа, позволившее графически описать зависимость $a/H = f(h_z/H; h_0/H)$ для различных величин открытий и напоров в верхнем и нижнем бьефах

сооружения, наглядно демонстрирующую границы режимов истечения через траншейный вододелитель. Построенные на основе выражения (2.44) графики (рис.2.7) могут использоваться в практике проектирования при определении области применения траншейных вододелителей на каналах оросительных систем.

Теоретически установлены водомерные свойства усовершенствованных водораспределительных сооружений траншейного типа в заданном интервале изменений расходов и скоростей потока на канале-быстротоке при свободном и затопленном истечении из-под затвора в отводящий канал, что позволило расширить функциональные возможности предложенных вододелителей.

6. Натурное обследование водомерных сооружений на каналах-быстротоках Кыргызстана показало, что установка в бурном и сверхбурном потоках устройств, создающих дополнительные сопротивления, например, в виде водосливов и лотков, приводит к выплескам воды за пределы канала, не совместимым с водоучетом, а также приводит к разрушению сооружения и части канала.
7. Предложено и экспериментально исследовано новое водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением (ВСКСТ) (Патент КР № 1338. Водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением / Лавров Н.П., Атаманова О.В., Бейшекеев К.К. и др.). По результатам модельных исследований установлены связи между конструктивными и гидравлическими параметрами ВСКСТ, получены относительные тарировочные зависимости (3.10) – (3.13) для усовершенствованных водомерных сооружений траншейного типа на каналах-быстротоках. Определена погрешность измерения расхода при использовании предлагаемой конструкции водомерного сооружения, не превышающая величины 5 – 7%.

Разработана методика инженерного расчета двух модификаций ВСКСТ (с тремя и с двумя камерами донной траншеи).

8. Натурными исследованиями вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения (ВКСРТ) обоснованы пути совершенствования водораспределительных сооружений для каналов со сверхбурным течением. Уточнена эмпирическая зависимость коэффициента расхода μ ВКСРТ от параметра Фруда Fr_{cp} и подтверждена стабилизирующая способность ВКСРТ при малых относительных открытиях боковых затворов. Высота трансформированных волн на отводящем участке канала ВКСРТ в среднем в 2 – 5 раз меньше высоты поступивших в него катящихся волн. Однако имеет место большая неравномерность распределения скоростей потока по ширине отводящего канала. Различие между величинами скоростей на выходе из вододелителя достигает до 97%.
9. Предложены новые компоновки водораспределителей-стабилизаторов (А.с. 1133341 СССР. Водораспределитель для каналов / Сатаркулов С.С., Бейшекеев К.К., Дуюнов П.И.), водораспределителей и водораспределителей-водомеров. Для предложенных компоновок водораспределительных сооружений проведены поисковые исследования, по результатам которых выявлена явная предпочтительность для каналов-быстротоков вододелителей траншейного типа с колодцем-гасителем. Приведенные конструкции используют принцип деления потока в плане и по вертикали, наиболее приемлемый для вододеления на каналах-быстротоках.
10. Разработан и исследован усовершенствованный вододелитель для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ) (Патент КР №1043. Вододелитель для каналов со сверхбурным течением / Лавров Н.П., Атаманова О.В., Бейшекеев К.К. и др.). По результатам модельных исследований установлены коэффициенты расхода ВКСТ в пределах $\mu = 0,335 - 0,41$, среднее значение $\mu_{cp}=0,38$. При малых открытиях

($a/a_{\max} < 0,85$) боковых затворов и расходах в подводящем быстротоке $Q/Q_{\max} > 0,4$ ВКСТ можно использовать в качестве стабилизатора расхода отвода. ВКСТ позволяет обеспечить достаточно равномерное распределение скоростей в отводящем канале на выходе из вододелителя. Влияние ВКСТ на гидравлический режим транзитного канала при открытиях боковых затворов $a \leq 0.5 a_{\max}$ минимальное, что подтверждено результатами исследований скоростной структуры потока на вододелителе.

Разработана методика инженерного расчета ВКСТ нескольких модификаций.

11. На основе апробации результатов разработок и исследований в производственных условиях составлены рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации водомерных и водораспределительных сооружений на каналах-быстротоках оросительных систем горно-предгорной зоны.
12. Предлагаемые методы расчета и конструирования применены при проектировании и строительстве ряда объектов Чуйской, Нарынской и Баткенской областей Кыргызской Республики. Годовой экономический эффект от внедрения в производство объектов с предложенными конструкциями водомерных и водораспределительных сооружений составил 6,8 млн. сомов в ценах 2011 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. Бейшекеев К.К. [и др.]. – Бишкек, 2007. – 165 с.
2. Филиппов Е.Г. Гидравлика гидрометрических сооружений для открытых потоков [Текст] / Е.Г. Филиппов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 286 с.
3. Филончиков А.В. Технология водоучета на мелиоративных системах [Текст] / А.В. Филончиков. – Кострома: Изд.КГСХА, 1997. – 156 с.
4. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений [Текст] / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
5. 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.
6. 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.
7. Железняков Г.В. Теории гидрометрии [Текст] / Г.В. Железняков. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 343 с.
8. Карасев И.Ф. Гидрометрия [Текст] / И.Ф. Карасев, И.Г. Шумков. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 384 с.
9. Hershy R.W. Stream flow measurement [Text] / R.W. Hershy. - London and New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. – 553 с.
10. Филиппов Е.Г. Измерение расходов воды на открытых каналах гидромелиоративных систем. Основные типы гидрометрических сооружений и устройств: Руководящий документ [Текст] / Е.Г. Филиппов. – М.: Изд. Минводхоза СССР, 1987. – 125 с.
11. Леви И.И. Моделирование гидравлических явлений [Текст] / И.И. Леви. – Л.: Энергия, 1967. – 235 с.
12. Правила измерения расходов газов и жидкостей стандартными сужающими устройствам [Текст]: РД-50-213-80. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 319 с.

13. Пикалов Ф.И. Ирригационные водомеры-регуляторы (парциальные) [Текст] / Ф.И.Пикалов, В.Я.Попова. – М.: ВНИИГиМ: ИОГИЗ-сельхоз, 1943. – 60 с.
14. Гидрологические приборы и гидрометрические сооружения [Текст] / Под ред. Г.С.Клейна, И.Г.Шумкова. –Л.: Гидрометеиздат, 1982. –123 с.
15. Атаманова О.В. Совершенствование систем автоматизации водораспределения с использованием гидравлических стабилизаторов расходов воды [Текст] / О.В.Атаманова. –Бишкек: Илим, 2002. – 91 с.
16. Бочкарев Я.В. Гидравлическая автоматизация водораспределения на оросительных системах [Текст] / Я.В.Бочкарев. – Фрунзе: Кыргызстан, 1971. –264 с.
17. Бочкарев Я.В. Гидроавтоматика в орошении [Текст] / Я.В.Бочкарев. –М.: Колос, 1978. –188 с.
18. Бочкарев Я.В. Эксплуатационная гидрометрия и автоматизация оросительных систем [Текст] / Я.В.Бочкарев. –М.: Агропромиздат, 1987. –175 с.
19. Бочкарев Я.В. Локальные системы стабилизации водоподачи на оросительных системах [Текст]: учеб. пособие / Я.В.Бочкарев, О.В. Атаманова. – Бишкек: КАА, 1997. –76 с.
20. Маковский Э.Э. Автоматизированные автономные системы трансформации неравномерного стока [Текст] / Э.Э. Маковский, В.В. Волчкова. – Фрунзе: Илим, 1981. –380 с.
21. Средства и методы водоучета в мелиорации и водном хозяйстве [Текст]. – М.: Мелиоводинформ, 1994. – 210 с.
22. Алтунин В.С. Приборы и устройства гидромелиорации [Текст]: справочник / В.С. Алтунин, Т.М. Белавцева. –М.: Агропромиздат, 1989. – 303 с.
23. Система технологических и коммерческих средств водоучета. Технология системного водоучета [Текст]: отчет НИР: разделы 1 и 2 / Совинтервод; руков. Маслов А.Б.; исп. Белавцева Т.М. [и др.], – М., 1993. – 101 с.
24. Бобровников Г.Н. Бесконтактные расходомеры [Текст] / Г.Н. Бобровников, Б.М. Новожилов, В.Г. Сарафанов. – М.: Машиностроение, 1985. – 128 с.
25. Бочкарев Я.В. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов в гидромелиорации [Текст] / Я.В. Бочкарев, М.З. Ганкин, Е.Е. Овчаров. –М.: Колос, 1969. – 300 с.

26. Коваленко П.И. Автоматизация мелиоративных систем [Текст] / П.И. Коваленко. – М.: Колос, 1983. – 304 с.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. Пикалов П.И. Водомерно-регулирующие сооружения внутрихозяйственной оросительной сети [Текст] / П.И. Пикалов, А.Я. Фалькович. – М.: Сельхозгиз, 1951. – 137 с.
31. Бейшекеев К.К. Водомерные сооружения и пути улучшения их работы [Текст] / С.С. Сатаркулов, К.К. Бейшекеев, Х.М. Маллаев. – Бишкек, 2000. – 95с.
32. Бейшекеев К.К. Руководство по эксплуатации водомерных сооружений [Текст] / С.С. Сатаркулов, К.К. Бейшекеев, Х.М. Маллаев. – Бишкек: ДВХ МСВХиПП, 2001. – 122 с.
33. 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.
34. 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.

35. Хамадов И.Б. Автоматические затворы с постоянным расходом воды для водовыпусков оросительных каналов [Текст] / И.Б. Хамадов, А.А. Гартунг // Гидротехника и мелиорация. – М., 1966. – №8. – С.14-20.
36. 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.
37. 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.
38. Ылясов А.И. Совершенствование методов управления режимами работы водопропускных гидротехнических сооружений [Текст]: автореф. дисс. докт. техн. наук: 06.01.02 / А.И. Ылясов. – М. -1994. – 53 с.
39. Шедрин В.Н. Метрологическое обеспечение водоучета и водоизмерения в отрасли: уровень и задача развития [Текст]/ В.Н. Шедрин, В.А. Бочкарева // Вопросы мелиорации. – 1996. – №5. –М.: ЦНТИ. – С. 57-62.
40. Ярцев В.Н. Эксплуатационная гидрометрия [Текст] / В.Н. Ярцев. – М.: Сельхозиздат, 1961. – 230 с.
41. ГОСТ 8.002–1971. Организация и порядок проведения поверки, ревизии и экспертизы средств измерений [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1971. – 48 с.
42. ГОСТ 8.010–1972. Общие требования к стандартизации и аттестации методик выполнения измерений [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1972. – 4 с.
43. ГОСТ 8.146–1975. Манометры дифференциальные показывающие и самопишущие с интеграторами ГСП. Методы и средства поверки [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1975. – 11 с.
44. ГОСТ 14012–1976. Расходомеры тахометрические шариковые ГСП [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1984. – 13 с.
45. ГОСТ 8.320–1978. Расходомеры электромагнитные. Методы и средства поверки [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1978. –10 с.
46. ГОСТ 15126–1980. Вертушки гидрометрические речные. Общие технические требования [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1980. – 6 с.

47. ГОСТ 11988–1981. Расходомеры и измерительные преобразователи расхода электромагнитные промышленные ГСП. Общие технические условия [Текст]. –М.: Изд. стандартов, 1981. – 21 с.
48. ГОСТ 28723–1990. Расходомеры скоростные, электромагнитные и вихревые. Общие технические требования и методы испытаний [Текст]. –М.: Изд. стандартов, 1991. – 11 с.
49. ГОСТ 8.010–1990. Методики выполнения измерений [Текст]. –М.: Изд. стандартов, 1991. – 16 с.
50. Каталог водомерных сооружений [Текст]/Союзводпроект. –М., 1989. –275 с.
51. ОСТ 33.2.2.05-1986. Каналы оросительных систем трапециевидального сечения на расходы до $10 \text{ м}^3/\text{с}$. Поперечные сечения [Текст]. –М.: Изд.официальное, 1986. – 32 с.
52. МИ 2122.90. Расход жидкости в открытых потоках. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков [Текст]. – Казань: Госстандарт, 1990. – 52 с.
53. Andersen V.M. Non-uniform flow in front of a free overfull [Text] / V.M. Andersen // Acta Polytechnica Scandinavica Civil engineering and building construction. – Copenhagen, 1967. – Series № 42. – P.1-24.
54. Boiten W. Hydrometry [Text] / W. Boiten. –Wagenigen: Agricultural University, 1986. –214 p.
55. Chow V.T. Open channel hydraulics [Text] / V.T. Chow. – New York: Mc Crow-Hill. – 1969. – 300 p.
56. 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.
57. Patent №2073610 USA. C1. Controlling flume [Text] / P.F. Danel. – 1973. – P.61-64.
58. Hager W.H. Hydraulics of plane free overfull [Text] / W.H. Hager // J. of Hydraulic Engineering, ASCE. – December, 1983. Vol.109, №12. –P.1683-1697.
59. Hershy R.W. Streamflow measurement [Text] / R.W. Hershy. – London and New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. – 553 p.
60. Состояние и дальнейшее совершенствование метрологического обеспечения водохозяйственного комплекса ДВХ Минсельвозхоза Кыргызской

- Республики [Текст]: отчет о НИР (итоговый) / ПКТИ «Водавтоматика и метрология»; рук. Сатаркулов С.С.; исполн. Бейшекеев К.К. [и др.]. – Бишкек, 1998. – 135 с.
61. Голованов А.И. Мелиорация земель [Текст]: учебник для студентов вузов / [А.И. Голованов, И.П. Айдаров, М.С. Григоров и др.]. – М.: КолосС, 2011. – 824 с.
62. Бейшекеев К.К. Гидротехнические сооружения оросительных систем горно-предгорной зоны [Текст] / С.С. Сатаркулов, К.К. Бейшекеев. - Бишкек: КНИИР, 2003. –541с.
63. А.с.1016424 СССР, МКИ Е 02 В 13/00. Вододелитель для каналов с бурным режимом течения [Текст] / М.И. Голубенко (СССР). – Оpubл. в 1983, Бюл. №17. – 2с.
64. А.с. №1654447 СССР, МКИ Е 02 В 13/00. Вододелитель для каналов с бурным режимом течения [Текст] / Н.П. Лавров (СССР). – Оpubл. в 1991, Бюл. № 21. – 4 с.
65. Лавров Н. П., Исабеков Т.А., Аджыгулова Г.С. «Состояние водораспределительных сооружений на канале – быстротоке «Туш» и направления их совершенствования» [Текст] / Н. П. Лавров, Т.А. Исабеков, Г.С. Аджыгулова // Материалы международной научно – практической конференции, посвященной международному году гор: сб. научн. тр. КАУ им. К.И. Скрябина. Вып. 1. Часть 3. – Бишкек, 2003. – С. 150–156.
66. Арсенишвили К.И. Вихревой водовыпуск типа донного колодца для каналов с большими уклонами [Текст] / К.И. Арсенишвили, О.Г. Натишвили // Гидротехника и мелиорация – 1957. – №7. – 19 с.
67. Баялинов Д.А. Исследование и разработка конструкции плановых вододелительных сооружений для каналов с бурным режимом движения потока [Текст]: автореф. дисс. ...канд. техн. наук: 05.23.07 / Д.А. Баялинов. – М., 1981. – 24 с.
68. Высоцкий Л. И. Управление бурными потоками на водосбросах [Текст] / Л. И. Высоцкий. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 239 с.
69. Жусупов М.К. Разработка и исследование стабилизаторов расхода воды для каналов с бурным и сверхбурным режимами течения [Текст]: автореф. дисс.

- ...канд. техн. наук: 06.01.02 / М.К. Жусупов. – Бишкек, 1994. – 24 с.
70. Пат. 447 КР МКИ Е 02В 13/00. Вододелитель для каналов со сверхбурным течением [Текст] / Лавров Н.П., Рохман А.И., Жусупов М.К., Кулибаев У.Д. – Оpubл. 2001, Бюл. № 2. – 3 с.
71. А.с. 351968 СССР, МКИ Е 02В 13/00. Вододелитель для каналов с большими уклонами [Текст] / П.И. Андреев (СССР). – Оpubл. 1972, Бюл. № 28. – 3 с.
72. Бобохидзе Ш.С. Гидравлическая автоматизация водораспределения на оросительных системах [Текст] / Ш.С.Бобохидзе. – М.: Колос, 1973. – 244 с.
73. 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.
74. 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.
75. Бочкарев Я.В. Гидротехнические сооружения на каналах – быстотоках со сверхбурным течением [Текст]: учеб. пособие / Я.В. Бочкарев, Н.П. Лавров. – Бишкек: Кырг. СХИ, 1991. –116 с.
76. 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.
77. 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.
78. Рохман А.И. Гидравлические исследования и разработка затворов-автоматов для горных водозаборных узлов на малых реках [Текст]: дисс. ...канд. техн. наук: 05.14.09 / А.И. Рохман. – М., 1983. – 201 с.
79. Филончиков А.В. Проектирование автоматизированных водозаборных узлов на горных реках [Текст] / А.В. Филончиков. – Фрунзе: Кыргызстан, 1990. – 384 с.
80. Водомерные сооружения для подпорно-переменных режимов истечения / [Б.Т. Кошматов, К.К. Бейшекеев, А.П. Полотов и др.]. – Бишкек: ДВХ, 2003. – 79 с.

81. Бейшекеев К.К. 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. 108-111.
82. Бейшекеев К.К. Технологические основы и схемы водоучета на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны [Текст] / К.К. Бейшекеев // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – Бишкек, 2010. –Т.10, – № 2. –С. 110-115.
83. Форхгеймер Ф. Гидравлика [Текст]: пер. с нем. / Ф. Форхгеймер. –М.-Л.: ОНТИ энергетической литературы, 1935. – 502 с.
84. Рекомендации по гидравлическому расчету водосливов. Часть 1 [Текст]: Прямые водосливы: П 18-74 / ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. –Л.: Энергия, 1974. – 90 с.
85. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: справочное пособие [Текст]. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 624 с.
86. Бочкарев Я.В. 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.
87. Арсенишвили К.И. Критерии волнообразования на быстротоках [Текст] / К.И.Арсенишвили //Гидротехническое строительство. –1956, №3.–С.25-36.
88. Арсенишвили К.И. Волновые течения в высокоскоростных водосбросах [Текст] / К.И. Арсенишвили // Тез. докл. ГГВС, ч.2. – М., 1968. – С.32-34.
89. Вагапов Р.И. Расчет каналов-быстротоков с учетом волнообразования [Текст] / Р.И. Вагапов //Сб. докладов по гидротехнике, Вып.9. – Л.: Энергия, 1968. – С.87-101.
90. Ведерников В.В. К расчету неустановившегося движения жидкости в открытом русле [Текст] / В.В. Ведерников // Изв. АН СССР: ОТН. – М., 1946. – № 4. – С. 72-98.
91. 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.
92. Войнич-Сяноженцкий Т.Г. Проблемы устойчивости течения потока реальной жидкости в каналах конечной глубины [Текст] / Т.Г. Войнич-Сяноженцкий // Изв.ТНИГЭИ. Т.18. –Тбилиси, 1969. – С.25-41.
93. Гамбарян А.О. Экспериментальные исследования катящихся волн в сверхбурном потоке [Текст] / А.О. Гамбарян, Н.Н. Маилян // Изв.АН АрмССР. Сер.ТН. Т.11. – Ереван, 1958, №4. – С.33-42.
94. Гамбарян А.О. Экспериментальные исследования катящихся волн в сверхбурном потоке [Текст] / А.О. Гамбарян, Н.Н. Маилян // Изв.АН АрмССР. Сер.ТН. Т.12. –Ереван, 1959, №2. – С.54-66.
95. Гамбарян А.О. Экспериментальные и полевые исследования волн в сверхбурном потоке [Текст] / А.О. Гамбарян // Труды координационного совещания по гидротехнике. Вып.7. –М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. –С.14-23.
96. Егиазаров И.В. Неустановившееся движение в длинных бьефах [Текст] / И.В. Егиазаров // Изв.ВНИИГ им. Б.Е.Виденеева.Т.21. – Л., 1937. – С.65-92.
97. Askers P. Critical-depth flumes for flow measurement in open channels. Hydraulic research [Text] / P.Askers, A.J. Harrison // Paper №5: Hydraulic Research Station, Department of scientific and industrial research. –Wallingford. –England, 1963.
98. Replogle J.A. Critical-depth flumes for determining flow in canals and natural channels [Text] / J.A. Replogle // Transactions of the ASAE. –1971. –P.428-436.
99. Brock R. R. Development of Roll wave trains in open channels [Text] / R.R. Brock //Journal of the Hydraulics. – 1969, July. – № 4. – P. 243-251.
100. Cornish V. Ocean waves and Kindred geophysical phenomena [Text] / V. Cornish. – London: Cambrige Univ. Press, 1934. – 105 p.
101. Dressier R. F. Mathematical solution of the problem of roll – waves in inclined open channels [Text] / R.F. Dressier // Comm. Pure anu Appl. Mathem. V. 2. – 1949. – № 2–3. – P.113-129.
102. Fridrichs K. O. On the Derivation of the Shallow Water Theory [Text] / K. O. Fridrichs // Comm. Pupe and Appl. Mathem. V. 1. – 1948. – № 1. – P. 35-52.

103. Ghambarjan H. H. On Waves in Inclined Open Channels [Text] / H. H. Ghambarjan // Proc. IX International congress, intern, assoc. for Hydraulic Research (IAHR). Vol. 1. – Leningrad, 1965. – P.315-335.
104. Haindl K. Wave Agitation Damping below Chutes Caused by Roll — waves at a Supercritical flow [Text] / K. Haindl // Proc. IX International congress, intern, assoc. for Hydraulic Research (IAHR). Vol. 1. – Leningrad, 1965. – P. 311-333.
105. Ishihara T. On the Roll-wave Trains Appearing in the Water Flow on Steep Slope Surface [Text] / T. Ishihara, Y. Iwagaki, Y. Iwasa // Memories of the faculty of engineering Kyoto University. – 1952. – 99 p.
106. Ishihara T. Theory of the Roll-Wave Trains in Laminar Water Flow on a Steep Slope Surface [Text] / T. Ishihara, Y. Iwagaki, Y. Iwasa // Trans. JSCE. Vol. 19. – 1954. – P.428-435.
107. 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.
108. Jeffreys H. The Flow of Water in an Inclined Channels of Rectangular Section [Text] / H. Jeffreys // Phil. Mag., ser. 6, Vol. 49 (№ 293). – 1925. – P.45-59.
109. Keller J. B. The Solitary Wave and Periodic Waves in Shallow [Text] / J. B. Keller // Comm. Pure and Appl. Mathem. Vol. 1. – 1948. – № 4. – P.32-46.
110. Keulegan G. H. Mathematical Theory of Irrotational Translation Waves [Text] / G. H. Keulegan, G. W. Patterson // Journ. of Res. National Bur. of Stand. Vol. 24. – 1940. – P.21-19.
111. Korteweg D. J. On the Change of Flow of Long Waves Advancing in a Rectangular Channels and on a New Type of Long Stationary Waves [Text] / D. J. Korteweg, G. Vris // Phil. Mag. Ser. 5, Vol. 19. – 1895. – P. 422.
112. Montuori C. La Formazione Spontanea D'onde su Canali a Pendenza Molto Forte [Text] / C. Montuori // Energia Ellettrica. —Napoli, 1954 – № 2. – P.176-182.
113. Бахметев Б.А. Гидравлика открытых русел [Текст]: пер. с англ./ Б.А. Бахметев /Под ред. Проф. Е.Е.Близняка. –М.: Гострансиздат, 1934. –248 с.
114. Справочник по гидравлическим расчетам [Текст] / Под ред. П.Г. Киселева. Изд. 5-е. –М.: Энергия, 1974. –312 с.

115. Чугаев Р.Р. Гидравлика [Текст]: учеб. для вузов / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.
116. Сухомел Г.И. Неравномерное движение жидкости в открытых руслах и гидротехнических сооружениях [Текст] / Г.И. Сухомел. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1949. – 144 с.
117. Совершенствование водораспределительных и водомерных сооружений на каналах горно-предгорной зоны [Текст]: отчет о НИР (итоговый) по теме ХГ-01-08 / Кыргызско-Российский Славянский университет; рук. Лавров Н.П.; исполн. Бейшекеев К.К. [и др.]. – Бишкек, 2008. – 228 с.
118. Микаелян В.Г. Водовыпуски на каналах с большими уклонами дна [Текст] / В.Г. Микаелян // Сб. науч.тр. Арм. НИИВПиГ. – Ереван: Айастан, 1972. –Т. 2. – С.365–373.
119. Лавров Н.П. Экспериментальные исследования пропускной способности вододелителя для каналов – быстротоков со сверхбурным режимом течения [Текст] / Н.П. Лавров, Г.С. Аджыгулова, С.А. Олейникова // Сб. научн. тр. Международной научно – технич. конфер. посвящ. 5-летию образования КРСУ. – Бишкек, 2000. – С.33–38.
120. Лавров Н.П. Гидравлические исследования вододелителя для со сверхбурным течением [Текст] / Н.П. Лавров, Г.С. Аджыгулова, С.А. Олейникова // Матер. научн. конф. посв. 200–летнему юбилею А.С. Пушкина. – Бишкек: КРСУ, 2000. – С.39–40.
121. Руководящий документ. Рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации ГТС для управления сверхбурными потоками на ирригационных каналах-быстротоках. Часть 3 – Расчет, проектирование и эксплуатация ГТС для водораспределения сверхбурных потоков [Текст] : РДМУ КР / Н.П. Лавров, М.К. Жусупов. – Бишкек 2000. – 34с.
122. Анализ эксплуатации и совершенствования водораспределительных сооружений на канале–быстротоке Туш [Текст]: отчет о НИР (итоговый) по теме ХЭ–02–2002 КР / Кыргызско-Российский Славянский университет; рук. Лавров Н.П.; исполн. Исабеков Т.А. [и др.]. – Бишкек, 2003. – 84 с.
123. Штеренлихт Д.В. Гидравлика [Текст]: кн. 1 / Д.В. Штеренлихт. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 346 с.

