

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

На правах рукописи  
УДК 626.823.54 (043.3)

**Матвиец Валентина Васильевна**

**Повышение надежности  
автоматизированных водовыпускных сооружений  
на распределительных каналах оросительных систем**

05.23.07 – Гидротехническое строительство

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Научный руководитель:**  
доктор технических наук,  
профессор  
Атаманова Ольга Викторовна

**Бишкек -2014**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ОБЗОР И АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ.....	12
1.1 Обзор и анализ особенностей автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем.....	12
1.2 Основные технические характеристики гидравлических авторегуляторов и стабилизаторов расхода воды на ирригационных каналах .....	14
1.3 Технические условия и требования к средствам автоматизации водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем.....	29
1.4 Цели и задачи разработок и исследований .....	31
ГЛАВА 2 ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	33
2.1 Основные понятия и показатели надежности.....	33
2.1.1 Основные понятия надежности .....	33
2.1.2 Основные показатели надежности автоматизированных водовыпускных сооружений.....	35
2.2 Классификация и анализ отказов автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем.....	38
2.3 Современные методы расчета надежности .....	44
2.4 Установление надежности автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах .....	47

2.4.1	Определение надежности регулятора уровня (расхода) воды конструкции Глазьева В.А., Кривошекова В.С. на канале «Мураке».....	47
2.4.2	Анализ надежности гидравлического регулятора уровня воды нижнего бьефа .....	56
2.4.3	Установление показателей надежности водораспределительного сооружения на канале «Джаламыш».....	65
<b>ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....</b>		
<b>76</b>		
3.1	Особенности методики натуральных исследований показателей надежности автоматизированных водовыпускных сооружений на каналах оросительных систем. Точность и аппаратура исследований.....	76
3.2	Натурные исследования показателей надежности автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем Кыргызской Республики .....	80
3.3.1.	Исследования показателей пропускной способности коробчатого стабилизатора расхода воды в натуральных условиях.....	86
3.3.2	Стабилизирующая способность ССКЩ в натуральных условиях.....	88
3.4	Натурные исследования авторегулятора уровня воды на головном сооружении Атбашинского магистрального канала .....	92
3.5	Пути совершенствования автоматизированных водовыпускных сооружений оросительных систем с позиций теории надежности .....	97
<b>ГЛАВА 4 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....</b>		
<b>100</b>		
4.1	Усовершенствование конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов.....	100

4.2 Теоретическое обоснование конструктивных параметров стабилизатора расхода воды с коническим козырьком .....	103
4.3 Методика выполнения лабораторных гидравлических исследований усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем .....	119
4.3.1 Модельная установка и модели стабилизатора расхода воды .....	119
4.3.2 Особенности методики лабораторных исследований СРВКК .....	123
4.4 Лабораторные исследования усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения .....	125
4.4.1 Оптимизация конструктивных и технологических параметров усовершенствованной конструкции .....	125
4.4.2 Модельные исследования пропускной способности СРВКК .....	137
4.4.3 Модельные исследования стабилизирующей способности СРВКК .....	153
4.5 Оценка показателей надежности усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения .....	157
4.6 Методика расчета усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем .....	162
<b>ГЛАВА 5 ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННЫХ</b>	
<b>АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ .....</b>	<b>166</b>
5.1 Результаты проектирования и внедрения усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения на канале «Отводящий» в Ак-Талинском районе Нарынской области .....	166
5.2 Расчет экономической эффективности от внедрения усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения на канале «Отводящий» в Ак-Талинском районе Нарынской области .....	169

5.3 Рекомендации по расчету и проектированию усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем .....	173
ВЫВОДЫ.....	176
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	179
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	192
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	196
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	200
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 .....	209
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 .....	210

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы диссертации.** Эффективное использование орошаемого земледелия требует применения надежных автоматизированных гидротехнических сооружений на ирригационных системах.

Наиболее массовыми сооружениями на оросительных системах являются сооружения водоподачи. В качестве средств автоматизации данного типа сооружений в настоящее время используются локальные гидравлические устройства – авторегуляторы и стабилизаторы расхода воды.

Для современных водовыпускных сооружений характерны: удаленность от источников энергоснабжения и головных диспетчерских пунктов, отсутствие регулярного контроля работы, рассредоточенность на гидромелиоративной системе и др. Эти и другие особенности водовыпускных сооружений на распределительных каналах заставляют обратить особое внимание на проблему надежности данного типа сооружений.

Расчет, проектирование и строительство автоматизированных водовыпускных сооружений на каналах гидромелиоративных систем, к сожалению, до настоящего времени ведется без достаточного учета требований теории надежности, что является одной из основных причин их простоев, повреждений и аварий. В связи с этим возникает необходимость не только оценить надежность существующих автоматизированных водовыпускных сооружений, исследовать их с целью поиска путей повышения надежности, но и разработать новые более совершенные сооружения водоподачи, минимально подверженные отказам в процессе функционирования на оросительной системе.

Вышеизложенное обосновывает актуальность темы диссертационной работы, посвященной повышению надежности автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем.

**Связь темы диссертации с научными программами, основными научно-исследовательскими работами, проводимыми научными учреждениями.** Диссертационное исследование проводилось в рамках международного научного проекта, реализованного в 2010-2012 г.г. общественным фондом «САРР Alato» совместно с Кыргызско-Российским Славянским университетом им. Б.Н. Ельцина: «Устойчивое управление пастбищами и водными ресурсами в бассейнах рек Жергетал и Онарча Нарынского района Кыргызской Республики».

**Целью диссертационной работы** является повышение надежности автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем путем разработки усовершенствованного средства автоматизации водоподачи.

Для достижения поставленной цели определены следующие **задачи** исследований и разработок:

- провести анализ существующих отказов автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем;
- исследовать показатели надежности существующих автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем Кыргызской Республики и наметить пути совершенствования этих сооружений;
- разработать усовершенствованную конструкцию автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов;
- провести теоретические и экспериментальные исследования усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения, изучить и оценить показатели его надежности;
- разработать методику расчета усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения;

- разработать практические рекомендации по расчету и проектированию усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем.

#### **Научная новизна полученных результатов:**

- впервые проведен анализ надежности и составлены деревья отказов ряда автоматизированных водовыпускных сооружений на каналах оросительных систем Чуйской области Кыргызстана;
- разработана и запатентована усовершенствованная конструкция стабилизатора расхода воды, как средства автоматизации водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем;
- получены теоретические зависимости и экспериментально выявлены количественные связи между конструктивными и гидравлическими параметрами усовершенствованного водовыпускного сооружения, обоснована надежность предложенной конструкции;
- разработана методика расчета усовершенствованного водовыпускного сооружения повышенной надежности, автоматизированного новым стабилизатором расхода воды.

**Практическая значимость полученных результатов** заключается в установлении показателей надежности существующих автоматизированных водовыпускных сооружений на каналах оросительных систем Кыргызстана, что позволило определить наиболее перспективные конструкции, выявить недостатки и наметить пути повышения надежности сооружений водоподдачи.

Предлагаемый усовершенствованный стабилизатор расхода воды позволяет снизить металлоемкость за счет замены массивного криволинейного козырька коническим козырьком, а также позволяет значительно повысить



надежность за счет создания наклона передней грани короба и увеличения диапазона регулирования.

Результаты исследований и разработок применяются в учебном процессе на кафедре «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» (ГТСиВР) Кыргызско-Российского Славянского университета (КРСУ) при обучении студентов курсам дисциплин «Основы автоматики и автоматизации процессов в гидротехническом строительстве», «Автоматическое регулирование при строительстве гидротехнических объектов» и «Речные гидротехнические сооружения».

Проектно-технологическим институтом «Водавтоматика и метрология» принята к использованию при проектировании методика расчета стабилизатора расхода воды новой конструкции, а также рекомендации по расчету и проектированию усовершенствованного водовыпускного сооружения, автоматизированного гидравлическим стабилизатором расхода воды с коническим козырьком. Результаты исследований вошли в проект реконструкции водораспределительного сооружения на канале «Отводящий» Нарынской области в Ак-Талинском районе.

**Экономическая значимость полученных результатов** подтверждается расчетом экономической эффективности от внедрения разработанного водовыпускного сооружения повышенной надежности в проект реконструкции. Годовой экономический эффект составил 45,5 тыс. сомов в ценах 2013 г.

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- количественные оценки надежности и дерева отказов существующих автоматизированных водовыпускных сооружений;
- классификация отказов автоматизированных водовыпускных сооружений;
- усовершенствованная конструкция автоматизированного водовыпускного сооружения повышенной надежности, оснащенного гидравлическим стабилизатором расхода воды с коническим козырьком;

- система уравнений, описывающая кривую свободной поверхности воды, вытекающей из-под конического козырька с углом наклона к горизонту  $\beta=135^\circ$ ;
- методика расчета усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения с гидравлическим стабилизатором расхода воды новой конструкции;
- рекомендации по расчету и проектированию усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем.

**Личный вклад автора состоит в:**

- установлении показателей надежности существующих автоматизированных сооружений водоподачи на основе натурных исследований;
- разработке деревьев отказов автоматизированных водовыпускных сооружений и составлении классификации отказов этих сооружений;
- установлении зависимостей для определения конструктивных и гидравлических параметров автоматизированного водовыпускного сооружения с усовершенствованным стабилизатором расхода воды;
- разработке методики расчета усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения с гидравлическим стабилизатором расхода воды;
- разработке рекомендаций по расчету и проектированию усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения с гидравлическим стабилизатором расхода воды новой конструкции.

Автор благодарит научного руководителя зав. кафедрой ГТСиВР КРСУ, д.т.н., проф. Атаманову О.В. за помощь в систематизации полученных результатов исследований, также выражает глубокую признательность сотрудникам кафедры ГТСиВР КРСУ за помощь в организации проведения натурных и модельных исследований, а также за ценные советы, высказанные при обсуждении различных этапов исследований.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты разработок и исследований по теме диссертации были доложены и одобрены на ежегодных научных конференциях КРСУ (2010-2013 гг.); на республиканских научно-практических конференциях молодых ученых и студентов «Интеграция науки, инноваций и образования» в Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры (2010, 2012 гг.); на международной IV научно-практической конференции, посвященной 100-летию Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова и 40-летию кафедры «Геодезия, гидрология и гидрогеология» в ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (2013 г.); на международной научной конференции в Таразском государственном университете им. М.Х. Дулати (2012 г., Казахстан); на XLI Неделе науки СПбГПУ (2012 г.); на III всероссийской молодежной конференции «Устойчивость, безопасность и энергосбережение в современных архитектурных, конструктивных, технологических решениях и инженерных системах зданий и сооружений» в Московском государственном строительном университете (2012 г.); на научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях» ИС РАН в Бишкеке (2012 г.).

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** Материалы диссертационного исследования изложены в 14 научных работах, опубликованных в научных изданиях Кыргызской Республики, Республики Казахстан, Республики Таджикистан и Российской Федерации. Получен патент на изобретение № 1551, 2013 г. КР.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, 5 приложений. Текст диссертации изложен на 172 страницах, включая 38 иллюстраций, 21 таблицу и список библиографических источников из 109 наименований.

# ГЛАВА 1

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ОБЗОР И АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1.1 Обзор и анализ особенностей автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем

Проблема повышения надежности гидротехнических сооружений на оросительных системах всегда считалась важной народнохозяйственной задачей в Кыргызской Республике. Это объясняется тем, что в мелиорации повышение надежности сооружений приобретает огромное экономическое значение. Стоимость  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  воды, подаваемый на орошаемые поля, находится в прямой зависимости от сохранности и безотказности гидросооружений, размещенных на оросительных системах [1, с.3]. Из-за постоянно возрастающего дефицита оросительной воды все большую актуальность приобретает автоматизация мелиоративных систем. Автоматизация позволяет обеспечить более эффективное использование земельных и водных ресурсов, повысить производительность труда, осуществлять водопользование в строгом соответствии с планом [2, с.9].

На оросительных системах наиболее массовыми объектами автоматизации являются сооружения водоподдачи. Причем, самой оправданной признана гидравлическая автоматизация водовыпускных сооружений, позволяющая значительно экономить энергоресурсы [3]. Средства гидравлической автоматизации водовыпускных сооружений представляют собой, чаще всего, автоматы постоянного расхода воды в отвод. Они представлены двумя основными типами – авторегуляторами и стабилизаторами расхода воды. Отличие этих двух типов гидроавтоматов заключается в том, что

авторегуляторы расхода изменяют положение своих рабочих органов в процессе функционирования, а стабилизаторы не имеют подвижных рабочих частей.

Общими особенностями автоматизированных водовыпускных сооружений (АВС) являются: удаленность от источников энергоснабжения, рассредоточенность на оросительной системе, отсутствие постоянного надзора и другие.

На основе проведенного обзора источников [2–14 и др.] и проектной документации можно отметить следующие основные особенности автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем Кыргызской Республики:

а) на распределительных каналах преобладающим является открытый тип водовыпускных сооружений;

б) режим истечения чаще всего свободный;

в) на каналах с малыми уклонами имеются также трубчатые водовыпуски [10, с.13];

г) отвод воды ведется со дна канала, что способствует попаданию наносов в отводящее русло;

д) расходы воды в отводе изменяются от 0,2 м<sup>3</sup>/с до 5 м<sup>3</sup>/с;

е) диапазон изменений напоров перед сооружением не более 2 м [11, с. 23];

ж) как правило, водоприемник отсутствует, а сопряжение водовыпусков с транзитным и отводящим каналами выполняется при помощи открьлков [12];

з) скорости потока доходят до 3 м/с. Наличие высоких скоростей потока в транзитном канале отрицательно сказывается на работе авторегуляторов расхода воды, понижая качество их функционирования, а, следовательно, и показателей надежности;

и) существующие конструкции стабилизаторов подвержены воздействию плавника и мусора, что отрицательно сказывается на эксплуатационных характеристиках водовыпускных сооружений;

к) зачастую, защита от поступления плавника и мусора в отводящий канал отсутствует [10, с.13];

л) водовыпуски в большинстве оборудуются плоскими щитами, управление которыми осуществляется вручную, что не позволяет обеспечить подачу постоянного расхода воды в отвод;

м) для водоучета на водовыпусках с плоскими затворами необходимо устройство гидрометрических постов, что приводит к дополнительным трудовым и материальным затратам.

Обобщая и анализируя перечисленные особенности автоматизированных водовыпускных сооружений и учитывая многообразие конструкций этих сооружений, можно сделать вывод, что на сегодняшний день требуется тщательное изучение надежности этих сооружений, выявление недостатков существующих конструкций для выбора и создания более надежных в работе средств автоматизации водоподачи на каналах оросительных систем.

## **1.2 Основные технические характеристики гидравлических авторегуляторов и стабилизаторов расхода воды на ирригационных каналах**

В настоящее время АВС на ирригационных каналах оборудованы стабилизаторами и авторегуляторами расхода воды [12], которые предназначены для подачи требуемого расчетного расхода воды в отводящий канал независимо от изменения уровней воды в верхнем бьефе сооружения.

Исследованием и разработкой стабилизаторов и авторегуляторов расхода воды для оросительных систем занимались Авдеев А.И. [14], Атаманова О.В. [6], Бекбоев Э.Б. и Бекбоева Р.С. [15, 16], Бобохидзе Ш.С. [7, 17 – 18], Бочкарев Я.В. [4 – 6, 12,13, 19-22], Бредис А.И. [23], Бутырин М.В. [24, 25], Виденеев Ю.Д. [23], Гартунг А.А. [26], Журин В.Д. [27], Жусупов М.К. [28], Каграманов А.М. [23], Кикнадзе Л.Л. [23], Колодкевича А.М. [23], Колпычев В. [29], Курносов В.Н. [23], Курсин С.А. [30], Литвак Л.М. [23], Лубны-Герцик К.И.

[23], Луговой А.С. [31, 32], Маковский Э.Э. [9, 33, 34], Меркурьев И.С. [35], Мусаджанова Р.Ю. [23,36], Мухутдинова Р.Н. [2], Ом Л.А. [23], Пикалов Ф.И. [37], Рохман А.И. [38], Рузский Д.П. [39, 40], Соколов А.И. [23], Старковская В.Е. [41, 42], Тишабаев Б.Т. [43], Фролова Г.П. [10], Хамадов И.Б. [23, 44 – 47] и другие.

А также ряд зарубежных ученых и инженеров, таких, как В. Андерсен [48], П. Бернард [23], В. Брандт [23], П. Данел [49], П. Жиродде [23], М. Коглиатти [23], Б. Матэ [23], М. О'Керол [50], Э. Робинсон [51, 52], С. Сишедри [53] и другие.

Для обеспечения автоматического регулирования водоподачи (стабилизация) используются принципы [54]:

1. Обеспечение постоянства расхода воды отвода поддержанием неизменного (с заданной погрешностью) напора воды над отводящим отверстием.
2. Обеспечение постоянства отводимого расхода воды изменением площади отверстия водовыпуска в функции  $\sqrt{H}$ , где  $H$ – действующий напор.
3. Обеспечение постоянства водоподачи изменением коэффициента расхода автоматического устройства в функции  $\sqrt{H}$ .
4. Обеспечение постоянства отводимого расхода воды за счет использования динамических свойств водного потока.
5. Обеспечение постоянства расхода воды отвода поддержанием постоянным уровня воды в нижнем бьефе водовыпускного сооружения.
6. Обеспечение постоянства отводимого расхода воды сочетанием двух или более перечисленных выше принципов стабилизации водоподачи.

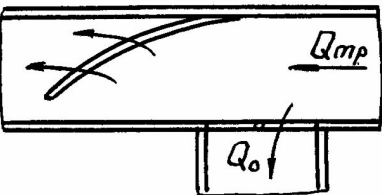
Наиболее широкое распространение получили стабилизаторы и авторегуляторы расхода воды, в работе которых используются первые четыре принципа.

Авторегуляторы и стабилизаторы расхода воды представляют собой технические средства автоматизации, используемые для подачи заданного расхода воды (с допустимым отклонением не более  $\pm 5\%$  от заданного) в отвод

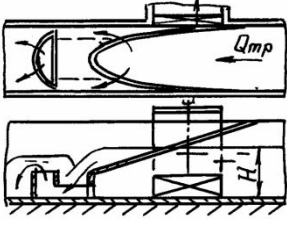
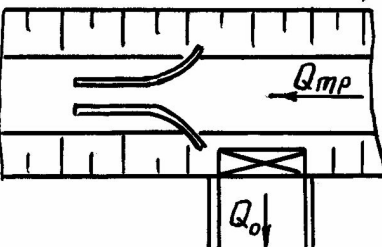
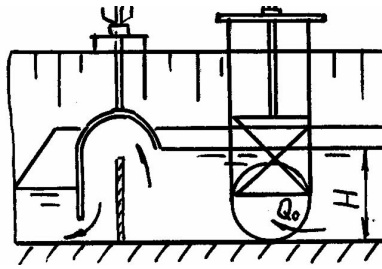
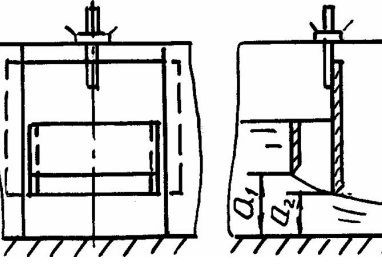
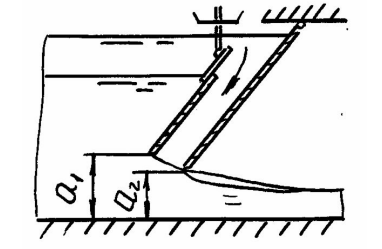
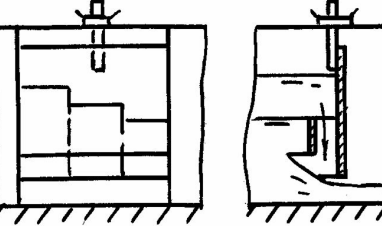
независимо от изменения уровня воды в верхнем бьефе сооружения (в расчетных пределах). При этом авторегуляторы расхода имеют подвижные элементы. К стабилизаторам расхода воды относятся автоматизированные водовыпуски, у которых отсутствуют подвижные в работе элементы и которые работают за счет использования свойств потока [55].

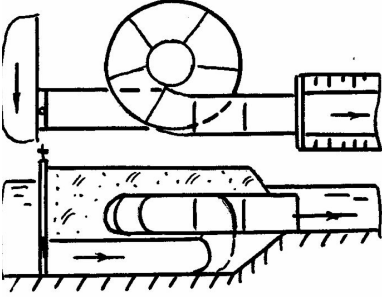
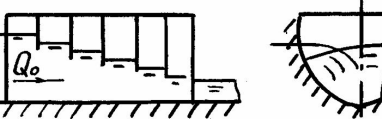
На сегодняшний день существует более сотни конструкций авторегуляторов и стабилизаторов расхода воды. Далее, ввиду множества конструкций автоматизированных водовыпускных сооружений рассмотрим отдельно конструкции авторегуляторов и стабилизаторов расхода воды. В табл. 1.1 приведены наиболее типичные и оригинальные конструкции стабилизаторов расходов воды, а в табл. 1.2 – некоторые конструкции авторегуляторов расхода воды.