124. Маковский Э.Э. Автоматизация гидротехнических сооружений в системах каскадного регулирования расходов воды [Текст] / Э.Э. Маковский. – Фрунзе: Илим, 1972. – 302с.
125. Справочник по математике [Текст] / Сост. Г. Корн и Т. Корн. –М.: Наука, 1978. – 832 с.
126. Гидромелиоративные каналы с фиксированным руслом. Методикавыполнения измерения расходов воды методом «скорость – площадь» [Текст]: МВИ 05-1990. Минводхоз СССР. – 1990. – 51 с.
127. Руководство по проведению градуировки и поверки средств измерения расхода воды в открытых каналах методом «скорость – площадь» [Текст]: ВТР-М-1-1980. ММ и ВХ СССР. – 1980. – 43 с.
128. 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.
129. Методика выполнения измерений расхода воды с помощью специальных сужающих устройств мелиоративного назначения [Текст]: МВИ 06-1990. Минводхоз СССР. – 1990. – 47 с.
130. Правила измерения расхода жидкости при помощи стандартных водосливов и лотков [Текст]: РДП 99-1977. – М.: Изд.стандартов. –1977. –39 с.
131. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных [Текст] / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 200 с.
132. Замарин Е.А. Проектирование гидротехнических сооружений [Текст] / Е.А. Замарин. – М.: Сельхозгиз, 1961. – 601 с.
133. Замарин Е.А. Гидротехнические сооружения [Текст] / Е.А. Замарин, В.В. Фандеев. – М.: Колос, 1965. – 628 с.
134. Железняков Г.В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока [Текст] / Г.В. Железняков, Т.А. Неговская, Е.Е. Овчаров. – М.: Колос, 1984. – 205 с.
135. Бейшекеев К.К. Натурные исследования водораспределительных сооружений на каналах с большими уклонами [Текст] / К.К. Бейшекеев, Г.С. Аджыгулова, Н.П. Лавров и др. // Вестник Кыргызского государственного

- университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. Т.1. – 2009. -№1 (23). – С.158-166.
136. Бейшекеев К.К. Установившиеся режимы работы вододелительных сооружений на каналах-быстротоках [Текст] / К.К. Бейшекеев // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им.Н.Исанова. Т.1. – 2009. – №1 (23). – С.122-130.
137. Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны / [Н.П. Лавров, К.К. Бейшекеев и др.]. – Бишкек: ИД «Салам», 2009. – 504с.
138. Hydraulic structures for small hydropower engineering of mountain and submountain area / [N.P. Lavrov, K.K. Beishekeev etc.]. – Bishkek: KRSU, 2009. – 492 p.
139. Лавров Н.П. Варианты водоподачи на ТЭЦ г.Бишкек с использованием водозаборного сооружения для резервного водоснабжения [Текст] / Н.П. Лавров, Т.А. Исабеков // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2004. – № 3. – С.71-74.
140. Натурные исследования и разработка рекомендаций по эксплуатации АПК в зимних условиях [Текст]: отчет о НИР (итоговый) по теме ХЭ–01–99 КР / Кыргызско-Российский Славянский университет; рук. Лавров Н.П.; исполн. Исабеков Т.А. [и др.]. – Бишкек, 2001. – 55с.
141. Бейшекеев К.К. Изучение волногасящей способности вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения (ВКСРТ) [Текст] / Н.П. Лавров, Г.С. Аджыгулова, О.В. Атаманова, К.К. Бейшекеев // Вестник Кыргызского аграрного университета. –2008. –№ 1. – С. 208-212.
142. Пат. 1043 КР, МКИ Е 02 В 13/00. Вододелитель для каналов со сверхбурным течением [Текст] / Н.П. Лавров, О.В. Атаманова, К.К. Бейшекеев, Г.С. Аджыгулова; заявитель и патентообладатель КРСУ. – Оpubл. 2008. Бюл. № 5. – 5 с.
143. Бейшекеев К.К. Состав и методика экспериментальных исследований усовершенствованной конструкции вододелителя для каналов со сверхбурным течением [Текст] / О.В. Атаманова, Г.С. Аджыгулова, К.К.

- Бейшекеев // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. Т.8. – 2008. – № 9. – С.86-90.
144. Основы научных исследований [Текст] / Под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. – М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.
145. Бейшекеев К.К. 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.
146. Бейшекеев К.К. 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.
147. 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.
148. Бейшекеев К.К. Гидравлические исследования кинематической структуры потока в зоне влияния вододеливателя 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.
149. Руководящий документ. Рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации ГТС для управления сверхбурными потоками на ирригационных каналах-быстротоках. Часть 1 – Расчет и проектирование средств предупреждения и гашения катящихся волн [Текст]: РДМУ КР / Н.П. Лавров. – Бишкек, 1996. – 24с.
150. Строительство канала Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороузского района: Природные условия [Текст] / МСВХ: ОАО «Кыргызсуудолбор»; ГИП Ким М.Е. – Бишкек, 2010. – 25 с.
151. 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.
152. Реабилитация межхозяйственной и внутрихозяйственной оросительной сети АВП «Эпкин-Суу» Иссык-Атинского района Чуйской области: Пояснительная записка [Текст] / МСВХ: ОАО «Кыргызсуудолбор»; ГИП Пентегов. – Бишкек, 2010. – 225 с.
153. Бейшекеев К.К. Совершенствование конструкций водомерных и водорапредельных сооружений на каналах оросительных систем горно-предгорной зоны [Текст] / К.К. Бейшекеев. – Бишкек: КРСУ, 2011. – 297с.
154. 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 и др.; заявитель и патентообладатель КРСУ. – Оpubл. 2011. Бюл. № 2 . – 5с.
155. ВСН 33-2.1.07-1987. Инженерно-геодезические изыскания для мелиоративного и водохозяйственного строительства [Текст]. – М.: Стройиздат, 1987. – 98 с.
156. Технические указания по проектированию оросительных систем. Часть VII [Текст]. – М., 1970. – 120 с.
157. Габриадзе Б.М. Некоторые особенности нестационарных потоков в нижних бьефах плотин с уступом при поверхностном режиме сопряжения [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук/ Б.М. Габриадзе. – Тбилиси, 1972. – 24с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П.1.1 - Основные параметры существующих средств водоучета оросительных систем

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
1. Гидрометрические вкптушки						

1.1. Гидрометрическая вертушка	ГР-21М	от 0.04 до 5 м/с	Частотный импульс 20 оборотов	от ± 2 до $\pm 6\%$	375 x 200 x 160	6.0	по
1.2. Гидрометрическая вертушка	ГР-99	от 0.05 до 5 м/с	Частотный импульс 20 оборотов	от ± 2 до $\pm 6\%$	355 x 210 x 235	до 6.0	
1.3. Гидрометрическая вертушка с вычислителем ИСТ	ВГ-1-120/70	от 0.06 до 5 м/с	Электрический импульс	от ± 2 до $\pm 6\%$	150 x 350 x 540	6.5	с
1.4. Гидрометрическая вертушка - преобразователь.	-	от 0.03 до 4 м/с	Электрический импульс.	$\pm 5\%$	190 x 30 x 30; 130 x 25 x 25		с

Продолжение табл. на следующей странице

Продолжение табл. П.1.1

363

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
1.5. Гидрометрическая микровертушка с микрокомпьютером	ММ-02	от 0.03 до 3 м/с	Электрический импульс	от ± 2 до $\pm 6\%$	190 x 120 x 45	2.5
1.6. Гидрометрическая вертушка цифровая	ГМЦ-1	от 0.05 до 2.5 м/с	Электрический импульс	от ± 4 до $\pm 8\%$		
1.7. Измеритель скорости воды	ИСВ-01	от 0.05 до 5 м/с	Электрический импульс	$\pm 5\%$	250x300x300	10
2. Приборы контроля тока воды						
2.1. Реле потока жидкости	РПЖ-8	Расход срабатывания от 2 до 8 л/мин	Переключающий контакт	Разброс срабатывания 0.5 л/с		0.76
2.2. Реле потока жидкости	РПЖ-24	Расход срабатывания от 5 до 24 л/мин	Переключающий контакт	Разброс срабатывания 0.7 л/с		0.76

Продолжение табл. П.1.1

364

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
2.3. Реле потока жидкости	РПИ-15 РПИ-20 РПИ25 РПИ32 РПИ40	Расход срабатывания от 5 до 93 л/мин	Один "сухой" переключающий контакт	5%		2.0
3. Расходомеры для трубопроводов оросительной сети						

3.1. Измеритель расхода воды электромагнитный, D _y =10; 15; 25; 50; 80; 100; 150; 200; 300 мм.	ИР-61	от 0 до 0.7 м ³ /с	от 5 до 20 мА	± 1 %	от 236 x 250 до 300 x 530	от 16 до 42
3.2. Измеритель расхода воды электромагнитный, D _y =400; 500; 600; 800; 1000 мм	ЭРИС ЭРИС-М	от 0.55 до 3.5 м ³ /с	от 5 до 20 мА	±2.5 %		от 15 до 19
3.3. Электромагнитный преобразователь расхода, D _y от 1200 до 3600 мм	ПСГ	от 0 до 100 м ³ /с	от 4 до 20 мА	±1.5 %	от 60 x 300 x 590	39

Продолжение табл. на следующей странице

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
3.4. Расходомер электромагнитный, D _y =400; 600 мм	Индукция - 51	от 0.125 до 3.5 м ³ /с	от 5 до 20 мА	±1.5 %	280x600	
3.5. Расходомер электромагнитный микропроцессорный, D _y =3; 6; 10; 15; 25; 50; 80; 100; 150; 200; 300 мм	РОСТ-1	от 0.12 до 1.0 м ³ /с	от 5 до 20 мА	от ±0.5 до ±1%		от 1.5 до 75
3.6. Расходомер ультразвуковой со счетчиком АКУСТРОН D _y =400; 600; 700; 1000 мм	УЗР-В	от 0.1 до 10.0 м ³ /с	от 0 до 5 мА	от ±1.0 до ±1.5%	400x 355x x175	до 16
3.7. Расходомер ультразвуковой многоканальный, D _y =500... 4000 мм.	РУМ-1	от 1 до 35 м ³ /с	от 0 до 5 мА	±4% расход ±5% сток	435x 255x x345	до 57
3.8. Расходомер ультразвуковой D _y = 40; 100; 150 мм	УЗОР	до 0.1 м ³ /с	от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА	от ±1.5 ДО ±2.5%		

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
3.9. Вихревой измеритель расхода воды, Ду=50; 70; 100; 150 мм	ВИР	до 0,1 м ³ /с	от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА	от ±1.0 ДО ±1.5%		до 32.5
3.10. Расходомер тахометрический шариковый Ду= 32; 40 ;50; 70; 100; 125; 150; 175 мм	Сатурн	до 0.2 м ³ /с	от 0 до 5 мА или от 0 до 20 мА	от ±0.5 до ±1.0%		до 100
3.11. Расходомер смквашенный частотный (при мутности до 10 кг/м ³ ;	РСЧ	до 0.04 м ³ /с	Электрический частотный сигнал от 2 до 8 кГц	±4%	Ду= 80; 100; 150 мм	
3.12. Лазерный расходомер доплеровский (образцовый), Ду=80; 100; 150 мм	ЛРД-0	до 0.3 м ³ /с	Цифровое табло	±0.15%		

Продолжение табл. на следующей странице

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
4. Расходомеры для открытых каналов						
4.1. Расходомер переносной	РП	от 0.01 до 0.6 м ³ /с	Цифровое табло	от+1.5 до +3.0%	1200x100x x270	6
4.2. Поплавковый преобразователь расхода воды	ППРС-1	до 50 м ³ /с	Цифровое табло	+ 4 %:		30

4.3. Стационарная ультразвуковая расходомерная установка	СУЗРУ	Скорость воды от 0.3 до 5 м/с	Цифровое табло	± 6 %:	495x255x653	800
4.4. Расходомер-счетчик стока (счетчика стока)	РОС-1М	от 0.04 до 10 м ³ /с	Цифровое табло	Расход исток + 4 %:	1800 x 350 x x160	20
4.5. Расходомер	ПС-03	Перепад уровней от 0 до 300 мм	Цифровое табло	Уровень ± 3мм	140x115x x320	до 2

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
4.6. Расходомер	Родник	до 20 м ³ /с	от 4 до 20 мА; от 1000 до 2000 Гц	±4% расход +5% сток	1600x220x x220	30
4.7. Электронный стокорасходомер	УЕМ	До 25 м ³ /с		±3% расход +4% сток		10
5. Счетчики стока воды						
5.1. Счетчик оросительной воды для дождевальных машин "Кубань", "Каравелла" Д _у =180 мм	СВ	от 0.13 до 0.18 м ³ /с	Цифровое табло	±4%	860x313x x450	34
5.2 Счетчик расхода воды шариковый Д _у =50; 80; 100; 150 мм	РШ-1	до 0.1 м ³ /с		±2.5% расход; ±5.0% сток		
5.3. Счетчик количества воды	СКВ-1	до 1 м ³ /с; перепад до 250;500;1000, 3000 мм		± 4 %:		

368

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
5.4. Счетчик крыльчатый холодной воды. Д _у =16;20;25;32мм	ВСКМ- -5/20; -7/25; -10/32; -16/40;	м ³ /с, до 0.0014; 0.0019; 0.0028; 0.0044	Цифровое табло	± 5 %:	314x112x x119	5.2
5.5. Интегратор	И-1	от 0 до 5 мА; от 4 до 20 мА; от 0 до 10 В	Цифровое табло	±0.2		4
5.6. Интегратор-счетчик	ПВИ-7	от 0 до 5 мА; от 4 до 20 мА; от 0 до 10 В	Цифровое табло	±0.2		5
5.7. Преобразователь расхода со счетчиком стока на перепад от 50 до 2500 мм	Родник	Датчики: емкостной, ультразвуковой и др.	Цифровое табло	±2.5		1

Продолжение табл. на следующей странице

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
5.8. Индикаторы стока для дрен и труб Д _у =150-500 мм; для труб Д _у =80-150мм	ИС-01 ИС-02 ИС-03	т/с, до 0.150 0.060 0.008	Цифровое табло	±6.0 ±6.0 ±5.5		до 40; 22 14; 50 8 10
5.9. Водомерное устройство для определения стока в устье закрытой дрены	ВУ-1 ВУ-2	м ³ /с, до 2.0; 5.0	Цифровое табло	Сток от ±3.0 до ±4.0%	Д _у : <100мм > 100 мм	

5.10. Перепадомер динамометрический со счетчиком стока на перепад от 0. до 0.6 м	ПДС-06	от 0.5 до 10 м ³ /с.	Цифровое табло	±1.5% по уровню	130x90x x350	5	
5.11. Перепадомер динамометрический со счетчиком стока на перепад от 0 до 0.7 м	ПДС-80	от 0.5 до 50 м ³ /с,	Цифровое табло	±2% уровень; ±4-5% расход и сток		2.5-3.0	

Продолжение табл. на следующей странице

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)	
6. Приборы для измерения уровня воды							
6.1. Рейка водомерная переносная	ГР-104	От 0 до 6000 мм	Шкала с делениями через 2 мм	±2 мм (цена деления)	37x1125	0.7	
6.2. Самописец уровня воды	Валдай	От 0 до 1000 мм	Масштабы регистрации и уровня 1:1; 1:2, 1:5, 1:10, продолжительность 13-26 часов	от±3 до ±10 мм	550x265x x210	20	
6.3. Дистанционный измеритель уровня воды	ДИ-УВ-1	до 1200 мм	Электрический частотный сигнал	<0.4% от диапазона измерения	480x140x30	25	220 50 Г 250

Продолжение табл. на следующей странице

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)	
6.4. Уровнемер поплавковый самопишущий	ГР-116	от 0 до 20000 мм	Два сухих контакта	от ± 10 до ± 100 мм	50x280x25	16	25
6.5. Уровнемер поплавковый с дистанционной передачей	ДУ-01	от 0 до 4000 мм	Два сухих контакта	± 10 мм	400x300x230	5.4	22
6.6. Уровнемер буйковый электрический	УБ-3	от 0 до 16000 мм	от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА	от ± 1.0 до $\pm 1.5\%$	50x320	17	22 50 15
6.7. Датчик уровня емкостной мелиоративный	ДУЕ-М	От 0 до 6000 мм	Электрический частотный сигнал от 1 до 4 кГц	от ± 1.0 до $\pm 2.5\%$	50x320; 80x167x 360	11	Ис ян пр 1.5

Продолжение табл. на следующей странице

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)	
6.8. Датчик уровня емкостной	ДУЕ-1	От 0 до 30000 мм	от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА	от ± 0.5 до $\pm 1.5\%$	110x190x x95; 80x160x 360	11	М А
6.9. Датчик гидростатического давления	ДГДВ	от 0.1 до 1 МПа	от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА	от ± 0.2 до $\pm 0.5\%$	110x190x x95; 80x160x 360	до 12.5	2 В

6.10. Датчик уровня акустический	ЭХО-5	От 0 до 30000 мм	от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА	от ±0.5 до ±2.5%	80x167x x490	до 14	М 2
6.11. Датчик уровня поплавковый электрический	ДПЭ-1 ДПЭ-2 ДПЭ-3	до 25 мм 60-250 мм 100-1000 мм	Один «сухой» контакт	±3 мм	50x320	1.95 1.30 2.30	2

Продолжение табл. на следующей странице

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
6.12. Уровнемер поплавковый многофункциональный	УПМ-2	Перепад от 0 до 0,6 м; уровень от 0 до 6 м	от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА	±1.0%		
6.13. Уровнемер контактный переносной	УКП-6	От 0 до 6000 мм	Цифровое табло	±0.1%	360x220x x180	6
6.14. Уровнемер акустический	УА-1	от 1 до 64000 мм	Цифровое табло	±1.0%	390x400x x140	16
6.15. Одноканальный уровнемер	Руда-Лот-1М	от 1 до 64000 мм	Цифровое табло	±0.5%		38

Продолжение табл. на следующей странице

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
7. Перепадомеры						
7.1. Перепадомер с коническими насадками или приставками САНИИРИ	ПУВ-2Е	Перепад до 1000 мм; расход от 0.04 до 10 м ³ /с	Цифровое табло	±1.5%		17.7
7.2. Дифференциальный манометр сильфонного типа	ДС-64М	от 0.1 до 10 м ³ /с	Цифровое табло	±2.0%	2500x760x300	38
7.3. Перепадомер динамометрический	ПДС-04 ПДС-06	от 0.1 до 10 м ³ /с от 0.5 до 10 м ³ /с перепад от 0 до 0.6 м	Цифровое табло	±1.5%		6
7.4. Переносной перепадомер уровней воды	ППУ-06	от 0.1 до 600 мм	Цифровое табло	±2.0%		

375

Продолжение табл. на следующей странице

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)
7.5. Динамический расходоуказатель конструкции САНИИРИ	ДРС-60	Перепад от 0 до 600 мм	Цифровое табло	±1.5%		
7.6. Дифференциальный водомер	ВДН-70	Перепад от 0 до 500 мм	Цифровое табло	±4% расход и ±5% сток		
7.7. Перепадомер для сооружений с насадками САНИИРИ	ВПГ-54	Перепад от 0 до 500 мм	Цифровое табло	Расход исток ±3 %		
8. Дифференциальные манометры						
8.1. Манометр дифференциальный сильфонный	ДСП-160М	Перепад от 6.3 до 250 кПа; от 40 до 630 кПа	Цифровое табло	от ±1.0 до ±1.5%		8.5

376

8.2. Манометр дифференциальный сильфонный	ДСП-4СГ	Перепад от 6.3 до 250 кПа; от 40 до 630 кПа	Два «сухих» контакта сигнализатора	от ±1.0 до ±1.5%		11	22 50 30
---	---------	---	------------------------------------	------------------	--	----	----------------

Продолжение табл. на следующей странице

Продолжение табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)	
8.3. Манометр дифференциальный сильфонный самопишущий	ДСС-711 Ин-М1	Перепад от 6.3 до 250 кПа	Цифровое табло	от ±0.5 до ±1.5%		16	2 Б 5
8.4. Манометр дифференциальный сильфонный самопишущий	ДСС-712- М1	Перепад от 6.3 до 250 кПа	Цифровое табло	от ±0.5 до ±1.5%		16	2 5 5
8.5. Преобразователь измерительный разности давлений	Сапфир- 22Д Модели 2410 2420	Перепад от 0 до 630 кПа	от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА	±0.5%		10.5	И я п 1
8.6. Преобразователь измерительный тензорезисторный	Сапфир 342ДД	Перепад от 0 до 630 кПа	от 0 до 5 мА или от 4 до 20 мА	от ±0.5 до ±1.5%		4.5	И я п Б

Продолжение табл. на следующей странице

Окончание табл. П.1.1

Средство водоучета	Модификация	Основная характеристика	Данные сигнала воздействия	Относительная погрешность	Размеры (мм)	Масса (кг)	
9. Сужающие устройства							

377

378

9.1. Диафрагмы расходомерные	ДКС	до 10 МПа			Ду от 50 до 500 мм		
	ДБС	до 4 МПа			Ду от 30 до 3000 мм		
9.2. Нормальные сопла	СН	до 10 МПа			Ду от 50 до 500 мм		
9.3. Трубы Вентури стандартные	ТВС				Д, от 30 до 3000 мм		

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Расчет водомерного и водораспределительных сооружений на канале Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского района Жалалабатской области

Расчет водомерного и водораспределительных сооружений на канале Верхний Ак-Куп проводился по методикам гидравлического расчета, приведенным в п.3.8 и п.4.5, в следующем порядке.

Исходные данные для гидропоста (ВСКСТ):

10. Максимальный расход транзитного канала $Q_{\phi} = 2,8 \text{ м}^3 / \text{с}$; $Q_n = 2,4 \text{ м}^3 / \text{с}$

11. Расход максимального волнообразования $Q_{\text{max}}^{\phi} = 2,8 \text{ м}^3 / \text{с}$;

12. Уклон дна канала $i = 0.0615$;

13. Ширина по дну $b = 1,0 \text{ м}$;

14. Строительная высота канала $h_{\text{стр}} = 1,0 \text{ м}$;

15. Сечение канала: трапецидальное $m = 1.5$;

16. Нормальная глубина $h_{\phi} = 0,34 \text{ м}$; $h_n = 0,31 \text{ м}$.

17. Скорость $v = 5,37 \text{ м/с}$

Расход максимального волнообразования $Q_{\text{max}}^{\phi} = Q_{\phi}$ для больших уклонов.

Высота волны $h_e \leq h_{кр}$ [94].

Порядок расчета ВСКСТ:

10. Поскольку в транзитном канале величина максимального расхода воды $Q_{\phi} = 2,8 \text{ м}^3/\text{с} > 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$ [29], принимаем две камеры траншейного типа.

Расход воды, попадающий в каждую камеру при нормальном наполнении в транзитном канале:

$$\Delta Q = Q_n / 2 = 2,8 / 2 = 1,4 \text{ м}^3/\text{с} . \quad (\text{П.2.1})$$

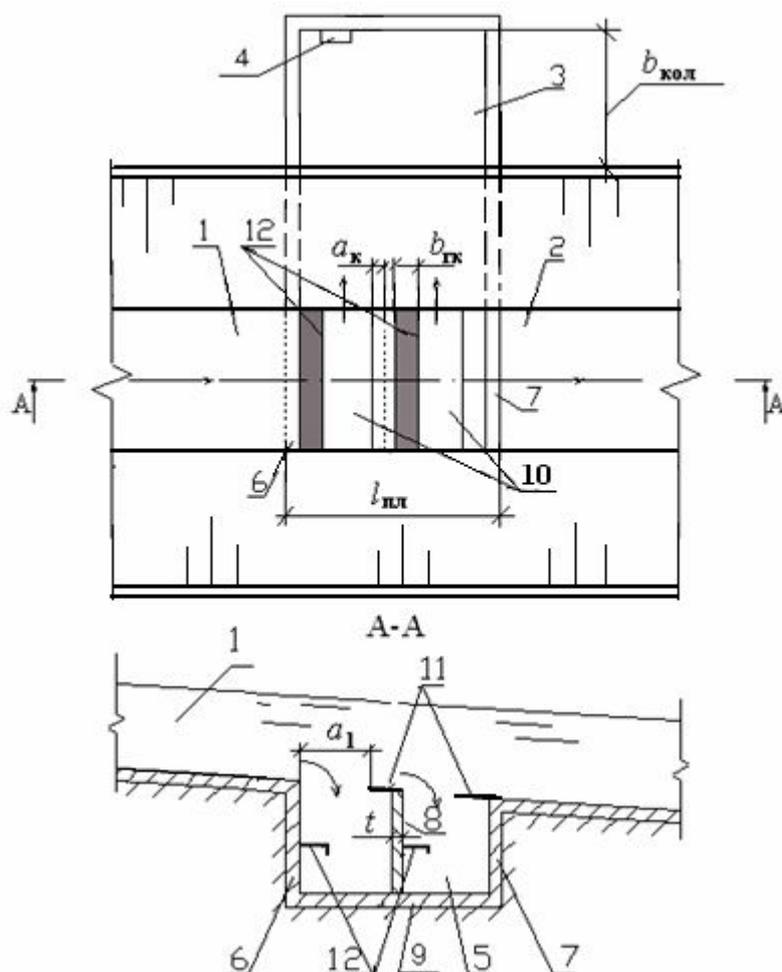


Рис. П.2.1. Схема водомерного сооружения для каналов со сверхбурным течением: 1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – успокоительный колодец; 4 – водомерная рейка; 5 – камеры; 6 – верхняя по потоку стенка; 7 – нижняя по потоку стенка; 8 – перегородка; 9 – дно траншеи; 10 – входные отверстия в камеры водомера; 11 - горизонтальные козырьки; 12 - Г-образные козырьки.

11. Определим длину волногасящей плиты по формуле:

$$l_{нн} = \sum a_i + \sum t_i + a_{\kappa} \quad (\text{П.2.2})$$

Для чего сначала определим длину плиты под первой камерой a_1 .

Длина плиты под первой камерой может быть определена из формулы:

$$a_1 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_1 p_1 b \sqrt{2gH_1}} = \frac{1,4}{0,466 \cdot 0,6 \cdot 1,0 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,87}} = 0,8 \text{ м}, \quad (\text{П.2.3})$$

где μ – коэффициент расхода плиты с продольными прорезями определяется по эмпирической формуле:

$$\mu = 0,0002 Fr^2 - 0,0104 Fr + 0,54434; \quad (\text{П.2.4})$$

$$\mu = 0,0002 \cdot 9,03^2 - 0,0104 \cdot 9,03 + 0,54434 = 0,466,$$

где параметр Фруда $Fr_1 = \alpha v_0^2 / gh = \frac{1,045 \cdot 5,37^2}{9,81 \cdot 0,34} = 9,03$. (П.2.5)

Коэффициент Кориолиса для сверхбурного потока принят равным $\alpha = 1,045$ по рекомендациям [149]. Средняя скорость:

$$v = Q/\omega = 2,8/0,52 = 5,37 \text{ м/с}. \quad (\text{П.2.6})$$

Действующий напор на секции решетчатой плиты вычисляем с учетом средней скорости v_0 при равномерном режиме.

Действующий напор над секцией вододелителя:

$$H_1 = H_n^1 = h_{\phi} + \alpha v^2 / 2g = 0,34 + \frac{1,045 \cdot 5,37^2}{2 \cdot 9,81} = 1,87 \text{ м}. \quad (\text{П.2.7})$$

Поскольку водомерное сооружение имеет две секции, принимаем общую длину плиты равной:

$$\sum a_i = 2a_i = 1,6 \text{ м}. \quad (\text{П.2.8})$$

Толщину армированных перегородок между камерами принимаем равной $t = 0,1 \text{ м}$.

Длину отсекающих козырьков в конце каждой камеры принимаем, согласно рекомендаций М.И. Голубенко [63], одинаковой и равной:

$$a_{\kappa} = 0,2a_{i_{\max}} = 0,2 \cdot 0,8 = 0,16 \text{ м} . \quad (\text{П.2.9})$$

Общая длина козырьков составит:

$$\sum a_{\kappa} = n \cdot a_{\kappa} = 2 \cdot a_{\kappa} = 0,32 \text{ м} . \quad (\text{П.2.10})$$

С учетом вычисленных размеров общая длина колодца водомера равна общей длине волногасящей плиты согласно формулы (П.2.2):

$$l_{\kappa} = l_{\text{пл}} = \sum a_i + \sum t_i + a_{\kappa} = 1,6 + 0,1 + 0,32 = 2,02 \text{ м} . \quad (\text{П.2.11})$$

Длина каждой камеры будет равна:

$$l_1 = l_2 = l_{\kappa} / 2 - t = 0,91 \text{ м} . \quad (\text{П.2.12})$$

12. Глубина донной траншеи (колодца) определяется по формуле:

$$h_{\text{мп}}^{\text{н}} = \frac{Q_{\phi}}{l_{\text{пл}} v_{\text{мп}}} + \Delta h = \frac{2,8}{2,02 \cdot 2,3} + 0,2 = 0,8 \text{ м} , \quad (\text{П.2.13})$$

где $v_{\text{мп}}$ - скорость движения воды в траншее с уклоном дна, равным критическому, т.е. с критической глубиной:

$$h_{\text{крмп}} = \sqrt[3]{\alpha q^2 / g} = \sqrt[3]{1,1 \cdot 2,8^2 / 9,81 \cdot 2,02^2} = 0,6 \text{ м} , \quad (\text{П.2.14})$$

$$v_{\text{мп}} = Q / \omega = 2,8 / 1,21 = 2,3 \text{ м/с} , \quad (\text{П.2.15})$$

ω - площадь живого сечения потока, $\omega = l_{\kappa} \cdot h_{\text{крмп}} = 2,02 \cdot 0,6 = 1,21 \text{ м}^2$.

Δh - запас, $\Delta h = 0,2 \dots 0,4 \text{ м}$ [149].

13. Уклон дна траншей из условия транспорта донных наносов должен быть больше критического, который определяется из формулы Шези:

$$Q = \omega_{\text{кр}} C_{\text{кр}} \sqrt{R_{\text{кр}} i_{\text{мп}}} \Rightarrow i_{\text{мп}} = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} = \frac{2,8^2}{1,21^2 \cdot 49,84^2 \cdot 0,37} = 0,005 . \quad (\text{П.2.16})$$

Параметры траншеи:

$$\chi = 2h_{кр} + l_{\kappa} = 2 \cdot 0,6 + 2,02 = 3,22 м,$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{1,21}{3,22} = 0,37 м$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,017} 0,37^{1/6} = 49,84 м^{0,5} / с$$

14. Параметры успокоительного колодца.

Строительная высота успокоительного колодца:

$$h_{кол} = h_{мп} + h_{стп} = 0,8 + 1,0 = 1,8 м. \quad (П.2.17)$$

Ширина успокоительного колодца:

$$b_{кол} = 1,5b = 1,5 \cdot 1,0 = 1,5 м. \quad (П.2.18)$$

15. Параметры Г-образных козырьков.

Ширина Г-образных козырьков, устанавливаемых горизонтально в средней части тыльной стороны перегородок, равна:

$$b_{зк} = 0,12l_i = 0,12 \cdot 0,91 = 0,11 м. \quad (П.2.19)$$

Длина вертикальной части козырьков: $h_{зк} = 0,5b_{зк} = 0,5 \cdot 0,11 = 0,06 м. \quad (П.2.20)$

16. Глубина расположения Г-образного козырька относительно дна канала:

$$h_{расп_{зк}} = 0,5h_{мп} = 0,5 \cdot 0,6 = 0,3 м \quad (П.2.21)$$

Глубина донной траншеи в ее конце: $h_{мп}^{\kappa} = 0,48 м.$

Расчет вододелиителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ)

Исходные данные для ВКСТ (рис. П.2.2):

1. Максимальный расход транзитного канала $Q_{\phi} = 2,8 м^3 / с$; $Q_{и} = 2,4 м^3 / с$
2. Расход максимального волнообразования $Q_{\max}^{\phi} = 2,8 м^3 / с$; для каналов с уклоном $i \geq 0,05 \Rightarrow Q_{\max}^{\phi} = Q_{\phi}$ [114];
3. Уклон дна канала $i = 0,0615$;

4. Ширина по дну $b = 1,0 м$;
5. Сечение канала: *трапецевидальное*, $m = 1.5$;
6. Расход отбора в отвод $Q_{отв} = 0,50 м^3 / с$;
7. Нормальная глубина $h_n = 0,31 м$;
8. Форсированная глубина $h_f = 0,34 м$;
9. Максимальная скорость воды в канале $v = 5,37 м/с$

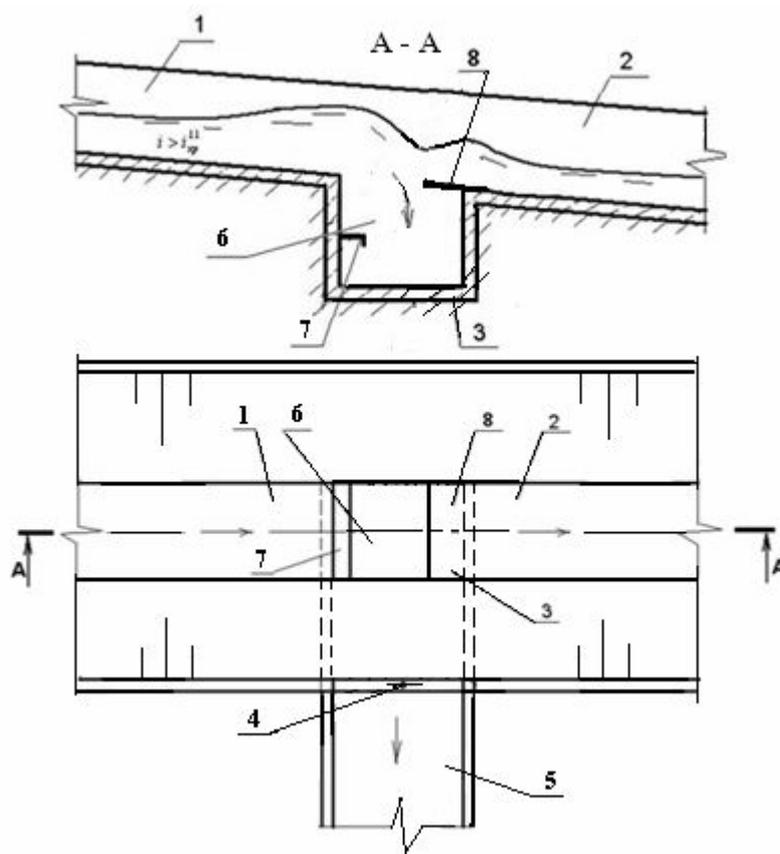


Рисунок П.2.2 - Схема вододелителя для каналов со сверхкритическим течением (Патент №1043, 2008 на имя Лаврова Н.П., Атамановой О.В., Бейшекеева К.К.,

Аджыгуловой Г.С.) (решетка не показана): 1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – донный колодец; 4 – плоский затвор; 5 – отводящий канал; 6 – камера траншеи; 7 – Г-образный козырек; 8 - горизонтальный козырек.

Расчет ВКСТ:

1. Определим строительную высоту канала: $h_{стр} = h_f + h_e$, (П.2.22)

где h_e - глубина в гребне максимальной катящейся волны.

По данным [29] глубина максимальной волны при сверхбурном течении по своей величине к близка к критической глубине в канале: $h_6 \leq h_{кр}$.

Критическую глубину находим по зависимости Емцева Б.Т.[114]:

$$F(\varepsilon_{кр}) = \frac{m}{b} \sqrt[3]{\frac{Q_{\max}^6}{gb^2}} = \frac{1,5}{1,0} \sqrt[3]{\frac{2,8^2}{9,81 \cdot 1,0^2}} = 1,39 \Rightarrow \varepsilon_{кр} = 1,05 .$$

Критическая глубина:
$$h_{кр} = \frac{\varepsilon_{кр} b}{m} = \frac{1,05 \cdot 1,0}{1,5} = 0,7 м .$$

$$h_6 \approx h_{кр} = 0,7 м .$$

$$h_{смп} = h_{\phi} + h_6 = 0,34 + 0,70 = 1,0 м .$$

17. Поскольку величина отводимого расхода воды $Q_{оме} = 0,50 м^3 / с < 1,0 м^3 / с$ [29], принимаем одну камеру траншейного типа.

18. Определим длину волногасящей плиты по формуле:

$$l_{пл} = \sum a_i + \sum t_i + a_{\kappa} \quad (П.2.23)$$

Для чего сначала определим длину плиты под первой и единственной камерой a_1 .

Расход отбора воды в камеру равен:

$$\Delta Q_i = Q_{оме} / 1 = 0,5 м^3 / с . \quad (П.2.24)$$

Длина плиты над камерой может быть определена из формулы:

$$a_1 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_1 p_1 b \sqrt{2gH_1}} , \quad (П.2.25)$$

где μ – коэффициент расхода плиты с продольными прорезями, при полностью открытых боковых затворах определяется по эмпирической формуле:

$$\mu = 0,0002 Fr^2 - 0,0104 Fr + 0,54434 ; \quad (П.2.26)$$

$$\mu = 0,0002 \cdot 8,94^2 - 0,0104 \cdot 8,94 + 0,54434 = 0,446 ,$$

где параметр Фруда
$$Fr_1 = \alpha v_0^2 / gh = \frac{1,045 \cdot 5,3^2}{9,81 \cdot 0,31} = 9,65 . \quad (П.2.27)$$

Коэффициент Кориолиса для сверхбурного потока принят равным $\alpha = 1,045$ по рекомендациям [149]. Средняя скорость:

$$v_0 = Q/\omega_0 = 2,4/0,392 = 5,3 \text{ м/с}. \quad (\text{П.2.28})$$

Действующий напор на секции решетчатой плиты вычисляем с учетом средней скорости v_0 при равномерном режиме.

Полный действующий напор над секцией вододелителя:

$$H_1 = H_n^1 = h_0 + \alpha v^2/2g = 0,31 + \frac{1,045 \cdot 5,3^2}{2 \cdot 9,81} = 1,8 \text{ м}. \quad (\text{П.2.29})$$

Длина плиты над камерой:

$$a_1 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_1 p_1 b \sqrt{2gH_1}} = \frac{0,5}{0,446 \cdot 0,4 \cdot 1,0 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,8}} = 0,5 \text{ м}$$

Армированные перегородки между камерами отсутствуют, ввиду наличия единственной камеры $\sum t_i = 0 \text{ м}$.

Длину отсекающего горизонтального козырька в конце камеры принимаем, согласно рекомендаций М.И. Голубенко [63], одинаковой и равной:

$$a_{\kappa} = (0,15 \dots 0,2) a_{i \max} = 0,17 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ м}. \quad (\text{П.2.30})$$

С учетом вычисленных размеров общая длина траншеи вододелителя равна общей длине волногасящей плиты согласно формулы (П.2.23):

$$l_{\kappa} = l_{nl} = \sum a_i + \sum t_i + a_{\kappa} = 0,5 + 0,1 = 0,6 \text{ м}. \quad (\text{П.2.31})$$

19. Глубина донной траншеи (камеры) в ее начале при условии свободного истечения в камеру, определяется по формуле:

$$h_{mp}^n = \frac{Q_{oms}}{l_{nl} v_{mp}} + \Delta h = \frac{0,5}{0,6 \cdot 1,92} + 0,27 = 0,7 \text{ м}, \quad (\text{П.2.32})$$

где v_{mp} - скорость движения воды в траншее с уклоном дна, равным критическому, т.е. с критической глубиной:

$$h_{кр\ mp} = \sqrt[3]{\alpha q^2 / g} = \sqrt[3]{1,1 \cdot 0,5^2 / 9,81 \cdot 0,6^2} = 0,425\text{ м}, \quad (\text{П.2.33})$$

$$v_{mp} = Q/\omega = 0,5/0,26 = 1,92\text{ м/с}, \quad (\text{П.2.34})$$

ω - площадь живого сечения потока, $\omega = l_{\kappa} \cdot h_{кр\ mp} = 0,6 \cdot 0,425 = 0,26\text{ м}^2$.

Δh - запас, $\Delta h = 0,2 \dots 0,4$ [149].

20. Уклон дна траншеи (перпендикулярно оси транзитного канала) из условия транспорта донных наносов должен быть больше критического, который определяется из формулы Шези:

$$Q = \omega_{кр} C_{кр} \sqrt{R_{кр} i_{mp}} \Rightarrow i_{mp} = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} = \frac{0,5^2}{0,255^2 \cdot 44,04^2 \cdot 0,176} = 0,01. \quad (\text{П.2.35})$$

Параметры траншеи:

$$\chi = 2h_{кр} + l_{\kappa} = 2 \cdot 0,425 + 0,6 = 1,45\text{ м},$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{0,255}{1,45} = 0,176\text{ м}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,017} 0,176^{1/6} = 44,04\text{ м}^{0,5} / \text{с}$$

21. Параметры Г-образного козырька.

Ширина Г-образного козырька, устанавливаемого горизонтально в средней части тыльной стороны передней по потоку стенки, равна:

$$b_{зк} = 0,12l_i = 0,12 \cdot 0,6 = 0,072\text{ м} \approx 0,08\text{ м}. \quad (\text{П.2.36})$$

Длина вертикальной части Г-образного козырька:

$$h_{зк} = 0,5b_{зк} = 0,5 \cdot 0,08 \approx 0,04\text{ м}. \quad (\text{П.2.37})$$

Заглубление Г-образного козырька относительно дна канала:

$$h_{расн\ зк} = 0,5h_{мп} = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35\text{ м} \quad (\text{П.2.38})$$

Глубина донной траншеи в ее конце: $h^{\kappa}_{мп} = 0,657\text{ м}$.

Проверка возможности водоподачи при 100%-м водозаборе, когда расход транзитного канала равен $Q=0,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

1. Определим наполнение в транзитном канале при $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ [114, с.95]:

$$K_{\text{мод}} = \frac{Q \cdot n}{\sqrt{i} \cdot b^{2,67}} = \frac{0,5 \cdot 0,017}{\sqrt{0,0615} \cdot 1^{2,67}} = 0,034. \quad \Rightarrow h_{\text{мод}} = 0,14 \text{ м}.$$

Наполнение в канале: $h = h_{\text{мод}} \cdot b = 0,14 \cdot 1 = 0,14 \text{ м}$.

Напор на вододелителе при расходе воды в канале $Q=0,5 \text{ м}^3/\text{с}$:

$$H_1 = h + \alpha v^2 / 2g = 0,14 + \frac{1,045 \cdot 2,96^2}{2 \cdot 9,81} = 0,61 \text{ м}.$$

$$v = Q/\omega = 0,5/0,169 = 2,96 \text{ м/с}.$$

2. Определим известным способом [85] длину отлета струи:

$$l_0 = x_1 = v_c^1 \sqrt{\frac{2y_1}{g}}; \quad (\text{П.2.39})$$

Скорость потока на уступе:

$$v_c^1 = \frac{m\sqrt{2gH}^{3/2}}{h} = \frac{0,42\sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 0,61^{3/2}}{0,49} = 1,81 \text{ м/с}. \quad (\text{П.2.40})$$

$$h = 0,67H_1 = 0,67 \cdot 0,61 = 0,41 \text{ м}. \quad (\text{П.2.41})$$

3. Вся струя попадает в траншею, если ее длина отлета $x_1 < l_\kappa$:

$$x_1 = 1,81 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,14}{9,81}} = 0,31 \text{ м}.$$

Получаем $x_1 = 0,31 < l_\kappa = 0,6 \text{ м}$, что означает полный водозабор без перелива через заднюю стенку колодца.

Проверка возможности водоподачи при форсированном расходе транзитного канала, который равен $Q_\phi = 2,8 \text{ м}^3/\text{с}$.

Наполнение в транзитном канале: $h_\phi = 0,34 \text{ м}$.

1. Напор на вододелителе при расходе воды в канале $Q_{\phi} = 2,8 \text{ м}^3 / \text{с}$:

$$H_1 = h + \alpha v^2 / 2g = 0,34 + \frac{1,045 \cdot 5,37^2}{2 \cdot 9,81} = 1,87 \text{ м}.$$

Определим известным способом [114, 115] длину отлета струи по формуле (П.2.39), для чего определим скорость потока на уступе.

Скорость потока на уступе:

$$v_c^1 = \frac{m\sqrt{2gH}^{3/2}}{h} = \frac{0,42\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,87^{3/2}}}{1,25} = 3,8 \text{ м/с}. \quad (\text{П.2.42})$$

$$h = 0,67H_1 = 0,67 \cdot 1,87 = 1,25 \text{ м}. \quad (\text{П.2.43})$$

Длина отлета струи: $x_1 = 3,8\sqrt{\frac{2 \cdot 0,14}{9,81}} = 0,64 \text{ м}.$

Получаем $x_1 = 0,64 \text{ м} > l_k = 0,6 \text{ м}$. Это означает, что при существующих параметрах вододелителя и при максимальном расходе воды в транзитном канале, в траншею не попадает вся струя. Следовательно, для обеспечения полного попадания струи в траншею вододелителя, необходимо увеличить ее длину. Принимает длину волногасящей плиты равной $l_{пл} = l_k = 0,7 \text{ м}$. При такой длине плиты можно отобрать необходимый расход воды путем соответствующего открытия бокового затвора.

2. Уточним параметры донной траншеи для принятой длины волногасящей плиты.

Уточненная глубина донной траншеи (камеры) в ее начале при условии свободного истечения в камеру, определяется по формуле:

$$h_{mp}^u = \frac{Q_{омг}}{l_{пл} v_{mp}} + \Delta h = \frac{0,5}{0,7 \cdot 1,85} + 0,31 = 0,7 \text{ м}, \quad (\text{П.2.44})$$

где v_{mp} - скорость движения воды в траншее с уклоном дна, равным

критическому, т.е. с критической глубиной:

$$h_{кр\ mp} = \sqrt[3]{\alpha q^2 / g} = \sqrt[3]{1,1 \cdot 0,5^2 / 9,81 \cdot 0,7^2} = 0,385\text{ м} \quad (\text{П.2.45})$$

$$v_{mp} = Q/\omega = 0,5/0,27 = 1,85\text{ м/с}, \quad (\text{П.2.46})$$

ω - площадь живого сечения потока, $\omega = l_k \cdot h_{кр\ mp} = 0,7 \cdot 0,385 = 0,27\text{ м}^2$.

Δh - запас, $\Delta h = 0,2 \dots 0,4$ [149].

Уточненный уклон дна траншеи (перпендикулярно оси транзитного канала) из условия транспорта донных наносов должен быть больше критического, который определяется из формулы Шези:

$$Q = \omega_{кр} C_{кр} \sqrt{R_{кр} i_{mp}} \Rightarrow i_{mp} = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} = \frac{0,5^2}{0,27^2 \cdot 44,36^2 \cdot 0,184} = 0,009. \quad (\text{П.2.47})$$

Параметры траншеи:

$$\chi = 2h_{кр} + l_k = 2 \cdot 0,385 + 0,7 = 1,47\text{ м},$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{0,27}{1,47} = 0,184\text{ м}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,017} 0,184^{1/6} = 44,36\text{ м}^{0,5} / \text{с}$$

На этом расчет вододелиителя можно считать завершенным.

Оценка экономической эффективности проекта «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области»

1 Методология и подход при проведении экономического анализа

Экономические и финансовые цены: Основная задача экономического анализа проекта («анализ затрат и выгод (АЗВ)») заключается в определении реальной стоимости ирригационного проекта «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области» по отношению к экономике страны, а не Правительству, АВП, располагающимся в системе, или индивидуальным фермерам. В соответствии с данным подходом цены на продукцию проекта прямые затраты основываются на экономических ценах. Экономические цены могут отличаться от финансовых (рыночных) цен в связи с налогами, субсидиями, нереальными курсами обмена или другими искусственными искажениями, в результате чего, превалирующие финансовые цены не отражают реальную стоимость национальной экономики. В случаях, когда подобных значительных искажений нет, рыночная финансовая цена прямых затрат или продукции может приниматься равной экономической цене. Это касается случая с ценами на культуры и ценами на прямые затраты большинства культур в Кыргызстане. С другой стороны, для экономического анализа, капитальные затраты проектов, выраженные в финансовых ценах, должны быть откорректированы с тем, чтобы исключить налоги, налагаемые Правительством. Это больше «передаточные платежи», а не экономические затраты. Единственным исключением является заработная плата за фермерский труд, а также цены на удобрения и пестициды. В соответствии с обычной практикой анализа сельскохозяйственных проектов в Кыргызстане, экономическая цена («альтернативная стоимость») труда фермеров

принимается равной 60% финансовой цены (рыночная ставка заработной платы). При расчете бюджета культур по экономическим ценам экономическая цена применяется ко всем трудозатратам по возделыванию культур, как неоплачиваемым (труд фермера и его семьи) и оплачиваемым (наемный труд).

Любая разница, которая может быть между экономическими и финансовыми ценами, не будет влиять на уровень экономических выгод проекта.

Ежегодные экономические выгоды проекта: сюда относится общая ежегодная чистая экономическая прибыль от производства культур в будущем в случае «с проектом» (СП в будущем) минус общая ежегодная чистая экономическая прибыль в будущем «без проекта» (БП в будущем). Отправной точкой оценки СП в будущем и БП в будущем является посевная площадь и урожайность культур на площади проекта в настоящее время (нынешняя ситуация). Предположения, принятые в отношении будущей посевной площади и урожайности культур представлены в разделе П.3.2.

Ценовая основа и период анализа: выгоды и затраты проекта выражены в постоянных ценах 2009/2010 без учета будущей инфляции. Принято, что период анализа составляет 25 лет.