Таблица 1.1 - Показатели некоторых стабилизаторов расхода воды на ирригационных системах

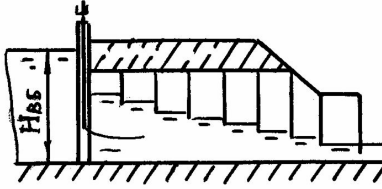
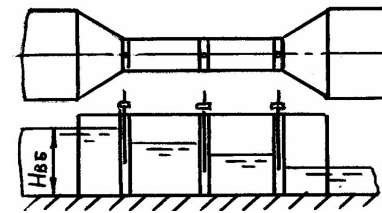
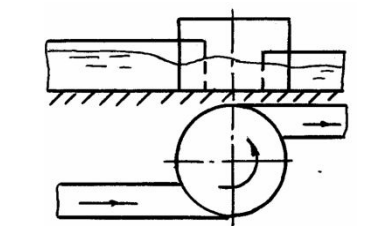
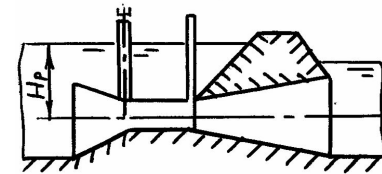
Тип стабилизатора	Принцип работы	Схематическое изображение	Условия применения	Параметры
1	2	3	4	5
Модуль Фута	$Q_0 = const$ обеспечивается $H_0 = const$		На каналах с небольшими расходами и уклонами	$\Delta H = 0,2H_p$ $p = 5...7\%$ $H_p \approx (0,5...0,7)м$ $\Delta H \leq (0,1...0,15)м$ $\frac{H_{max}}{H_{min}} = 1,2$
“У” – образные водосливы фирмы “Нейпик”			На каналах с малыми расходами, уклонами и отсутствием влекомых наносов	$\Delta H = 0,25H_p = (0,1...0,2)м$ $p = 5...7\%$ $\frac{H_{max}}{H_{min}} = 1,2...1,3$

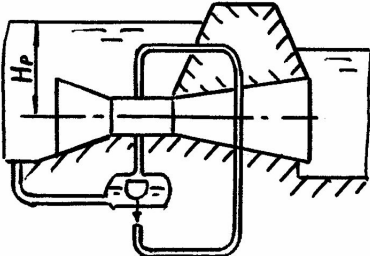
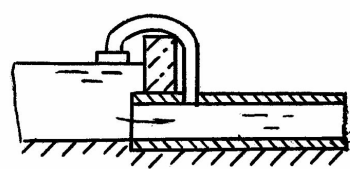
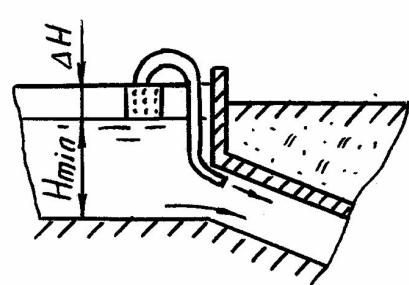
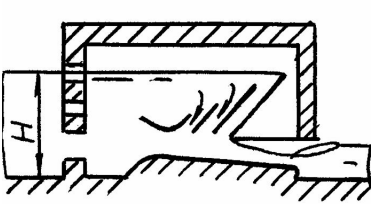
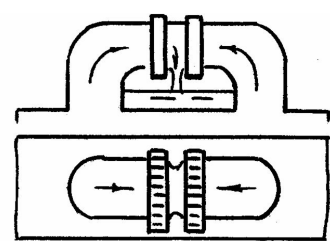


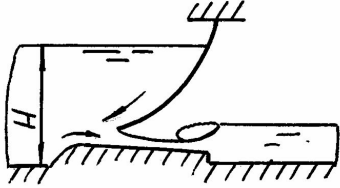

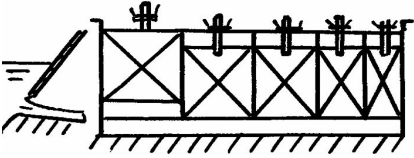
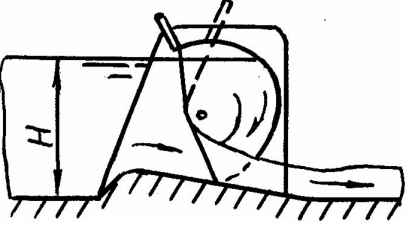
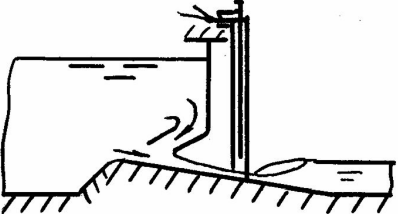
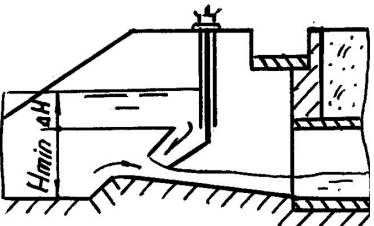
<p>“V” – образные водосливы фирмы “Нейр-пик”</p>			<p>На каналах с отсутствием влекомых наносов и малыми уклонами</p>	<p><math>\Delta H \leq 0,25H_p</math> <math>p = 5...7\%</math> <math>H_p = (0,4...0,7)м</math> <math>\Delta H \leq (0,1...0,2)м</math> <math>\frac{H_{max}}{H_{min}} = 1,2</math></p>
<p>АрмНИИГи М-I</p>	<p><math>Q_0 = const</math> обеспечив ается <math>H_0 = const</math></p>		<p>На каналах долинной зоны при отсутствии влекомых наносов</p>	
Продолжение табл. 1.1				
<p>АрмНИИГи М-II</p>	<p><math>Q_0 = const</math> обеспечив ается <math>H = const</math></p>		<p>На каналах с малыми уклонами и отсутствием наносов</p>	<p><math>\Delta H = (0,2...0,3) \times</math> <math>\times H_p; p = 5\%</math> <math>H_p (0,5...1)м</math> <math>\Delta H \leq 0,3м</math> <math>\frac{H_{max}}{H_{min}} = 1,3</math></p>
<p>Вертикальн ый коробчатый щит</p>	<p><math>Q_0 = const</math> измени ем <math>\omega</math> в функции <math>\sqrt{H}</math></p>		<p>При уклонах дна канала меньше критическог о</p>	<p><math>H_{min} = 1м</math> <math>\frac{H_{max}}{H_{min}} = 1,5</math> <math>\Delta H = 0,5H_p</math> <math>Q_0 \leq 3м^3/с</math></p>
<p>Наклонный коробчатый щит</p>			<p>На каналах с уклонами меньше критических</p>	<p><math>H_{min} = 1м</math> <math>\frac{H_{max}}{H_{min}} = 2</math> <math>\Delta H = H_p</math> <math>Q_0 \leq 3м^3/с</math></p>
<p>Вертикальн ый щит с горизонталь ными козырьками</p>			<p>На каналах с уклонами меньше критических</p>	<p><math>H_{min} = H_p \leq 1м</math> <math>\frac{H_{max}}{H_{min}} = 2...2,4</math> <math>\Delta H = (1,1...1,4) \times</math> <math>\times H_p; Q_0 \leq 4м^3/с</math></p>

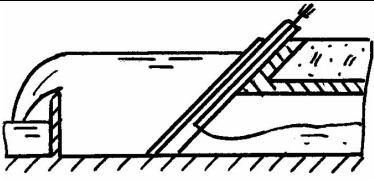
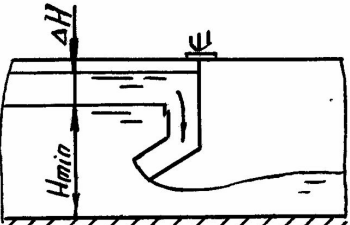
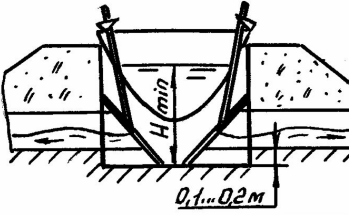
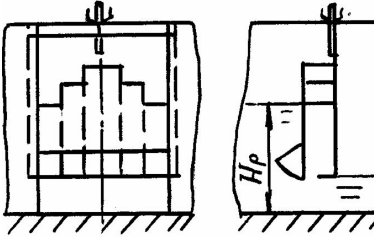
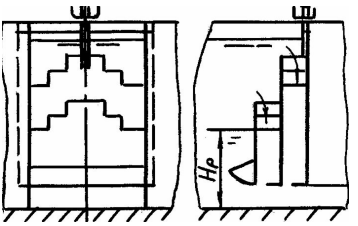
Автомат Джибба	За счет изменения коэффициента расхода в функции $\sqrt{H}$		На водовыпусках при отсутствии наносов и больших наполнениях перед автоматом	$H_{\min} \geq 1\text{ м}$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,2$ $\Delta H = (0,2 \dots 0,4) \times H_p$ ; $p = 5 \dots 7\%$ $\Delta H \leq 0,4\text{ м}$
Модульный выпуск Альфа			При глубинах в старшем канале и малых уклонах дна канала	$H_{\min} = H_p \leq 1\text{ м}$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,2$ $\Delta H = (0,2 \dots 0,35) \times H_p$ ; $p = 5 \dots 7\%$

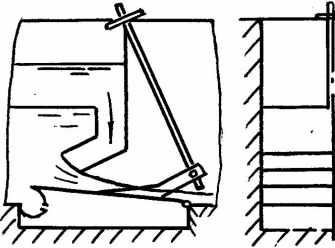
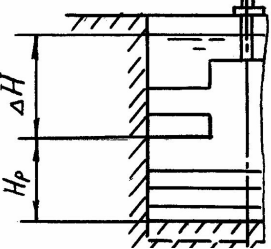
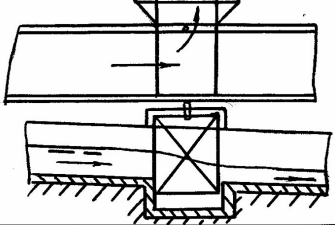
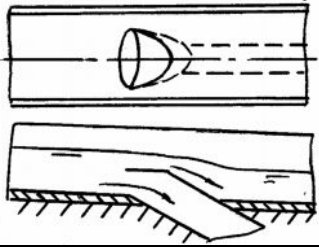
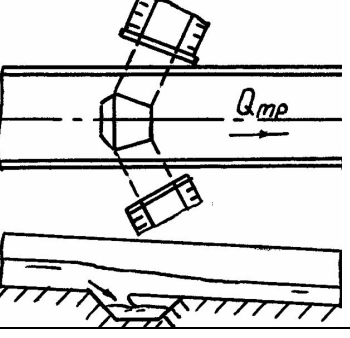
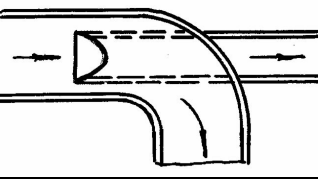
Продолжение табл. 1.1

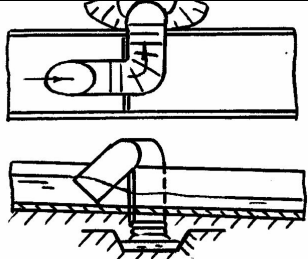
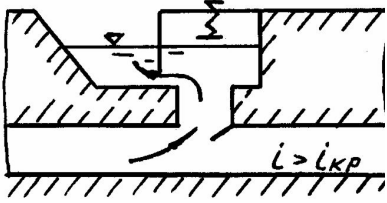
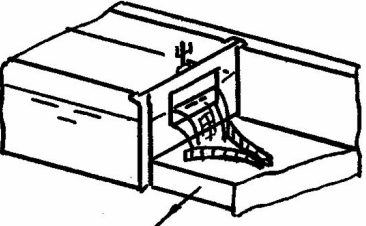
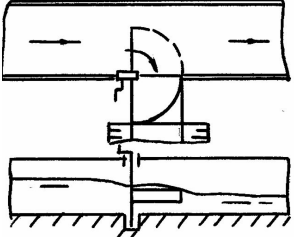
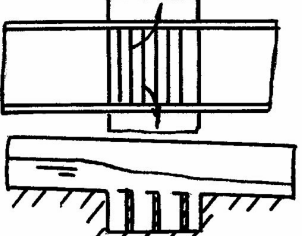
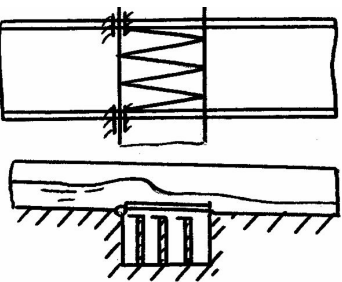
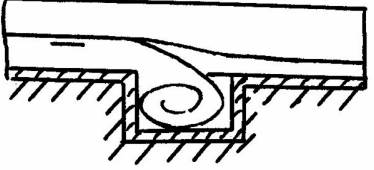
Автомат В.Д.Журина	За счет изменения коэффициента расхода в функции $\sqrt{H}$		При небольших уклонах и больших наполнениях в верхнем бьефе	$H_{\min} = (0,8 \dots 1)\text{ м}$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,2$ $\Delta H = (0,2 \dots 0,35) \times H_p$ ; $p = 5 \dots 7\%$
Автомат В.Я.Гладких			При небольших уклонах и больших наполнениях в верхнем бьефе	$H_{\min} = H_p \geq 0,8\text{ м}$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,3$ $\Delta H = 0,3H_p$ ; $p = 5 \dots 7\%$
Американский тип			При малых уклонах дна канала и значительных напорах в верхнем бьефе	$H_{\min} = H_p \geq 1\text{ м}$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,2$ $\Delta H = 0,2H_p$ ; $p = 5 \dots 7\%$
Автомат Кеннеди			При значительных глубинах в канале старшего порядка и отсутствии влекомых наносов	$H_{\min} = H_p \geq 1\text{ м}$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,3$ $\Delta H = 0,3H_p$ ; $p = 5 \dots 7\%$

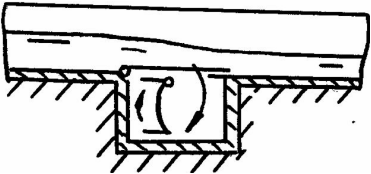
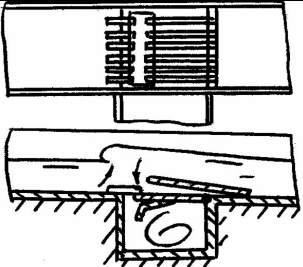
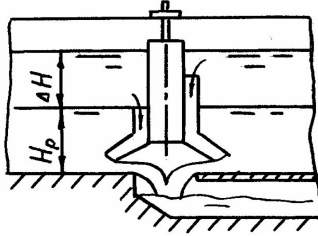
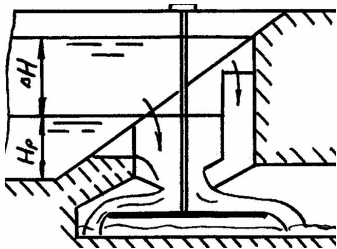
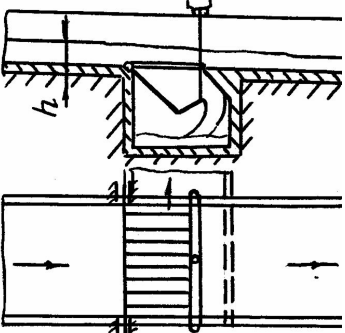
Автомат К.И. Лубны- Герцика			При значительны х глубинах в старшем канале и отсутствии влекомых наносов	$H_{\min} \geq 1 \text{ м}$ $\Delta H \leq (0,4...0,5) \times$ $\times H_p$ $p = 5 \%$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,5$
Автомат В.С. Мисенева			При небольших расходах, малых уклонах дна канала, отсутствии наносов	$H_{\min} \approx 0,5 \text{ м}$ $\Delta H = (0,3...0,4) \times$ $\times H_p$ $p = 5 \%$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,2$
Продолжение табл. 1.1				
Автомат Н.О. Филиппова	За счет измени я коэффици ента расхода в функции $\sqrt{H}$		При отсутствии наносов и небольших расходах	$H_{\min} \approx (0,5...1) \text{ м}$ $\Delta H = 0,5 H_{\min}$ $p = 5 \%$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,5$
Модуль Канна			При малых уклонах и отсутствии наносов	$H_{\min} \approx 0,5 \text{ м}$ $\Delta H = 0,5 H_p$ $p = 5 \%$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,5$
Автомат А.И. Бредиса			При небольших уклонах и расходах, отсутствии наносов	$H_{\min} \approx 0,5 \text{ м}$ $\Delta H = (0,3...0,4) \times$ $\times H_p$ $p = 5 \%$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,4$

Пенджабско го института (Пакистан)-I			Отсутствие наносов, небольшие уклоны и расходы	$\Delta H = (0,2...0,3) \times H_p$ $p = 7...10 \%$ $\Delta H \leq 0,25 \text{ м}$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,2$
Пенджабско го института (Пакистан)- II			Отсутствие наносов, небольшие уклоны и расходы	$\Delta H = (0,2...0,3) \times H_p$ ; $Q \leq 3 \text{ м}^3/\text{с}$ $p = 5 \%$ $\Delta H \leq 0,3 \text{ м}$ $H_{\max} / H_{\min} = 1,3$
Модуль фирмы “Нейрпик” (щиты наклонные)			Отсутствие наносов, небольшие уклоны и расходы	$\Delta H = (0,1...0,2) \text{ м} \leq 0,2 H_p$ ; $p = 5 \%$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,2$
Продолжение табл. 1.1				
Модуль фирмы “Нейрпик” (щиты цилиндриче ские)	За счет измени я коэффици ента расхода в функции $\sqrt{H}$		Отсутствие наносов, малые уклоны и расходы	$\Delta H = (0,1...0,2) \text{ м} \leq 0,2 H_p$ ; $p = 5 \%$ $H_{\max} / H_{\min} = 1,2$
Модуль фирмы “Согреан”			Отсутствие наносов, малые уклоны и расходы	$\Delta H = (0,3...0,4) \text{ м} \leq 0,5 H_p$ ; $p = 5...6 \%$ $H_{\min} = H_p = (0,4...0,6) \text{ м}$ $H_{\max} / H_{\min} = 1,5...1,6$
И.Б. Хамадова А.А. Гартунга			Большие напоры, малые уклоны и расходы, отсутствие наносов	$H_{\min} = (0,5...1) \text{ м}$ $\Delta H = 0,4 H_p$ $Q = (0,2...5,2) \text{ м}^3 / \text{с}$ $p = 3...7 \%$ $H_{\max} / H_{\min} = 1,5...2$

Я.В. Бочкарева, А.С. Лугового (ВСП)			Большие уклоны, отсутствие наносов	$H_{\min} = (0,3...0,5) м$ $\Delta H \leq 0,5 м = (1...1,2)H_p$ $Q \leq 4 м^3/с$ $p = 4...5 \%$ $H_{\max}/H_{\min} = 2$
Ломаный телескопический коробчатый щит (ЛТКЩ)			Отсутствие наносов, плавника и мусора в потоке	$H_{\min} = H_p \leq 1 м$ $\Delta H = 0,45H_p$ $Q \leq 4 м^3/с$ $p = 5\%; \frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1,5$
Лотковый стабилизатор расхода			На лотковых каналах при отсутствии влекомых наносов	$H_{\min \text{ лот}} = (0,25...0,5) м; \Delta H = 0,3 м$ $Q = (0,05...0,25) м^3/с$
Продолжение табл. 1.1				
Секционный ступенчатый коробчатый щит (ССКЩ)	За счет изменения коэффициента расхода в функции $\sqrt{H}$		На каналах и водозаборных узлах при отсутствии донных наносов и плавника	$H_p = H_{\min} \approx (0,5...1) м; \Delta H = (1,5...1,6)H_p$ $Q \leq 5 м^3/с$ $p = 5 \%$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 2,5$
Двухкоробчатый ССКЩ			На водозаборных узлах и БСР, где отсутствуют плавающие тела и влекомые наносы	$H_p = H_{\min} \approx (0,5...1) м;$ $\Delta H \leq 5H_p$ $Q \leq 5 м^3/с$ $p = 5 \%$ $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 3,6$

Коробчатый моноблок с гидроприводом управления (КМ-1)			На каналах с небольшими уклонами и отсутствием донных наносов	$H_p = (0,5...1) м$ $\Delta H \leq 0,6 H_p = 0,6 м$ $Q \leq 4 м^3/с$ $p = 5 \%$ $\frac{H_{max}}{H_{min}} = 1,6$
Коробчатый моноблок с гидроприводом управления (КМ-II)			На каналах с небольшими уклонами и отсутствием донных наносов	$H_p = (0,5...1) м$ $\Delta H = 0,3 H_p$ $Q \leq 4 м^3/с$ $p = 5 \%$ $\frac{H_{max}}{H_{min}} = 2,3$
Донный тип А.М. Кагарманова	За счет динамических свойств потока		На быстротоках с уклонами $i = 0,02...0,03$	$Q \leq 3 м^3/с$ $v \approx (10...12) \frac{м}{с}$ $p = 7...10 \%$ $Q_{mp} \leq 20 м^3/с$
Послойный тип В.Г. Микаеляна			На быстротоках с уклонами $i = 0,01...0,03$	$Q \leq (3...4) м^3/с$ $p = 10 \%$ $Q_{mp} = (12...15) м^3/с$
Продолжение табл. 1.1				
Ш.С. Бобохидзе (деление потока по вертикали)	За счет динамических свойств потока		На быстротоках с уклонами $i = 0,02...0,09$	$Q \leq 10 м^3/с$ $p = 8...10 \%$ Исследов.: $Q_{mp} \leq 70 л/с$ $H = (0,3...1,25) м$
Ш.С. Бобохидзе (деление потока в плане)			На быстротоках с уклонами $i = 0,01...0,03$	$Q \leq 8 м^3/с$ $p = 8...10 \%$ $Q_{mp} = (10...15) м^3/с$

Сифонный тип			На быстротоках с уклонами $i = 0,01 \dots 0,1$	$Q \leq 40 \text{ л/с}$ $d = 0,12 \text{ м}$ $p = 5 \dots 7 \%$
Инерционный водораспределитель			На трубчатых водовыпусках из каналов	$Q \leq 2 \text{ м}^3/\text{с}$ $p = 7 \dots 10 \%$
Щитовой водовыпуск Г.А. Амбарцумяна			На каналах с уклонами $i = 0,001 \dots 0,01$	$H_p = (0,2 \dots 0,5) \text{ м}$ $\Delta H \leq 0,2 H_p$ $p = 5 \dots 7 \%$
Ковшовый стабилизатор А.И. Авдеева			На быстротоках $i = 0,01 \dots 0,09$ при бурном режиме течения	$i > i_{кр}$ $Q \leq 8 \text{ м}^3/\text{с}$ $p = 5 \dots 7 \%$
Водовыпуск-гаситель энергии АрмНИИВП и Г			На быстротоках с уклонами $i > i_{кр}^{11}$	$Q_{тр} \leq 25 \text{ м}^3/\text{с}$ $Q \leq 10 \text{ м}^3/\text{с}$ $p = 7 \dots 10 \%$
Продолжение табл. 1.1				
Вододелитель-стабилизатор Н.П. Лаврова	За счет динамических свойств потока		На быстротоках с уклонами $i > i_{кр}^{11}$	$Q_{тр} \leq 25 \text{ м}^3/\text{с}$ $Q \leq 10 \text{ м}^3/\text{с}$ $p = 7 \dots 10 \%$
Водовыпуск-стабилизатор ВНИИКАМС			При $i_{кр} \leq i < i_{кр}^{11}$	$Q_{тр} \leq 20 \text{ м}^3/\text{с}$ $Q \leq 10 \text{ м}^3/\text{с}$ $p = 7 \%$

<p>ВСР конструкции и А.В. Есикова, М.И. Голубенко и др. А.С.763521</p>			<p>При <math>i_{кр} \leq i &lt; i_{кр}^{11}</math></p>	<p><math>p=5\%</math> <math>Q_{mp} \leq 20 \text{ м}^3/\text{с}</math> <math>Q \leq 8 \text{ м}^3/\text{с}</math></p>
<p>Водовыпуск Э.Б.Бекбоева А.С. 1300088</p>	<p>За счет динамических свойств потока</p>		<p>Для <math>i &gt; i_{кр}</math></p>	<p><math>Q_{mp} \leq 20 \text{ м}^3/\text{с}</math> <math>Q \leq 10 \text{ м}^3/\text{с}</math> <math>p = 7 \%</math></p>
<p>Кольцевые стабилизаторы</p>	<p>За счет изменения <math>\mu</math> в функции <math>\sqrt{H}</math> и <math>\omega</math> в функции <math>\sqrt{H}</math></p>		<p>При наличии перепада местности</p>	<p><math>H_p = H_{\min} = (0,5...1) \text{ м}</math> <math>\Delta H = (1,75...1,8)H_p</math> <math>\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 2,75</math> <math>Q \leq 8 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; p = 5\%</math></p>
<p>Моноблочный коробчатый щит (МКЩ)</p>			<p>В откосах каналов с небольшими уклонами</p>	<p><math>H_p = H_{\min} = (0,5...1) \text{ м}</math> <math>\Delta H = 1,3H_p</math> <math>\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 2,3</math> <math>Q \leq 8 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; p = 5\%</math></p>
Продолжение табл. 1.1				
<p>ВСРБК-1</p>	<p>За счет изменения <math>\mu = f(\sqrt{H})</math> и динамических свойств потока</p>		<p>На быстротоках с бурным режимом течения <math>i &gt; i_{кр}</math></p>	<p><math>H_p = \frac{(Q_{mp} n)^{0,6}}{b \sqrt{i}} + \frac{\alpha v_0^2}{2g}</math> <math>Q \leq 10 \text{ м}^3/\text{с}</math> <math>p = 5 \%</math></p>



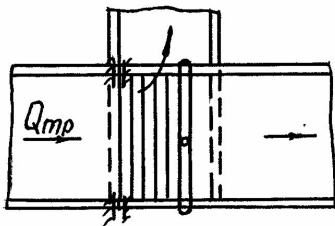
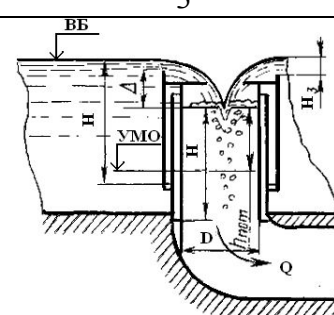
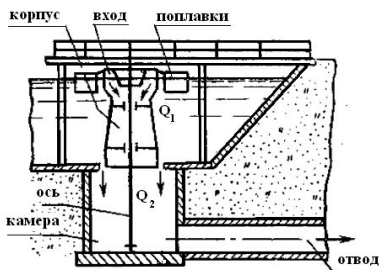
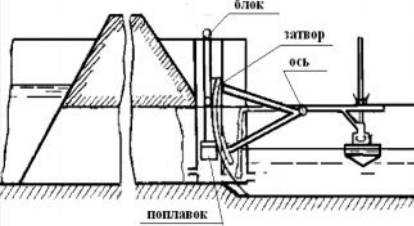
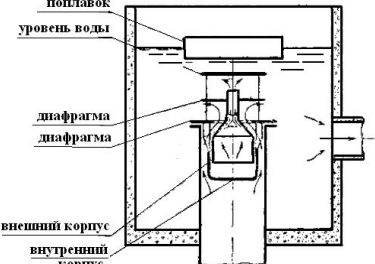
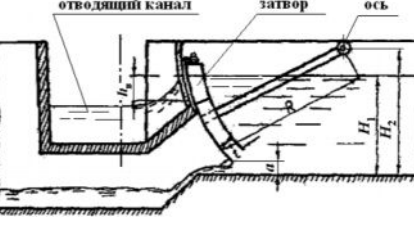
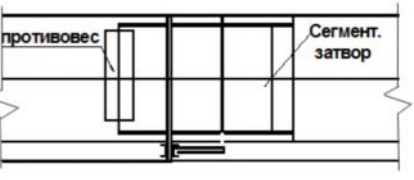
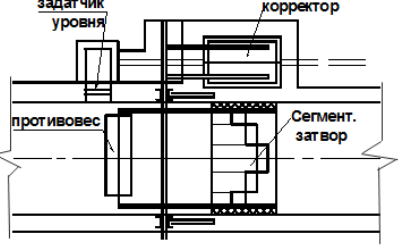
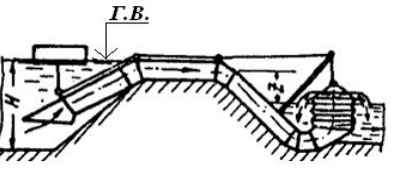
ВСРБК-II		На быстротоках со сверх бурным режимом течения $i > i_{кр}^{11}$	$H_p = \frac{(Q_{mp}n)^{0,6}}{b\sqrt{i}} + \frac{av_0^2}{2g}$ $Q \leq 10 \text{ м}^3/\text{с}$ $p = 5 \%$
----------	-----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

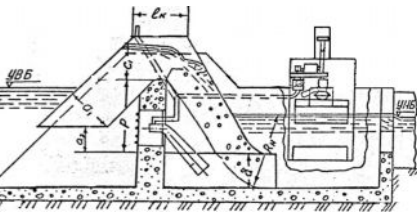
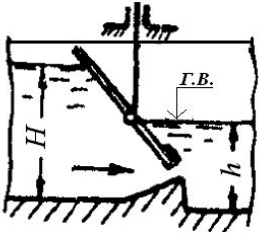
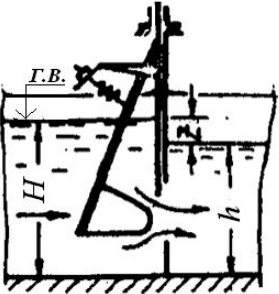
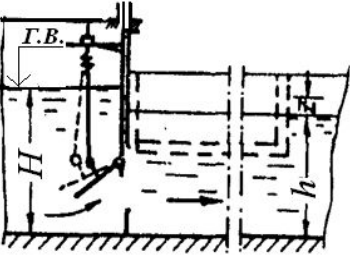
Таблица 1.2 - Показатели некоторых авторегуляторов расхода на ирригационных системах

Тип авто-регулятора	Принцип работы	Схематическое изображение	Условия применения	Параметры
1	2	3	4	5
Телеуправляемый цилиндрический затвор-автомат	$Q_0 = const$ за счет обеспечения $H_3 = const$		На водовыпусках из БСР и каналов при наличии значительных перепадов местности	$p = \pm 5\%$ $z_{min} \geq H_3 + h_{ном}$ $m = 0.48 \div 0.5$
Вододействующий автоматический водовыпуск (ВАВ)	$Q_0 = const$ за счет сочетания $H_1 = const$ и изменения $\omega$ в функции $\sqrt{H}$		На водоемах или крупных магистральных каналах	$p = \pm 5\%$ $Q = Q_{m.с} + Q_{дон}$ $\frac{Q_{дон}}{Q_{m.с}} = 1:5 - 1:10$ $Q_{дон} = const$ $Q_{m.с} = 1.56 \cdot b \cdot H_1^{3/2}$ $\Delta H = (0.1 \div 0.3)b$

Продолжение табл. 1.2

Гидравлический авторегулятор расхода	$Q_0 = const$ за счет уравнивания моментов сил, действующих на их подвижную часть		Для диафрагменных и трубчатых водовыпусков	$p = 1 \div 2 \text{ см}$ $\Delta h = h_{н.б. \max} - h_n + z$ $z \geq 0,1 \text{ м}$
Поплавковый авторегулятор М.П. Сальникова	$Q_0 = const$ за счет изменения $\omega$ в функции $\sqrt{H}$		Для закрытых оросительных систем	$p = \pm 5 \div 7\%$ $Q = f(\omega_0)$ , $\omega_0$ – площадь выходного отверстия $\Delta H = (0.5 \div 0.9)d_0$
Сегментный вододействующий затвор-автомат постоянного расхода	$Q_0 = const$ за счет уравнивания моментов сил		Для каналов с отводом при $\frac{Q_0}{Q_{тр}} \leq 0,15$	$p = \pm 5\%$ ; $a = 0,2H_1$ ; $H_2 = (1,2 \div 1,5)H_1$ ; $z \approx a$
Ковшовый сегментный затвор со стабилизирующей приставкой пост. высоты	$Q_0 = const$ за счет изменения $\mu$ в функции $\sqrt{H}$		На водовыпусках в отвод	$p = \pm 5\%$ ; $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1 \div 1,5$ $H_{\min} = 0,5 \text{ м}$
Авторегулятор уровня и расхода воды	$Q_0 = const$		На водозаборных узлах	$p = \pm 5\%$ ; $\frac{H_{\max}}{H_{\min}} = 1 \div 1,6$ $H_{\min} = 0,5 \div 0,7 \text{ м}$
Автоматический сифонный регулятор	$Q_0 = const$ за счет поддержания постоянного перепада уровней воды		На сети внутрихозяйственного вододелия	$\Delta H_{ВВ} = 0,15 - 0,5 \text{ м}$ $Q = 0.1 - 0.4 \text{ м}^3/\text{с}$ , при диаметре сифонной трубы 200-400 мм.

Продолжение табл. 1.1

<p>Сифонный авторегулятор расхода конструкции Глазева В.А., Кривошекова В.С.</p>	<p><math>Q_0 = const</math> за счет поддержания постоянного перепада уровней воды</p>		<p>На распределительных каналах при отсутствии плавника и мусора в потоке</p>	<p><math>=0,5 \div 0,6</math> м,  <math>Q=0.05 \div 1</math> м<sup>3</sup>/с,  Сечение трубы сифона прямоугольное  <math>0,5 \div 0,8</math> м.</p>
<p>Затвор-автомат с вращающимся щитком</p>	<p><math>Q_0 = const</math> обратно пропорционально <math>\sqrt{\Delta H}</math> и <math>\mu</math></p>		<p>На головных водовыпусках в хозяйственную и внутрихоз. сети</p>	<p>Максимальный расход до <math>3 \div 5</math> м<sup>3</sup>/с;  <math>p = \pm 5\%</math>;  <math>\frac{H_{max}}{H_{min}} = 4 \div 6</math></p>
<p>Пружинный автомат расхода («телом»)</p>	<p><math>Q_0 = const</math> регулируется положением фигурного тела в отверстии</p>		<p>На внутрихоз. оросителях в виде переносных и стационарных конструкций</p>	<p><math>p = \pm 5\%</math>;  <math>\frac{H_{max}}{H_{min}} = 3</math>  <math>Q=30 \div 70</math> л/с при перепадах уровней воды <math>0,05 \div 0,25</math> м,  <math>Q=90 \div 200</math> л/с при <math>0,07 \div 0,3</math> м</p>
<p>Пружинный автомат расхода с вращающимся щитком</p>	<p><math>Q_0 = const</math> регулируется положением вращающегося щитка</p>		<p>На внутрихоз. сети для открытых и трубчатых водовыпусков</p>	<p><math>p = \pm 5\%</math>  <math>\frac{H_{max}}{H_{min}} = 4 \div 5</math>  <math>Q=20 \div 300</math> л/с,  минимальный перепад уровней воды <math>0,07 \div 0,08</math> м.</p>

Проанализируем наиболее распространенные конструкции стабилизаторов расхода воды с позиции их возможного применения на распределительных каналах оросительных систем (см. табл. 1.1).

Стабилизаторы расхода воды просты в конструктивном отношении, несложны в эксплуатации. Судя по конструкциям, они достаточно надежны в работе. Стабилизаторы позволяют обеспечить регулирование отводимого расхода воды с требуемой точностью ( $\pm 5\%$ ).

Авторегуляторы расхода воды (см. табл. 1.2) чаще всего работают на принципе обеспечения постоянства отводимого расхода, сохраняя напор перед выпускным отверстием неизменным. Водовыпускное отверстие при этом устраивают в верхнем бьефе в зоне постоянного подпора. В том случае, когда авторегулятор поддерживает постоянный уровень в нижний бьеф, само перекрываемое отверстие пропускает постоянный расход воды, то есть этот затвор служит одновременно автоматом постоянного расхода [7, 56, 57].

Анализируя приведенные конструкции авторегуляторов расхода воды [4, 57], можно отметить следующие их достоинства: высокую чувствительность; наличие возможности местного, дистанционного и телемеханического управления; относительно устойчивый режим работы; наличие возможности регулирования расхода отвода в достаточном диапазоне.

Однако многие из существующих авторегуляторов расхода воды имеют конструктивные недостатки, мешающие их широкому внедрению в производство. Они начинают реагировать только после определенного изменения уровня (т.е. обладают невысокой чувствительностью) и не доводят его до первоначального положения после изменения внешнего воздействия, хотя и сглаживают колебания выходного параметра. Кроме того, большим недостатком авторегуляторов расхода воды является то, что эти затворы-автоматы постоянно находятся в воде, и не освобождают полностью отверстие отвода при пропуске форсированных расходов через водораспределительное сооружение. Это значительно затрудняет пропуск плавающих предметов, шуги и наносов, попадающих в канал. Авторегуляторы расхода воды требуют дополнительных капитальных вложений на устройство завышенных бортов канала из-за дополнительного подпора, создаваемого затвором.

Некоторые конструкции авторегуляторов были внедрены на оросительных системах Кыргызстана в 70-х – 80-х годах прошлого века. Однако к настоящему времени, по нашим данным, они давно «вышли из строя» и утратили свою работоспособность.

В последнее время все более широкое применение находят стабилизаторы расхода воды. Ввиду отсутствия подвижных в работе элементов, стабилизаторы надежны в конструктивном отношении, а, следовательно, и в работе. Отсутствие у них подвижных частей в работе обеспечивает достаточно высокую надежность в работе. Также они имеют высокую точность регулирования, просты в эксплуатации и по конструкции [56].

Перечисленных достоинства стабилизатора расхода воды не исключают некоторых недостатков у существующих конструкций стабилизаторов.

Многие конструкции стабилизаторов достаточно громоздки, аккумулируют наносы и обладают недостаточным диапазоном регулирования. Более совершенные из стабилизаторов, чаще всего, представляют собой коробчатые затворы достаточно объемных конструкций, которые из-за значительного веса вызывают перекося в пазах при маневрировании ими.

Однако сравнивая конструкции авторегуляторов и стабилизаторов расхода воды между собой в целом, а также учитывая опыт эксплуатации уже существующих конструкций, можно сделать вывод, что наиболее перспективными для дальнейшего развития и использования на оросительных системах являются стабилизаторы расхода воды. При некотором усовершенствовании существующих конструкций стабилизаторов расхода воды, можно достичь желаемого эффекта обеспечения надежности процесса стабилизации водоподачи на оросительных системах.

### **1.3 Технические условия и требования к средствам автоматизации водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем**

Как уже было сказано выше (раздел 1.2) существующие на сегодня автоматизированные водовыпускные сооружения на распределительных каналах оросительных систем представлены авторегуляторами и стабилизаторами расхода воды, основная цель которых – подача заданного расхода воды в отводящий канал независимо от колебания уровня воды в верхнем бьефе.

Обобщая и анализируя перечисленные особенности и характеристики сооружений водораспределения как объектов автоматизации, можно сформулировать технические условия и требования к средствам автоматизации водовыпускных сооружений:

1. Обеспечение автоматизированным водовыпускным сооружением постоянной водоподачи с заданной погрешностью регулирования, не превышающей  $\pm 5\%$  расчетного значения (в пределах точности водомерных устройств), что способствует безотказности сооружения [58,59].

2. Недопущение потерь воды в закрытом положении.

3. Обеспечение автоматического пропуска по транзитному каналу или источнику паводковых или других повышенных расходов, что способствует сохранности элементов сооружения.

4. Присутствие в канале плавающих тел и мусора не должно оказывать негативное влияние на работу сооружения и нарушать его безотказность.

5. Непопадание донных и вредных взвешенных наносов в отвод, приводящих к отказам сооружения.

6. Обеспечение ремонтпригодности средства стабилизации водоподачи.

7. Возведение сооружений, простых в конструктивном исполнении и удобных в эксплуатации, должно выполняться с минимальными затратами и способствовать его долговечности.

8. Средства стабилизации водоподачи должны обеспечивать сочетание функций водоподачи и регулирования отводимого расхода воды.

При выборе средства стабилизации водоподачи для автоматизации конкретного водовыпускного сооружения также необходимо учитывать

следующие параметры: пропускная способность автоматизированного водовыпускного сооружения; скорость потока в канале, при непосредственной установке в нем системы стабилизации; минимальный и максимальный уровни воды перед сооружением; условия подхода, режим истечения и прочие гидравлические условия; наносный режим; климатические условия; рельеф местности.

Соблюдение указанных требований к автоматизированному водовыпускному сооружению будет способствовать повышению его надежности.

Оценка показателей надежности существующих автоматизированных водовыпускных сооружений и разработка новых более совершенных с позиций теории надежности конструкций предполагает решение ряда научных задач, которые позволяют достичь цели повышения надежности указанных сооружений.

#### **1.4 Цели и задачи разработок и исследований**

Целью диссертационной работы является развитие теории, методов расчета и проектирования для повышения надежности автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах гидромелиоративных систем.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи исследований и разработок:

- проведение анализа существующих отказов автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем;
- исследование показателей надежности существующих автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем Кыргызской Республики;
- установление путей совершенствования автоматизированных водовыпускных сооружений;

- разработка усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем;
- проведение теоретических и экспериментальных исследований усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения;
- изучение и оценка показателей надежности усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения;
- разработка методики расчета усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем;
- апробация результатов теоретических разработок и экспериментальных исследований в натурных условиях; определение технико-экономических показателей; разработка практических рекомендаций по расчету и проектированию усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем.

Поставленные задачи были положены в основу дальнейших разработок и исследований повышения надежности автоматизированных водовыпускных сооружений для распределительных каналов оросительных систем.



## ГЛАВА 2

# ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Необходимость создания сооружений, не только прочных и долговечных, но и экономически выгодных, стала предпосылкой к появлению теории надежности, имеющая много различных направлений, в том числе и теорию надежности гидротехнических сооружений (ГТС) [59, с.5]. В основу существующей теории надежности ГТС положена классическая математическая теория надежности [60, 61] и др.

До недавнего времени в гидротехнике рассматривались только надежность грунтовых плотин и гидромелиоративных систем, а также некоторые частные задачи анализа надежности сооружений [62, с.9]. Следует отметить труды Иващенко И.Н. [63], Пепояна В.С. [64], Мирцхулавы Ц.Е. [1, 59], Стефанишина Д.В. [65, 66], Финагенова О.М. [67], Шульмана С.Г. [67], Штильмана В.Б. [62] и других авторов. Что же касается автоматизированных водовыпускных сооружений, то вопросами научного обоснования и анализа их надежности, по нашим сведениям, до сегодняшнего дня никто направленно не занимался.

Проанализируем основные понятия и показатели теории надежности применительно к автоматизированным водовыпускным сооружениям на распределительных каналах оросительных систем.

## **2.1 Основные понятия и показатели надежности**

### **2.1.1 Основные понятия надежности**

*Надежность* – свойство объекта (в частности, водовыпускного сооружения, автоматизированного стабилизатором или авторегулятором

расхода воды) сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, а также технического обслуживания [68, с. 3]. При этом основной функцией автоматизированных водовыпускных сооружений (АВС) является подача требуемого расхода воды в отводящий канал не зависимо от изменений уровней воды в канале старшего порядка.

Надежность представляет собой комплексное свойство, включающее безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость, в зависимости от условий применения и назначения устройства [68, с.3].

Для автоматизированных водовыпускных сооружений, как для ремонтируемых объектов, находящихся в непрерывной работе в течение длительного времени (в поливной сезон), важнейшими свойствами, составляющими понятие надежности, являются безотказность, долговечность и ремонтпригодность.

Безотказность АВС – это свойство автоматизированного водовыпуска непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение поливного сезона. Работоспособное состояние автоматизированного водовыпуска – это состояние объекта, при котором обеспечивается регулирование отводимого расхода воды с требуемой точностью ( $\pm 5\%$ ).

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта, называется *отказом* [68]. Под отказом следует понимать не только полную потерю работоспособности, но и ухудшение работоспособности вследствие ухода заданных параметров за пределы эксплуатационных допусков (например, засорение одной из секций стабилизатора расхода воды типа «Ступенчатый секционный коробчатый щит» (ССКЩ) – это не полный отказ, а частичная потеря стабилизирующих свойств затвора). Более подробно отказы автоматизированных водовыпускных сооружений рассмотрены в разделе 2.2.

Время нормального функционирования водовыпуска ограничено неизбежными процессами, происходящими в его элементах и узлах при

эксплуатации и хранения [69]. Например, износ деталей, старение металла, из которого сделано полотно затвора. Вследствие этого период нормального функционирования объекта определяется его долговечностью [59].

Долговечность АВС – это свойство автоматизированного водовыпуска сохранять работоспособное состояние до заданного предела (срок эксплуатации) с необходимыми перерывами на ремонт.

Ремонтопригодность АВС – это свойство автоматизированного водовыпуска, заключающееся в способности сооружения поддерживать и восстанавливать свое работоспособное состояние за счет технического обслуживания и ремонта.

Современное АВС должно обладать всеми перечисленными свойствами надежности. Только в этом случае качество функционирования водовыпускного сооружения будет в полной мере соответствовать требованиям службы эксплуатации гидромелиоративной системы.

### **2.1.2 Основные показатели надежности автоматизированных водовыпускных сооружений**

Оценка надежности АВС состоит в определении одной или нескольких количественных характеристик, среди которых можно выделить вероятность безотказности работы, среднюю наработку до отказа, параметр потока отказов и т.д.

Основные показатели надежности делятся на две группы [68]:

- 1) характеризующие надежность невосстанавливаемых объектов;
- 2) характеризующие надежность восстанавливаемых объектов.

Так как работоспособность АВС поддерживается с помощью ремонтов, поэтому они относятся к системам восстанавливаемым.

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  означает вероятность сохранения АВС своей нормальной работоспособности в течение определенного времени  $t$

при заданных условиях эксплуатации. То есть, в заданном интервале времени при заданном режиме и условиях работы не произойдет ни одного отказа:

$$P(t)=P(T>t), \quad (2.1)$$

где  $T$  – время непрерывной безотказной работы.

Вероятность безотказной работы – убывающая функция времени. Поэтому, чем больше заданный промежуток времени, тем меньше значение вероятности безотказной работы.

Вероятность появления отказа  $Q(t)$  представляет собой величину обратную вероятности безотказной работы. Поэтому сумма вероятностей безотказной работы и отказа, как противоположных событий, равна единице:

$$P(t)+Q(t)=1. \quad (2.2)$$

Для АВС с известной долей допущения можно сказать, что в нормальном режиме эксплуатации сооружения функция  $P(t)$  является экспоненциальной:

$$P(t)=e^{-\lambda(t)t}, \quad (2.3)$$

где  $\lambda(t)$ – интенсивность отказов АВС.

Интенсивность отказов АВС представляет собой условную плотность вероятности возникновения отказа АВС, определяемую при отсутствии отказа до рассмотренного момента времени. Обычно графическая зависимость  $\lambda=f(t)$  принимает вид кривой, изображенной на рис. 2.1.

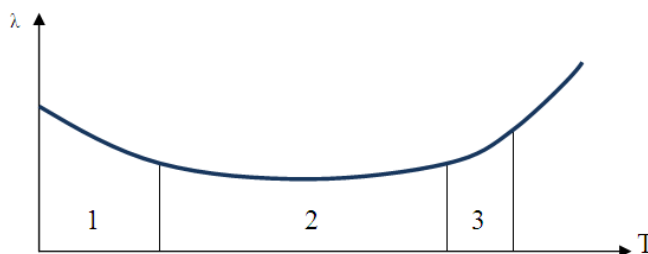


Рис.2.1.Кривая изменения интенсивности отказов во времени.