Анализ: стандартная ставка дисконтирования, применяемая к данному виду анализа в Кыргызстане, составляет 12%. Результаты анализа представлены в виде соотношения выгод и затрат (СВЗ) проекта с учетом 12% и внутренней нормы прибыли (ВНП).

2. Основные предположения экономического анализа

Для оценки выгод и затрат проекта «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области» приняты следующие основные предположения:

- **Урожайность культур в будущем «с проектом»:** в будущем «с проектом» в год 6 (в год его освоения) урожайность культур на орошаемой площади (485,1 га) вырастет по возделываемым сельскохозяйственным культурам на 10% по сравнению с нынешней урожайностью в результате строительства оросительной системы и осуществления комплекса мероприятий, обеспечивающих ввод новых массивов орошения в Тогуз-Тороуском районе Жалал-Абадской области в системе реки Ак-Куп. Урожайность будет расти в течение четырех лет, начиная с Года 3 (год после завершения реабилитации) до Года 6, после этого урожайность меняться не будет. Поскольку рост урожайности будет полностью результатом ввода дополнительного орошения и улучшения водоподдачи, а не усовершенствования использования прямых затрат на возделывание культур, таких как удобрения или семена лучшего качества, то затраты на производство культур расти не будут, за исключением затрат на сбор урожая. Затраты на сбор урожая будут незначительно увеличиваться из-за увеличения объема культуры, чей урожай нужно будет собирать в будущем «с проектом».
- **Урожайность культур в будущем «без проекта»:** в будущем «без проекта» урожайность культур будет падать на 1% каждый год в результате прогрессивного ухудшения состояния межхозяйственной ирригационной системы. Для анализа принято, что снижения начнется в Год 3 – год, когда урожайность СП начнет расти – и продолжится до конца периода анализа в Год 25.
- **Посевная площадь и структура посевов:** в будущем в случае СП предполагается прирост орошаемых земель в результате освоения 485,1 га новых массивов. В случае проекта «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области», предполагается кардинальное изменение структуры посевов и посевной

площади в результате перевода земель из неорошаемых в полностью орошаемые. На структуру посевов влияет множество факторов, не связанных с подачей оросительной воды, в особенности, рыночные условия и цены. Таким образом, невозможно прогнозировать какой эффект на проект окажет улучшение водоподачи на структуру посевов.

- **Затраты ЭиТО:** для поддержания системы межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов реки Ак-Куп в удовлетворительном состоянии, в будущем в случае СП затраты на ЭиТО объектов новой оросительной системы предполагаются, будут значительными. В случае БП затраты на ЭиТО в будущем останутся такими же, как в настоящее время.

3. Орошаемая площадь, структура посевов и урожайность культур

Объект расположен на территории сельских управ Тогуз-Гороуского района Жалал-Абадской области.

В табл. П.3.1 представлена детальная информация о структуре посевов сельскохозяйственных культур проекта магистрального и межхозяйственного канала Ак-Куп в ситуациях «Без проекта» и «С проектом». В настоящее время в ситуации «Без проекта» на 485,1 гектарах пастбищ собирают сено естественных трав.

В результате проведения мелиоративных мероприятий по освоению новых массивов в ситуации «С проектом» предполагается перевод неорошаемых в орошаемые земли и выращивание орошаемых сельскохозяйственных культур, таких как многолетние травы, озимая и яровая пшеница, ячмень, овощи и фрукты.

Таблица П.3.1 - Структура посевов сельскохозяйственных культур проекта «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области» в ситуациях «Без проекта» и «С проектом» за 2008 - 2010 гг, га

Сельскохозяйст венные культуры	2008		2009		2010		В среднем за 2008- 2010 гг	
	площа дь	в % к итогу	площа дь	в % к итогу	площ адь	в % к итогу	площа дь	в % к итогу
Ситуация «Без проекта»								
1. Естественные сенокосы	485,1	100,0	485,1	100,0	485,1	100,0	485,1	100,0
Итого	485,1	100,0	485,1	100,0	485,1	100,0	485,1	100,0
Ситуация «С проектом»								
1. Многолетние травы	280,6	57,8	295,6	60,9	295,6	60,9	290,6	59,9
2. Озимая пшеница	25,2	5,2	22,1	4,6	20,0	4,1	22,4	4,6
3. Яровая пшеница	55,3	11,4	48,3	10,0	53,2	11,0	52,3	10,8
4. Ячмень	54,0	11,1	49,1	10,1	46,3	9,5	49,8	10,3
5. Сады	22,0	4,5	22,0	4,5	22,0	4,5	22,0	4,5
6. Приусадебные участки	48,0	9,9	48,0	9,9	48,0	9,9	48,0	9,9
Итого	485,1	100,0	485,1	100,0	485,1	100,0	485,1	100,0

В табл. П.3.2 приводятся настоящая и проектируемая урожайность и валовой сбор сельскохозяйственных культур. Урожайность и валовой сбор сельскохозяйственных культур магистрального и межхозяйственного канала Ак-Куп основана на средних показателях за 2008 – 2010 гг по рассматриваемому массиву в ситуациях «Без проекта» и «С проектом».

Таблица П.3.2 - Урожайность и валовой сбор сельскохозяйственных культур проекта «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области» в ситуациях «Без проекта» и «С проектом» за 2008 - 2010 гг

Сельскохозяйственные культуры	2008		2009		2010		Урожайность в среднем за 2008-2010 гг, т/га	Всего валовой сбор, т
	урожайность, тонн/га	валовой сбор, тонн	урожайность, тонн/га	валовой сбор, тонн	урожайность, тонн/га	валовой сбор, тонн		
Ситуация «Без проекта»								
1. Естественные сенокосы	4,0	200,0	4,0	200,0	4,0	200,0	4,0	200,0
Итого	4,0	1940,4	4,0	1940,4	4,0	1940,4	4,0	1940,4
Ситуация «С проектом»								
1. Многолетние травы	4,62	1296,4	4,62	1365,7	4,62	1365,7	4,62	1342,6
2. Озимая пшеница	2,24	56,4	2,24	49,5	2,24	44,9	2,24	50,3
3. Яровая пшеница	2,24	123,9	2,24	108,2	2,24	119,2	2,24	117,1
4. Ячмень	2,22	119,9	2,22	109,0	2,22	102,8	2,22	110,6
5. Фрукты	5,50	253,0	5,10	234,6	5,00	230,0	5,20	239,2

6. Овощи	10,95	262,8	10,95	262,8	10,95	262,8	10,95	262,8
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

В табл. П.3.3 приводятся структура посевов, посевные площади и урожайность культур в ситуациях «Без проекта» и «С проектом», принятые для экономического анализа. К основным культурам на вновь вводимых землях нового орошения относятся многолетние травы, озимая и яровая пшеница, ячмень, овощи и фрукты.

Таблица П.3.3 - Посевная площадь, структура посевов и урожайность сельскохозяйственных культур проекта «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области», принятые для экономического анализа

Культуры	Площадь,		Урожайность, т/га
	га	в % к итогу	
Ситуация «Без проекта»			
1. Естественные сенокосы	485,1	100,00	4,0
Итого	485,1	100,0	
Ситуация «С проектом»			
1. Многолетние травы	290,6	59,9	4,62
2. Озимая пшеница	22,4	4,62	2,24
3. Яровая пшеница	52,3	10,78	2,24
4. Ячмень	49,8	10,27	2,22
5. Фрукты	46,0	9,48	5,20
6. Овощи	24,0	4,95	10,95
Итого	485,1	100,0	

4. Цены на культуры и прямые затраты

4.1. Цены на культуры

Цены на культуры в сомах на гектар предоставлены Департаментом аграрного развития Тогуз-Тороуского района Жалал-Абадской области (см. табл.П.3. 4 в Приложении). В табл. П.3.4 приводятся цены за 2008 – 2010 гг, средние цены за 2008 -2010 гг, а в последнем столбце Таблицы приводятся цены на культуры, принятые для экономического анализа.

Таблица П.3.4 - Цены на сельскохозяйственную продукцию по Тогуз-Тороускому району Жалал-Абадской области за 2008 - 2010 гг, сом/кг*

Сельскохозяйственные культуры	2008	2009	2010	В среднем за 2008 - 2010 гг
1. Многолетние травы	4,8	5,0	5,2	5,0
2. Озимая пшеница	19,0	24,8	20,1	21,3
3. Яровая пшеница	18,1	22,6	19,7	20,1
4. Ячмень	18,0	25,0	20,0	21,0
5. Фрукты	30,0	35,0	30,0	31,7
6. Овощи	14,0	16,2	18,8	16,3

* Примечание: Источник: Департамент аграрного развития Тогуз-Тороускому району Жалал-Абадской области, 2008 - 2010 гг.

4.2. Цены на входные затраты

Цены на входные затраты (семена, удобрения, техника, труд, т.д.), применяемые при расчете бюджета культур, представлены в табл. 5. Более подробно цены на входные затраты за 2008-2010 гг по Тогуз-Тороускому району Жалал-Абадской области даны в приложении в табл. П.3.5. Экономические цены входных затрат приняты как равные их финансовым ценам, за исключением цен на труд фермеров. Финансовая цена труда фермеров (рыночная ставка заработной платы) в исследуемом регионе составляет 200 сом/день. На этой основе экономическая цена (альтернативная стоимость) труда фермеров, как семейного труда, так и наемного труда, принята равной 120 сом/день (60% от 200 сом).

Таблица П.3.5 - Цены на входные затраты по Тогуз-Тороускому району Жалал-Абадской области за 2008 - 2010 гг

Наименование	2008	2009	2010
Семена			
	цена за 1кг	цена за 1кг	цена за 1кг
1. Многолетние травы	32,0	35,0	38,0
2. Озимая пшеница	19,0	20,0	23,0
3. Яровая пшеница	15,0	17,0	23,0
4. Ячмень	18,0	21,0	22,2
5. Фрукты	10 500/га	11 000/га	12 000/га
6. Овощи	29 000/га	29 000/га	29 000/га
Удобрения			
Аммиачная селитра	15,0	16,0	18,0
Рабочая сила			
Заработная плата (в финансовых ценах)	200/день	200/день	200/день

Продолжение табл.П.3.5			
Техника			
	сом/га	сом/га	сом/га
Вспашка	2 700	2 800	3 000
Дискование/боронование	800	800	900
Планировка	800	800	900
Бороздкование	800	800	900
Междурядная культивация	800	800	900
Применение удобрений	1 500	1 600	1 800
Применение гербицидов	1 500	1 600	1 800
Применение ядохимикатов	1 500	1 600	1 800
Сбор пшеницы комбайном	10% зерновой продукции плюс 20-35 литров д/т	10% зерновой продукции плюс 20-35 литров д/т	10% зерновой продукции плюс 20-35 литров д/т
Покос и складирование в тюки многолетних трав	7 100	7 200	7 400
Транспорт	300 -1 000	300 - 1 000	400 - 1 200
Дизельное топливо	26/литр	34/литр	36/литр

5. Бюджеты культур и чистая прибыль культур на га

Для расчета чистой прибыли культур на гектар в экономическом анализе были подготовлены бюджеты культур для каждой из двух основных культур, включенных в анализ, на три ситуации (т.е. при полной разработке, когда урожайность культур достигнет своего максимума), а именно, нынешняя ситуация, ситуация в будущем СП, ситуация в будущем БП в год 6. Бюджеты культур приводятся в Приложении (см. табл. П.3.6 – П.3.12). В Таблице

П.3.6 показана чистая прибыль культур на гектар для каждой культуры, по которой составлялся бюджет культур.

Таблица П.3.6 - Чистая экономическая прибыль культур на га по проекту «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области» (сом, цены 2009/2010)

Культуры	Естественные сенокосы	Многолетние травы	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Ячмень	Фрукты	Овощи
1. Нынешняя урожайность (т/га)	4,00	4,62	2,24	2,24	2,22	5,20	10,95
Чистая прибыль/га (сом)	9 470	12 697	25 215	23 589	29 806	122 839	86 317
2. Урож-ть "СП" в Год 6 (т/га)	4,40	5,08	2,46	2,46	2,44	5,72	12,05
Чистая прибыль/га (сом)	11 298	14 689	29 640	27 648	34 172	137 695	96 996
3. Урож-ть "БП" в Год 6 (т/га)	3,84	4,44	2,15	2,15	2,13	5.0	10,52
Чистая прибыль/га (сом)	8 687	11 946	23 351	21 822	27 966	116 625	80 251

6. Ежегодные экономические выгоды проекта

В табл. П.3.7 приведена чистая выгода проекта в Год 6 – год, когда достигается «полная разработка», т.е. когда урожайность культур в будущем СП достигает своего максимума. Как указывается в Разделе 2, предполагается, что такой рост урожайности занимает четыре года после завершения ирригационного строительства в конце Года 2.

Таблица П.3.7 - Ежегодные чистые выгоды проекта «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области» в Год 6

Показатели	Итого
Общая чистая экономическая прибыль культур СП в Год 6, тыс. сом	16 742,0
Общая чистая экономическая прибыль культур БП в Год 6, тыс. сом	4 214,0
Общие ежегодные чистые выгоды, тыс. сом	12 528,0
Общие ежегодные чистые выгоды, тыс. долл. США	272,4
Ежегодные чистые выгоды на гектар подвешенной площади, сом	25 826
Ежегодные чистые выгоды на гектар подвешенной площади, долл. США	561,4

Ежегодная чистая выгода от освоения новых массивов проекта «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области» в размере 12 528 сом/га (272,4 долл. США/га) – относительно высокая. Это вызвано высокой выгодой от перевода неорошаемых в настоящее время 485,1 га в полностью орошаемые земли и тем, что значительную часть посевных площадей занимают относительно высокодоходные культуры, такие как фрукты, овощи (9,5% и 5,0% соответственно).

В первоначальную модель потока денежных средств было внесено одно изменение. Ранее модель демонстрировала различные уровни выгод в каждый из 19 лет после Года 6, а не единый уровень ежегодных выгод за указанный период. Единственной причиной того, почему все годы с Года 6 по Год 25 показаны в отдельности, было то, что согласно предположению о

1% ежегодном снижении урожайности в будущем БП, чистая прибыль культур в будущем БП будет также отличаться каждый год. В результате, выгода проекта в каждом последующем году немного отличалась от выгоды в предыдущем году.

В таблице чистого потока денежных средств в Приложении используется упрощенный механизм для упрощения расчета выгод в Год 7-25. Используя ставку дисконтирования 12%, была рассчитана общая текущая стоимость (ТС) ежегодной чистой прибыли в будущем БП, приводимая в таблицах потока денежных средств за Годы 7-25, с тем, чтобы рассчитать «ежегодную эквивалентную стоимость» при ставке дисконтирования 12% от прибыли в будущем БП за 19-летний период. На основе такого расчета, применялся коэффициент 0,98 к чистой экономической прибыли БП в Год 6 для расчета ежегодной чистой экономической прибыли в Годы 7-25. На полученную цифру умножалась чистая прибыль в будущем БП в Год 6 для получения ежегодной эквивалентной стоимости при ставке дисконтирования 12% от чистой прибыли БП в Годы 7-25. Это упрощает анализ затрат и выгод и результаты в более читаемой таблице потока денежных средств.

7. Затраты проекта

7.1. Капитальные затраты в финансовых и экономических ценах
Оценочные капитальные затраты проекта «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области» составляют при 1 варианте (Вододелитель обычный с колодцем гасителем используемый в практике) 24 430 сом и при 2 варианте (Вододелитель на быстройтоке внедренный вариант) 19 600 сом, согласно финансовым ценам (т.е. включая налог на добавленную стоимость). Это равняется 50,36 сом/га при 1 варианте и 40,4 сом/га при 2 варианте на гектар орошаемой площади.

7.2. Ежегодные затраты на ЭиТО

Для ситуации в будущем СП и БП ежегодные затраты на ЭиТО проекта частично основываются на расчетах, подготовленных Тогуз-Тороуским

райводхозом. Предполагается, что затраты на ЭиТО в будущем БП останутся такими же, как в настоящее время, т.е. равны нулю.

В связи с введением в эксплуатацию объектов новой оросительной системы, уровень затрат на ЭиТО в будущем СП, которые потребуются для обеспечения удовлетворительной эксплуатации в будущем, принят равным 733 сом (3% от капитальных затрат) в год при 1 варианте и 737 сом при 2 варианте.

8. Экономический анализ проекта

Капитальные затраты проекта приняты равно разделенными между двумя годами строительства, т.е. 50% в Год 1 и 50% в Год 2. В эти два года затраты на ЭиТО будут одинаковыми в случаях «С проектом» и «Без проекта». Следовательно, полные затраты на ЭиТО в будущем СП будут понесены в Год 3 и далее, в то время как затраты на ЭиТО в будущем БП останутся такими же, как в настоящее время.

В Таблице П.3.8 приводятся результаты экономического анализа. Полные детали приводятся в табл. П.3.15 –П.3.16 в Приложении.

Для того чтобы проект был признан экономически выгодным (т.е. получить приемлемую прибыль в ответ на планируемые инвестиции по проекту) прибыль по инвестициям должна превышать 12%.

Таблица П.3.8 Результаты экономического анализа проекта «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского району Жалал-Абадской области»

	1 вариант	2 вариант
Подвешенная площадь (га)		

	1 вариант	2 вариант
Площадь "с проектом" "	485,1	485,1
Площадь "без проекта"	485,1	485,1
Экономические затраты, принятые для анализа (тыс. сом)		
Капитальные затраты	24,43	19,6
Затраты на ЭиТО «без проекта»	0	0
Затраты на ЭиТО «с проектом»	0,733	0,588
Результаты анализа при ставке дисконтирования 12% (тыс. сом)		
Текущая стоимость выгоды	92 061	92 061
Текущая стоимость затрат	25	20
Чистая приведенная стоимость	92 036	92 041
Соотношение выгоды и затрат	3 660,0 : 1	4 561,9 : 1

* Источник: Таблица П.3.15 –П.3.16 в Приложении.

Результаты базового анализа указывают на то, что проект «Орошение земель под каналом Верхний Ак-Куп Тогуз-Тороуского р-на Жалал-Абадской области» является экономически жизнеспособным с соотношением выгод и затрат 3 660:1 и чистой приведенной стоимостью 92 036 тыс. сом при 1 варианте и 4 562 : 1 и чистой приведенной стоимостью 92 041 тыс. сом при 2 варианте при ставке дисконтирования 12%, что свидетельствует об эффективности предлагаемых инвестиций в данный проект.

Расчет водомерного и водораспределительного сооружений на Иссyk-Атинском подпитывающем канале Чуйской области

Расчет водомерного и водораспределительных сооружений на Иссyk-Атинском подпитывающем канале проводился по методикам гидравлического расчета, приведенным в п.3.8 и п.4.5, в следующем порядке.

Расчет гидропоста на ИПК

Для того, чтобы запроектировать водомерное сооружение усовершенствованной конструкции ВСКСТ на ИПК необходимо выполнить расчет его гидравлических и конструктивных параметров.

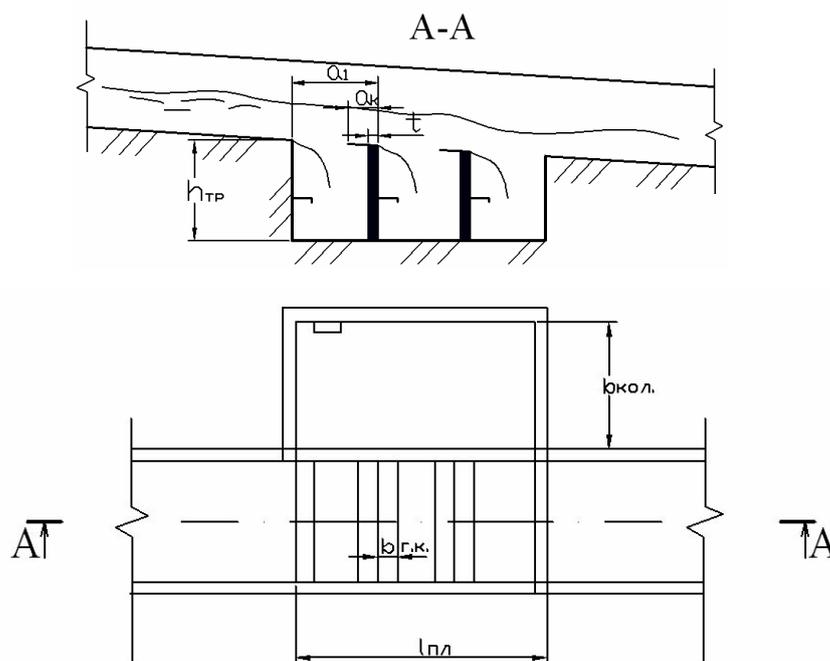


Рис. П.4.1. Схема ВСКСТ.

Исходными данными для расчета ВСКСТ являются:

- максимальный расход ИПК – $Q=25,0 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход максимального волнообразования – $Q_{max}^e=7,0 \text{ м}^3/\text{с}$;
- уклон дна ИПК – $i=0,0249$;
- ширина ИПК по дну – $b=3,75 \text{ м}$;

- строительная высота канала – $h_{стр}=1,65$ м;
- сечение канала – прямоугольное;
- нормальная глубина – $h_0=0,93$ м;
- глубина при расходе максимального волнообразования – $h_1=0,68$ м;
- скорость воды в канале при расходе максимального волнообразования – $v_1=5,1$ м/с.

Порядок расчета ВСКСТ:

- 1) Расход воды, попадающей в камеру донной траншеи при наполнении h_1 :

$$\Delta Q = \frac{Q_{\max}^6}{3} = \frac{7}{3,75} = 1,87 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

- 2) Определим длину волногасящей плиты по формуле:

$$l_{пл} = \sum a_i + \sum t_i + a_k, \quad (\text{П.4.1})$$

где a_i - длина входного отверстия в камеру траншеи;

t_i - толщина перегородки;

a_k - длина горизонтального козырька.

Сначала определим длину плиты под первой камерой:

$$a_1 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_1 \cdot \rho_1 \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot H_1}}; \quad (\text{П.4.2})$$

$$a_1 = \frac{1,87}{0,5 \cdot 0,6 \cdot 3,75 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,065}} = 0,26 \text{ м},$$

где $\mu_1 = \mu$ - коэффициент расхода плиты с продольными прорезями определяется по эмпирической формуле:

$$\mu = 0,0002 Fr^2 - 0,0104 Fr + 0,54434; \quad (\text{П.4.3})$$

$$\mu = 0,0002 \cdot 4,07^2 - 0,0104 \cdot 4,07 + 0,54434 = 0,5,$$

где параметр Фруда:

$$Fr_1 = \frac{\alpha \cdot v_1^2}{g \cdot h}; \quad (\text{П.4.4})$$

$$Fr_1 = \frac{1,045 \cdot 5,1^2}{9,81 \cdot 0,68} = 4,07.$$

Коэффициент Кориолиса для сверхбурного потока $\alpha = 1,045$

Средняя скорость потока:

$$v_0 = \frac{Q}{w_0} = \frac{13}{2,55} = 5,1 \text{ м/с}$$

Действующий напор над секцией вододелителя:

$$H_1 = h_1 + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2g} . \quad (\text{П.4.5})$$

$$H_1 = h_1 + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2g} = 0,93 + \frac{1,045 \cdot 5,1^2}{2 \cdot 9,81} = 2,31 \text{ м}$$

Принимаем $a_1 = a_2 = a_3 = 0,3 \text{ м}$

Поскольку водомерное сооружение имеет три секции, принимаем суммарную длину секций:

$$\sum a_i = 3 \cdot a_1 ; \quad (\text{П.4.6})$$

$$\sum a_i = 3 \cdot 0,3 = 0,9 \text{ м}.$$

Толщину армированных перегородок между камерами принимаем равной $t=0,1 \text{ м}$

Суммарная толщина перегородок:

$$\sum t_i = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ м}. \quad (\text{П.4.7})$$

Длину отсекающих козырьков в конце каждой камеры принимаем, согласно рекомендации Голубенко М. И. [63], одинаковой и равной:

$$a_k = 0,2 \cdot a_i ; \quad (\text{П.4.8})$$

$$a_k = 0,2 \cdot 0,3 = 0,06 \text{ м}.$$

Общая длина козырьков:

$$\sum a_k = 3 \cdot a_k ; \quad (\text{П.4.9})$$

$$\sum a_k = 3 \cdot 0,06 = 0,18 \text{ м.}$$

С учетом вычисленных размеров общая длина траншеи водомера равна общей длине волногасящей плиты, согласно формуле (3.15):

$$l_{nl} = 0,9 + 0,2 + 0,18 = 1,28 \text{ м.} \quad (\text{П.4.10})$$

Длина каждой камеры будет равна:

$$l_1 = l_2 = l_3 = \frac{l_{nl} - 2t}{3} = 0,36 \text{ м.} \quad (\text{П.4.11})$$

3) Глубина донной траншеи определяется по формуле:

$$h_{mp} = \frac{Q_{\max}}{l_{nl} \cdot v_{mp}} + \Delta h = h_{кр.мп} + \Delta h; \quad (\text{П.4.12})$$

$$h_{mp} = 1,42 + 0,2 = 1,62 \text{ м,}$$

где v_{mp} - скорость воды в траншее с уклоном дна, равным критическому, т.е. с критической глубиной:

$$h_{кр.мп} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot \Delta Q^2}{g \cdot l_1^2}}; \quad (\text{П.4.13})$$

$$h_{кр.мп} = \sqrt[3]{\frac{1,045 \cdot 1,87^2}{9,81 \cdot 0,36^2}} = 1,42 \text{ м,}$$

где:

Δh - запас; $\Delta h = 0,2 \text{ м}$ [149].