На кривой  $\lambda=f(t)$  (рис. 2.1) выделяются три участка [69]:

- 1) участок приработки, характеризующийся уменьшением интенсивности отказов после «выжигания» дефектных элементов сооружения, как

показывает опыт эксплуатации АВС, отказы в это период времени практически отсутствуют;

- 2) участок нормальной эксплуатации, который характеризуется стабильной интенсивностью отказов;
- 3) участок, характеризующийся резким ростом интенсивности отказов ввиду старения самого сооружения и износа его элементов: уплотнений, подъемников и др. (обычно в этом случае по экономическим соображениям нужно прекращать эксплуатацию сооружения).

Интенсивность отказов АВС с достаточной достоверностью может быть определена как

$$\lambda(t) = I/T_0, \quad (2.4)$$

где  $T_0$  – средняя наработка на отказ.

АВС являются восстанавливаемыми объектами. Поэтому одним из важных показателей их надежности является средняя наработка на отказ, определяемая средним временем безотказной работы сооружения. Средняя наработка на отказ  $T_0$  – это математическое ожидание времени безотказной работы автоматизированного водовыпускного сооружения до первого отказа (или между отказами):

$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (2.5)$$

Величина  $T_0$  обычно определяется по результатам подконтрольной эксплуатации и представляет собой среднее значение времени работы сооружения между отказами:

$$T_0 \approx \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_{n-1} + t_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (2.6)$$

где  $t_i$  – время работы АВС между  $i=1$  и  $n$ -м отказами.

Существенным показателем надежности АВС, которое характеризует его ремонтпригодность, является среднее время восстановления  $\tau_{cp}$ ,

представляющее собой математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния АВС после отказа:

$$\tau_{cp} = 1/\mu(t), \quad (2.7)$$

где  $\mu(t)$  – вероятность восстановления работоспособности АВС в единицу времени при условии, что до этого времени восстановление не произошло.

Среднее время восстановления (или ремонта) представляет собой время нерегламентированного простоя, которое необходимо для обнаружения и ликвидации отказа сооружения. Оно может определяться по формуле:

$$\tau_{cp} \approx \frac{\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_{n-1} + \tau_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n}. \quad (2.8)$$

Для автоматизированного водовыпускного сооружения, как для ремонтируемого объекта, определим комплексный показатель надежности – коэффициент готовности по формуле [3, с. 40]:

$$k_g = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i}, \quad (2.9)$$

где  $t_i$  – продолжительность  $i$ -го интервала работы;  $\tau_i$  – продолжительность  $i$ -го интервала восстановления.

Для оценки качества работы АВС на гидромелиоративных системах необходимо провести анализ перечисленных показателей надежности исследуемых сооружений.

## **2.2 Классификация и анализ отказов автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем**

В теории надежности одним из основных является понятие отказа. Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособности, т.е. в переходе

в неработоспособное состояние [1, с.56]. Отказ автоматизированного водовыпускного сооружения на гидромелиоративной системе – это случайное явление, но причины, обуславливающие и определяющие его появление, связаны с определенными физическими, физико-химическими процессами, происходящими в канале, на самом сооружении на разных этапах его эксплуатации. Течение этих процессов зависит как от внутренних, так и от внешних условий работы сооружения [1, с. 56]. В том случае, когда устройство предназначено для выполнения нескольких функций (водоподача, водоучет, стабилизация отводимого расхода и др.), нарушение хотя бы одной из запланированных функций считается отказом [70].

При проведении натурных исследований автоматизированных водовыпускных сооружений на оросительных системах Кыргызстана был произведен анализ их отказов. В процессе анализа отказов были выделены возможные (наблюдаемые), а также потенциальные отказы разного вида, выявлены основные причины появления отказов и возможные последствия. Затем на основе анализа была разработана классификация отказов автоматизированных водовыпускных сооружений (АВС) оросительных систем.

Целью классификации автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем является обеспечение решения задач надежности, а именно, анализ и оценка надежности АВС гидромелиоративных систем.

Классификация отказов АВС по различным признакам приведена на рис. 2.2.

По причинам возникновения отказы делятся на [62]:

- 1) конструктивные;
- 2) эксплуатационные;
- 3) производственные;
- 4) деградационные.

Причины первых трех видов отказов АВС связаны с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

Деграционные отказы связаны с естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации средств автоматизации водоподачи.





Рис. 2.2. Классификация отказов автоматизированных водовыпускных сооружений.

Среди автоматизированных водовыпускных сооружений чаще всего наблюдаются эксплуатационные отказы, обусловленные, прежде всего, нарушением правил эксплуатации сооружений (не выполнение очистки сооружения от плавника и мусора, очистки верхнего бьефа сооружения от наносов и др.).

Несовершенство проектирования, ошибки при изготовлении и нарушение норм эксплуатации приводят к *внезапным* отказам, характеризующимся скачкообразным изменением подаваемого расхода воды. Чаще всего, это обусловлено условиями работы или ошибками обслуживающего персонала. Так, внезапными отказами для АВС могут быть: зависание затвора (для авторегуляторов), поломка одного из элемента АВС и т.п. Также существенными причинами возникновения отказов автоматизированных водовыпускных сооружений, можно назвать конструктивные недостатки. Для стабилизаторов типа ССКЩ таким конструктивным недостатком являются коробчатые секции, которые легко забиваются плавником и мусором, но тяжело очищаются [6]. К конструктивным недостаткам авторегуляторов расхода воды можно отнести наличие подвижных частей, которые могут «заклинить» или сорваться (рассоединиться), и поломка которых чаще всего приводит к отказу всего водораспределительного узла.

Естественные процессы старения, изнашивания, коррозии и усталости приводят к, так называемым, постепенным отказам, происходящим в результате медленного, постепенного ухудшения качества функционирования АВС. Например, засорение секций или сороудерживающих решеток плавающими телами, эрозия металла и т.д.

По своим последствиям отказы АВС можно разделить на две основные группы:

1. Отказы, в результате которых не выполняется подача заданного расхода воды в отвод (частичный отказ).
2. Отказы, в результате которых требуется ремонт сооружения (полный отказ).

Материальный ущерб в результате таких отказов зависит от орошаемой площади и вида культур.

По времени возникновения отказы АВС, как и других механических устройств, бывают:

1. Приработочные отказы, которые возникают в начальный период эксплуатации сооружения.
2. Отказы в основной эксплуатационный период (при нормальной эксплуатации водовыпускного сооружения).
3. Износные отказы, вызванные необратимыми процессами износа деталей металлоконструкции или элементов сооружения, старения материалов и пр.

По возможности восстановления работоспособности АВС после отказа бывают отказы:

1. Неустраняемый отказ.
2. Устранимый непосредственно на объекте эксплуатации (на самом гидроузле) отказ.
3. Устранимый путем ремонта в специализированной ремонтной организации или РУВХ.

Рассмотрим классификацию видов отказов. Данные такой классификации применяются при решении различных задач надежности (оценка, анализ отказов и т.д.).

По характеру устранения отказы АВС можно подразделить:

1. Сбой – самоустраняющийся отказ АВС или однократный отказ АВС, устраняемый незначительным вмешательством оператора.
2. Перемежающийся отказ – многократно возникающий самоустраняющийся отказ в работе, имеющий один и тот же характер. Например, накопление влекомых наносов перед отверстием сооружения и промыв их в нижний бьеф сооружения.
3. Устойчивый отказ – отказ, устраняемый только ремонтом или реконструкцией автоматизированного водовыпускного сооружения целиком или его основной части (например, непосредственно регулятора).

Если в результате отказа АВС достигает предельного состояния, то такой отказ можно считать *ресурсным*. Все остальные отказы будут относиться к *нересурсным*.

Если отказ одного элемента АВС не служит причиной отказа других элементов, то он является *независимым*. Если отказ одного элемента АВС появился в результате отказа других элементов, тогда он называется *зависимым*.

В зависимости от целей оценки надежности АВС отказы могут быть подразделены на *учитываемые* и *неучитываемые* отказы.

Однако данная классификация отказов в известной мере условна, так как процессы, отражаемые ею, достаточно сложны и носят случайный характер. В каждом элементе может возникнуть множество неисправностей, из-за которых на конкретном автоматизированном сооружении возникает только одно нарушение. Поэтому любая классификация не может охватить всех возможных случаев. Тем не менее, классификация отказов автоматизированных водовыпускных сооружений нужна как отправной пункт при разработке путей совершенствования способов и средств автоматизации сооружений водоподачи и водораспределения на каналах оросительных систем.

### **2.3 Современные методы расчета надежности**

Согласно ГОСТ 27.301-95 «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения» существуют следующие методы определения надежности [71]:

- Структурные методы.
- Методы прогнозирования
- Физические методы.

*Методы прогнозирования* применяются для оценки ожидаемого уровня надежности сооружения (устройства) за счет использования уже известных показателей надежности объектов-аналогов.

В *структурных методах расчета* объект представляется в виде логической (структурно-функциональной) схемы с последующим описанием этой схемы адекватной математической моделью, позволяющей вычислить показатели надежности сооружения (устройства) по информации о надежности его узлов и элементов в рассматриваемых условиях применения.

В *физических методах расчета* надежности применяются математические модели, описывающие физические, химические и иные процессы, приводящие к отказам сооружения (к достижению сооружением предельного состояния), и позволяющие вычислить показатели надежности по известным параметрам нагруженности элементов сооружения, характеристикам использованных строительных материалов и металлоконструкций с учетом особенностей технологии строительства [71, с. 5].

Выбор метода расчета надежности для конкретного объекта зависит от целей расчета, наличия необходимой информации об объекте и исходных данных об объекте [71, с.6].

Напрямую использование статистических данных для расчета надежности автоматизированных водовыпускных сооружений невозможно из-за уникальности конструкций и особенностей условий их эксплуатации и, как следствие, отсутствия репрезентативных выборок. Построение деревьев отказов для водовыпускных сооружений позволяет сделать не только количественный анализ надежности, но и качественный анализ при недостатке информации о сооружениях.

Основными достоинствами этого метода являются разработка индивидуальных деревьев отказов и возможность постоянного дополнения модели. В табл.2.1и 2.2 приведены некоторые условные обозначения логических операторов, используемые при построении деревьев отказов.

Данный метод основывается на том, что сооружение рассматривается как система, состоящая из отдельных зависимых или независимых элементов. И надежность всего сооружения, как системы, зависит от надежности каждого

отдельного элемента. И отказ любого из элементов может привести к отказу всего сооружения.

Таблица 2.1 – Условные обозначения логических операторов

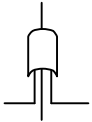
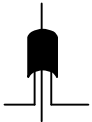

	Оператор «ИЛИ». Событие-следствие наступает при возникновении хотя бы одного исходного независимого события.
	Оператор «ИЛИ С ЗАВИСИМОСТЬЮ». Событие-следствие наступает при возникновении хотя бы одного исходного зависимого события.
	Оператор «УСЛОВИЕ». Наступление события-следствия возможно при наступлении события-условия.

Таблица 2.2 – Условные обозначения событий

	Базовое событие
	Разрабатываемое событие
	Событие-условие

Вероятности отказа элементов или вероятность возникновения событий определяются по нижеприведенным формулам [62, с.97].

Вероятность возникновения отказа подсистемы, состоящей из независимых элементов, определяется по формуле:

$$Q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i). \quad (2.10)$$

Вероятность возникновения отказа подсистемы, состоящей из зависимых элементов, определяется по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i (1 - \sum_{j=1}^n Q_j) + \sum_k Q_{ik} Q_k. \quad (2.11)$$

где  $Q_k = \prod_{j=1}^k Q_{jk}$ ;  $Q_{ik}$  и  $Q_{jk}$  - соответственно условные вероятности возникновения  $i$ -го и  $j$ -го событий при условии реализации  $k$ -го сочетания  $j$ -х событий ( $j \neq i$ ).

Если наступление отказа возможно при наступлении события-условия, то вероятность возникновения такого отказа определяется по формуле:

$$Q = Q_A Q_C, \quad (2.12)$$

где  $Q_A$  – предшествующее событие;  $Q_C$  – событие-условие.

Опираясь на указанные понятия, проведем расчет надежности некоторых АВС, расположенных на распределительных каналах в Чуйской области Кыргызстана.

## **2.4 Установление надежности автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах**

### **2.4.1 Определение надежности регулятора уровня (расхода) воды конструкции Глазьева В.А., Кривошекова В.С. на канале «Мураке»**

Сифонный регулятор расхода воды (рис.2.3) конструкции инженеров Глазьева В.А., Кривошекова В.С. был установлен на распределительном канале «Мураке» в Сокулукском районе Чуйской области Кыргызстана для подачи воды в канал «Совхозный» в 1983 году [72].

Сифонный регулятор (см. рис.2.3) обеспечивал постоянный отводимый расход независимо от колебаний напоров воды в канале старшего порядка. Пропускная способность сифонного регулятора на канале «Мураке»  $0,6 \text{ м}^3/\text{с}$ . Сифонный регулятор применим для каналов со спокойным течением. Схема регулятора приведена на рис. 2.4.

Сифонный регулятор (см. рис.2.4) содержит следующие звенья [73]: сифон 1, зарядный насадок 2, трубопровод зарядки 3, поплавковый датчик 4,

пневмосиловую систему, состоящую из приемной мембраны 5, гибкого трубопровода малого сечения 6 и исполнительной мембраны 7, воздуховпускное устройство, состоящее из камеры 8, воздуховпускного штуцера 9, разрядного трубопровода 10, соединенного с капором сифона 11 и исполнительной



Рис.2.3. Сифонный регулятор расхода воды(фото 2012 г.).

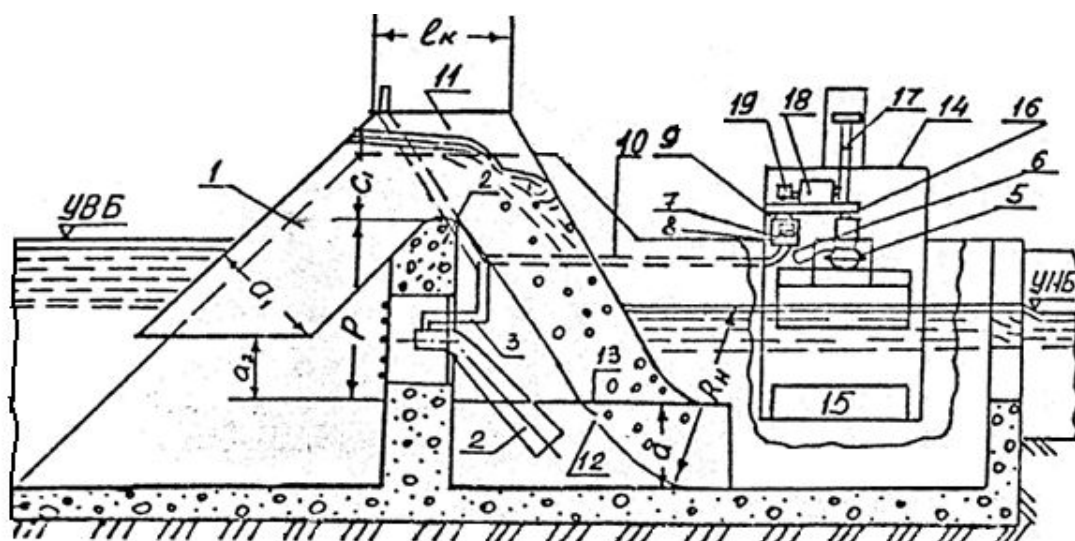


Рис. 2.4. Базовая схема сифонного регулятора расхода воды



мембраны 7, водобойный колодец 12 с воздуховпускным патрубком 13 и бетонной перегородкой 14, водоприемную камеру 15 с водовыпускным отверстием 16, корпус защитной будки 17, бетонную входную часть 18, винтовую уставку 19, которой снабжается поплавковый датчик, консоль 20, с помощью которой винтовая уставка крепится к корпусу будки. *Принцип действия* сифонного регулятора состоит в автоматическом поддержании под капором сифона определенной величины вакуума, которая определена положением поплавкового датчика (винтовой уставки) в вертикальной плоскости.

Для задания требуемой величины расхода следует винтовую уставку поплавкового датчика расположить на расчетной отметке.

Перед запуском сифонного регулятора в работу достаточно установить винтовую уставку 4 на расчетной отметке. При этом приемная мембрана 5 будет в сжатом состоянии от действия веса поплавка, растягивая при этом эластичную пластину исполнительной мембраны 7. В этом случае воздуховпускной штуцер 9 плотно перекрыт, что изолирует внутреннюю полость сифона от атмосферы. Вода, проходя через насадок 2 и водовыпускное отверстие 16, заполняет водобойный колодец 12, что также изолирует сифон от атмосферы. Поскольку придвижению воды через зарядный насадок 2 на его входе имеет место вакуум, то из внутренней полости сифона по трубопроводу заряда осуществляется отсос воздуха. По мере откачки воздуха из сифона, в нем также образуется вакуум, под действием которого уровень воды достигает гребня, и поток, переливаясь через водосливной гребень сифона, захватывает и уносит с собой воздух в водобойный колодец, что обеспечивает запуск регулятора в работу.

По мере увеличения расхода воды через сифон и при достижении уровня в водобойном колодце до ватерлинии поплавкового датчика, последний под действием выталкивающей силы растягивает эластичную пластину мембраны 5. При этом сигнал по трубопроводу 6 передается на исполнительную мембрану 7, эластичная пластина которой отодвигается от воздуховпускного

штуцера, образуя с его торцов определенный зазор, через который воздух из атмосферы поступает под капор сифона, препятствуя дальнейшему росту расхода воды. В результате соответствия между расходом воды и расходом воздуха обеспечивается устойчивый режим движения аэрированного потока в сифоне.

Основные технические характеристики сифонных регуляторов уровня (расхода) воды конструкции Глазьева В.А., Кривошекова В.С., полученные в процессе натурных исследований и опроса эксплуатационного персонала, составляли:

- диапазон устойчивого регулирования по расходу воды – от 0,05 до 1,00 м<sup>3</sup>/с;
- пределы допустимой погрешности расхода воды  $\pm 4 \div 5\%$ ;
- наработка на один отказ – не менее 4 000 часов;
- средний срок службы – не менее 15 лет;
- максимальная скорость изменения уставки – 0,15 м/мин;
- быстродействие при обработке нового задания – не более 15 мин.
- допускается сопряжение винтовой уставки датчика регулятора с телемеханическим каналом, при этом потребляемая мощность не более 1,2 Вт.

Поскольку при анализе надежности автоматизированного водовыпускного сооружения невозможно было непосредственное использование статистических данных из-за ограниченности репрезентативных выборок, для анализа расчета был использован метод деревьев отказов [74]. Построенное дерево отказов на рис. 2.5, позволяет сделать качественный анализ надежности АВС на канале «Мураке». Количественный анализ провести на сегодняшний день невозможно, т.к. нет ни одного полноценно работающего регулятора данной конструкции и недостаточно сведений об отказах работавших ранее.

Используя указанный метод, построим индивидуальное дерево отказов для данной конструкции.

Отказом регулятора можно считать отсутствие стабилизации расхода воды в водовыпуске при колебаниях уровня в старшем канале. Критерием отказа в этом случае будет нарушение автоматического поддержания под капором сифона необходимой величины вакуума.

В ходе проведения натурного исследования (от 16.05.2012 года) были выявлены следующие повреждения:

- отсутствуют поплавковый датчик, приемная мембрана, гибкий трубопровод, связывающий приемную с исполнительной мембраны;
- от воздуховпускного отверстия осталась только камера;
- нарушена целостность конструкции сифона со стороны верхнего бьефа;
- для регулирования отводимого расхода используется плоский щит.

По данным Сокулукского районного управления водного хозяйства (РУВХ), регулятор проработал до полного отказа 8 лет (до 1991 г.). После чего в 1992 году был установлен плоский щит прямо в конструкции сифона, что привело к невозможности восстановления и ремонта регулятора.

Анализ состояния конструкции и другой имеющейся в РУВХ информации позволил построить дерево отказов регулятора уровня (расхода) воды, приведенное на рис. 2.5. Условные обозначенные, используемые при построении дерева отказов, приведены в табл.2.1 и 2.2.

В качестве основной исходной информации принималась проектная документация [72], опрос эксплуатационного персонала и натурные наблюдения.

При составлении дерева отказов для регулятора сделаны следующие допущения:

- При изменении положения уставки с помощью телемеханики или вручную не учитывается человеческий фактор, так как целью расчета надежности является нахождение конструктивных недостатков регулятора. Поэтому этот момент принимается нами как событие-условие.

- Считается, что напор в верхнем бьефе сооружения колеблется в пределах от минимального значения до максимального, принятых для данной конструкции регулятора.

Хотя при натурном обследовании и были обнаружены признаки нарушения целостности самого сифона, принимаем это событие как условие, так как нарушение вызвано вмешательством человека. Причем, данное событие произошло уже после достижения конструкции полного отказа. Структурный анализ надежности сифонных регуляторов расхода воды (на примере водовыпускного сооружения на канале «Мураке») позволил сделать выводы [75]:

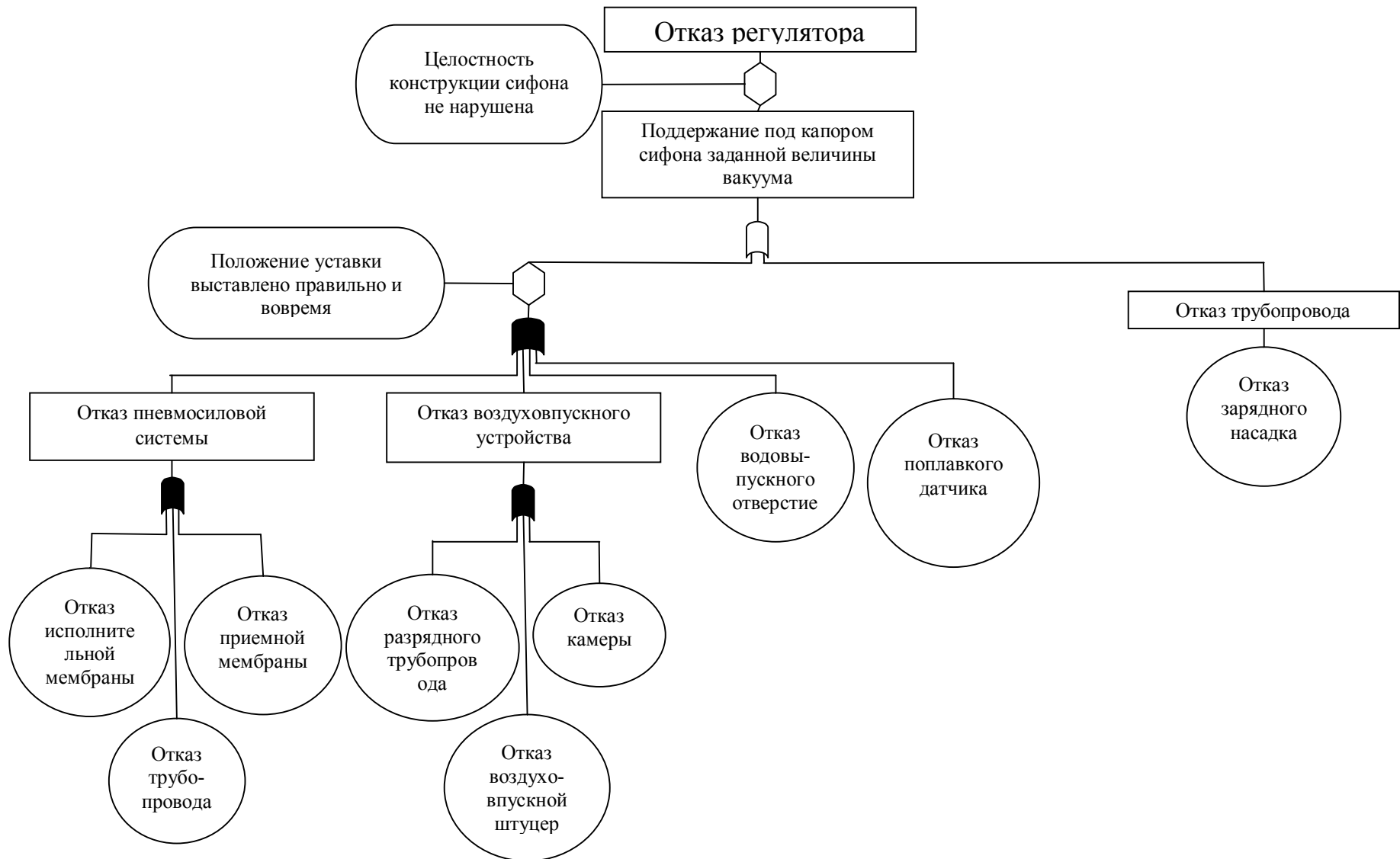


Рис. 2.5. Дерево отказов сифонных регуляторов на примере регулятора уровня (расхода) на канале «Мураке».