4) Уклон дна траншеи должен быть равен или больше Критического исходя из условия транспорта донных наносов.

$$i_{mp} = \frac{Q^2}{\omega^2 \cdot C^2 \cdot R}; \quad (\text{П.4.14})$$

$$i_{mp} = \frac{1,87^2}{0,58^2 \cdot 43,99^2 \cdot 0,181} = 0,0297,$$

где:

ω - площадь живого сечения потока в траншее:

$$\omega = h_{mp} \cdot l_1; \quad (\text{П.4.15})$$

$$\omega = 1,62 \cdot 0,36 = 0,58 \text{ м}^2.$$

Параметры траншеи:

$$\chi = 2h_{кр} + l_1; \quad (\text{П.4.16})$$

$$\chi = 2 \cdot 1,42 + 0,36 = 3,2 \text{ м};$$

$$R = \frac{\omega}{\chi}; \quad (\text{П.4.17})$$

$$R = \frac{0,58}{3,2} = 0,181 \text{ м};$$

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}; \quad (\text{П.4.18})$$

$$C = \frac{1}{0,017} \cdot 0,181^{\frac{1}{6}} = 43,99 \text{ м}^{0,5} / \text{с}.$$

5) Параметры успокоительного колодца.

Строительная высота успокоительного колодца:

$$h_{кол} = h_{mp} + h_{стр}; \quad (\text{П.4.19})$$

$$h_{кол} = 1,62 + 1,65 = 3,27 \text{ м}.$$

Ширина успокоительного колода:

$$b_{кол} = 2,0 \text{ м}. \quad (\text{П.4.20})$$

6) Параметры Г-образных козырьков.

Ширина Г-образных козырьков, устанавливаемых горизонтально в средней части тыльной стороны перегородок, равна:

$$b_{з.к.} = 0,12 \cdot l_1; \quad (\text{П.4.21})$$

$$b_{з.к.} = 0,12 \cdot 0,36 = 0,04 \text{ м}.$$

Длина вертикальной части козырьков:

$$h_{z.k.} = 0,5 \cdot b_{z.k.} \quad (\text{П.4.22})$$

7) Глубина расположения Г-образного козырька относительно дна канала:

$$h_{расп.г.к.} = 0,5 \cdot h_{мп}; \quad (\text{П.4.23})$$

$$h_{расп.г.к.} = 0,5 \cdot 1,62 = 0,81 \text{ м.}$$

8) Глубина донной траншеи в ее конце:

$$h_{мп}^к = 1,62 - 0,032 = 1,59 \text{ м};$$

$$\frac{\Delta}{1,28} = 0,0249 \Rightarrow \Delta = 0,032 \text{ м.}$$

Далее рассмотрим водораспределительное сооружение для подачи воды в АВП «Эпкин-Суу».

Расчет вододелителя на ИПК на ПК36+82

Исходные данные для расчета ВКСТ (рис.П.4.2):

1. Максимальный расход Иссык-Атинского подпитывающего (транзитного) канала $Q_{\max} = 25,0 \text{ м}^3 / \text{с}$;
2. Расход максимального волнообразования $Q_{\max}^e = 13,0 \text{ м}^3 / \text{с}$ [29];
3. Уклон дна канала $i = 0,0249$ (с продольного профиля);
4. Ширина по дну $b = 3,75 \text{ м}$;
5. Сечение канала: прямоугольное;
6. Расход отбора в отвод $Q_{отв} = 2,50 \text{ м}^3 / \text{с}$;
7. Нормальная глубина $h_0 = 0,93 \text{ м}$;
8. Строительная высота канала $h_{стр} = 1,65 \text{ м}$;
9. Размеры отверстия в дне канала: 3,37x1,20x3,65 (м).

Схема ВКСТ для гидравлического расчета приведена на рисунке П.4.2.

Гидравлический расчет водораспределительного сооружения проводился в следующем порядке.

1. Поскольку величина отводимого расхода воды $Q_{омв} = 2,50 м^3 / с < 3,0 м^3 / с$, но $Q_{омв} = 2,50 м^3 / с > 1,0 м^3 / с$ [29], принимаем две камеры траншейного типа.

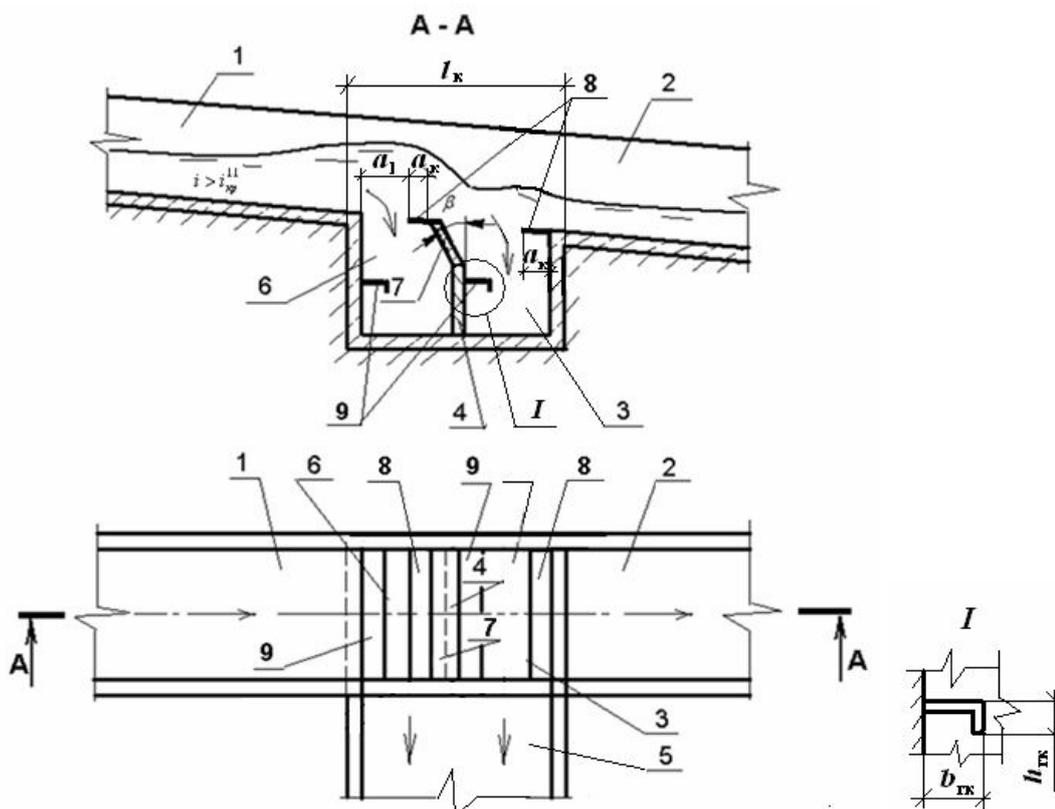


Рис. П.4.2. Схема вододелителя для каналов со сверхбурным течением (Патент №1043, 2008 на имя Лаврова Н.П., Атамановой О.В., Бейшекеева К.К., Аджыгуловой Г.С.) (решетка не показана): 1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – донный колодец; 4 – нижняя часть вертикальной перегородки; 5 – отводящий колодец; 6 – камеры; 7 – наклонная часть перегородки; 8 - горизонтальные козырьки; 9 - Г-образные козырьки.

2. Уточним длину волногасящей плиты по формуле:

$$l_{пл} = \sum a_i + \sum t_i + a_k \quad (\text{П.4.24})$$

Для чего сначала определим длину плиты под первой камерой a_1 .

Расход отбора воды в камеру равен:

$$\Delta Q_i = Q_{омв} / 1 = 2,5 / 2 = 1,25 м^3 / с . \quad (\text{П.4.25})$$

Длина плиты над камерой может быть определена из формулы:

$$a_1 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_1 p_1 b \sqrt{2gH_1}}, \quad (\text{П.4.26})$$

где μ – коэффициент расхода плиты с продольными прорезями, при полностью открытых боковых затворах определяется по эмпирической формуле:

$$\mu = 0,0002Fr^2 - 0,0104Fr + 0,54434; \quad (\text{П.4.27})$$

$$\mu = 0,0002 \cdot 5,87^2 - 0,0104 \cdot 5,87 + 0,54434 = 0,49,$$

где параметр Фруда $Fr_1 = \alpha v^2 / gh = \frac{1,045 \cdot 7,16^2}{9,81 \cdot 0,93} = 5,87.$ (П.4.28)

Коэффициент Кориолиса для сверхбурного потока принят равным $\alpha = 1,045$ по рекомендациям [149]. Скорость воды в канале:

$$v = Q/\omega = 25/3,49 = 7,16 \text{ м/с}. \quad (\text{П.4.29})$$

Действующий напор на секции решетчатой плиты вычисляем с учетом скорости v при равномерном режиме.

Полный действующий напор над секцией вододелителя:

$$H_1 = H_n^1 = h_0 + \alpha v^2 / 2g = 0,93 + \frac{1,045 \cdot 7,16^2}{2 \cdot 9,81} = 3,66 \text{ м}. \quad (\text{П.4.30})$$

Длина плиты над камерой:

$$a_1 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_1 p_1 b_{\text{отс}} \sqrt{2gH_1}} = \frac{1,25}{0,49 \cdot 0,4 \cdot 3,37 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3,66}} = 0,22 \text{ м}.$$

Полученное значение длины плиты явно меньше существующего, что свидетельствует о возможности гарантированного пропуска заданного расхода воды в отвод.

Толщина боковых стенок траншеи $t_n = t_k = 0,2 \text{ м}$. Примем толщину средней перегородки также равной $t_1 = 0,2 \text{ м}$. Суммарная толщина стенок $\sum t_i = 0,6 \text{ м}$.

Рассчитаем фактическую длину плиты над камерами отводящей траншеи.

Существующая длина плиты: $l_{пл} = l_k = 4,05 м$ при том, что длина отверстия в свету $l_{отв} = 3,65 м$. Глубина траншеи $h_{тр} = 1,2 м$. Значит, высота вертикальной части перегородки составит $h_{верт} = \frac{2}{3} h_{тр} = \frac{2}{3} \cdot 1,2 = 0,8 м$. Угол наклона верхней части перегородки к вертикали составляет $\beta = 30^\circ$.

Общая длина двух камер траншеи без перегородки:

$$\sum a_{кам} = l_{отв} - t_1 = 3,65 - 0,2 = 3,45 м. \quad (П.4.31)$$

Длина каждой камеры в нижней части:

$$a_{кам} = \frac{\sum a_{кам}}{2} = \frac{3,45}{2} = 1,725 м. \quad (П.4.32)$$

При угле наклона вертикальной части перегородки $\beta = 30^\circ$ длина плиты над первой камерой a_1 на 0,46 м меньше длины плиты над второй камерой a_2 , что следует из геометрических расчетов.

Найдем длину плиты над первой камерой исходя из того, что длина отсекающего козырька [63]:

$$a_k = 0,15 a_{i\max} = 0,15 \cdot a_2. \quad (П.4.33)$$

Для определения a_1 составим систему уравнений:

$$\begin{cases} l_{отв} = a_1 + 0,15 a_2 + t_1 + a_2 + 0,15 a_2 \\ a_2 = a_1 + 0,46 ; \end{cases} \quad (П.4.34)$$

Фактическая длина плиты над первой камерой из решения (П.4.34):

$$a_1 = 1,24 м.$$

Следовательно, длина второй камеры: $a_2 = 1,24 + 0,46 = 1,7 м$.

Длину отсекающего горизонтального козырька в конце камеры принимаем, согласно рекомендаций М.И. Голубенко, одинаковой и равной:

$$a_k = (0,15 \dots 0,2) a_{i\max} = 0,15 \cdot 1,7 = 0,25 м.$$

Принимаем: $a_1 = 1,25 м$.

С учетом вычисленных размеров проверим общую длину колодца вододелителя, которая равна общей длине волногасящей плиты согласно формулы (4.20):

$$l_{\kappa} = \sum a_i + t_1 + \sum a_{\kappa} = 1,25 + 0,25 + 0,2 + 1,7 + 0,25 = 3,65 \text{ м}. \quad (\text{П.4.35})$$

Тогда общая длина волногасящей плиты в соответствии с (П.4.24):

$$l_{\text{пл}} = \sum a_i + \sum t_i + \sum a_{\kappa} = 1,25 + 0,25 + 0,6 + 1,7 + 0,25 = 4,05 \text{ м}$$

Что соответствует действительности.

3. Проверим глубину донной траншеи.

Глубина донной траншеи (колодца) в ее начале при условии свободного истечения в камеру, определяется по формуле:

$$h_{\text{тр}}^{\text{н}} = \frac{Q_{\text{оме}}}{l_{\text{пл}} v_{\text{тр}}} + \Delta h = \frac{1,25}{1,725 \cdot 1,87} + 0,4 = 0,8 \text{ м}, \quad (\text{П.4.36})$$

где $v_{\text{тр}}$ - скорость движения воды в траншее с уклоном дна,

равным критическому, т.е. с критической глубиной:

$$h_{\text{кртр}} = \sqrt[3]{\alpha q^2 / g} = \sqrt[3]{1,1 \cdot 1,25^2 / 9,81 \cdot 1,725^2} = 0,39 \text{ м}; \quad (\text{П.4.37})$$

$$v_{\text{тр}} = Q / \omega = 1,25 / 0,67 = 1,87 \text{ м / с}, \quad (\text{П.4.38})$$

где ω - площадь живого сечения потока, $\omega = l_{\kappa} \cdot h_{\text{кртр}} = 1,725 \cdot 0,39 = 0,67 \text{ м}^2$.

Δh - запас, $\Delta h = 0,2 \dots 0,4$ [63].

Фактическая глубина траншеи, равная $h_{\text{факт.тр}} = 1,2 \text{ м} > h_{\text{тр}}^{\text{н}} = 0,8 \text{ м}$.

Следовательно, при устройстве поперечного уклона дна траншеи критическим, подтопления траншеи не будет.

Определим поперечный уклон дна траншеи.

4. Уклон дна траншеи (перпендикулярно оси транзитного канала) из условия транспорта донных наносов должен быть больше или равен критическому, который определяется из формулы Шези:

$$Q = \omega_{кр} C_{кр} \sqrt{R_{кр} i_{мп}} \Rightarrow i_{мп} = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} = \frac{1,25^2}{0,67^2 \cdot 50,25^2 \cdot 0,27} = 0,005 . \quad (\text{П.4.39})$$

Параметры траншеи:

$$\chi = 2h_{кр} + l_{к} = 2 \cdot 0,39 + 1,725 = 2,505 \text{ м},$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{0,673}{2,505} = 0,27 \text{ м}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,016} 0,27^{1/6} = 50,25 \text{ м}^{0,5} / \text{с}$$

5. Параметры Г-образного козырька.

Ширина Г-образного козырька, устанавливаемого горизонтально в средней части тыльной стороны передней по потоку стенки, равна:

$$b_{эк} = 0,1l_i = 0,1 \cdot 1,725 = 0,17 \text{ м} . \quad (\text{П.4.40})$$

Длина вертикальной части Г-образного козырька:

$$h_{эк} = 0,5b_{эк} = 0,5 \cdot 0,17 \approx 0,09 \text{ м} . \quad (\text{П.4.41})$$

Заглубление Г-образного козырька относительно дна канала:

$$h_{расп_{эк}} = 0,5h_{мп} = 0,5 \cdot 1,2 = 0,6 \text{ м} \quad (\text{П.4.42})$$

Проверка возможности водоподачи при 100%-м водозаборе, когда расход транзитного канала равен $Q=2,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

1. Определим наполнение в транзитном канале при $Q = 2,5 \text{ м}^3 / \text{с}$ [114, с.88]:

$$h = \left(\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i} \cdot b} \right)^{0,6} = \left(\frac{2,5 \cdot 0,016}{\sqrt{0,0249} \cdot 3,75} \right)^{0,6} = 0,2 \text{ м}.$$

Напор на вододелителе при расходе воды в канале $Q=2,5 \text{ м}^3/\text{с}$:

$$H_1 = h + \alpha v^2 / 2g = 0,2 + \frac{1,045 \cdot 3,33^2}{2 \cdot 9,81} = 0,79 \text{ м} .$$

$$v = Q/\omega = 2,5/0,75 = 3,33 \text{ м} / \text{с} .$$

2. Определим известным способом [85] длину отлета струи:

$$l_0 = x_1 = v_c^1 \sqrt{\frac{2y_1}{g}}; \quad (\text{П.4.43})$$

Скорость потока на уступе:

$$v_c^1 = \frac{m\sqrt{2gH}^{3/2}}{h} = \frac{0,42\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,79^{3/2}}}{0,53} = 2,46 \text{ м/с}. \quad (\text{П.4.44})$$

$$h = 0,67H_1 = 0,67 \cdot 0,79 = 0,53 \text{ м}. \quad (\text{П.4.45})$$

3. Вся струя попадает в траншею, если ее длина отлета $x_1 < l_{омв}$:

$$x_1 = 2,46 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{9,81}} = 0,5 \text{ м}.$$

Получаем $x_1 = 0,5 \text{ м} < a_1 = 1,25 \text{ м}$, что означает полный водозабор.

Проверка возможности водоподачи при максимальном расходе транзитного канала, который равен $Q_{\max} = 25,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

Наполнение в транзитном канале: $h_0 = 0,93 \text{ м}$.

Напор на вододелителе при расходе воды в канале $Q_{\max} = 25,0 \text{ м}^3/\text{с}$:

$$H_1 = h_0 + \alpha v^2/2g = 0,93 + \frac{1,045 \cdot 7,16^2}{2 \cdot 9,81} = 3,66 \text{ м}.$$

Определим известным способом [115, с.395] длину отлета струи по формуле (П.4.43):

Скорость потока на уступе:

$$v_c^1 = \frac{m\sqrt{2gH}^{3/2}}{h} = \frac{0,42\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 3,66^{3/2}}}{2,45} = 5,32 \text{ м/с}. \quad (\text{П.4.46})$$

$$h = 0,67H_1 = 0,67 \cdot 3,66 = 2,45 \text{ м}. \quad (\text{П.4.47})$$

Длина отлета струи: $x_1 = 5,32 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,93}{9,81}} = 2,32 \text{ м}$.

Получаем $x_1 = 2,32 \text{ м} < l_{омв} = 3,65 \text{ м}$. Это означает, что при существующих параметрах вододелителя и при максимальном расходе воды в транзитном канале, в траншею попадает вся струя. Следовательно, можно отобрать

необходимый расход воды путем соответствующего открытия боковых затворов.

На этом расчет вододелителя можно считать завершённым.

Расчет водораспределительного сооружения на канале Р-4-2-2 на Бургандинском массиве Кадамжайского района Баткенской области
(III – очередь)

Расчет водораспределительных сооружений на Бургандинском массиве Кадамжайского района Баткенской области проводился по методике гидравлического расчета, приведенной в п.4.5, в следующем порядке.

Расчетная схема приведена на рис. П.5.1.

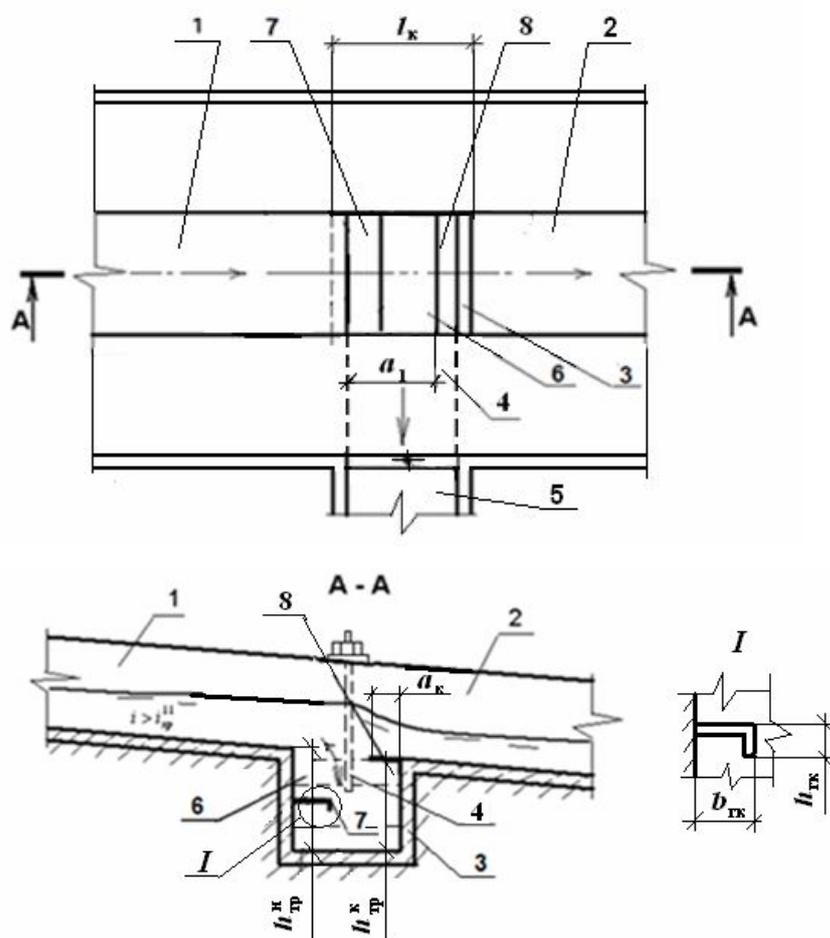


Рис. П.5.1. Схема вододелителя для каналов со сверхбурным течением (Патент №1043, 2008 на имя Лаврова Н.П., Атамановой О.В., Бейшекеева К.К., Аджыгуловой Г.С.) (решетка не показана): 1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – донный колодец; 4 – плоские затворы; 5 – отводящий канал; 6 – камеры; 7 – Г-образные козырьки; 8 - горизонтальные козырьки.

Исходные данные для ВКСТ:

1. Максимальный расход транзитного канала $Q_{\phi} = 0,7 \text{ м}^3 / \text{с}$;
2. Расход максимального волнообразования $Q_{\text{max}}^e = 0,7 \text{ м}^3 / \text{с}$; для каналов с уклоном $i \geq 0,05 \Rightarrow Q_{\text{max}}^e = Q_{\phi}$ [2];
3. Уклон дна канала $i = 0,0458$;
4. Ширина по дну $b = 0,6 \text{ м}$;
5. Сечение канала: трапецидальное $m = 1,5$;
6. Расход отбора в отвод $Q_{\text{отв}} = 0,10 \text{ м}^3 / \text{с}$;
7. Нормальная глубина $h_n = 0,21 \text{ м}$;
8. Форсированная глубина $h_{\phi} = 0,23 \text{ м}$;
9. Максимальная скорость воды в канале $v = 3,73 \text{ м} / \text{с}$

Расчет ВКСТ:

Определим строительную высоту канала:

$$h_{\text{стр}} = h_{\phi} + h_e, \quad (\text{П.5.1})$$

где h_e - глубина в гребне максимальной катящейся волны.

По данным [29] глубина максимальной волны при сверхбурном течении по своей величине близка к критической глубине в канале: $h_e \leq h_{\text{кр}}$.

Критическую глубину находим по зависимости Емцева [114]:

$$F(\varepsilon_{\text{кр}}) = \frac{m}{b} \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{max}}^e{}^2}{gb^2}} = \frac{1,5}{0,6} \sqrt[3]{\frac{0,77^2}{9,81 \cdot 0,6^2}} = 1,38 \Rightarrow \varepsilon_{\text{кр}} = 1,2.$$

Критическая глубина:
$$h_{\text{кр}} = \frac{\varepsilon_{\text{кр}} b}{m} = \frac{1,2 \cdot 0,6}{1,5} = 0,48 \text{ м}.$$

$$h_e \approx h_{\text{кр}} = 0,48 \text{ м}.$$

$$h_{\text{стр}} = h_{\phi} + h_e = 0,12 + 0,48 = 0,6 \text{ м}.$$

Поскольку величина отводимого расхода воды $Q_{\text{отв}} = 0,10 \text{ м}^3 / \text{с} < 1,0 \text{ м}^3 / \text{с}$ [29], принимаем одну камеру траншейного типа.

Определим длину волногасящей плиты по формуле:

$$l_{nl} = \sum a_i + \sum t_i + a_k \quad (\text{П.5.2})$$

Для чего сначала определим длину плиты под первой и единственной камерой a_1 .

Расход отбора воды в камеру равен:

$$\Delta Q_i = Q_{oms}/1 = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (\text{П.5.3})$$

Длина плиты над камерой может быть определена из формулы:

$$a_1 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_1 p_1 b \sqrt{2gH_1}}, \quad (\text{П.5.4})$$

где μ – коэффициент расхода плиты с продольными прорезями, при полностью открытых боковых затворах определяется по эмпирической формуле:

$$\mu = 0,0002 Fr^2 - 0,0104 Fr + 0,54434; \quad (\text{П.5.5})$$

$$\mu = 0,0002 \cdot 6,72^2 - 0,0104 \cdot 6,72 + 0,54434 = 0,483,$$

где параметр Фруда $Fr_1 = \alpha v_0^2 / gh = \frac{1,045 \cdot 3,64^2}{9,81 \cdot 0,21} = 6,72.$

(П.5.6)

Коэффициент Кориолиса для сверхбурного потока принят равным $\alpha = 1,045$ по рекомендациям [3]. Средняя скорость:

$$v_0 = Q/\omega_0 = 0,7/0,192 = 3,64 \text{ м/с}. \quad (\text{П.5.7})$$

Действующий напор на секции решетчатой плиты вычисляем с учетом средней скорости v_0 при равномерном режиме.

Полный действующий напор над секцией вододелителя:

$$H_1 = H_n^1 = h_0 + \alpha v^2 / 2g = 0,21 + \frac{1,045 \cdot 3,64^2}{2 \cdot 9,81} = 0,4 \text{ м}. \quad (\text{П.5.8})$$

Длина плиты над камерой:

$$a_1 = \frac{\Delta Q_i}{\mu_1 p_1 b \sqrt{2gH_1}} = \frac{0,1}{0,463 \cdot 0,4 \cdot 0,6 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,40}} = 0,32 \approx 0,4 \text{ м}$$

Армированные перегородки между камерами отсутствуют, ввиду наличия единственной камеры $\sum t_i = 0 \text{ м}$

Длину отсекающего горизонтального козырька в конце камеры принимаем, согласно рекомендаций М.И. Голубенко [63], одинаковой и равной:

$$a_k = (0,15 \dots 0,2) a_{i \max} = 0,2 \cdot 0,4 = 0,08 \text{ м} . \quad (\text{П.5.9})$$

С учетом вычисленных размеров общая длина колодца вододелителя равна общей длине волногасящей плиты согласно формулы (П.5.2):

$$l_k = l_{\text{пл}} = \sum a_i + \sum t_i + a_k = 0,4 + 0,1 = 0,5 \text{ м} . \quad (\text{П.5.10})$$

Глубина донной траншеи (колодца) в ее начале при условии свободного истечения в камеру, определяется по формуле:

$$h''_{mp} = \frac{Q_{\text{омб}}}{l_{\text{пл}} v_{mp}} + \Delta h = \frac{0,1}{0,5 \cdot 1,05} + 0,20 \approx 0,4 \text{ м} , \quad (\text{П.5.11})$$

где v_{mp} - скорость движения воды в траншее с уклоном дна, равным критическому, т.е. с критической глубиной:

$$h_{крmp} = \sqrt[3]{\alpha q^2 / g} = \sqrt[3]{1,1 \cdot 0,1^2 / 9,81 \cdot 0,4^2} = 0,19 \text{ м} \quad (\text{П.5.12})$$

$$v_{mp} = Q / \omega = 0,1 / 0,95 = 1,05 \text{ м / с} , \quad (13)$$

ω - площадь живого сечения потока, $\omega = l_k \cdot h_{крmp} = 0,5 \cdot 0,19 = 0,095 \text{ м}^2$.

Δh - запас, $\Delta h = 0,2 \dots 0,4$ [3].

Уклон дна траншеи (перпендикулярно оси транзитного канала) из условия транспорта донных наносов должен быть больше критического, который определяется из формулы Шези:

$$Q = \omega_{кр} C_{кр} \sqrt{R_{кр} i_{mp}} \Rightarrow i_{mp} = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} = \frac{0,1^2}{0,076^2 \cdot 39,08^2 \cdot 0,086} = 0,013 . \quad (\text{П.5.14})$$

Параметры траншеи:

$$\chi = 2h_{кр} + l_k = 2 \cdot 0,19 + 0,5 = 0,88 \text{ м} ,$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{0,076}{0,88} = 0,086 \text{ м}$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,017} 0,086^{1/6} = 39,08 \text{ м}^{0,5} / \text{с}$$

Параметры Г-образного козырька.

Ширина Г-образного козырька, устанавливаемого горизонтально в средней части тыльной стороны передней по потоку стенки, равна:

$$b_{зк} = 0,12l_i = 0,12 \cdot 0,5 = 0,06 \text{ м} . \quad (\text{П.5.15})$$

Длина вертикальной части Г-образного козырька:

$$h_{зк} = 0,5b_{зк} = 0,5 \cdot 0,06 \approx 0,03 \text{ м} . \quad (\text{П.5.16})$$

Заглубление Г-образного козырька относительно дна канала:

$$h_{расн_{зк}} = 0,5h_{нпр} = 0,5 \cdot 0,4 = 0,20 \text{ м} \quad (\text{П.5.17})$$

Глубина донной траншеи в ее конце: $h^к_{нпр} = 0,377 \text{ м} .$

Проверка возможности водоподачи при 100%-м водозаборе, когда расход транзитного канала равен $Q=0,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Определим наполнение в транзитном канале при $Q = 0,5 \text{ м}^3 / \text{с}$ [114]:

$$K_{мод} = \frac{Q \cdot n}{\sqrt{i} \cdot b^{2,67}} = \frac{0,5 \cdot 0,016}{\sqrt{0,0615} \cdot 0,8^{2,67}} = 0,0585. \quad \Rightarrow h_{мод} = 0,185 \text{ м} .$$

Наполнение в канале: $h = h_{мод} \cdot b = 0,185 \cdot 0,8 = 0,148 \text{ м}$

Напор на водodelителе при расходе воды в канале $Q=0,5 \text{ м}^3/\text{с}$:

$$H_1 = h + \alpha v^2 / 2g = 0,148 + \frac{1,045 \cdot 3,311^2}{2 \cdot 9,81} = 0,731 \text{ м} .$$

$$v = Q/\omega = 0,5 / 0,151 = 3,311 \text{ м} / \text{с} .$$

Определим известным способом [85] длину отлета струи:

$$l_0 = x_1 = v_c^1 \sqrt{\frac{2y_1}{g}} ; \quad (\text{П.5.18})$$

Скорость потока на уступе:

$$v_c^1 = \frac{m\sqrt{2g}H^{3/2}}{h} = \frac{0,42\sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 0,731^{3/2}}{0,49} = 2,37 \text{ м} / \text{с} . \quad (\text{П.5.19})$$

$$h = 0,67H_1 = 0,67 \cdot 0,731 = 0,49 \text{ м} . \quad (\text{П.5.20})$$

Вся струя попадает в траншею, если ее длина отлета $x_1 < l_\kappa$:

$$x_1 = 2,37 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,148}{9,81}} = 0,41 \text{ м}.$$

Получаем $x_1 = 0,41 < l_\kappa = 0,7 \text{ м}$, что означает полный водозабор без перелива через заднюю стенку колодца.

Проверка возможности водоподачи при форсированном расходе транзитного канала, который равен $Q_\phi = 2,4 \text{ м}^3 / \text{с}$.

Наполнение в транзитном канале: $h_\phi = 0,34 \text{ м}$.

Напор на вододелителе при расходе воды в канале $Q_\phi = 2,4 \text{ м}^3 / \text{с}$:

$$H_1 = h + \alpha v^2 / 2g = 0,34 + \frac{1,045 \cdot 5,29^2}{2 \cdot 9,81} = 1,83 \text{ м}.$$

Определим известным способом [85] длину отлета струи по формуле (П.5.18).

Скорость потока на уступе:

$$v_c^1 = \frac{m \sqrt{2gH}^{3/2}}{h} = \frac{0,42 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,83^{3/2}}}{1,23} = 3,74 \text{ м/с}. \quad (\text{П.5.21})$$

$$h = 0,67 H_1 = 0,67 \cdot 1,83 = 1,23 \text{ м}. \quad (\text{П.5.22})$$

$$\text{Длина отлета струи: } x_1 = 3,74 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,148}{9,81}} = 0,65 \text{ м}.$$

Получаем $x_1 = 0,65 \text{ м} < l_\kappa = 0,7 \text{ м}$. Это означает, что при существующих параметрах вододелителя и при максимальном расходе воды в транзитном канале, в траншею попадает вся струя. Следовательно, можно отобрать необходимый расход воды путем соответствующего открытия бокового затвора.

На этом расчет вододелителя можно считать законченным.

**Оценка экономической эффективности проекта ирригационного
строительства «Орошение земель Бургандинского массива
Кадамжайского р-на Баткенской области»**

**1. Методология и подход при проведении экономического
анализа**

Экономические и финансовые цены. Основная задача экономического анализа проекта («анализ затрат и выгод (АЗВ)») заключается в определении реальной стоимости ирригационного проекта «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского р-на Баткенской области» по отношению к экономике страны, а не Правительству, АВП, располагающимся в системе, или индивидуальным фермерам. В соответствии с данным подходом цены на продукцию проекта прямые затраты основываются на экономических ценах. Экономические цены могут отличаться от финансовых (рыночных) цен в связи с налогами, субсидиями, нереальными курсами обмена или другими искусственными искажениями, в результате чего, превалирующие финансовые цены не отражают реальную стоимость национальной экономики. В случаях, когда подобных значительных искажений нет, рыночная финансовая цена прямых затрат или продукции может приниматься равной экономической цене. Это касается случая с ценами на культуры и ценами на прямые затраты большинства культур в Кыргызстане. С другой стороны, для экономического анализа, капитальные затраты проектов, выраженные в финансовых ценах, должны быть откорректированы с тем, чтобы исключить налоги, налагаемые Правительством. Это больше «передаточные платежи», а не экономические затраты. Единственным исключением является заработная плата за фермерский труд, а также цены на удобрения и пестициды. В соответствии с обычной практикой анализа сельскохозяйственных проектов в Кыргызстане, экономическая цена («альтернативная стоимость») труда фермеров

принимается равной 60% финансовой цены (рыночная ставка заработной платы). При расчете бюджета культур по экономическим ценам экономическая цена применяется ко всем трудозатратам по возделыванию культур, как неоплачиваемым (труд фермера и его семьи) и оплачиваемым (наемный труд).

Любая разница, которая может быть между экономическими и финансовыми ценами, не будет влиять на уровень экономических выгод проекта.

Ежегодные экономические выгоды проекта. Сюда относится общая ежегодная чистая экономическая прибыль от производства культур в будущем в случае «с проектом» (СП в будущем) минус общая ежегодная чистая экономическая прибыль в будущем «без проекта» (БП в будущем). Отправной точкой оценки СП в будущем и БП в будущем является посевная площадь и урожайность культур на площади проекта в настоящее время (нынешняя ситуация). Предположения, принятые в отношении будущей посевной площади и урожайности культур представлены в Разделе 2.

Ценовая основа и период анализа. Выгоды и затраты проекта выражены в постоянных ценах 2009/2010 без учета будущей инфляции. Принято, что период анализа составляет 25 лет.

Анализ. Стандартная ставка дисконтирования, применяемая к данному виду анализа в Кыргызстане, составляет 12%. Результаты анализа представлены в виде соотношения выгод и затрат (СВЗ) проекта с учетом 12% и внутренней нормы прибыли (ВНП).

2. Основные предположения экономического анализа

Для оценки выгод и затрат проекта «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области» приняты следующие основные предположения:

- **Урожайность культур в будущем «с проектом»:** в будущем «с проектом» в год 6 (в год его освоения) урожайность культур на орошаемой площади (50 га) вырастет по возделываемым сельскохозяйственным культурам на 10% по сравнению с нынешней урожайностью в результате строительства оросительной системы и осуществления комплекса мероприятий, обеспечивающих ввод новых массивов орошения в Кадамжайском районе Баткенской области в системе реки Бурганда. Урожайность будет расти в течение четырех лет, начиная с Года 3 (год после завершения реабилитации) до Года 6, после этого урожайность меняться не будет. Поскольку рост урожайности будет полностью результатом ввода дополнительного орошения и улучшения водоподачи, а не усовершенствования использования прямых затрат на возделывание культур, таких как удобрения или семена лучшего качества, то затраты на производство культур расти не будут, за исключением затрат на сбор урожая. Затраты на сбор урожая будут незначительно увеличиваться из-за увеличения объема культуры, чей урожай нужно будет собирать в будущем «с проектом».

- **Урожайность культур в будущем «без проекта»:** в будущем «без проекта» урожайность культур будет падать на 1% каждый год в результате прогрессивного ухудшения состояния межхозяйственной ирригационной системы. Для анализа принято, что снижения начнется в Год 3 – год, когда урожайность СП начнет расти – и продолжится до конца периода анализа в Год 25.

- **Посевная площадь и структура посевов:** в будущем в случае СП предполагается прирост орошаемых земель в результате освоения 50 га новых массивов. В случае проекта «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области», предполагается кардинальное изменение структуры посевов и посевной площади в результате перевода земель из неорошаемых в полностью орошаемые. На структуру посевов влияет множество факторов, не связанных с подачей

оросительной воды, в особенности, рыночные условия и цены. Таким образом, невозможно прогнозировать какой эффект на проект окажет улучшение водоподачи на структуру посевов.

- **Затраты ЭиТО:** для поддержания системы межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов реки Бурганда в удовлетворительном состоянии, в будущем в случае СП затраты на ЭиТО объектов новой оросительной системы предполагаются, будут значительными. В случае БП затраты на ЭиТО в будущем останутся такими же, как в настоящее время.

3. Орошаемая площадь, структура посевов и урожайность культур

Объект расположен на территории сельских управ Кадамжайского района Баткенской области.

В табл. П.6.1 представлена детальная информация о структуре посевов сельскохозяйственных культур проекта магистрального и межхозяйственного канала Бурганда в ситуациях «Без проекта» и «С проектом». В настоящее время в ситуации «Без проекта» на 50 гектарах пастбищ собирают сено естественных трав. В результате проведения мелиоративных мероприятий по освоению новых массивов в ситуации «С проектом» предполагается перевод неорошаемых в орошаемые земли и выращивание орошаемых сельскохозяйственных культур, таких как виноград и фрукты (урюк).

В табл. П.6.2 приводятся настоящая и проектируемая урожайность и валовой сбор сельскохозяйственных культур. Урожайность и валовой сбор сельскохозяйственных культур магистрального и межхозяйственного канала Бурганда основана на средних показателях за 2008 – 2010 гг по рассматриваемому массиву в ситуациях «Без проекта» и «С проектом».

Таблица П.6.1 - Структура посевов сельскохозяйственных культур проекта «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области» в ситуациях «Без проекта» и «С проектом» за 2008 - 2010 гг, га

Сельскохозяйственные культуры	2008		2009		2010		В среднем за 2008-2010 гг	
	площадь	в % к итогу	площадь	в % к итогу	площадь	в % к итогу	площадь	в % к итогу
Ситуация «Без проекта»								
1. Естественные сенокосы	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0
Итого	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0
Ситуация «С проектом»								
1. Виноградники	25,0	50,0	25,0	50,0	25,0	50,0	25,0	50,0
2. Фрукты	25,0	50,0	25,0	50,0	25,0	50,0	25,0	50,0
Итого	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0

В табл. П.6.3 приводятся структура посевов, посевные площади и урожайность культур в ситуациях «Без проекта» и «С проектом», принятые для экономического анализа. К основным культурам на вновь вводимых землях нового орошения относятся виноград и фрукты (урюк).

Таблица П.6.2 - Урожайность и валовый сбор сельскохозяйственных культур проекта «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области» в ситуациях «Без проекта» и «С проектом» за 2008 - 2010 гг.

Сельскохозяйственные культуры	2008		2009		2010		Урожайность в среднем за 2008-2010 гг, т/га	Всего валовый сбор, т
	урожайность, тонн/га	валовый сбор, тонн	урожайность, тонн/га	валовый сбор, тонн	урожайность, тонн/га	валовый сбор, тонн		
Ситуация «Без проекта»								
1. Естеств. сенокосы	4,0	200,0	4,0	200,0	4,0	200,0	4,0	200,0
Ситуация «С проектом»								
1. Виноградники	6,0	150,0	5,0	125,0	5,0	125,0	5,3	133,3
2. Фрукты	5,5	137,5	5,1	127,5	5,0	125,0	5,2	130,0

Таблица П.6.3 - Посевная площадь, структура посевов и урожайность сельскохозяйственных культур проекта «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области», принятые для экономического анализа

Культуры	Площадь,		Урожайность, т/га
	га	в % к итогу	
Ситуация «Без проекта»			
1. Естественные сенокосы	50,0	100,00	4,0
Итого	50,0	100,0	

Продолжение П.6.3			
Ситуация «С проектом»			
1. Виноградники	25,0	50,0	5,3
2. Фрукты (урюк)	25,0	50,0	5,2
Итого	50,0	100,0	

4. Цены на культуры и прямые затраты

4.1. Цены на культуры

Цены на культуры в сомах на гектар предоставлены Департаментом аграрного развития Кадамжайского района Баткенской области (см. табл. П.6.4 в Приложении). В табл. П.6.4 приводятся цены за 2008 – 2010 гг, средние цены за 2008 -2010 гг, а в последнем столбце таблицы приводятся цены на культуры, принятые для экономического анализа.

Таблица П.6.4 - Цены на сельскохозяйственную продукцию по Кадамжайскому району Баткенской области за 2008 - 2010 гг, сом/кг*

Сельскохозяйственные культуры	2008	2009	2010	В среднем за 2008-2010 гг	Принятые цены
1. Виноградники	45,0	35,0	40,0	40,0	40,0
2. Фрукты (урюк)	30,0	35,0	30,0	31,7	31,7

* Примечание: Источник: Департамент аграрного развития Кадамжайского района Баткенской области, 2008 - 2010 гг.

4.2. Цены на входные затраты

Цены на входные затраты (семена, удобрения, техника, труд, т.д.), применяемые при расчете бюджета культур, представлены в табл. 5. Более подробно цены на входные затраты за 2008 -2010 гг по Кадамжайскому району Баткенской области даны в приложении в табл. П.6.5. Как объясняется в Разделе 1, экономические цены входных затрат приняты как равные их финансовым ценам, за исключением цен на труд фермеров. Финансовая цена труда фермеров (рыночная ставка заработной платы) в исследуемом регионе составляет 200 сом/день. На этой основе экономическая цена (альтернативная стоимость) труда фермеров, как семейного труда, так и наемного труда, принята равной 120 сом/день (60% от 200 сом).

Таблица П.6.5 - Цены на входные затраты по Кадамжайскому району Баткенской области за 2008 - 2010 гг.

Наименование	2008	2009	2010
Семена			
	цена за 1кг	цена за 1кг	цена за 1кг
1. Виноградники	40 000/га	43 000/га	45 000/га
2. Фрукты	10 500/га	11 000/га	12 000/га
Удобрения			
Аммиачная селитра	15,0	16,0	18,0
Рабочая сила			
Заработная плата (в финансовых ценах)	200/день	200/день	200/день
Техника			
	сом/га	сом/га	сом/га
Вспашка	2 700	2 800	3 000
Дискование/боронование	800	800	900
Продолжение табл.П.6.5			

Планировка	800	800	900
Бороздование	800	800	900
Междурядная культивация	800	800	900
Посев	800	800	900
Применение удобрений	1 500	1 600	1 800
Применение гербицидов	1 500	1 600	1 800
Применение ядохимикатов	1 500	1 600	1 800
Взрыхление, выкопка картоф.	1 800	1 800	1 800
Покос и складирование в тюки многолетних трав	7 100	7 200	7 400
Транспорт	300 -1 000	300 – 1 000	400 – 1 200
Дизельное топливо	26/литр	34/литр	36/литр

5. Бюджеты культур и чистая прибыль культур на га

Для расчета чистой прибыли культур на гектар в экономическом анализе были подготовлены бюджеты культур для каждой из двух основных культур, включенных в анализ, на три ситуации (т.е. при полной разработке, когда урожайность культур достигнет своего максимума), а именно, нынешняя ситуация, ситуация в будущем СП, ситуация в будущем БП в год 6. Бюджеты культур приводятся в Приложении (см. табл. П.6.6 - 8). В таблице П.6.6 показана чистая прибыль культур на гектар для каждой культуры, по которой составлялся бюджет культур.

Таблица П.6.6 - Чистая экономическая прибыль культур на га по проекту «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района

Баткенской области» (сом, цены 2009/2010)

Культуры	Естественные сенокосы	Виноградники	Фрукты (урюк)
1. Нынешняя урожайность (т/га)	4,00	5,30	5,20
Чистая прибыль/га (сом)	9 470	129 769	122 839
2. Урожай-ть "СП" в Год 6 (т/га)	4,40	5,83	5,72
Чистая прибыль/га (сом)	11 298	149 985	137 695
3. Урожай-ть "БП" в Год 6 (т/га)	3,84	5,09	5.0
Чистая прибыль/га (сом)	8 687	121 501	116 625

6. Ежегодные экономические выгоды проекта

В табл. П.6.7 приведена чистая выгода проекта в Год 6 – год, когда достигается «полная разработка», т.е. когда урожайность культур в будущем СП достигает своего максимума. Как указывается в Разделе 2, предполагается, что такой рост урожайности занимает четыре года после завершения ирригационного строительства в конце Года 2.

Таблица П.6.7 - Ежегодные чистые выгоды проекта Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области» в Год 6

Показатели	Итого
Общая чистая экономическая прибыль культур СП в Год 6, тыс. сом	7 192,0
Общая чистая экономическая прибыль культур БП в Год 6, тыс. сом	434,0
Общие ежегодные чистые выгоды, тыс. сом	6 758,0
Общие ежегодные чистые выгоды, тыс. долл. США	142,3
Ежегодные чистые выгоды на гектар подвешенной площади, сом	135 160
Ежегодные чистые выгоды на гектар подвешенной площади, долл. США	2 846

Ежегодная чистая выгода от освоения новых массивов проекта «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области» в размере 135 160 сом/га (2 846 долл. США/га) – относительно высокая. Это вызвано высокой выгодой от перевода неорошаемых в настоящее время 50 га в полностью орошаемые земли и тем, что значительную часть посевных площадей занимают относительно высокодоходные культуры, такие как виноградники и фрукты (урюк) (50% и 50% соответственно).

В первоначальную модель потока денежных средств было внесено одно изменение. Ранее модель демонстрировала различные уровни выгод в каждый из 19 лет после Года 6, а не единый уровень ежегодных выгод за указанный период. Единственной причиной того, почему все годы с Года 6 по Год 25 показаны в отдельности, было то, что согласно предположению о 1% ежегодном снижении урожайности в будущем БП, чистая прибыль культур в будущем БП будет также отличаться каждый год. В результате,

выгода проекта в каждом последующем году немного отличалась от выгоды в предыдущем году.

В таблице чистого потока денежных средств в Приложении используется упрощенный механизм для упрощения расчета выгод в Год 7-25. Используя ставку дисконтирования 12%, была рассчитана общая текущая стоимость (ТС) ежегодной чистой прибыли в будущем БП, приводимая в таблицах потока денежных средств за Годы 7-25, с тем, чтобы рассчитать «ежегодную эквивалентную стоимость» при ставке дисконтирования 12% от прибыли в будущем БП за 19-летний период. На основе такого расчета, применялся коэффициент 0,98 к чистой экономической прибыли БП в Год 6 для расчета ежегодной чистой экономической прибыли в Годы 7-25. На полученную цифру умножалась чистая прибыль в будущем БП в Год 6 для получения ежегодной эквивалентной стоимости при ставке дисконтирования 12% от чистой прибыли БП в Годы 7-25. Это упрощает анализ затрат и выгод и результаты в более читаемой таблице потока денежных средств.

7. Затраты проекта

7.1. Капитальные затраты в финансовых и экономических ценах

Оценочные капитальные затраты проекта «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области» составляют при 1 варианте (Водовыпуск двухсторонний во временный ороситель из трапецеидального канала) 46 911 сом и при 2 варианте (Водовыпуск из трапецеидального канала во временный ороситель) 41 302 сом, согласно финансовым ценам (т.е. включая налог на добавленную стоимость). Это равняется 938 сом/га при 1 варианте и 826 сом/га при 2 варианте на гектар орошаемой площади. Что касается налогов, основным прямым налогом на строительные затраты является НДС (налог на добавленную стоимость).

Для экономического анализа капитальные затраты проекта «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области» приняты равными 41 885 сом при 1 варианте (838 сом/га) и 36 877 при 2 варианте (737 сом/га) (исключая НДС).

7.2. Ежегодные затраты на ЭиТО

Для ситуации в будущем СП и БП ежегодные затраты на ЭиТО проекта частично основываются на расчетах, подготовленных Кадамжайским райводхозом. Предполагается, что затраты на ЭиТО в будущем БП останутся такими же, как в настоящее время, т.е. равны нулю.

В связи с введением в эксплуатацию объектов новой оросительной системы, уровень затрат на ЭиТО в будущем СП, которые потребуются для обеспечения удовлетворительной эксплуатации в будущем, принят равным 838 сом (2% от капитальных затрат) в год при 1 варианте и 737 сом при 2 варианте.

8. Экономический анализ проекта

Капитальные затраты проекта приняты равно разделенными между двумя годами строительства, т.е. 50% в Год 1 и 50% в Год 2. В эти два года затраты на ЭиТО будут одинаковыми в случаях «С проектом» и «Без проекта». Следовательно, полные затраты на ЭиТО в будущем СП будут понесены в Год 3 и далее, в то время как затраты на ЭиТО в будущем БП останутся такими же, как в настоящее время.

В табл. П.6.8 приводятся результаты экономического анализа.