1. Фактический срок службы автоматического сифонного регулятора расхода воды составил 8 лет из 15 лет, установленных техническим заданием. На сегодняшний день из 10 сифонных регуляторов на каналах Чуйской долины, не один не работает и не подлежат восстановлению.

2. Подробный расчет надежности регуляторов затруднен из-за ограниченных записей в журналах наблюдений при эксплуатации сооружений.

3. Качественный анализ показал, что вероятность отказа конструкции значительно увеличивается из-за большого количества элементов, зависящих друг от друга.

4. Наиболее уязвимыми являются подвижные элементы конструкции: приемная и исполнительная мембраны и воздуховпускной штуцер.

5. Сведения, полученные в результате качественного анализа сифонных регуляторов, могут быть использованы для определения путей повышения надежности автоматизированных водовыпускных сооружений.

#### **2.4.2 Анализ надежности гидравлического регулятора уровня воды нижнего бьефа**

Гидравлический регулятор уровня (АРУ-Г) конструкции Э.Э. Маковского расположен на головном сооружении Ат-Башинского магистрального канала (АМК) (рис.2.6).

Головное сооружение АМК построено в 1932 году, имеет общую пропускную способность  $102 \text{ м}^3/\text{с}$ . Представляет собой водозаборный узел с лобовым подходом по фронту сбросного регулятора и боковым водозабором в АМК. Боковой водозабор состоит из двух пролетов, каждый из которых перекрыт гидравлическим регулятором конструкции Э.Э. Маковского (АРУ-Г). Регуляторы были установлены в 1971 году [76].

Регулятор служит для стабилизации заданных уровней нижнего бьефа и в случае переполнения верхнего бьефа автоматически переходит на стабилизацию заданных уровней верхнего бьефа [77, с.309].





Рис.2.6. Головное сооружение Ат-Башинского магистрального канала.

Если появляется неисправность в системе датчиков регулятора, то автоматически включается вторая защита от переполнения, представленная сдвоенным сифоном. При отключении датчика нижнего бьефа регулятор стабилизирует заданные уровни верхнего бьефа. Если отключен датчик уровней верхнего бьефа, то система стабилизирует заданные уровни нижнего бьефа, а защита от переполнения канала выполняется регулятором при работе сдвоенного сифона. В случае отключения обоих датчиков уровни верхнего бьефа стабилизируются регулятором при функционировании сдвоенного сифона. Регулятор может поставляться с полным комплектом датчиков, с одним датчиком, либо вообще без датчиков.

Конструкция регулятора представлена на рис.2.7. Ввиду сложности конструкции, мы рассмотрим лишь те элементы, которые служат для стабилизации уровня воды нижнего бьефа.

Работа гидравлического регулятора происходит следующим образом [77, с.310]. Если уровень нижнего бьефа превышает заданную отметку 14, то мембрана датчика 5 нижнего бьефа вдавливаются поплавком 4 в камеру и отжимает жидкость по трубопроводу 7 в камеру клапана затвора. При этом мембрана 8 увеличивает перекрытие отверстия под клапаном 9 и сокращает

выход воды из затвора 1. В результате объем воды в затворе 1 накапливается, затвор садится и уменьшает расход в нижний бьеф до тех пор, пока не восстановится заданный уровень 14. В случае понижения отметки уровня против заданной, наоборот, жидкость протекает в камеру мембраны 5 и мембраны 8 увеличивает расход в нижний бьеф. Так работает система стабилизации заданного уровня нижнего бьефа пока уровень в верхнем бьефе ниже уровня 15.

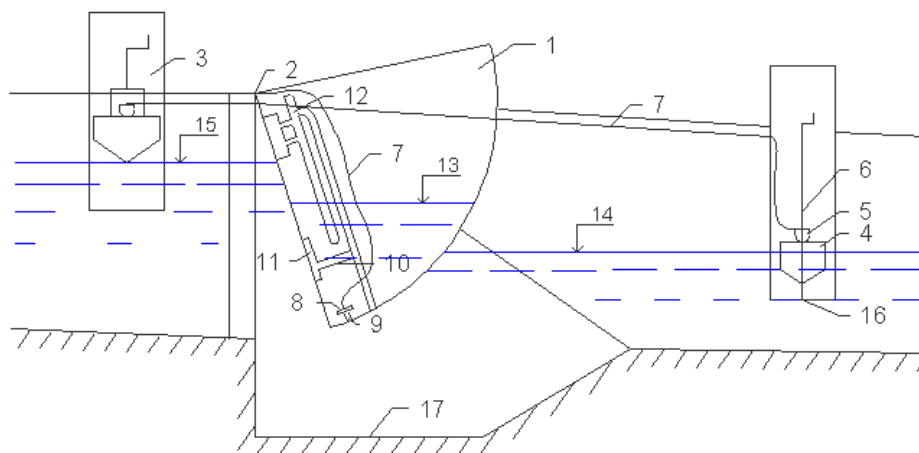


Рис.2.7. Гидравлический регулятор уровня воды нижнего бьефа с защитой от переполнения: 1 – затвор прислонного типа; 2 – опоры и ось вращения затвора; 3 – датчик уровня верхнего бьефа; 4 – поплавочный датчик нижнего бьефа; 5 – мембрана датчика нижнего бьефа; 6 – винт установки датчика нижнего бьефа; 7 – трубопровод, связывающий мембраны датчиков 3 и 5 с мембраной клапана 8; 9 – отверстие для слива воды из затвора 1, дросселируемое мембранным клапаном 8; 10 – патрубок для впуска воды в затвор; 11 – камера для фильтра, очищающий воду от плавника; 12 – сдвоенный сифон для защиты от переполнения верхнего бьефа; 13 – уровень воды в затворе; 14 – уровень воды нижнего бьефа; 15 – уровень наполнения перед сооружением; 16 – защитная сетка на корпусе датчика нижнего бьефа; 17 – колодец сооружения с порогом.

Датчик уровня верхнего бьефа начнет функционировать, если уровень воды достигнет заданной отметки 15 независимо от положения уровня в

нижнем бьефе. Если отключить датчик уровня верхнего бьефа (стопорением поплавка ограничительными винтами), то система будет работать только как авторегулятор уровня нижнего бьефа.

Исследования надежности проводились на левом АРУ-Г, работавшем 20 лет в качестве авторегулятора уровня воды нижнего бьефа сооружения. В ходе проведения натурального исследования левого АРУ-Г (от 26.04.2012 г.) были выявлены следующие его повреждения:

- отсутствуют датчики уровня верхнего и нижнего бьефов;
- сдвоенный сифон имеет местами повреждения, вызванные ржавлением металла;
- начиная с 1991 г. сифон работает за счет сдвоенного сифона и обеспечивает только защиту от переполнения канала в верхнем бьефе;
- для предотвращения переполнения канала в случае заклинивания затвора прислонного типа (а такое имело место быть) установлены механические лебедки.

Отказом регулятора можно считать отсутствие стабилизации расхода воды в нижнем бьефе при колебаниях уровня в старшем канале.

После анализа конструкции и другой имеющейся информации учетом натуральных наблюдений было построено дерево отказов регулятора, приведенное на рис.2.8. Условные обозначенные, используемые при построении дерева отказов, приведены в табл.2.1 и 2.2.

При составлении дерева отказов для регулятора сделаны следующие допущения:

- датчик верхнего бьефа отключен и работает только датчик нижнего бьефа;
- уровень воды в верхнем бьефе находится между отметками 1,5 (минимальное значение) и 2,7 (максимальное значение);
- при изменении положения уставки не учитывается человеческий фактор, так как целью расчета надежности является нахождение конструктивных

недостатков регулятора. Поэтому это момент принимается нами как событие-условие;

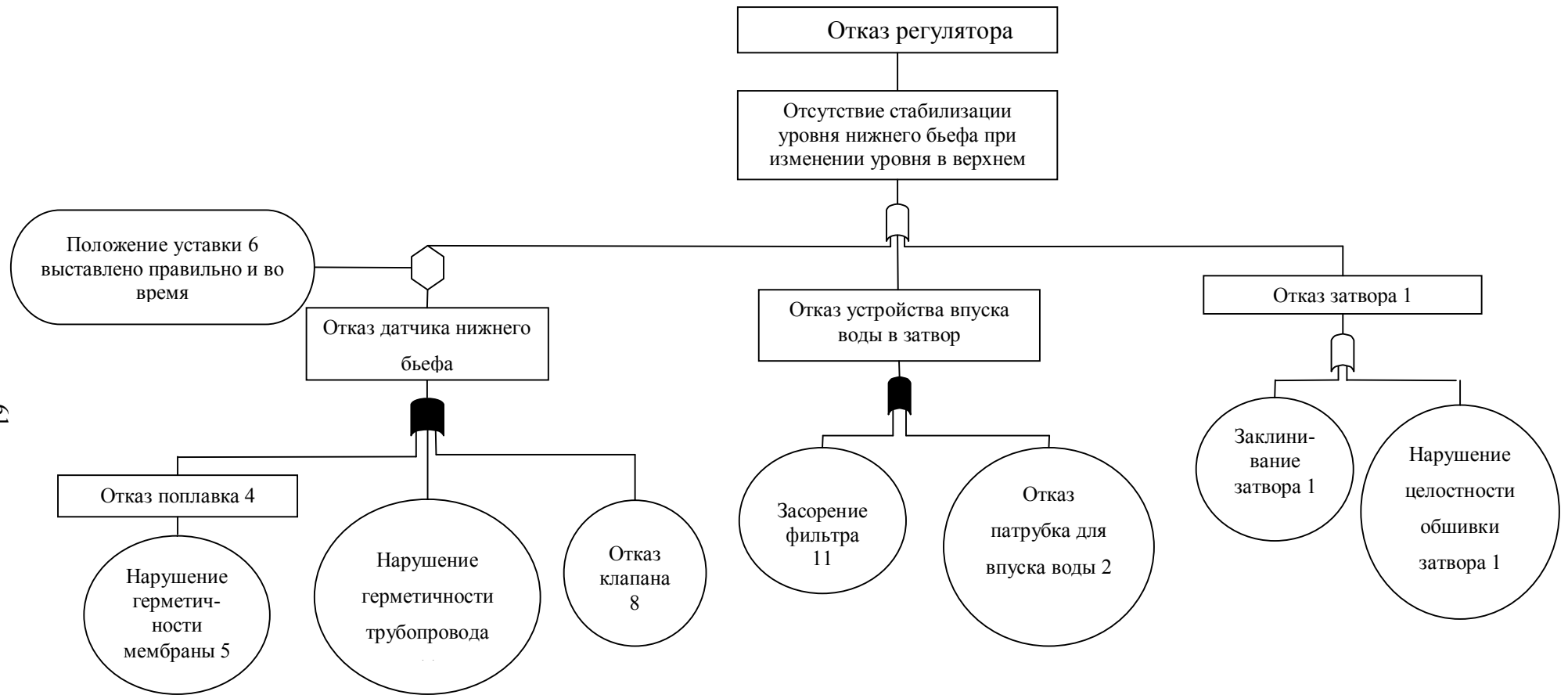


Рис.2.8. Дерево отказов гидравлического регулятора на головном сооружении Ат-Башинского магистрального канала.



- не требуется принудительная гидравлическая промывка наносов.

Построенное дерево отказов и имеющаяся информация позволяет провести качественный анализ надежности гидравлического регулятора на головном сооружении Ат-Башинского магистрального канале.

На сегодняшний день конструкция работает лишь как защита от переполнения верхнего бьефа.

Согласно табл. 2.3 выполнен количественный расчет надежности регулятора АРУ-Г.

Таблица 2.3 – Показатели надежности элементов регулятора АРУ-Г

№	Наименование элемента	Среднее время безотказной работы, $T$ , ч	Интенсивность отказов, $\lambda$ , ч <sup>-1</sup>	Вероятность безотказной работы, $P$	Вероятность возникновения отказа, $Q$
1	Мембрана 5	4392	$2,28 \cdot 10^{-4}$	0,962	0,038
2	Трубопровод 11	4224	$2,37 \cdot 10^{-4}$	0,961	0,039
3	Клапан 8	2196	$4,55 \cdot 10^{-4}$	0,926	0,074
4	Фильтр 11	745	$1,342 \cdot 10^{-3}$	0,798	0,202
5	Патрубок для впуска воды 2	1800	$5,56 \cdot 10^{-4}$	0,911	0,089
6	Затвор 1	1488	$6,72 \cdot 10^{-4}$	0,893	0,107
7	Обшивка затвора 1	43920	$2,3 \cdot 10^{-5}$	0,996	0,004
8	Уставка 6	336	$3 \cdot 10^{-3}$	0,607	0,393

Вероятность отказа датчика нижнего бьефа определяем по формуле (2.10):

$$Q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i) = 1 - (1 - 0,038) \cdot (1 - 0,039) \cdot (1 - 0,074) = 0,144. \quad (2.13)$$

Вероятность возникновения отказа устройства впуска воды в затвор определяется по формуле (2.10):

$$Q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i) = 1 - (1 - 0,202) \cdot (1 - 0,089) = 0,273. \quad (2.14)$$

Вероятность отказа затвора 1 определяем по формуле (2.11):

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \left( 1 - \sum_{j=1}^n Q_j \right) + \sum_k Q_{ik} Q_k = 0,107(1 - 0,004) + 0,004(1 - 0,107) + 0,107 \cdot 0,004 = 0,111. \quad (2.15)$$

Учитываем событие условие, что положение уставки б выставлено правильно и во время согласно формуле (2.12):

$$Q = Q_A Q_C = 0,144 \cdot 0,393 = 0,057. \quad (2.16)$$

Отсутствие стабилизации уровня нижнего бьефа при изменении уровня в верхнем бьефе определяется по формуле (2.11):

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i (1 - \sum_{j=1}^n Q_j) + \sum_k Q_{ik} Q_k = 0,057(1 - [0,273 + 0,111]) + 0,273(1 - [0,057 + 0,111]) + 0,111(1 - [0,057 + 0,273]) + 0,057 \cdot 0,273 + 0,057 \cdot 0,111 + 0,273 \cdot 0,111 = 0,39. \quad (2.17)$$

Структурный анализ надежности гидравлических авторегуляторов уровня нижнего бьефа (на примере АРУ-Г на головном сооружении Атбашинского магистрального канала) позволил сделать выводы:

- Фактический срок службы составил примерно 20 лет. На сегодняшний день регулятор работает на грани предельного состояния и требует капитального ремонта.
- Количественный расчет показал, что вероятность безотказной работы составляет 0,61.
- Как показал опыт эксплуатации, при постоянном (ежедневном) наблюдении за работой сооружения и своевременном ремонте регулятор работает безотказно в течение всего поливного сезона. Соответственно, применение таких конструкций возможно только на сооружениях, где



ведется постоянный контроль. Невозможно применение таких конструкций на сооружениях, удаленных от гидростов или пунктов наблюдений.

- Наиболее уязвимыми элементами являются камера мембраны 5 и трубопровод 11, заполненные машинным маслом малой вязкости, а также сам затвор, который подвижен при стабилизации уровня воды.
- Сведения, полученные в результате анализа конструкции регулятора, могут быть использованы для определения путей повышения надежности автоматизированных водовыпускных сооружений.

### **2.4.3 Установление показателей надежности водораспределительного сооружения на канале «Джаламыш»**

Водораспределительное сооружение на канале «Джаламыш» с отводом воды в каналы Элибай, Калининский и Новый Эшкоен, представленное на рис.2.9, расположено в Сокулукском районе Чуйской области Кыргызстана.



Рис.2.9. Водораспределительное сооружение на канале «Джаламыш».

Узел содержит два боковых отвода и фронтальный отвод по транзитному каналу (сброс). Канал «Джаламыш» является быстротечным каналом, поэтому для гашения энергии потока перед водораспределительным сооружением устроен гаситель энергии потока воды с забральной стенкой. На транзите установлен авторегулятор уровня верхнего бьефа, обеспечивающий подпор в верхнем бьефе и подачу заданных расходов воды в отводы, оборудованными стабилизаторами расхода воды.

В 1988 году на водораспределительном узле «Джаламыш» вместо плоских затворов на отводах были установлены стабилизаторы расхода воды типа «Секционный ступенчатый коробчатый щит» (ССКЩ), конструкция одного из которых представлена на рис.2.10.

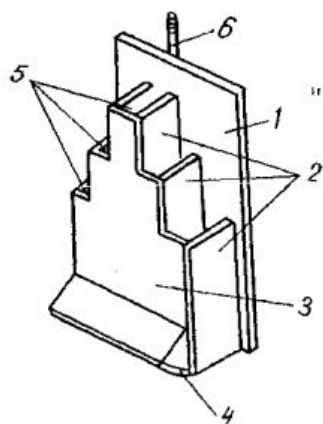


Рис.2.10. Стабилизатор расхода воды типа ССКЩ.

Стабилизатор расхода воды типа ССКЩ конструкции Я.В. Бочкарева, Р.Н. Мухутдиновой и А.И. Рохмана [78], обеспечивает подачу постоянных заданных расходов воды в отводящий канал при изменении уровней и расходов воды в верхнем бьефе в определенных пределах.

Стабилизатор расхода воды содержит коробчатый секционный затвор 1 со ступенчатой верховой гранью 3 и ступенчатым водосливом 5, жестко заделанным в устои сооружения, нижние ребра верховой и низовой граней затвора снабжены соответственно криволинейным 4 и плоским козырьками, расположенными на одном уровне [78].

Принцип действия стабилизатора заключается в том, что в заданном диапазоне изменения уровней воды в верхнем бьефе расход остается

практически постоянным ( $\pm 5\%$ ) за счет изменения коэффициента расхода автоматического устройства обратно пропорционально величине  $\sqrt{H}$ .

При расчетном напоре в верхнем бьефе стабилизатор расхода воды работает в режиме без перелива через ступенчатую верховую грань 3 и сжатый поток проходит, почти не касаясь нижней грани затвора 1, под криволинейным козырьком 4. В данном случае стабилизатор расхода воды имеет максимальную пропускную способность.

С повышением уровня воды в верхнем бьефе выше расчетного напора начинается перелив воды в нижние секции, которая по мере повышения уровня полностью заполняется и на этих участках струя переходит из режима истечения из-под криволинейного козырька 4 на истечение из-под плоского козырька затвора 1. Пропускная способность этих участков резко падает, вследствие чего уменьшается и пропускная способность всего стабилизатора. При дальнейшем повышении напора в работу вступают другие секции.

К исследованиям был принят правый стабилизатор расхода воды, обеспечивающий водоподачу в канал Новый Эшкоен. Этот стабилизатор расхода воды, имеющий более высокую центральную коробчатую секцию и более низкие секции по краям, являлся наиболее типовой конструкцией ССКЩ. В ходе проведения натурного исследования (15.05.2012 г. – 16.05.2012 г.) были выявлено:

- уровень воды в нижнем бьефе меньше расчетного уровня воды для стабилизатора;
- одна из секции была забита камнями, как видно из рис.2.11, что существенно снизит пропускную способность данного участка при подъеме воды и переливе ее через данную секцию. Это нарушение можно отнести к человеческому фактору.

Эксплуатационным персоналом Сокулукского РУВХ было установлено, что пропускная способность стабилизатора расхода ССКЩ снижается в производственных условиях на  $7\div 10\%$  по сравнению с модельными образцами. Это, вероятнее всего, связано с проблемой уплотнений, которые

создают дополнительные гидравлические сопротивления при истечении из-под затвора. Погрешность в стабилизации расходов в отводы в заданном диапазоне изменения напоров в верхнем бьефе не превышает расчетной, равной  $\pm 5\%$ . Перекосов и связанных с этим заstopорений затворов стабилизаторов в пазах не наблюдалось.

**Секция забита камнями**



Рис.2.11. Секции стабилизатора расхода воды типа ССКЩ на канале «Джаламыш».

Отказом регулятора можно считать отсутствие стабилизации расхода воды в водовыпуске при изменении уровня воды в верхнем бьефе.

Критерием отказа в этом случае будет уменьшение пропускной способности конструкции стабилизатора.

Стабилизатор расхода воды на канале «Джаламыш», проработав с 1988 года, т.е. более 20 лет, имел только временные отказы, которые устранялись в ходе текущих ремонтов. В основном эти отказы были связаны с засорением секций стабилизатора, занесением верхнего бьефа наносами, а также имели место отказы, связанные с недостаточным уровнем воды в верхнем бьефе и не своевременным регулированием затвором, что является следствием недостатков управления.

После анализа конструкции и другой имеющейся информации в Сокулукском РУВХ было построено дерево отказов стабилизатора расхода воды типа ССКЩ, приведенное на рис.2.12. Условные обозначенные, используемые при построении дерева отказов, приведены в табл.2.1 и 2.2.

При составлении дерева отказов для стабилизатора расхода воды  
сделаны следующие допущения:

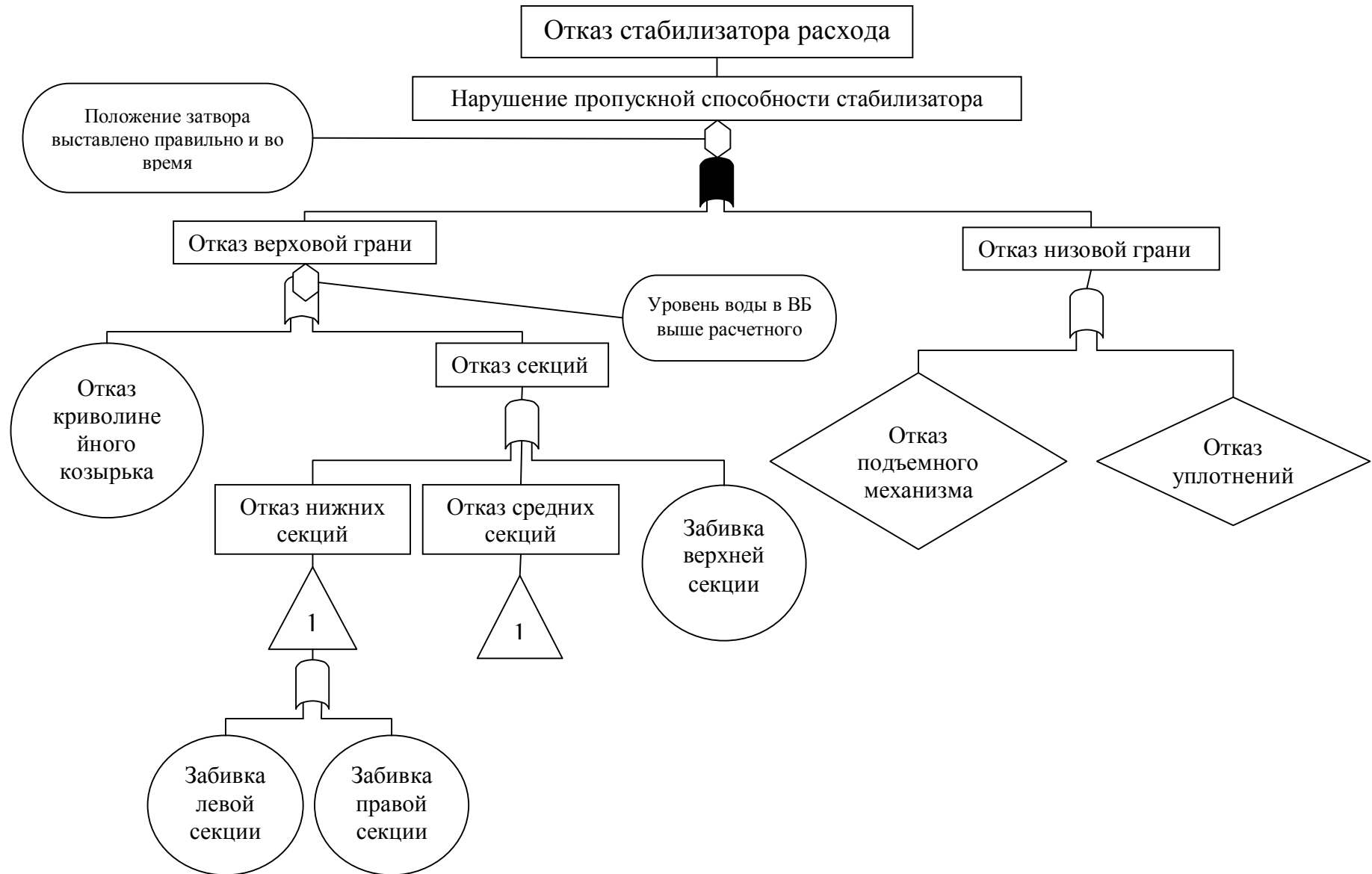


Рис.2.12. Дерево отказов стабилизатора расхода воды типа ССКЩ на канале «Джаламыш».

- уровень воды в верхнем бьефе колеблется в пределах от расчетного до максимального уровней, принятых для данной конструкции стабилизатора;
- стабилизатор выставлен на требуемый уровень правильно и во время.

Вышеперечисленные допущения приняты, так как целью расчета надежности является нахождение конструктивных недостатков регулятора. Поэтому намерено опускаются отказы, связанные с человеческим фактором, а именно, с недостатками управления.

Также в расчете не учтено достижение конструкции предельного состояния, вследствие коррозии металла и отказа сварных швов, так как нас интересует главным образом эксплуатационная надежность конструкции.

В данном случае стабилизатор рассматривается как система, состоящая из элементов. И отказ любого из элементов может привести к отказу стабилизатора, а именно, забивка секции, отказ подъемного механизма или уплотнений.

Определим значения вероятности возникновения отказа каждого элемента.

Согласно, эксплуатационным данным, прочистка секций стабилизатора осуществляется 1-2 раза в неделю, а отказ секций в результате засорения возникает 1 раз в 10 дней. Среднее время безотказной работы секций составляет 242 часа. Интенсивность отказов находим из формулы (2.3) и (2.5):

$$T = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}, \quad (2.18)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов;  $t$  – время работы стабилизатора.

Получаем  $\lambda = 4,13 \cdot 10^{-3} \text{ч}^{-1}$ .

Вероятность безотказной работы секций стабилизатора определяется по формуле(2.3):

$$P(t) = e^{-\lambda t} = 0,02 \approx 0. \quad (2.19)$$

Время работы стабилизатора за вегетационный период составляет 992 часа. За это время вероятность возникновения отказа равна единице. Т.к. еженедельно проводятся профилактические работы на распределительном узле, посредством которых устраняются возникшие отказы или устраняются причины, которые могут вызвать отказ, то рассчитаем вероятность возникновения отказа за период равный одной недели или 168 часам:

$$Q = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-4,13 \cdot 10^{-3} \cdot 168} = 0,50. \quad (2.20)$$

Для дальнейшего расчета оставим принятое время – 168 часов.

Полученное значение справедливо для всех вместе взятых секций.

Профилактические ремонты подъемников проводятся 2 раза в год - перед и после поливного сезона. Уплотнений хватает на несколько лет, их проверяют каждый раз перед началом вегетационного периода. Если уплотнитель пришел в негодность, его заменяют. В среднем уплотнитель, пришедший в негодность, меняют раз в 2 года. Согласно эксплуатационным данным, были вычислены по формулам (2.2) - (2.5) показатели надежности, которые приведены в табл.2.4.

Таблица 2.4 – Показатели надежности элементов стабилизатора расхода воды

Элементы	Среднее время безотказной работы, $T$ , ч	Интенсивность отказов, $\lambda$ , ч <sup>-1</sup>	Вероятность безотказной работы, $P$	Вероятность возникновения отказа, $Q$
Секция стабилизатора	242	$4,13 \cdot 10^{-3}$	0,50	0,50
Криволинейный козырек	43920	$2,28 \cdot 10^{-5}$	0,996	0,004
Подъемный механизм	6588	$1,51 \cdot 10^{-4}$	0,975	0,025
Уплотнения	17568	$5,69 \cdot 10^{-5}$	0,99	0,01

Далее по формулам (2.10) - (2.12) согласно табл.2.1 и 2.2 рассчитана вероятность возникновения отказа у стабилизатора расхода воды.



Вероятность возникновения отказа верховой грани рассчитывается с учетом события-условия, что напор в верхнем бьефе равен либо выше расчетного уровня:

$$Q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i) = 1 - (1 - 0,50) \cdot (1 - 0,004) = 0,502. \quad (2.21)$$

$$Q = Q_A Q_C = 0,502 \cdot 0,86 = 0,432. \quad (2.22)$$

Отказ низовой грани стабилизатора обусловлен отказом независимых элементов: подъемного механизма и уплотнений. Отсюда имеем:

$$Q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i) = 1 - (1 - 0,025) \cdot (1 - 0,01) = 0,035. \quad (2.23)$$

Отказ самого стабилизатора расхода воды является следствием отказа зависимых элементов: верховой и низовой граней, и определяется по формуле (2.11):

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \left( 1 - \sum_{j=1}^n Q_j \right) + \sum_k Q_{ik} Q_k = 0,432 \cdot (1 - 0,035) + 0,035 \cdot (1 - 0,432) + 0,035 \cdot 0,432 = 0,452. \quad (2.24)$$

Вероятность возникновения отказа стабилизатора с учетом события-условия, что положение затвора выставлено во время и правильно равно:

$$Q = Q_A Q_C = 0,452 \cdot 0,815 = 0,368. \quad (2.25)$$

Вероятность безотказной работы стабилизатора составила:

$$P = 1 - Q = 1 - 0,368 = 0,632. \quad (2.26)$$

Для стабилизатора расхода воды ССКЩ, как для ремонтируемого объекта, определим комплексный показатель надежности – коэффициент готовности по формуле(2.9):

$$k_r = \frac{992}{992+152} = 0,87. \quad (2.27)$$

Также определим коэффициент оперативной готовности, определяемый как вероятность того, что в произвольный момент времени сооружение окажется работоспособным, кроме тех периодов, когда сооружение не закрыто, т.е. подача воды не осуществляется [79, с. 53]:

$$k_{ог} = k_r \cdot P(t_p), \quad (2.28)$$

где  $P(t_p)$ – вероятность безотказной работы сооружения в течении времени  $t_p$ :

$$k_{ог} = 0,87 \cdot 0,806 = 0,701. \quad (2.29)$$

По результатам проведенных натурных исследований на водораспределительном узле «Джаламыш» можно сделать следующие выводы:

- На сегодняшний день стабилизатор проработал 25 лет. Подобные конструкции успешно работают и на других гидротехнических узлах оросительных систем Кыргызстана.
- Наиболее уязвимыми элементами являются секции стабилизатора, так как они подвержены засорению плавающими наносами и легкодоступны посторонним людям.
- Проведя качественный анализ, даже не имея численных значений, можно судить о более высокой надежности стабилизатора расхода воды по сравнению с авторегуляторами, описанными в пунктах 2.4.1 и 2.4.2. это

связано с тем, что стабилизатор содержит небольшое количество независимых элементов и не имеет подвижных в работе элементов.

- Численный расчет конструкции показал, вероятность безотказной работы стабилизатора равна 0,633, коэффициент готовности – 0,87, коэффициент оперативной готовности – 0,701.
- Результат расчета показывает, что надежность стабилизатора за один поливной сезон недостаточна. Для обеспечения более высокого уровня надежности необходимо предусмотреть более качественное техническое обслуживание.

Проведенный качественный анализ надежности АВС показывает явные преимущества в работе гидравлических стабилизаторов расхода воды по сравнению с авторегуляторами расхода. Однако для подтверждения этого вывода необходимо проведение более подробных натурных исследований репрезентативных автоматизированных водовыпускных сооружений.

## ГЛАВА 3

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА КАНАЛАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

### **3.1 Особенности методики натуральных исследований показателей надежности автоматизированных водовыпускных сооружений на каналах оросительных систем. Точность и аппаратура исследований**

Ранее (гл.1) отмечалось, что наиболее оправданными конструкциями средств автоматизации водоподачи на распределительных каналах являются гидравлические стабилизаторы расхода воды типа «коробчатый щит» [6]. Конструкции стабилизаторов расхода воды типа «коробчатый щит», не смотря на недостаточно приемлемые условия эксплуатации в последние 20 лет, в настоящее время вполне удовлетворительно функционируют на распределительных каналах Кыргызской Республики. На крупных каналах Кыргызстана используются также авторегуляторы уровня нижнего бьефа, установленные на отводах в 70-80 годы прошлого века, и сегодня работающие, главным образом, в качестве прислонных затворов, регулируемых «вручную».

Для выявления путей улучшения функциональных свойств автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах нужно было провести натурные исследования гидравлических стабилизаторов расхода воды и авторегуляторов уровня нижнего бьефа, стабилизирующих подачу воды в отводящий канал.

Цель натуральных исследований заключалась в определении эксплуатационных показателей надежности автоматизированных водовыпускных сооружений для выявления их достоинств и дальнейшего улучшения конструкций.

Для достижения намеченной цели при подготовке и проведении натуральных исследований нужно было решить ряд задач:

- изучить проектные материалы, существующие расчеты и результаты исследований других авторов, посвященные вопросам работы АВС на распределительных каналах;
- выбрать обоснованный состав, а также объем проведения натуральных исследований, аппаратуру и технические средства измерения;
- сформулировать последовательность проведения натуральных исследований;
- выработать методику проведения натуральных исследований АВС на распределительных каналах Чуйской области Кыргызстана;
- выполнить натурные исследования процессов при работе АВС;
- обработать полученные данные;
- по результатам натуральных исследований АВС выбрать пути повышения их надежности, определить наиболее надежные конструкции для дальнейшего их усовершенствования.

Намеченные основные задачи решались в определенной последовательности [80, 81]:

- I. В начальный подготовительный период выбирались объекты исследований, собиралась и анализировалась информация по намечаемым объектам исследований, разрабатывалась методика проведения натуральных исследований и др.
- II. Период непосредственного проведения натуральных исследований АВС на распределительных каналах, на этапе которого выполнялось:
  - 1) изучение пропускной способности автоматизированных водовыпускных сооружений в натуральных условиях;
  - 2) исследование динамики изменения отводимых расходов для выявления отказа конструкции;
  - 3) фиксирование количества, вида и времени отказов; продолжительность простоя, время неработоспособного состояния и восстановления.

III. Камеральная обработка проведенных замеров, систематизация результатов, вычисление основных показателей надежности исследуемых сооружений и определение путей повышения надежности АВС.

К исследованиям были приняты два средства автоматизации водоподачи: гидравлический стабилизатор расхода воды ССКЩ на канале «Джаламыш» и затвор-автомат УНБ конструкции Э.Э. Маковского на головном сооружении Атбашинского канала.

Исследования пропускной способности указанных конструкций проводились путем замеров уровней воды в верхних и нижних бьефах сооружений при заданных открытиях затворов. Параметры (ширина по дну, заложения откосов, уклоны) каналов старшего порядка и отводящих каналов замерялись до начала проведения гидравлических исследований. Для установления значений коэффициента расхода стабилизатора использовалась известная в гидравлике [82] формула:

$$\mu = \frac{Q}{ab\sqrt{H-\varepsilon a}}, \quad (3.1)$$

где  $Q$  – расход истечения;  $a$  – открытие затвора;  $b$  – ширина отверстия в свету;  $H$  – напор в ВБ сооружения;  $\varepsilon$  – коэффициент сжатия потока.

Для определения коэффициента расхода затвора-автомата использовалась предложенная Э.Э.Маковским [83, 84] формула:

$$\mu = \frac{Q}{ab\sqrt{2gH} + 2a\sqrt{2gH}^{3/2} \left[ \frac{2}{3} - \frac{4}{15} \frac{H}{r} \right]}, \quad (3.2)$$

где  $r$  – радиус прислонного секторного затвора.

Уклоны каналов определялись способом технического нивелирования. Расходы воды в отводящем и подводящем каналах устанавливались на основе расчетов по формуле Шези [82, 85].

Контрольные натурные исследования надежности проводились по плану  $[N, R, T]$  [86, с.253]: где  $N$  – число испытываемых объектов;  $R$  обозначает то,

что в случае отказа объект восстанавливается, а прекращение испытаний наступает по истечению времени  $T$ .

Исследования проводились для двух объектов, но каждого из них индивидуально, поэтому  $N=1$  шт. Испытания сооружений проводились без нарушения их обычной работы. Отказ, при его возникновении, устранялся посредством плановых осмотров и ремонтов. Время натурных исследований приходилось на вегетационный период, что и составило время  $T$ .

Такой план испытаний (исследований) относится к неразрушающим испытаниям. Он дает возможность оценивать не только показатели безотказности сооружений, но и затраты времени и денежных средств на ликвидацию эксплуатационных отказов по эффективности. Такой план является оптимальным по продолжительности и стоимости, но несколько уступает по точности. Однако для достижения поставленных нами целей полученной точности вполне достаточно, чтобы установить пути повышения надежности АВС.

Согласно принятому плану испытаний намечена следующая методика:

1. Для замеров уровней воды в верхнем бьефе перед водовыпуском использовали гидрометрическую штангу. При уровне воды в верхнем бьефе ниже расчетного, учитывалось время работы водовыпуска в таком режиме, что считается отказом по эксплуатационным причинам. Во время простоя измерение уровня воды в верхнем бьефе не нужны.
2. Для определения расхода воды в отводящем канале измерялись: поперечное сечение отводящего канала, наполнение и уклон канала, в некоторых случаях замерялась скорость гидрометрической вертушкой.
3. При изучении отказов были использованы данные эксплуатации и журналов наблюдений, а также визуальные наблюдения за состоянием сооружений. Время работы и простоя определялось по графикам гидромодуля, остальные данные – по журналам наблюдений.
4. Обработка данных натурных замеров включала расчет расхода воды в отводящем канале, который выполнялся по формуле равномерного

движения воды [85, с.85]. Особое внимание уделялось величине расхода воды при изменении уровня воды в верхнем бьефе и возникновении отказа. Далее определялись основные показатели надежности в следующем порядке по формулам(2.1-2.9): среднее время работы до возникновения отказа,  $T_{cp}$  — наработка до первого отказа,  $T_0$  — наработка на отказ (среднее время работы, которое приходится на один отказ); интенсивность отказов  $\lambda(t)$ ; среднее время восстановления работоспособного состояния  $\tau_{в}$ ; вероятность безотказной работы за время  $t$  [ $P(t)$ ]; коэффициент готовности  $K_r$ . Полученные результаты представляются в виде сводной таблицы для сравнительного анализа.

### **3.2 Натурные исследования показателей надежности автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем Кыргызской Республики**

Исследования эксплуатационных показателей надежности автоматизированных водовыпускных сооружений для подтверждения их преимуществ и дальнейшей разработки более надежных конструкций АВС были проведены группой ученых кафедры ГТСиВР КРСУ в 2010-2012 гг. на распределительных каналах оросительных систем Чуйской области Кыргызстана.

Для выявления и оценки показателей надежности в условиях эксплуатации были выбраны несколько наиболее репрезентативных объектов, представляющих собой автоматизированные гидротехнические сооружения на распределительных каналах Чуйской области Кыргызской Республики.

Одним из выбранных к исследованию сооружений был гидроузел на канале «Джаламыш» в Сокулукском районе (рис.3.1). Ранее в разделе 2.4 был проведен качественный анализ данного сооружения, который лег в основу



данного мониторинга эксплуатационных характеристик водораспределительного сооружения.



*а*

*б*

Рис.3.1. Автоматизированный водораспределительный узел (АВУ) на канале «Джаламыш» Сокулукского района в различных условиях работы: а – при минимальном наполнении перед стабилизаторами; б – при наполнении перед стабилизаторами  $H=1,7H_p$  ( $H_p$  – расчетный уровень воды перед стабилизатором).

Другим объектом исследований являлся автоматизированный водозаборный узел на канале «Беловодский» в Московском районе (рис.3.2).



Рис.3.2. Автоматизированный водозаборный узел на канале «Беловодский».

Левый отвод канала Беловодский оборудован двумя стабилизаторами расхода воды типа ССКЩ с несимметричными коробами. Правый отвод оборудован автоводосливом.

Еще одним объектом исследований эксплуатационных показателей надежности являлся водовыпуск-автомат сифонного типа конструкции Глазьева В.А., Кривошекова В.С. (рис.3.3) на канале «Мураке» в Сокулукском районе.



*а*

*б*

Рис.3.3.Изучение характеристик водовыпуска - автомата сифонного типа: а – в нижнем бьефе сооружения; б – в верхнем бьефе.

В основу функционирования водовыпуска-автомата сифонного типа положен принцип обеспечения подачи постоянного расхода воды использованием гидравлических сопротивлений потока. Качественный анализ этого сооружения приведен выше в разделе 2.4.

Следующим объектом натурных исследований являлся водовыпуск на распределительном канале во внутрихозяйственную оросительную сеть Учебно-опытного хозяйства Кыргызского национального аграрного университета (КНАУ) им. К.И. Скрябина (рис.3.4) в Сокулукском районе.

В качестве средства автоматизации водоподачи на водовыпуске установлен коробчатый затвор конструкции Рохмана А.И. и Логинова Г.И. с ломаной лицевой гранью. Принцип действия стабилизатора расхода воды аналогичен другим коробчатым затворам.

Последним из выбранных к исследованиям сооружений явился вододелитель-стабилизатор расхода воды для каналов-быстротоков, расположенный на Исык-Атинском подпитывающем канале (ИПК) в Исык-Атинском районе (рис.3.5).



*а*



*б*

Рис.3.4. Автоматизированный водовыпуск на распределительном канале в Учхозе КНАУ: а – вид с верхнего бьефа; б – вид сверху на затвор-стабилизатор.



Рис.3.5. Вододелитель-стабилизатор на канале-быстротоке ИПК в процессе работы.

Вододелитель-стабилизатор расхода воды для сверхбурных режимов течения (ВКСРТ) представляет собой траншейный вододелитель конструкции Лаврова Н.П., Бейшекеева К.К. и др. [87], размещенный под дном канала. Принцип действия вододелителя основан на использовании динамических свойств потока при вертикальном вододелении.

При проведении натурных исследований замерялись гидравлические параметры потоков на указанных сооружениях, а также временные показатели. Замерив конструктивные параметры элементов гидроузлов и опросив эксплуатационный персонал сооружений, рассчитывались эксплуатационные показатели надежности автоматизированных гидросооружений на каналах ирригационных систем.

Для расчета эксплуатационных показателей надежности использовались формулы (2.1) – (2.9). Проведенные измерения и расчеты эксплуатационных характеристик АВС, позволили составить ведомость основных эксплуатационных показателей надежности репрезентативных АВС, представленную в форме табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Основные эксплуатационные показатели надежности автоматизированных водовыпускных сооружений Чуйской области Кыргызстана

Объект исследований	Время проведения исследований	Показатели надежности					
		Вероятность безотказной работы	Интенсивность отказов	Средняя наработка до отказа, ч	Средняя наработка на отказ, ч	Параметр потока отказов	Коэффициент готовности
Левосторонний водовыпуск на канале Джаламыш	06.10 – 08.10	0,75	0,02	288,0	240,0	0,008	0,98
Правосторонний водовыпуск на канале Джаламыш	06.10 – 08.10	0,8	0,015	336,0	240,0	0,007	0,985
Левосторонний водовыпуск (2 стабилизатора, работающие в комплексе) на канале Беловодский	05.11 – 07.11	0,72	0,025	216,0*	168,0	0,009	0,966
Водовыпуск-автомат на канале Мураке	05.12 – 06.12	0,25	0,075	144,0*	96,0	0,05	0,67
Водовыпуск на распределительном канале в Учхозе КНАУ	08.11 – 09.11	0,85	0,01	360,0*	288,0	0,005	0,986
Вододелитель-стабилизатор на Иссык-Атинском подпитывающем канале	07.12 – 09.12	0,87	0,01	408,0	360,0	0,004	0,938**

\* Данные, полученные в РУВХ; \*\*Отказ не полный

Проведенные исследования эксплуатационных показателей надежности АВС на ирригационных каналах Кыргызстана легли в основу развернутых исследований средств автоматизации водоподдачи, а так же позволили сделать выводы:

1. Среди АВС на каналах наиболее оправданными в работе и долговечными являются стабилизаторы расхода воды – устройства, обеспечивающие стабилизацию расходов воды отвода, у которых отсутствуют подвижные в работе элементы.
2. Расчет показателей надежности АВС позволяет выбрать в качестве наиболее надежных в работе стабилизаторы расхода воды типа «Коробчатый щит». Причем, результаты натурных исследований этих стабилизаторов позволили выбрать направление их дальнейшего усовершенствования для повышения надежности, чего можно достигнуть изменением конструкции коробчатых секций и конструкций козырьков.
3. Использование сифонных водовыпусков не является достаточно надежным из-за многочисленных каналов гидравлической связи, а также поплавковых элементов, недостаточно защищенных в открытых оросительных каналах.
4. Вододелители траншейного типа для каналов-быстротоков могут считаться, по праву, надежными в работе. Единственным слабым звеном этих конструкций является крепление сороудерживающей струенаправляющей решетки. Необходимо при проектировании данного типа сооружений проводить динамический расчет нагрузок на узлы крепления решетки к закладной раме, расположенной на входе в траншею.
5. Для уменьшения потерь оросительной воды, исключения аварийных ситуаций на ирригационных каналах и повышения себестоимости сельскохозяйственной продукции необходимо обратить особое внимание на проблему повышения надежности АВС и гидромелиоративных систем в целом.