Таблица П.6.8 - Результаты экономического анализа проекта «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области»

	1 вариант	2 вариант
Подвешенная площадь (га)		
Площадь "с проектом" "	50	50
Площадь "без проекта"	50	50
Экономические затраты, принятые для анализа (тыс. сом)		
Капитальные затраты	41,885	36,877
Затраты на ЭИТО "без проекта"	0	0
Затраты на ЭИТО "с проектом"	0,838	0,737
Результаты анализа при ставке дисконтирования 12% (тыс. сом)		
Текущая стоимость выгоды	50 576	50 576
Текущая стоимость затрат	41	36
Чистая приведенная стоимость	50 535	50 540
Соотношение выгоды и затрат	1 247,3 : 1	1 416,7 : 1

Для того чтобы проект был признан экономически выгодным (т.е. получить приемлемую прибыль в ответ на планируемые инвестиции по проекту) прибыль по инвестициям должна превышать 12%. Результаты базового анализа указывают на то, что проект «Орошение земель Бургандинского массива Кадамжайского района Баткенской области» является экономически жизнеспособным с соотношением выгод и затрат 1 247,3 : 1 и чистой приведенной стоимостью 50 535 тыс. сом при 1 варианте и 1 416,7 : 1 и чистой приведенной стоимостью 50 540 тыс. сом при 2 варианте при ставке дисконтирования 12%, что свидетельствует об эффективности предлагаемых инвестиций в данный проект.

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫ



МАМЛЕКЕТТИК ПАТЕНТ КЫЗМАТЫ

ПАТЕНТ

№ 1043

Ойлоп табуунун аталышы: *Күчтүү аккан-каналдар үчүн суу бөлүштүргүч*

Патент ээси, өлкөсү: *Кыргызско - орус (Славян) университети (KG)*

Автору(ндорлору): *Лавров Н.П., Атаманова О.В., Бейшекеев К.К., Аджигулова Г.С. (KG)*

Кайрылуу карамагы № *20060119.1* КЫРГЫЗПАТЕНТ

Ойлоп табуунун приоритети *30-ноябрь 2006-жылы*

Кыргыз Республикасынын ойлоп табуулар Мамлекеттик реестринде катталган
2008-жылдын 30-апрелинде

Ушул ойлоп табууга берилген ӨТҮНМӨ ЭЭСИ (ПАТЕНТ ЭЭСИ) ЖООПКОР БОЛГОН ПАТЕНТ, Кыргыз Республикасынын аймагында ойлоп табууга өзгөчө кылууга, аны пайдаланууга, таскөөгө, ошондой эле аны башка адамдардын пайдалануусуна тыюу салууга патент ээсинин өзгөчө укугун ырастайт.



Мамлекеттик патент
кызматынын директору

Турганбаев Н. Т.



(19) **KG** (11) **1043** (13) **C1** (46) 31.05.2008

(51) *E02B 13/00* (2006.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПАТЕНТНАЯ СЛУЖБА
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя (владельца)

(21) 20060119.1

(22) 30.11.2006

(46) 31.05.2008. Бюл. № 5

(71) (73) Кыргызско-российский (Славянский) университет (KG)

(72) Лавров Н. П., Атаманова О. В., Бейшекев К. К., Аджигулова Г. С. (KG)

(56) Авторское свидетельство SU № 1654447, кл. E 02 B 13/00, 1991.

(54) **Вододелитель для каналов со сверхбурным течением**

(57) Изобретение относится к гидротехнике и может быть применено на ирригационных и гидроэнергетических системах при заборе воды из каналов-быстротоков с высокоскоростным сверхбурным течением. Задача изобретения – увеличение пропускной способности

канала-быстротока. Вододелитель для каналов со сверхбурным режимом течения содержит отводящие каналы и перекрытый решеткой и размещенный между подводящим и транзитным каналами донный колодец. Поперечные разделительные перегородки, размещенные в донном колодце, делят его на камеры. Горизонтальные козырьки закреплены в верхней правой части по потоку в каждой камере и обращены навстречу потоку, а Г-образные козырьки с направленной вниз полкой установлены на средней части противоположенной горизонтальному козырьку стены камеры. При этом верхняя часть разделительных перегородок выполнена наклонной в сторону потока. 6 ил.

(19) **KG** (11) **1043**(13) **C1** (46) 31.05.2008

3

Изобретение относится к гидротехнике и может быть применено на ирригационных и гидроэнергетических системах при заборе воды из каналов-быстротоков с высокоскоростным сверхбурным бурным течением.

Известен вододелитель для каналов с бурным режимом течения и наличием катящихся волн, включающий размещенный между подводющим и транзитным каналом колодец, имеющий разделительные перегородки, делящие колодец на камеры с возрастающей шириной. Перегородки имеют горизонтальные и Г-образные козырьки, и решетку, перекрывающую сверху камеры и имеющую продольные прорезы с возрастающей по направлению течения шириной (Авторское свидетельство SU № 1654447, кл. E 02 B 13/00, 1991).

Недостатком данного устройства является низкая пропускная способность решетки с треугольными полосами, перекрывающими половину площади горизонтального живого сечения на входе в камеру. Кроме того, ограниченные размеры первой камеры затрудняют ее очистку, а увеличивающиеся по ширине камеры требуют установки затворов различной ширины. При этом лобовое столкновение бурного потока с перегородками вызывает образование поверхностных возмущений в виде всплесков и гидравлического прыжка. Это уменьшает пропускную способность канала-быстротока и препятствует пропуску по нему расчетного расхода воды.

Задача изобретения – увеличение пропускной способности канала-быстротока.

Задача решена тем, что вододелитель для каналов со сверхбурным режимом течения содержит, подводимый и транзитный каналы, отводящие водоводы и размещенный между ними и перекрытый решеткой донный колодец. Поперечные разделительные перегородки, размещенные в донном колодце, делят его на камеры, которые оснащены в верхней правой части по потоку горизонтальными козырьками обращенными навстречу потоку и Г-образными козырьками с направленной вниз полкой, которые установлены на средней части стенки камер оппозитной горизонтальному козырьку. При этом верхняя часть разделительных перегородок выполнена наклонной в сторону потока.

Выполнение поперечных разделитель-

4

ных частей под углами навстречу потоку обеспечивает увеличение площадей входных отверстий камер по течению. При этом действующий напор потока при истечении в эти камеры уменьшается по течению за счет отбора воды, чем достигается более равномерное распределение скоростей воды и удельных расходов на выходе из камер в отводящий канал. Это также позволяет исключить лобовое столкновение бурного потока с перегородками вызывающее образование поверхностных возмущений в виде всплесков и гидравлического прыжка, что уменьшает пропускную способность канала-быстротока и препятствует пропуску по нему расчетного расхода воды.

Разработанная конструкция вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения позволяет переводить поток в спокойное состояние в отводящем канале без устройства специальных гасителей энергии бурного потока, как при неподтопленном, так и при подтопленном истечении воды из-под затворов. Вододелитель можно использовать и для двухстороннего, и для одностороннего отбора воды в отводящие каналы.

На фиг. 1 изображен вариант вододелителя для каналов с бурным режимом течения с двухсторонним отбором воды (без решетки), вид сверху; на фиг. 2 – разрез А-А на фиг. 1; на фиг. 3 – вариант вододелителя с односторонним отбором воды, вид сверху; на фиг. 4 – двухсторонний вододелитель с решеткой, вид сверху; на фиг. 5 – разрез Б-Б на фиг. 4, на фиг. 6 – разрез В-В на фиг. 5.

Вододелитель для каналов со сверхбурным режимом течения размещен между подводимым 1 и транзитным 2 каналами и состоит из донного колодца 3, имеющего поперечные разделительные перегородки 4, расположенные параллельно к оси отводящего канала 5. Поперечные разделительные перегородки 4, разделяющие колодец 3 на камеры 6, состоят из двух, жестко соединенных между собой, частей - нижней вертикальной 7 и верхней наклонной 8. Наклонные части 8 перегородок 4 расположены к вертикальной плоскости под углами β_1 и β_2 , зависящими от величины коэффициента водоотбора α_n , равного $\alpha_n = Q_{отб} / Q$, где $Q_{отб}$ – расход воды, отбираемый в отводящий канал, Q – расход воды в подводимом канале 1. Углы наклона β_1 и β_2 ,

5

вододелитель не является неизменяемым в процессе эксплуатации сооружения.

Входное отверстие первой камеры 6 по направлению потока имеет меньшую площадь, чем входное отверстие второй камеры 6 по направлению потока, а площадь входного отверстия второй камеры по направлению потока меньше входного отверстия третьей камеры 6 по направлению потока. Поперечные разделительные перегородки 4, разделяющие донный колодец 3 на камеры 6, имеют в верхней части горизонтальные 9 и в средней части Г-образные 10 козырьки. Передняя по направлению потока стенка донного колодца 3 в средней части оборудована Г-образным козырьком 10, а задняя по направлению потока стенка донного колодца 3 в торцевой части оборудована горизонтальным козырьком 9. В боковой стенке донного колодца 3 размещены плоские затворы 11. При двухстороннем водоотборе затворы 11 установлены в обеих боковых стенках колодца 3. На верхней части передней стенки колодца 3 со стороны набегания потока шарнирами 12 прикреплена решетка 13 с продольными стержнями ромбовидного сечения 14.

Формула изобретения

Вододелитель для каналов со сверхбурным режимом течения, включающий подводящий и транзитный каналы, отводящие водоводы и размещенный между ними, а также перекрытый решеткой донный колодец, внутри которого размещены поперечные разделительные перегородки, делящие его на камеры, оснащенные в верхней правой части по потоку горизонтальными козырьками об-

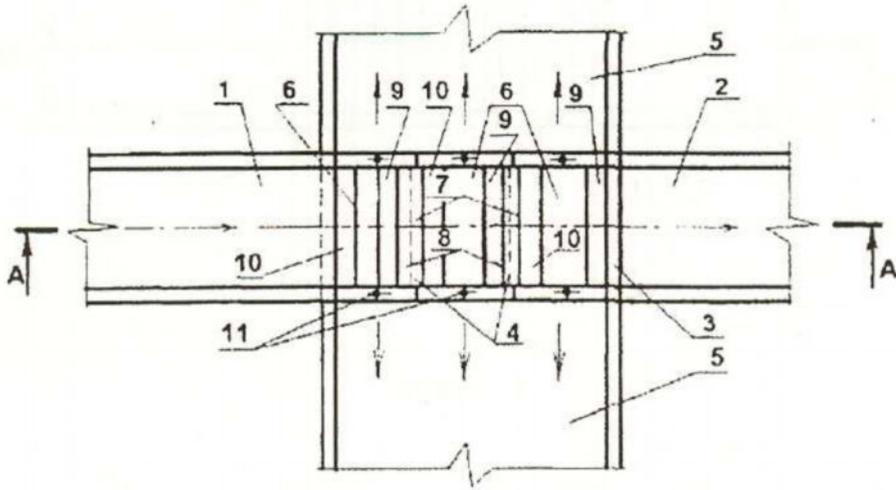
6

устройство работает по принципу, описанному в патенте № 20030100000.

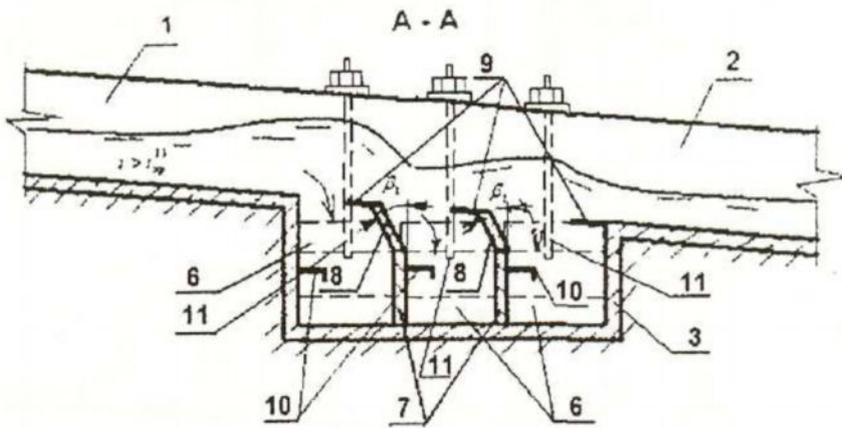
Высокоскоростной сверхбурный поток из подводящего канала 1, имеющего уклон дна больше критического, через отверстия между стержнями 14 решетки 13, отсекаемый горизонтальными козырьками 9, поступает в камеры 6 донного колодца 3, где за счет действия Г-образных козырьков 10 происходит перевод винтового движения потока в поступательное по направлению к отводящим каналам 5. Расход воды, поступающей из камер 6 донного колодца 3 в отводящий канал 5, регулируется боковыми затворами 11. Если расход $Q_{отв}$ меньше расхода Q , поступающего по подводящему быстротечному каналу 1, то оставшаяся часть потока проходит над колодцем 3 и поступает в транзитный канал 2. Однако при необходимости может быть произведен отвод в канал 5 всего расхода подводящего канала 1.

Использование вододелителя для каналов со сверхбурным режимом течения разработанной конструкции позволит повысить пропускную способность канала-быстротока.

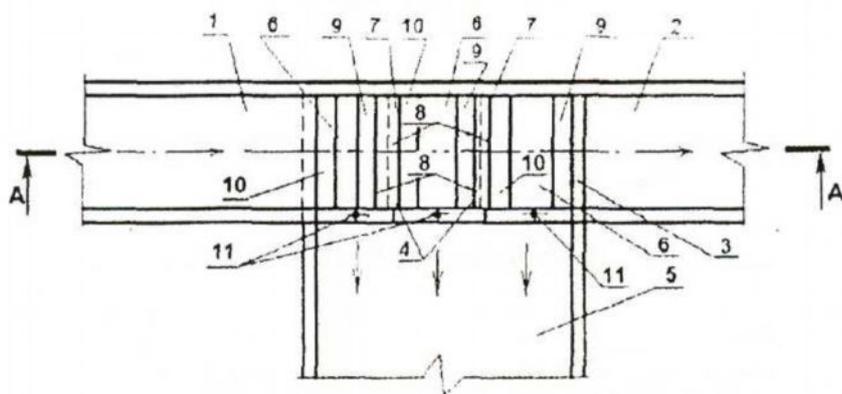
ращенными навстречу потоку и Г-образными козырьками с направленной вниз полкой, которые установлены на средней части стенки камер оппозитной горизонтальному козырьку, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что верхняя часть поперечных разделительных перегородок выполнена наклонной в сторону потока.



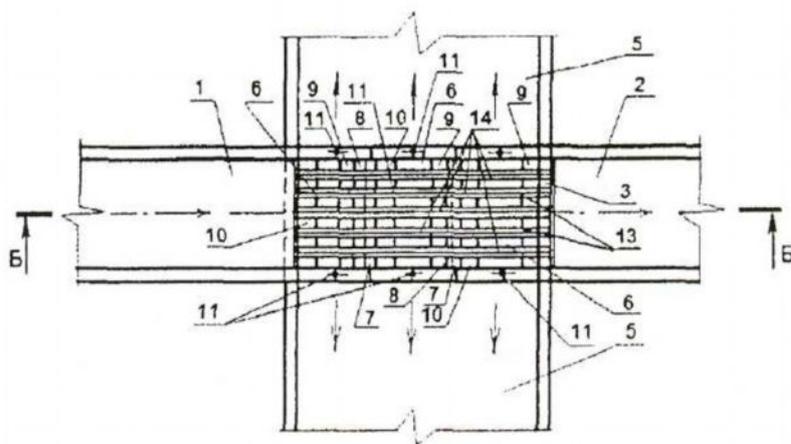
Фиг. 1



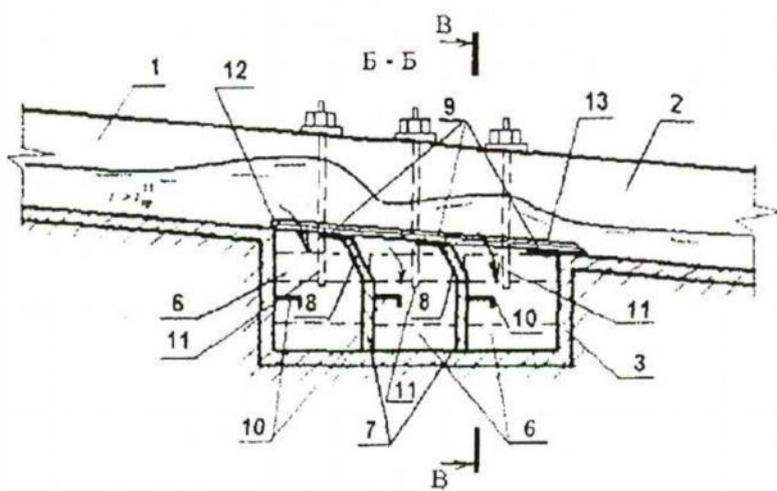
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫ



МАМЛЕКЕТТИК ПАТЕНТ КЫЗМАТЫ

ПАТЕНТ

№ 1338

Сыйлоо табуунун аталышы: *Өтө тез агымдуу каналдар үчүн суу өлчөгүч курулуш*

Патент ээси, өлкөсү: *Кыргыз-Орус Славян университети (KG)*

Авторлору (инвенторлору): *Лавров Н.П., Атаманова О.В., Аджигулова Г.С., Бейшекеев К.К., Гимранова Г.Ш., Непомнящая Г.С. (KG)*

Кыргыз патент № *20090141.1*

Сыйлоо табуунун приоритети *18-декабрь 2009-жылы*

Кыргыз Республикасынын ойлоп табуулар Мамлекеттик реестринде катталган

2011-жылдын 31-январында

Ушул ойлоп табууга берилген ӨТҮНМӨ ЭЭСИ (ПАТЕНТ ЭЭСИ) ЖООЛКЕР БОЛГОН ПАТЕНТ, Кыргыз Республикасынын аймагында ойлоп табууга ээлик кылууга, аны пайдаланууга, тескөөгө, ошондой эле аны башка адамдардын пайдалануусуна тыйоу салууга патент ээсинин өзгөчө укугун ырастайт.

Директор

Калмаматов А.А.



КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА



ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПАТЕНТНАЯ СЛУЖБА

ПАТЕНТ

№ 1338

Название изобретения: *Водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением*

Патентовладелец, страна: *Кыргызско - Российский Славянский университет (KG)*

Автор (авторы): *Лавров Н.П., Атаманова О.В., Аджигулова Г.С., Бейшекеев К.К., Гимранова Г.Ш., Непомнящая Г.С. (KG)*

Заявка № *20090141.1*

КЫРГЫЗПАТЕНТ

Приоритет изобретения *18 декабря 2009 года*

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Кыргызской Республики
31 января 2011 года

ПАТЕНТ ПОД ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗАЯВИТЕЛЯ (ВЛАДЕЛЬЦА) на данное изобретение удостоверяет исключительное право патентоладельца на владение, использование, а также запрещение использования другими лицами на территории Кыргызской Республики



(19) KG (11) 1338 (13) C1 (46) 28.02.2011

(51) E02B 13/00 (2010.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя

(21) 20090141.1

(22) 18.12.2009

(46) 28.02.2011. Бюл. № 2

(71) (73) Кыргызско-Российский Славянский университет (KG)

(72) Лавров Н. П., Атаманова О. В.,
Аджигулова Г. С., Бейшекеев К. К.,

Гимранова Г. Ш., Непомнящая Г. С. (KG)

(56) Патент KG № 512, кл. E02B 13/00, 2002

(54) Водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением

(57) Изобретение относится к гидротехнике и может найти применение на ирригационных и гидроэнергетических системах при водоучете на каналах – быстотоках с высокоскоростным и сверхбурным течением.

Задачей изобретения является повышение эксплуатационной надежности устройства.

Задача решается в водомерном сооружении для каналов со сверхбурным течением, содержащем измерительный участок канала, измерительный створ, успокоительный коло-

дец, сообщенный с измерительным участком канала, и уровнемерную рейку, успокоительный колодец сообщен с измерительным участком донной траншеи, проложенной на ширину измерительного створа и перпендикулярно ему, 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 закрепленных на верхней кромке нижней камеры и на торцах перегородок, и преобразователями в виде Г-образных козырьков, направленных встречно отсекателям, равноотстоящих от дна и закрепленных на стенке верхней камеры и перегородках, причем донная траншея покрыта съемной решеткой, выполненной из закрепленных на рамке продольных стержней. Стержни решетки выполнены ромбовидного сечения.

1 н. п. ф., 1 з. п., 5 фиг.

(19) KG (11) 1338 (13) C1 (46) 28.02.2011

3

Изобретение относится к гидротехнике и может найти применение на ирригационных и гидроэнергетических системах при водоучете на каналах – быстротоках с высокоскоростным и сверхбурным течением.

Известно водомерное сооружение (Патент КГ № 476, кл. E02B 13/10, 2001), включающее успокоительный колодец с поперечной стенкой в его конце и прямоугольным водосливным вырезом в ее верхней части, при этом стенка выполнена в виде тонкостенного съемного щита, установленного в пазы в боковых стенках колодца, причем к верхней его кромке для обеспечения жесткости щита по всей длине приварено ребро жесткости.

Недостатком данного устройства является невозможность учета воды на транзитном канале, поскольку устройство предназначено для водоучета при вододелении отводимых расходов воды. Устройство не может быть использовано на высокоскоростном сверхбурном потоке, так как создает высокое сопротивление основному потоку.

За прототип выбрано водомерное сооружение для быстротечных каналов (Патент КГ № 512, кл. E02B 13/00, 2002), содержащее измерительный участок канала, измерительный створ, успокоительный колодец, урнемерную рейку и соединительную трубку, на конце которой установлено запорное устройство клапанного типа.

Недостатком сооружения является то, что соединительная трубка с малым диаметром не позволяет учитывать скоростной напор в канале, так как вода в успокоительном колодце наполняется до уровня меньше фактического, и погрешность измерений этим сооружением может достигать 50 %. Если соединительную трубку выполнить большого диаметра, то сверхбурный поток при переходе из канала в успокоительный колодец не будет преобразовываться из сверхбурного состояния в спокойное, что также не позволит обеспечить требуемую точность измерений.

Задачей изобретения является повышение эксплуатационной надежности устройства.

Задача решается в водомерном сооружении для каналов со сверхбурным течением, содержащем измерительный участок канала, измерительный створ, успокоительный колодец, сообщенный с измерительным участком канала, и урнемерную рейку, успокоитель-

4

ный колодец сообщен с измерительным участком донной траншеей, проложенной на ширину измерительного створа и перпендикулярно ему, ширина которой равна длине измерительного колодца, и разделенной на равные камеры перегородками, при этом камеры снабжены отсекающими в виде горизонтальных козырьков, направленных встречно потоку и закрепленных на верхней кромке нижней камеры и на торцах перегородок, и преобразователями в виде Г-образных козырьков, направленных встречно отсекающим, равноотстоящих от дна и закрепленных на стенке верхней камеры и перегородках, причем донная траншея покрыта съемной решеткой, выполненной из закрепленных на рамке продольных стержней. Стержни решетки выполнены ромбовидного сечения.

Соединение успокоительного колодца с измерительным участком канала донной траншеей позволяет наполнять успокоительный колодец до уровня, равного фактическому уровню потока воды в канале. Наличие отсекающих и успокоителей в камерах донной траншеи позволяют гасить энергию сверхбурного потока, тем самым учитывать скоростной напор при измерении уровня воды в успокоительном колодце, повышая точность измерений. Наличие решетки из продольных стержней ромбовидного сечения, установленной над донной траншеей обеспечивает эффект детурбулизации потока.

Сооружение поясняется фигурами, где на фиг. 1 изображен общий вид водомерного сооружения (без решетки), вид сверху; на фиг. 2 – разрез А-А фиг. 1; на фиг. 3 – общий вид водомерного сооружения с решеткой, вид сверху; на фиг. 4 – разрез Б-Б фиг. 3; на фиг. 5 – разрез В-В фиг. 4.

Водомерное сооружение включает измерительный участок 1 с измерительным створом 2 и успокоительным колодцем 3, в котором установлена урнемерная рейка 4. Измерительный створ 2 сообщен с успокоительным колодцем 3 донной траншеей 5. Донная траншея 5 разделена на равные камеры 6 перегородками 7. На верхней кромке нижней камеры 6 и на торцах перегородок 7 закреплены отсекающие 8 в виде горизонтальных козырьков, направленных встречно потоку. Вдоль стенки верхней камеры 6 и на перегородках 7 закреплены преобразователи 9 в виде Г-образных козырьков, направленные

5

встречно отсекаателям 8 и равноотстоящие от дна на половину глубины донной траншеи 5. Донная траншея 5 покрыта съемной решеткой 10, выполненной из закрепленных на рамке продольных ромбовидных стержней 11.

Устройство работает следующим образом.

Высокоскоростной сверхбурный поток, проходя по каналу, имеющему уклон дна больше $i_{кр}$ через отверстия между стержнями 11 решетки 10, отсекаемый отсекаателями 8, поступает в камеры 6 донной траншеи 5, где за счет действия преобразователей 9, происходит перевод винтового движения потока в поступательное по направлению к успокоительному колодезю 3.

Измерение уровней воды в успокоительном колодезе 3 обеспечивается при помощи уровневмерной рейки 4.