Более обстоятельные натурные исследования гидравлических характеристик были проведены на двух сооружениях: на

водораспределительном сооружении на канале «Джаламыш», оборудованном стабилизаторами расхода воды и на головном сооружении Ат-Башинского магистрального канала, оснащенный авторегулятором уровня нижнего бьефа (расхода).

### **3.3. Натурные исследования коробчатого стабилизатора расхода воды на канале «Джаламыш»**

#### **3.3.1. Исследования показателей пропускной способности коробчатого стабилизатора расхода воды в натуральных условиях**

Ранее (раздел 2.4) отмечалось, что автоматизированный водораспределительный узел на канале «Джаламыш» в Сокулукской районе Чуйской области Кыргызстана оборудован двумя стабилизаторами расхода воды ССКЩ. К исследованиям нами был принят стабилизатор расхода воды, расположенный на правом отводе гидроузла.

Правый отводящий канал выполнен в Г-образных блоках с шириной по дну  $B=1,0$  м и строительной высотой  $H_{стр}=1,0$  м. Уклон отводящего канала  $i=0,012$ , максимальный расход  $Q_{max}=1,0$  м<sup>3</sup>/с. Максимальное открытие ССКЩ на правом отводе  $a_{max}=0,35$  м, при этом расчетный напор  $H_p=1,0$  м.

Параметры водного потока фиксировались при открытиях затвора, равных  $a=0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35$  м. Напоры на водовыпуске регулировались вручную изменением положения затвора-автомата, расположенного на центральном отводе. Значения напоров на правом водовыпуске варьировались в пределах  $H=0,8...1,1$  м.

Коэффициент расхода водовыпускного сооружения рассчитывался по формуле (3.1). Значения расхода истечения из-под ССКЩ определялись по глубине в отводящем канале, которая замерялась при помощи гидрометрической штанги. Результаты замеров и расчетов заносились в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты замеров потока на водовыпуске

№ опыта	Открытие, $a$ , м	Напор, $H$ , м	$a / H$	Опытный коэффициент расхода, $\mu$	Коэффициент расхода по результатам Рохмана А.И.	Относ. ошибка $\Delta\mu$ , %
1	0,15	0,80	0,19	0,80	0,84	-4,7
2	0,15	0,90	0,17	0,81	0,85	-4,6
3	0,20	0,85	0,24	0,81	0,83	-3,6
4	0,20	0,94	0,21	0,82	0,85	- 4,7
5	0,25	0,90	0,28	0,81	0,8	- 1,25
6	0,25	0,98	0,26	0,815	0,81	0
7	0,30	0,95	0,32	0,82	0,78	+5,0
8	0,30	1,05	0,29	0,83	0,79	+5,0
9	0,35	1,0	0,35	0,83	0,75	+10,0
10	0,35	1,10	0,32	0,84	0,77	+9,0

В процессе выполнения экспериментальных исследований полученные значения коэффициентов расхода ССКЩ сравнивались с данными, полученными ранее А.И.Рохманом в лабораторных условиях [38].

Значения коэффициентов расхода, рассчитанные по опытным данным по формуле (3.1) и по зависимости А.И.Рохмана[38], приведенные в табл. 3.1, позволили построить графики значений коэффициента расхода ССКЩ (рис.3.6).

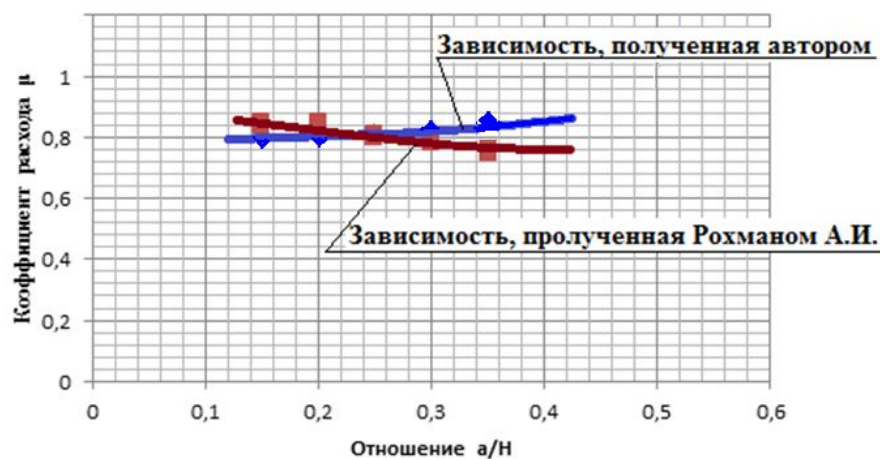


Рис. 3.6. Значения коэффициентов расхода ССКЩ, полученные автором диссертации по результатам натурального эксперимента и полученные А.И. Рохманом по результатам моделирования.

Сравнительным анализом коэффициентов расхода показана достаточная сходимость цифровых значений коэффициента расхода, полученных автором и ранее установленных А.И. Рохманом. Особенно хорошо прослеживается данная сходимость при значениях  $a/H < 0,35$ . Однако было замечено, что если кривая  $\mu = f(a/H)$  А.И. Рохмана является убывающей, то по результатам проведенного на канале «Джаламыш» натурального эксперимента получена возрастающая зависимость коэффициента расхода  $\mu = f(a/H)$ . Проанализировав результаты натурального эксперимента, мы пришли к выводу, что зависимость  $\mu = f(a/H)$ , полученная натурным экспериментом, больше отвечает действительности, поскольку при истечении из-под затвора величина коэффициента расхода увеличивается с увеличением отношения  $a/H$ , что отвечает положениям классической гидравлики[85].

В результате проведенного натурального эксперимента предложена формула коэффициента расхода ССКЩ:

$$\mu = 0,4286 \cdot (a/H)^2 - 0,0748 \cdot (a/H) + 0,8081. \quad (3.3)$$

Формула (3.3) может использоваться при расчете ССКЩ на стадии проектирования. В этом случае в формуле (3.3) принимается  $a/H = a_{\max}/H_p$ .

Анализ соответствия натуральных и модельных исследований пропускной способности ССКЩ подтвердил достоверность цифровых результатов коэффициентов расхода, полученных ранее [38] А.И. Рохманом, а также позволил рекомендовать эмпирическую формулу (3.3) для практического применения в приближенных расчетах ССКЩ.

### 3.3.2 Стабилизирующая способность ССКЩ в натуральных условиях



Для полноты рассмотрения вопроса о надежности работы стабилизаторов расхода воды на распределительных каналах оросительных систем необходимо было исследованиями стабилизатора расхода ССКЩ в натуральных условиях на канале «Джаламыш» изучить способность стабилизации водоподдачи данной конструкцией.

Проведенный натуральный эксперимент позволил проверить способность ССКЩ обеспечивать постоянство отводимого расхода воды.

Действие ССКЩ основано на принципе стабилизации расхода отвода изменением  $\mu$  отверстия затвора обратно пропорционально  $\sqrt{H}$ . Нормальная работа стабилизатора обеспечивается при минимальном (расчетном) напоре перед ним  $H_p \geq (0,7 \dots 1,0) \text{ м}$  [56]. Расчетный напор на правом водовыпуске АВС из канала «Джаламыш»  $H_p = 1,0 \text{ м}$ , что соответствует указанному условию.

Для оценки способности стабилизации водоподдачи ССКЩ, установленного на правом отводе АВУ на канале «Джаламыш», при заданных открытиях стабилизатора и изменяемых значениях глубин воды в водоприемной камере АВУ определялись значения отводимых расходов воды. Расходы воды, как и при исследованиях пропускной способности, рассчитывались в зависимости от глубин в отводящем канале. Результаты замеров и расчетов гидравлических характеристик приведены в табл. 3.2.

Из табл.3.2 видно, что при всем заданном диапазоне открытий стабилизатора, значения отводимых расходов не отклоняются от расчетных более, чем на 5%. Так же можно наблюдать более высокое качество стабилизации отводимых расходов воды при меньших открытиях стабилизатора расхода. Если при относительном открытии  $a/H_p = 0,15$  максимальная погрешность отводимого расхода составляет  $p = 2,5\%$ , то при относительном открытии  $a/H_p = 0,35$  она достигает  $p = 5\%$ .

Пользуясь данными табл. 3.2, построим графические зависимости  $H/H_p = f(Q/Q_{\max}; a/H_p)$ .

Таблица 3.2 – Гидравлические характеристики ССКЦ

№ опыта	Открытие, $a$ , м	Напор, $H$ , м	Относительное открытие, $a/H_p$	Относительный напор, $H/H_p$	Отводимый расход, $Q$ , м <sup>3</sup> /с	относительный расход отвода, $Q/Q_{\max}$	Относительное отклонение от заданного значения, $p$ , %
1	0,15	0,8	0,15	0,8	0,41	0,41	0
2		0,9		0,9	0,40	0,40	-2,4
3		1,1		1,1	0,415	0,415	+1,2
4		1,2		1,2	0,4	0,4	-2,6
5		1,4		1,4	0,41	0,41	0
6		1,8		1,6	0,42	0,42	+2,5
7	0,20	0,85	0,20	0,85	0,56	0,56	0
8		0,95		0,95	0,55	0,55	-1,8
9		1,15		1,15	0,57	0,57	+1,8
10		1,25		1,25	0,56	0,56	0
11		1,45		1,45	0,58	0,58	+3,9
12		1,67		1,67	0,58	0,58	+3,9
13	0,25	0,90	0,25	0,90	0,66	0,66	0
14		1,0		1,0	0,65	0,65	-1,5
15		1,2		1,2	0,68	0,68	+3,0
16		1,3		1,3	0,67	0,67	+1,5
17		1,5		1,5	0,67	0,67	+1,5
18		1,7		1,7	0,70	0,69	+5,3
19	0,30	0,95	0,30	0,95	0,8	0,8	0
20		1,07		1,07	0,79	0,79	-1,3
21		1,25		1,25	0,82	0,82	+2,5
22		1,35		1,35	0,82	0,82	+2,5
23		1,54		1,54	0,84	0,84	+5,0
24		1,7		1,7	0,85	0,85	+5,1
25	0,35	1,0	0,35	1,0	0,85	0,90	0
26		1,1		1,1	0,85	0,90	0
27		1,3		1,3	0,87	0,92	+2,2
28		1,4		1,4	0,86	0,91	+1,1
29		1,6		1,6	0,88	0,93	+3,3
30		1,7		1,7	0,89	0,94	+4,6

Построенный график (рис.3.7) наглядно демонстрирует стабилизацию отводимых расходов при помощи ССКЦ. Предельное соотношение

максимального и минимального наполнений перед затвором, позволяющее обеспечивать стабильную водоподачу, показано на графике и достигает  $H_{\max} / H_{\min} = 2,5$ , что соответствует данным [38].

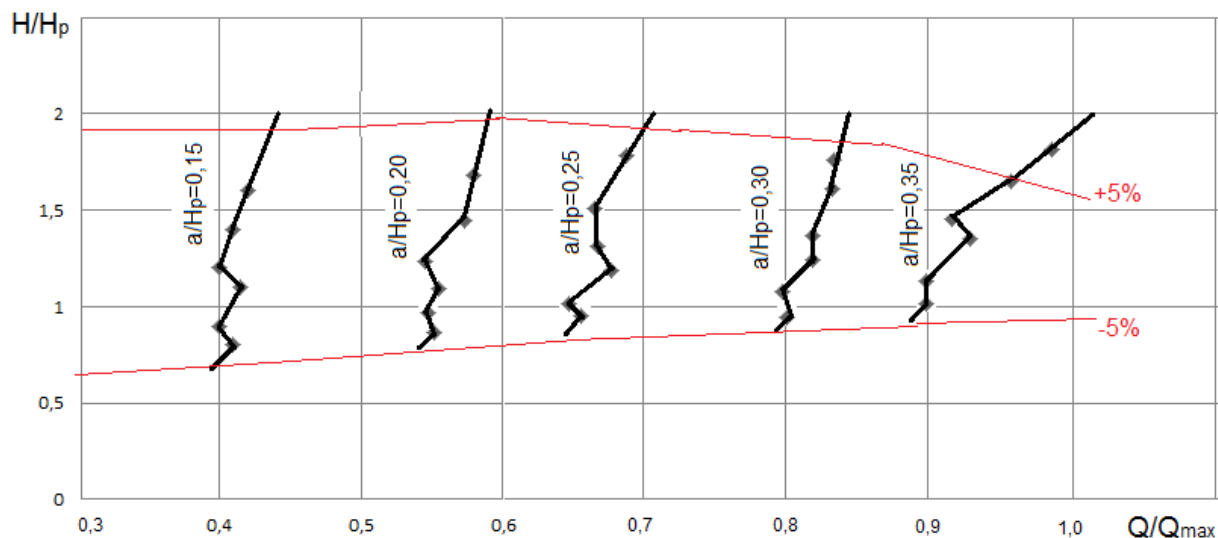


Рис. 3.7. Фактические зависимости  $H / H_p = f(Q / Q_{\max}; a / H_p)$

стабилизатора ССКЩ на правом отводе АВУ на канале «Джаламыш».

Таким образом, ССКЩ подает неизменный (в допустимых пределах) расход воды в отвод при относительном колебании уровня перед ним  $H_{\max} / H_{\min} \leq 2,5$ .

Коэффициент расхода ССКЩ  $\mu = 0,79 \dots 0,81$ , максимальное открытие  $a_{\max} = 0,35H_p$  ( $H_p = H_{\min}$ ), коэффициент сжатия потока  $\varepsilon = 0,9 \dots 0,95$ .

Расчет водомерной константы:

$$C = \mu \sqrt{2g(H_p - \varepsilon a_{\max})} = 0,8 \sqrt{2 \cdot 9,81(1 - 0,95 \cdot 0,35)} = 2,89 \text{ м/с}. \quad (3.4)$$

Формула расхода истечения:

$$Q = Cab = 2,89 \cdot ab. \quad (3.5)$$

Таким образом, водоучет ССКЩ, расположенным на правом отводе АВУ из канала «Джаламыш», имеющим ширину  $b = 1,0 \text{ м}$ , может вестись, используя формулу (3.5), фиксируя открытие стабилизатора  $a$ . Сказанное еще

раз подтверждает удовлетворительную стабилизирующую способность конструкции.

### 3.4 Натурные исследования авторегулятора уровня воды на головном сооружении Атбашинского магистрального канала

Автоматизированное головное сооружение на Атбашинском магистральном канале оборудовано двумя авторегуляторами уровня (АРУ-Г) конструкции Э.Э. Маковского (рис. 3.8).



а)



б)

Рис. 3.8. Авторегулятор уровня АРУ-Г левый на Головном сооружении Атбашинского канала: а) вид с верхнего бьефа; б) вид с нижнего бьефа.

Однако только один из авторегуляторов АРУ-Г левый изначально запроектирован для стабилизации уровня воды в нижнем бьефе сооружения, поскольку правый затвор обеспечивает поддержание заданного уровня воды в верхнем бьефе сооружения для обеспечения требуемой водоподдачи в распределитель Р-2.

В верхнем и нижнем бьефах сооружения имеются водомерные посты, которые позволяют наблюдать обслуживающему персоналу гидроузла за изменением уровней воды и корректировать положение затворов.

В нижнем бьефе водомерное устройство установлено в изолированной от постороннего влияния шахте-успокоителе, что позволяет исключить воздействие волновых процессов в нижнем бьефе сооружения на водомерное устройство (рис. 3.9). До 1992 г. в шахте был установлен поплавковый датчик уровня, который связывался с авторегулятором уровня посредством гидравлической связи. При необходимости затворы-автоматы на сооружении настраивались на режим стабилизации уровня нижнего бьефа, обеспечивая требуемый неизменный отводимый расход воды в Атбашинский магистральный канал.



Рис.3.9. Вид на водомерный пост в нижнем бьефе сооружения.

Однако с 1993 г. поплавковый датчик уровня нижнего бьефа был убран (по причине невозможности починки) из корпуса-шахты, в которой осталась только водомерная рейка для водоучета в голове Атбашинского канала. С этого времени стало невозможным обеспечение стабилизации водоподачи в Атбашинский канал с точностью  $\pm 5\%$ .

Натурными исследованиями необходимо было обосновать пропускную способность АРУ-Г левого конструкции Э.Э. Маковского. Затвор-автомат

имеет ширину  $b = 3,0$  м и радиус  $r = 2,5$  м. Максимальный расход одного затвора согласно проектным данным составляет  $Q_{\max} = 16,0$  м<sup>3</sup>/с [88]. Строительная высота канала в верхнем бьефе сооружения  $H_{\text{стр}} = 2,5$  м.

При выполнении натурных исследований АРУ-Г левый правый затвор оставался закрытым.

Параметры потока замерялись при открытиях АРУ-Г, равных  $a = 0,3; 0,4; 0,55; 0,7$  м. Принятые открытия затвора соответствуют следующим углам поворота затвора  $\alpha = 6^\circ, 8^\circ, 11^\circ, 14^\circ$ . Уровни воды в верхнем бьефе сооружения замерялись по водомерной рейке на гидрометрическом посту в верхнем бьефе сооружения. Изменение уровней воды в верхнем бьефе сооружения удавалось достичь открытием затвора вручную на Сбросном канале.

Поскольку истечение из-под АРУ-Г левое свободное, глубина в нижнем бьефе сооружения в расчетной формуле не учитывалась. Однако глубина в нижнем бьефе позволяла установить значение расхода истечения из-под затвора. Результаты замеров приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты замеров гидравлических характеристик АРУ-Г

H, м		2,02	2,04	2,07	2,1	2,16
$a = 0,3$ м	$Q$	5,2	5,5	5,6	5,8	5,9
	$\mu$	0,57	0,6	0,6	0,62	0,62
$a = 0,4$ м	$Q$	6,8	7,0	7,4	7,8	7,9
	$\mu$	0,56	0,57	0,6	0,62	0,62
$a = 0,55$ м	$Q$	9,6	10,0	10,1	10,5	10,6
	$\mu$	0,57	0,59	0,59	0,61	0,61
$a = 0,7$ м	$Q$	12,3	12,8	12,9	13,1	13,5
	$\mu$	0,57	0,59	0,59	0,60	0,61

При расчете табл.3.3 использовалась формула (3.2), выведенная Э.Э. Маковским [84].

По результатам табл. 3.3 построен график  $\mu = f(Q; H; a)$ , представленный на рис. 3.10.

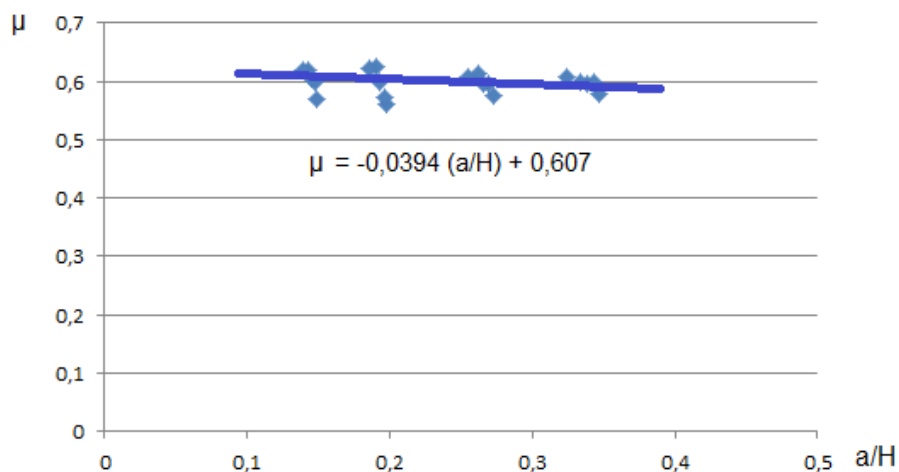


Рис. 3.10. Зависимость коэффициента расхода  $\mu = f(a/H)$  для АРУ-Г.

Выполненные натурные исследования пропускной способности АРУ-Г левого на Головном сооружении Атбашинского магистрального канала позволили вывести формулу для коэффициента расхода затвора:

$$\mu = -0,0394 \cdot (a/H) + 0,607. \quad (3.6)$$

Зависимость (3.6) является линейной и рекомендуется для расчета значений коэффициентов расхода АРУ-Г. Максимальное отклонение значений коэффициентов расхода от значений, определяемых по зависимости (3.6) составляет 8 %. Однако для расчета данной конструкции нет необходимости выбирать именно эти минимальные значения. Для практических расчетов удобнее принимать значения коэффициента расхода затвора:  $\mu = 0,57 \div 0,6$ , что находится в допустимых пределах ( $\pm 5\%$ ) от заданных значений.

Проведенные натурные исследования АРУ-Г левого на Головном сооружении Атбашинского магистрального канала показали удовлетворительную работоспособность затвора при механическом изменении его уставки. Однако данный затвор, который по проекту должен был обеспечивать стабилизацию уровня нижнего бьефа, а, следовательно, и расхода воды в Атбашинский магистральный канал, давно уже не обеспечивает эту свою проектную функцию. До настоящего времени неизменно работающей осталась только металлоконструкция затвора. Все

гибкие элементы, включая электронику, пришли в негодность по разным причинам.

Сказанное еще раз подтверждает недостаточную эксплуатационную надежность авторегуляторов расхода (уровня) воды отвода.