Благодаря продольному расположению стержней 11 решетки 10 относительно потока, уменьшается гидравлическое сопротивление при обтекании стержней 11 высокоскоростным потоком, поступающим из канала в камеры 6 донной траншеи 5. В результате того, что перегородки 7 расположены перпендикулярно к направлению движения сверхбурного потока в канале и снабжены отсекаателями 8,

6

во-первых, уменьшается сбойность потока при входе в успокоительный колодез 3, повышая при этом точность измерений в колодезе; во-вторых, за счет достаточного объема камер 6 донной траншеи 5 уровень воды в успокоительном колодезе 3 с допустимой точностью отражает динамику изменения расходов в измерительном створе 2 канала, что позволяет повысить точность измерений, а, следовательно, и эксплуатационную надежность процесса водоучета.

Плавник и крупные фракции донных наносов благодаря продольным стержням 11 решетки 10 не попадают в траншею 5 и в успокоительный колодез 3, а проносятся транзитным потоком.

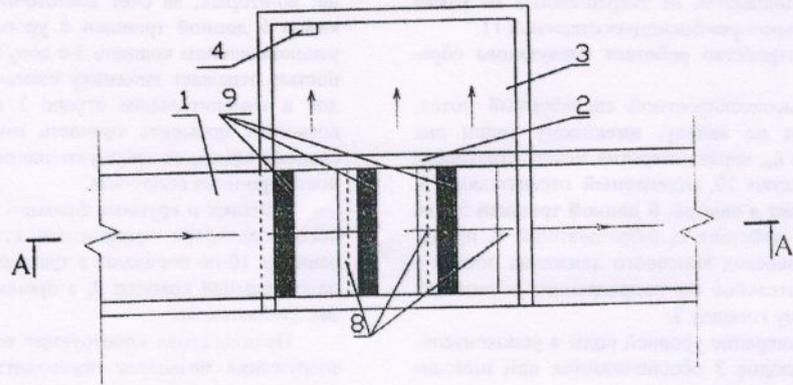
Предлагаемая конструкция водомерного сооружения позволяет переводить поток из бурного и сверхбурного состояния в измерительном участке 1 канала, в спокойное состояние в успокоительном колодезе 3, без устройства специальных гасителей энергии бурного потока, снижая погрешность измерения расхода воды в измерительном створе 2 путем повышения точности измерения уровня воды в успокоительном колодезе 3 и повышения эксплуатационной надежности устройства в целом.

Формула изобретения

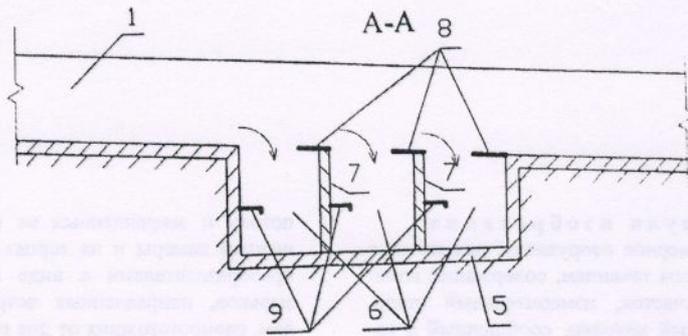
1. Водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением, содержащее измерительный участок, измерительный створ, успокоительный колодез, сообщенный с измерительным участком, и уровневмерную рейку, о т л и ч а ю щ е с я тем, что успокоительный колодез сообщен с измерительным участком донной траншеей, проложенной на ширину измерительного створа и перпендикулярно ему, ширина которой равна длине измерительного колодца, и разделенной на равные камеры перегородками, при этом камеры снабжены отсекаателями в виде горизонтальных козырьков, направленных встречно

потоку и закрепленных на верхней кромке нижней камеры и на торцах перегородок, и преобразователями в виде Г-образных козырьков, направленных встречно отсекаателям, равноотстоящих от дна на половину глубины донной траншеи, закрепленных на стенке верхней камеры и перегородках, причем донная траншея покрыта съемной решеткой, выполненной из закрепленных на рамке продольных стержней.

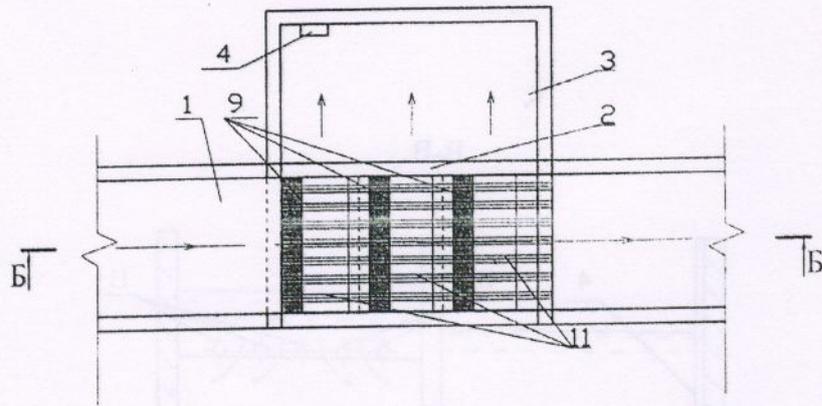
2. Водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением по п. 1, о т л и ч а ю щ е с я тем, что стержни решетки выполнены ромбовидного сечения.



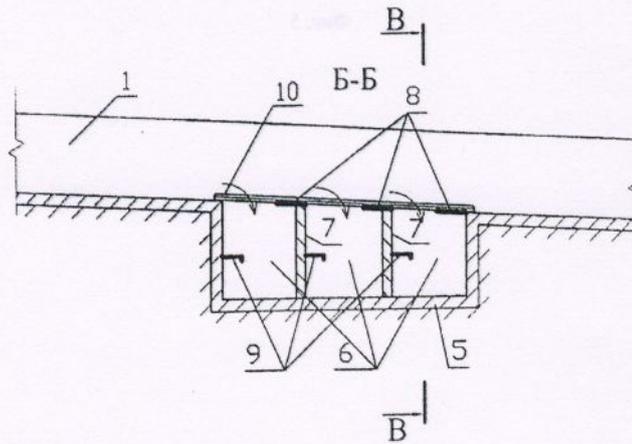
Фиг. 1



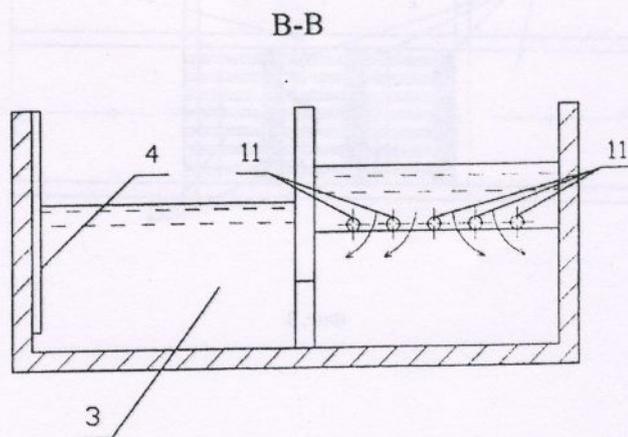
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Выпущено отделом подготовки материалов

Государственная служба ИС КР, 720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

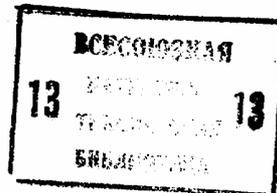
(19) **SU** (11) **1133341** **A**

4(5D) E 02 B 13/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- (21) 3633196/29-15
- (22) 10.08.83
- (46) 07.01.85. Бюл. № 1
- (72) С. С. Сатаркулов, П. И. Дуюнов
и К. К. Бейшекеев
- (71) Всесоюзный научно-исследовательский
институт комплексной автоматизации мели-
оративных систем
- (53) 626.82(088.8)
- (56) 1. Гришин М. М. Гидротехнические
сооружения. М., Госстройиздат, 1955.
с. 312.

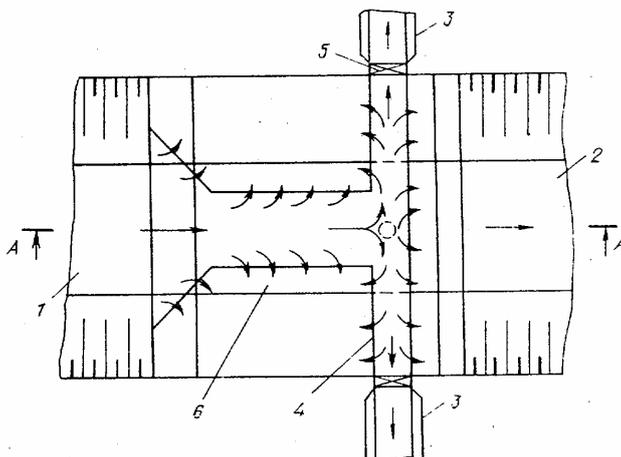
2. Авторское свидетельство СССР по заявке № 3568193/29-15, кл. E 02 B 13/00, 15.02.83.

(54) (57) 1. **ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ ДЛЯ КАНАЛОВ**, содержащий подводящий канал, колодец, расположенный в конце подводящего канала, транзитный канал, сопряженный с колодцем, отводящие каналы,

выполненные в боковых стенках колодца на уровне дна подводящего канала, и устройство для направления потока в отводящие каналы, отличающийся тем, что, с целью упрощения конструкции, повышения надежности работы и точности стабилизации расходов воды в отводящих каналах, устройство для направления потока в отводящие каналы выполнено в виде лотка Т-образной в плане формы, концы которого подсоединены к подводящему и отводящим каналам.

2. Водораспределитель по п. 1, отличающийся тем, что верхние кромки лотка расположены на уровне минимального наполнения подводящего канала, а дно — на уровне дна подводящего канала.

3. Водораспределитель по пп. 1 и 2, отличающийся тем, что он снабжен затворами, которые расположены в отводящих каналах.



Фиг. 1

(19) **SU** (11) **1133341** **A**

Изобретение относится к гидротехнике и может быть использовано для деления потока воды на оросительных каналах со спокойным режимом течения.

Известен водораспределитель для каналов, который состоит из подводящего, транзитного и отводящих каналов, затворов на транзитном и отводящих каналах и перепада, выполненного в виде водобойного колодца [1].

Недостаток этого сооружения состоит в сложности стабилизации расходов воды в отводящих каналах, так как для этого необходимо постоянно маневрировать затворами отводящих каналов при изменениях расхода воды в подводящем канале.

Известен также водораспределитель для каналов, содержащий подводящий канал, колодец, расположенный в конце подводящего канала, транзитный канал, сопряженный с колодцем, отводящие каналы, выполненные в боковых стенках колодца на уровне дна подводящего канала, и устройство для направления потока в отводящие каналы [2].

В известном водораспределителе устройство для направления потока в отводящие каналы выполнено в виде сложной поворотной металлической конструкции с множеством элементов, которая имеет малую точность стабилизации расходов воды в отводящих каналах.

Цель изобретения — упрощение конструкции, повышение надежности работы и точности стабилизации расходов воды в отводящих каналах.

Цель достигается тем, что в водораспределителе для каналов, содержащем подводящий канал, колодец, расположенный в конце подводящего канала, транзитный канал, сопряженный с колодцем, отводящие каналы, выполненные в боковых стенках колодца на уровне дна подводящего канала, и устройство для направления потока в отводящие каналы, устройство для направления потока в отводящие каналы выполнено в виде лотка Т-образной в плане формы, концы которого подсоединены к подводящему и отводящим каналам.

Верхние кромки лотка расположены на уровне минимального наполнения подводящего канала, а дно — на уровне дна подводящего канала.

Водораспределитель снабжен затворами, которые расположены в отводящих каналах.

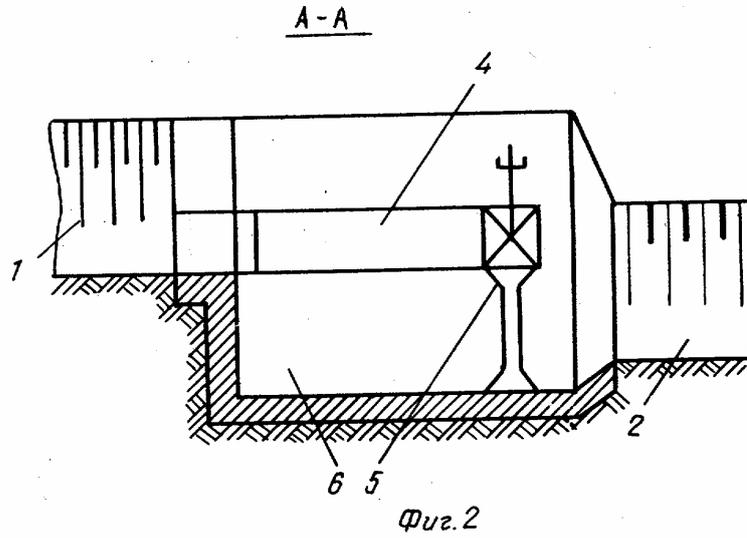
На фиг. 1 изображен водораспределитель, вид сверху; на фиг. 2 — разрез А-А на фиг. 1.

Водораспределитель для каналов состоит из подводящего 1, транзитного 2 и отводящих 3 каналов, водопроводящего лотка 4 Т-образной в плане формы, затворов 5, расположенных в отводящих каналах 3, и колодца 6, расположенного в конце подводящего канала 1. Транзитный канал 2 сопряжен с колодцем 6, а отводящие каналы 3 выполнены в боковых стенках колодца 6, на уровне дна подводящего канала 1. Лоток 4 является устройством для направления потока в отводящие каналы 3 и концы его подсоединены к подводящему 1 и отводящим 3 каналам. Верхние кромки лотка 4 расположены на уровне минимального наполнения подводящего канала 1, а дно — на уровне дна подводящего канала 1.

Водораспределитель работает следующим образом.

Вода из канала 1 поступает в лоток 4, оттуда — в его ответвления и из них — в отводящие каналы 3. При наличии в подводящем канале 1 расхода воды большего чем требуется в отводящие каналы 3, излишки воды через кромки стенок лотка 4 сбрасываются в колодец 6 и поступают в транзитный канал 2. Таким образом, в отводящие каналы 3 подается постоянный расход воды, а излишки сбрасываются в транзитный канал 2.

Такое выполнение водораспределителя позволяет обеспечить автоматическое поддержание постоянного уровня воды перед затворами отводящих каналов и, следовательно, стабилизировать отводимые расходы воды; за счет удлиненного фронта водосброса (через стенки лотка Т-образной в плане формы) обеспечить беспрепятственный сброс повышенных расходов воды в транзитный канал, что исключает аварийные ситуации на сооружении; обеспечить компактность сооружения за счет того, что колодец расположен в пределах узла водораспределения (под Т-образным лотком), а не за сооружением; обеспечить простоту конструкции и надежность в работе; а также устранить необходимость в обналичении транзитного канала затвором.



Редактор Н. Яцола
Заказ 9567/27

Составитель А. Кононов
Техред И. Верес
Тираж 649

Корректор О. Билак
Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5
Филиал ППП «Патент», г. Ужгород, ул. Проектная, 4

Экз. № 1



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя
Государственного комитета КР
по водному хозяйству

Э.Ж. Жусуматов

Э.Ж. Жусуматов

«19» 02 2011 г.

А К Т

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Бейшекеева Кыдыкбека Каниметовича на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.23.07 – Гидротехническое строительство и 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель на тему: «Совершенствование водомерных и водораспределительных сооружений на каналах-быстроотоках оросительных систем горно-предгорной зоны»

Комиссия в составе: председателя Полотова А.П. – начальника Чуйского государственного бассейнового управления водного хозяйства; членов комиссии: Гутника В.Г. – начальника управления эксплуатации гидромелиоративных систем Государственного комитета КР по водному хозяйству, Атамановой О.В. – зав. кафедрой «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» КРСУ, профессора, докт.техн.наук, доцента, Бейшекеева К.К. – главного инженера ОАО «Кыргызсуудолбоор», канд.техн.наук, Джусупова К. – директора ОсОО «Толкун», Шонкоева К. – начальника Иссык-Атинского отделения ЧГБУВХ свидетельствует о том, что при реконструкции водомерного и водораспределительного сооружений на Иссык-Атинском подпитывающем канале (ИПК) для орошения земель АВП «Юрьевка Суу» и АВП «Жетиген Суу» Сынташского айыльного округа Иссык-Атинского района были реализованы следующие научные результаты, полученные в докторской диссертации Бейшекеева К.К.:

- внедрены в производство один вододелитель (Патент КР № 1043. Вододелитель для каналов со сверхбурным течением / Н.П.Лавров, О.В.Атаманова, К.К. Бейшекеев и др., 2008 г.) на ПК 36+82 и одно водомерное сооружение (Патент КР № 1338. Водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением / Н.П.Лавров, О.В.Атаманова, К.К. Бейшекеев и др., 2011 г.) на ПК00+70 Иссык-Атинского подпитывающего канала;
- приняты и реализованы рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации водомерных и водораспределительных сооружений для каналов-быстроотоков.

Реализация материалов докторской диссертации Бейшекеева К.К. позволила:

- обеспечить водоучет с требуемой точностью на ИПК;
- исключить выплески воды за борта ИПК на водомерном и водораспределительном сооружениях, тем самым, повысить качество водоучета и экономию оросительной воды; а также не допустить размыв основания канала;
- обеспечить забор требуемых расчетных расходов воды из ИПК в канал Ивановский при всех гидравлических режимах в транзитном канале;
- осуществить стабильную водоподачу в канал Ивановский для орошения земель АВП «Юрьевка Суу» и АВП «Жетиген Суу» Сынташского айыльного округа Иссык-Атинского района с общей площадью орошения 1768 га;
- осуществить гашение бурного и сверхбурного потока в пределах вододелителя и перевод его в спокойный равномерный режим без устройства дополнительного сооружения для гашения энергии потока в канале Ивановский;
- обеспечить достаточно равномерное распределение скоростей на выходе из вододелителя и устранить сбойность потока в отводящем канале Ивановский, повысив его надежность;
- уменьшить волновые процессы за вододелителем в ИПК.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- при реконструкции водомерного и водораспределительного сооружений на ИПК для водоподачи в канал Ивановский и орошения земель АВП «Юрьевка Суу» и АВП «Жетиген Суу» Сынташского айыльного округа Иссык-Атинского района.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- экономия воды за счет повышения точности водоучета и повышения оперативности водораспределителя;
- Повышена водообеспеченность на площади 1768 га и прирост урожая составила 12%.
- экономия затрат строительных материалов по сравнению с базовым вариантом водораспределительного сооружения с гасителями энергии сверхбурного потока;
- общий экономический эффект от внедрения одного вододелителя и одного водомерного сооружения составил 6 974 тыс. сом.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:




А.И. Волотов


В.И. Гутаник


О.В. Атаманова


К.К. Бейшекеев


К. Джусупов

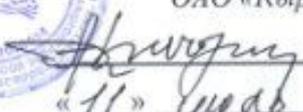

К. Шонкоев

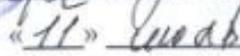


УТВЕРЖДАЮ

Председатель правления

ОАО «Кыргызсуудолбоор»

 А.М. Кичибаев

«11»  2011 г.

А К Т

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Бейшекеева Кыдыкбека Каниметовича на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.23.07 – Гидротехническое строительство и 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель на тему: «Совершенствование водомерных и водораспределительных сооружений на каналах-быстроотоках оросительных систем горно-предгорной зоны»

Комиссия в составе: председателя Бекенова А.Э. - зам. председателя правления ОАО «Кыргызсуудолбоор»; членов комиссии: Атамановой О.В. - зав. кафедрой «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» КРСУ, профессора, докт.техн.наук, доцента, Бейшекеева К.К. – главного инженера ОАО «Кыргызсуудолбоор», канд.техн.наук, Ким М.Е. – гл. инженера проекта, Сегизбаева О.О. – и.о. гл. инженера проекта свидетельствует о том, что при разработке проекта «Строительство канала Верхний Ак-Куп Тогуз-Торойского района» были реализованы следующие научные результаты, полученные в докторской диссертации Бейшекеева К.К.:

- внедрены в проект реконструкции два вододелителя (Патент КР № 1043. Вододелитель для каналов со сверхбурным течением / Н.П.Лавров, О.В.Атаманова, К.К. Бейшекеев и др., 2008 г.) на ПК138+30 и ПК150+70 и одно водомерное сооружение (Патент КР № 1338. Водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением / Н.П.Лавров, О.В.Атаманова, К.К. Бейшекеев и др., 2011 г.) на ПК137+70 канала Верхний Ак-Куп;
- приняты к использованию при проектировании методики расчета вододелителя и водомерного сооружения;
- приняты и реализованы рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации водомерных и водораспределительных сооружений для каналов-быстроотоков.

Реализация материалов докторской диссертации Бейшекеева К.К. позволила:

- обеспечить водоучет с требуемой точностью на канале-быстроходе Верхний Ак-Куп;
- исключить выпуски воды за борта канала-быстрохода на водомерном и водораспределительных сооружениях, тем самым, повысить качество водоучета и экономию оросительной воды; а также не допустить размыв основания канала;
- обеспечить забор требуемых расчетных расходов воды из канала Верхний Ак-Куп в отводящие каналы младших порядков при всех гидравлических режимах в транзитном канале;
- осуществить стабильную водоподачу во внутрихозяйственные каналы двумя внедренными вододелителями для орошения земель на площади 176,7 га;
- осуществить гашение энергии бурного и сверхбурного потока в пределах вододелителя и перевод его в спокойный равномерный режим без устройства дополнительного (массивного и дорогостоящего) сооружения для гашения энергии потока;
- обеспечить равномерное распределение скоростей на выходе из вододелителей, предотвратив размыв дна в отводящем канале.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- в рабочем проекте «Строительство канала Верхний Ак-Куп Тогуз-Торойского района» 2011 г.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- экономия воды за счет повышения точности водоучета и повышения оперативности водораспределителя;
- повышена водообеспеченность на площади 176,7 га;
- экономия затрат строительных материалов по сравнению с альтернативным вариантом водораспределительного узла с гасителями энергии бурного потока;
- общий расчетный экономический эффект от внедрения 2-х вододелителей и одного водомерного сооружения составляет 1676 тыс. сом.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ

 А.А. Бекенов

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:

 О.В. Атаманова

 К.К. Бейшекеев

 М.Е. Ким

 О.О. Сегизбаев

УТВЕРЖДАЮ

Директор Проектно-конструкторского
технологического Института
«Водавтоматика и метрология»

 О.С. Макаров

«18» _____ 2011 г.

А К Т

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Бейшекеева Кыдыкбека Каниметовича на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.23.07 – Гидротехническое строительство и 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель на тему: «Совершенствование водомерных и водораспределительных сооружений на каналах-быстроотоках оросительных систем горно-предгорной зоны»

Комиссия в составе: председателя Шарова В.Н. – главного инженера ПКТИ «Водавтоматика и метрология»; членов комиссии: Атамановой О.В. – зав. кафедрой «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» КРСУ, профессора, докт.техн.наук, доцента, Бейшекеева К.К. – главного инженера ОАО «Кыргызсуудолбоор», канд.техн.наук, Крахмалёва В.И. – гл. инженера проекта, Коваленко Н.А. – зав. отделом ПКТИ «Водавтоматика и метрология» свидетельствует о том, что при разработке проекта «Орошение Бургандинского массива Кадамжайского района, 3 очередь» были реализованы следующие научные результаты, полученные в докторской диссертации Бейшекеева К.К.:

- внедрены в проект реконструкции 6 вододелителей (Патент КР № 1043. Вододелитель для каналов со сверхбурным течением / Н.П.Лавров, О.В.Атаманова, К.К. Бейшекеев и др., 2008 г.) и одно водомерное сооружение (Патент КР № 1338. Водомерное сооружение для каналов со сверхбурным течением / Н.П.Лавров, О.В.Атаманова, К.К. Бейшекеев и др., 2011 г.) на канале Р-4-2-2 (III очередь);
- приняты к использованию при проектировании методики расчета вододелителя и водомерного сооружения;
- приняты и реализованы рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации водомерных и водораспределительных сооружений для каналов-быстроотоков.

Реализация материалов докторской диссертации Бейшекеева К.К. позволила:

- обеспечить водоучет с требуемой точностью на канале-быстротоке Р-4-2-2;
- исключить выплески воды за борта канала-быстротока на водомерном и водораспределительных сооружениях, тем самым, повысить качество водоучета и экономию оросительной воды; а также не допустить размыв основания канала;
- обеспечить гарантированный забор расчетных расходов воды в отводящие каналы младших порядков при всех гидравлических режимах в транзитном канале;
- осуществить стабильную водоподачу в распределительные и внутрихозяйственные каналы шестью внедренными вододелителями для орошения земель Бургандинского массива Кадамжайского района на площади 718 га;
- осуществить гашение энергии бурного и сверхбурного потока в пределах вододелителя и перевод его в спокойный равномерный режим без устройства дополнительного сооружения для гашения энергии потока;
- обеспечить равномерное распределение скоростей на выходе из вододелителей, предотвратив размыв дна в отводящем канале.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- в рабочем проекте «Орошение Бургандинского массива Кадамжайского района, 3 очередь».

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- экономия воды за счет повышения точности водоучета и повышения оперативности водораспределителя;
- повышена водообеспеченность на площади 718га;
- экономия затрат строительных материалов по сравнению с альтернативным вариантом водораспределительного узла с гасителями энергии бурного потока;
- общий расчетный экономический эффект от внедрения 6-ти вододелителей и одного водомерного сооружения составляет 3052 тыс. сом.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:

В.Н. Шаров

О.В. Атаманова

К.К. Бейшекеев

В.И. Крахмалёв

Н.А. Коваленко