Проведенные исследования гидравлических характеристик и эксплуатационных показателей надежности автоматизированных водовыпускных сооружений на ирригационных каналах Кыргызстана позволили сделать следующие выводы:

1. Сравнительный анализ эксплуатационных характеристик функционирующих сегодня на каналах оросительных систем средств стабилизации водоподачи показал, что наиболее долговечными являются стабилизаторы расхода воды, как средства обеспечения стабилизации водоподачи, не имеющие в работе подвижных элементов.
2. ССКЩ, являясь инвариантными системами, обладают удовлетворительной способностью стабилизации водоподачи и могут обеспечивать водоучет на оросительных системах. При этом для каждой конкретной конструкции рекомендуется рассчитать водомерную константу, характеризующую однозначную зависимость расхода истечения от величины открытия.
3. Полученные зависимости (3.3) и (3.6) могут использоваться для расчета и анализа пропускной способности гидравлических затворов-автоматов ССКЩ и АРУ-Г.
4. Недостаточная эксплуатационная надежность авторегуляторов расхода (уровня) воды отвода делает их достаточно ограниченными при использовании на распределительных каналах оросительных систем. Авторегуляторы расхода, имеющие в своем составе подвижные элементы, датчики уровней и др., могут применяться на достаточно крупных гидротехнических сооружениях, где имеется постоянный надзор и контроль их работы со стороны обслуживающего персонала (например, на головных сооружениях магистральных каналов).



5. На удаленных внутрисистемных водораспределительных сооружениях для постоянства водоподдачи целесообразно устройство водовыпускных сооружений, автоматизированных гидравлическими стабилизаторами расхода воды. При этом существующие конструкции стабилизаторов расхода воды можно усовершенствовать для дальнейшего повышения надежности водовыпускных сооружений путем оптимизации параметров их отдельных элементов и улучшения их конструктивных особенностей.

### **3.5 Пути совершенствования автоматизированных водовыпускных сооружений оросительных систем с позиций теории надежности**

Пути совершенствования автоматизированных водовыпускных сооружений оросительных систем с позиций теории надежности направлены на повышение свойств сооружений, определяющих их надежность: безотказность и долговечность.

Для повышения безотказности автоматизированных водовыпускных сооружений могут быть применены следующие методы:

1. Конструктивный метод.
2. Эксплуатационный метод.

При использовании конструктивных методов:

1. Находят и применяют сооружения или их отдельные элементы с меньше величиной интенсивности отказов при заданных условиях эксплуатации.

2. Находят наиболее уязвимые элементы сооружений и разрабатывают конструктивные решения для повышения их надежности, а, соответственно, и всего сооружения в целом.

При эксплуатационном методе выполняют обоснование объема и сроков проведения профилактических мероприятий, основанных на применении теории надежности [86, с.138]. Даже ежедневные наблюдения за сооружениями

не дадут гарантию того, что не возникнет отказ, но за счет этого существенно увеличатся эксплуатационные издержки. Для нахождения рационального решения необходимо также внедрять способы прогнозирования неисправностей.

Для повышения износостойкости полотнищ затворов, а также бетонных поверхностей сооружения, от которых в большой степени зависит долговечность сооружения, нужно принимать во внимание ряд моментов [89].

Основными причинами снижения надежности металлических и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений являются:

- усталость металла в связи с превышениями нагрузок на металлические элементы сооружения;
- износ исходных конструкций сооружения, например, утонение полотнища затвора из-за абразивного износа (истирания влекаемыми наносами и др.);
- уменьшение размеров (утонение) деталей конструкции по причине коррозии, возникающего в результате воздействия переменной среды «вода-воздух»;
- разрушение сварных швов в металлоконструкциях из-за цикличности нагрузок или ошибках при подборе металла для свариваемых элементов затворов.

Для получения качественных металлических конструкций гидроавтоматов рекомендуется использовать коррозионностойкие стали, обеспечивающие качественную и технологичную сварку. Это так называемые качественные конструкционные стали марок 20, 25, 30 [90], в составе которых углерода содержится менее 0,3%. Можно рекомендовать хромистые стали 20Х, 30Х, которые отличаются значительной устойчивостью к химическим воздействиям и являются коррозионностойкими. При малом содержании углерода в сталях обеспечивается хорошая свариваемость, а со временем минимальное образование в сварных швах трещин.

Для уменьшения коррозии требуется регулярная обработка и покраска поверхностей затворов.

Проектная шероховатость бетонных поверхностей сооружений должна быть не ниже расчетной. Как правило, коэффициент шероховатости бетонных поверхностей назначается  $n=0,016$ . Бетонные части сооружения изготавливаются из гидротехнического бетона класса не ниже В 30.

Для снижения износа конструкций необходимо исключить вредные нагрузки на опоры за счет исключения статистически неопределенных систем. Так, авторегуляторы расхода воды, включающие модули горизонтального и вертикального перемещений, целесообразно заменить стационарно работающими стабилизаторами расхода воды. Если все же принимается решение устройства на водовыпускном сооружении авторегулятора расхода воды, нужно на стадии проектирования выполнить подробные расчеты устойчивости принятой конструкции и ее отдельных элементов. При эксплуатации необходим постоянный контроль состояния шарнирных соединений затворов-автоматов путем проведения контрольных испытаний.

Перечисленные пути повышения надежности автоматизированных водовыпускных сооружений относятся к эксплуатационным методам и должны учитываться на стадии эксплуатации любого гидротехнического сооружения.

Однако для достижения значительных результатов в целях повышения надежности АВС следует использовать не только эксплуатационные, но и конструктивные методы.

Целесообразным является установление наиболее уязвимых элементов современных автоматизированных водовыпускных сооружений и дальнейшая разработка конструктивных решений для повышения их надежности. Это будет способствовать совершенствованию и повышению надежности не только отдельных элементов АВС, но и самих автоматизированных водовыпускных сооружений в целом.

# ГЛАВА 4

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

### 4.1 Усовершенствование конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов

В качестве более совершенной конструкции гидроавтомата был предложен гидравлический стабилизатор расхода воды с коническим козырьком (рис. 4.1)[91].

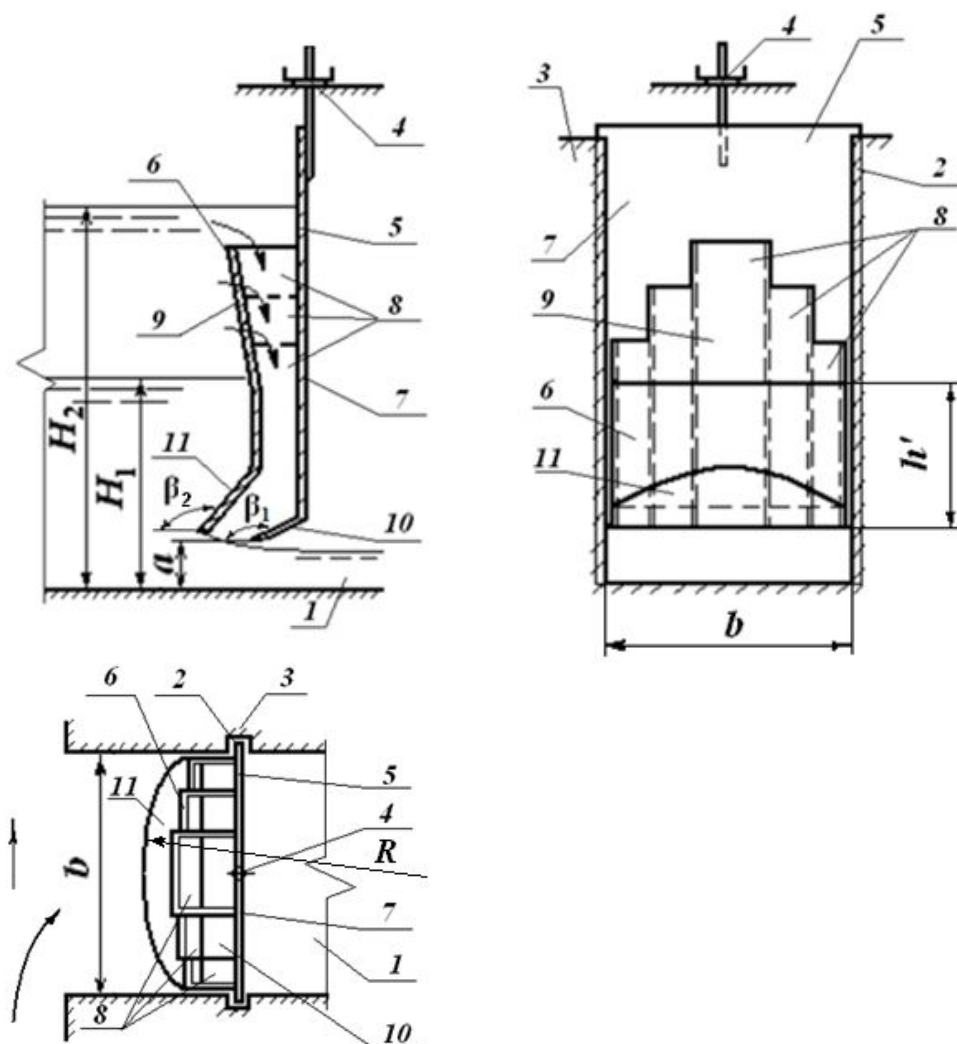


Рис.4.1. Стабилизатор расхода воды с коническим козырьком.

Стабилизатор расхода воды, расположенный на входе в отводящий канал 1, состоит из подвижно установленного в пазах 2 устоев 3 и имеющего привод 4 затвора 5, который включает коробчатую полость, образованную ступенчатой передней поверхностью 6 и внутренней вертикальной поверхностью 7. Коробчатая полость разделена на коробчатые секции 8, симметричные относительно вертикальной оси затвора 5, при чем верхняя часть 9 лицевой грани 6 затвора 5 выполнена наклонной в сторону потока так, что толщина коробчатых секций 8 в верхней части переменна по высоте. В нижней части внутренней поверхности 7 затвора 5 размещен наклонный козырек 10 под углом  $\beta_1=150^0\div 165^0$  к потоку. В нижней части передней поверхности 6 затвора 5 размещен конический козырек 11.

Устройство работает следующим образом. При расчетном уровне воды  $H_1$  перед затвором 5, когда стабилизатор работает в режиме без перелива в коробчатые секции 8, истечение в отводящий канал 1 происходит из-под нижней водосливной кромки конического козырька 11, и сжатый поток проходит, не касаясь наклонного козырька 10. При этом стабилизатор имеет максимальную пропускную способность (коэффициент расхода  $\mu=0.57$ , ширина водосливной кромки затвора  $b_1=1,4b$ ).

При увеличении уровня воды больше расчетного  $H_1$ , начинается перелив воды в крайние коробчатые секции 8, которые через короткое время заполняются водой и на этом участке затвора 5 истечение переходит из режима истечения из-под конического козырька 11 на истечение из под наклонного козырька 10 с меньшей пропускной способностью ( $\mu=0,5-0.53$ ) и меньшей шириной водосливной кромки. Пропускная способность при этом первой секции резко уменьшается за счет уменьшения ширины крайних секций затвора в 1,4 раза, уменьшения открытия козырька в 1,25 раз и уменьшения коэффициента расхода в 1,1 раз. Это уменьшение расхода истечения в 1,92 раза из-под крайних секций компенсирует увеличение

расхода из-под остальных секций затвора 5. Диапазон допустимых изменений напоров перед стабилизатором определяется при равенстве расхода воды до перелива и после перелива. При дальнейшем повышении уровня воды  $H$  вступают в работу вторые от карая секции, а затем и центральная секция, стабилизируя расход воды на всем диапазоне изменения напоров от  $H_1$  до  $H_2$ .

Предлагаемая конструкция стабилизатора обеспечивает стабилизацию расхода при всех открытиях затвора, имеет значительную пропускную способность за счет наличия конического козырька с шириной водосливной кромки в 1,4 большей ширины канала, что дает возможность сократить размеры сооружения по ширине, а выполнение верхней части лицевой грани наклоненной к потоку способствует увеличению на входе ширины коробчатых секций, что исключает застревание плавника на входе в коробчатые секции, увеличивает скорость истечения в центральной части коробчатого канала, повышает его промывную способность, а вместе с тем и эксплуатационную надежность стабилизатора.

В предложенной конструкции стабилизатора расхода воды с коническим козырьком верхняя часть лицевой грани затвора выполнена наклонной в сторону потока так, что толщина коробчатых секций в верхней части переменна по высоте, несколько сужаясь от водосливной кромки к излому. Это позволяет уменьшить вероятность забивки входа в коробчатые каналы плавником, а также создать поле повышенных скоростей потока в зоне излома лицевой грани, что будет способствовать дополнительной промывке коробчатых каналов стабилизатора, повышая его надежность и точность отводимых расходов.

Размещение на нижней части внутренней грани затвора наклонного козырька с углом наклона к потоку  $\beta_1=150^\circ\div 165^\circ$ , позволит сместить положение сжатого сечения вниз по потоку, исключив захват козырьком потока, вытекающего из-под лицевой грани, что будет способствовать повышению точности стабилизации водоподдачи. Закрепление на лицевой грани затвора конического козырька с углом наклона к потоку  $\beta_2=135^\circ$

позволит снизить металлоемкость конструкции за счет ликвидации массивного криволинейного козырька, который имеется у прототипа – стабилизатора ССКЩ, а значит, понизит стоимость сооружения. Кроме того, у конического козырька большая ширина  $b_1 > b$  водосливной кромки, чем у горизонтального и криволинейного козырьков. Она равна полудлине овала, опирающегося на ширину  $b$ , как на большую ось овала, что позволяет повысить пропускную способность лицевой грани стабилизатора и увеличить диапазон регулирования в 1,4 раза.

Для разработки методики расчета усовершенствованного стабилизатора расхода воды с коническим козырьком следовало выполнить теоретические и экспериментальные исследования новой конструкции.

#### **4.2 Теоретическое обоснование конструктивных параметров стабилизатора расхода воды с коническим козырьком**

Стабилизатор расхода воды с коническим козырьком (СРВКК), как отмечалось ранее [91], представляет собой секционный коробчатый затвор, образованный наружной лицевой гранью с коническим козырьком в основании и внутренней гранью с плоским наклонным козырьком. Благодаря коническому исполнению наружного козырька, его протяженность по кромке истечения в плане больше ширины внутреннего плоского наклоненного козырька, которая равна ширине отводящего отверстия. Это позволяет добиться стабилизации водоподачи при «переключении» истечения с лицевой грани на внутреннюю грань стабилизатора.

Для исключения сопротивления потоку, вытекающему из-под конического козырька, необходимо нижнюю грань плоского наклонного козырька располагать не ниже кривой свободной поверхности струи, претерпевающей не только вертикальное, но и боковое сжатие воды, вытекающей из-под конического козырька [56] (рис. 4.2).

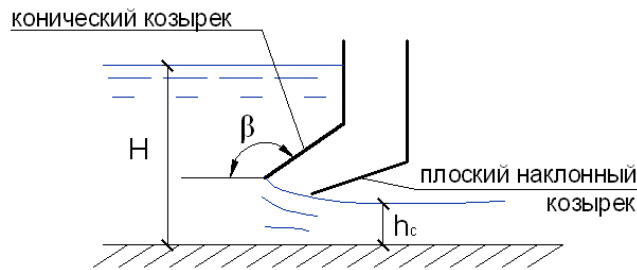


Рис.4.2. Схема истечения свободной поверхности из-под СРВКК.

Для построения кривой свободной поверхности воды, вытекающей из-под конического козырька, нужно решить уравнение Н.Е. Жуковского, записанное им в общем виде и характеризующее ординату линии тока жидкости при истечении из безразмерной емкости [92]. При решении уравнения Н.Е. Жуковского необходимо выполнить условие истечения из-под наклонного козырька ( $\beta = 3\pi/4$ ) при наличии бокового сжатия потока. Возникающее в данном случае боковое сжатие потока оказывает существенное влияние на положение кривой свободной поверхности жидкости, вытекающей из-под конического козырька.

Классическая форма уравнения Н.Е. Жуковского имеет вид [92]:

$$y = -\frac{\alpha}{\omega \cdot q} \int \sin \theta \cdot \operatorname{ctg}(\theta/q) d\theta - C \quad (4.1)$$

где  $\alpha$  – параметр расхода воды,  $\alpha = Q/\pi$ ;  $Q$  – расход воды;  $y$  – ордината свободной поверхности жидкости;  $\omega$  – скорость воды в сжатом сечении;  $\theta$  – угол между касательной к кривой свободной поверхности потока и осью  $x$  в плоскости  $yOx$  (рис.4.3);  $q$  – параметр положения козырька.

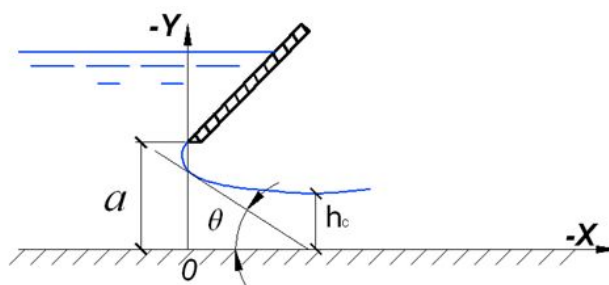


Рис. 4.3. Схема истечения из-под конического козырька.



Решим уравнение (4.1) для случая расположения наклонного козырька под углом  $\beta = 3\pi/4$ .

В этом случае параметр  $q = \frac{3}{2}[92]$ . Знак « $\leftrightarrow$ » перед интегралом опускаем, т.к. направление оси  $y$  выбрано положительное. Постоянная интегрирования  $C$  определяется в конце решения. Подставим в (4.1) значение  $q$  и значение параметра  $\alpha = Q/\pi$ :

$$y = -\frac{Q}{\omega} \cdot \frac{2}{3\pi} \int \sin \theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\theta}{3} d\theta - C. \quad (4.2)$$

Упростим подынтегральное выражение:

$$\begin{aligned}
\sin \theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\theta}{3} &= \frac{\sin 3 \frac{\theta}{3} \cdot \cos 2 \frac{\theta}{3}}{\sin 2 \frac{\theta}{3}} = \frac{\left(3 \sin \frac{\theta}{3} - 4 \sin^3 \frac{\theta}{3}\right) \cdot \cos 2 \frac{\theta}{3}}{\sin 2 \frac{\theta}{3}} = \\
&= \frac{3 \sin \frac{\theta}{3} \cdot \cos 2 \frac{\theta}{3}}{\sin 2 \frac{\theta}{3}} - \frac{4 \sin^3 \frac{\theta}{3} \cdot \cos 2 \frac{\theta}{3}}{\sin 2 \frac{\theta}{3}} = \frac{3 \sin \frac{\theta}{3} \cdot \cos 2 \frac{\theta}{3}}{2 \sin \frac{\theta}{3} \cdot \cos \frac{\theta}{3}} - \frac{4 \sin^3 \frac{\theta}{3} \cdot \cos 2 \frac{\theta}{3}}{2 \sin \frac{\theta}{3} \cdot \cos \frac{\theta}{3}} = \\
&= \frac{3 \cos 2 \frac{\theta}{3}}{2 \cos \frac{\theta}{3}} - \frac{2 \sin^2 \frac{\theta}{3} \cdot \cos 2 \frac{\theta}{3}}{\cos \frac{\theta}{3}} = \frac{3 \left(2 \cos^2 \frac{\theta}{3} - 1\right)}{2 \cos \frac{\theta}{3}} - \frac{2 \sin^2 \frac{\theta}{3} \cdot \left(\cos^2 \frac{\theta}{3} - 1\right)}{\cos \frac{\theta}{3}} = \\
&= \frac{6 \cos^2 \frac{\theta}{3}}{2 \cos \frac{\theta}{3}} - \frac{3}{2 \cos \frac{\theta}{3}} - \frac{4 \sin^2 \frac{\theta}{3} \cdot \cos^2 \frac{\theta}{3}}{\cos \frac{\theta}{3}} + \frac{2 \sin^2 \frac{\theta}{3}}{\cos \frac{\theta}{3}} = \\
&= 3 \cos \frac{\theta}{3} - \frac{3}{2 \cos \frac{\theta}{3}} - 4 \sin^2 \frac{\theta}{3} \cdot \cos \frac{\theta}{3} + \frac{2 \left(1 - \cos^2 \frac{\theta}{3}\right)}{\cos \frac{\theta}{3}} = \\
&= 3 \cos \frac{\theta}{3} - \frac{3}{2 \cos \frac{\theta}{3}} - 4 \left(1 - \cos^2 \frac{\theta}{3}\right) \cdot \cos \frac{\theta}{3} + \frac{2}{\cos \frac{\theta}{3}} - 2 \cos \frac{\theta}{3} = \\
&= \frac{1}{2 \cos \frac{\theta}{3}} - 3 \cos \frac{\theta}{3} + 4 \cos^3 \frac{\theta}{3}
\end{aligned}$$

В итоге получаем:

$$\sin \theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\theta}{3} = \frac{1}{2 \cos \frac{\theta}{3}} - 3 \cos \frac{\theta}{3} + 4 \cos^3 \frac{\theta}{3}. \quad (4.3)$$

Перепишем уравнение (4.2) с учетом (4.3):

$$y = -\frac{Q}{\omega} \cdot \frac{2}{3\pi} \left[ \int \frac{d\theta}{2 \cos \frac{\theta}{3}} - \int 3 \cos \frac{\theta}{3} d\theta + \int 4 \cos^3 \frac{\theta}{3} d\theta \right] - C. \quad (4.4)$$

Проинтегрируем каждое слагаемое в скобках:

$$1) \quad \frac{1}{2} \int \frac{d\theta}{\cos \frac{\theta}{3}} = \frac{1}{2} \cdot 3 \ln \left| \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{6} \right) \right| + C = \frac{3}{2} \ln \left| \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{6} \right) \right| + C; \quad (4.5)$$

$$2) \quad 3 \int \cos \frac{\theta}{3} d\theta = 3 \cdot 3 \cdot \sin \frac{\theta}{3} + C = 9 \sin \frac{\theta}{3} + C; \quad (4.6)$$

$$3) \quad 4 \int \cos^3 \frac{\theta}{3} d\theta = 4 \left[ 3 \sin \frac{\theta}{3} - \sin^3 \frac{\theta}{3} \right] + C = 12 \sin \frac{\theta}{3} - 4 \sin^3 \frac{\theta}{3} + C. \quad (4.7)$$

Перепишем (4.4) с учетом (4.5), (4.6), (4.8):

$$\begin{aligned} y &= -\frac{Q}{\omega} \cdot \left[ \frac{2}{3\pi} \cdot \frac{3}{2} \ln \left| \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{6} \right) \right| - \frac{2}{3\pi} \cdot 9 \sin \frac{\theta}{3} + \frac{2}{3\pi} \cdot 12 \sin \frac{\theta}{3} - \frac{2}{3\pi} \cdot 4 \sin^3 \frac{\theta}{3} \right] - C \\ &= \\ &= -\frac{Q}{\omega} \cdot \left[ \frac{1}{\pi} \cdot \ln \left| \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{6} \right) \right| + \frac{2}{\pi} \cdot \sin \frac{\theta}{3} - \frac{8}{3\pi} \cdot \sin^3 \frac{\theta}{3} \right] - C. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Выражение (4.8) описывает ординату кривой свободной поверхности потока, вытекающего из-под наклонного козырька ( $q = 3/2$ ) без учета бокового сжатия потока в плане.

Для учета радиального сжатия потока в плане необходимо провести следующие математические преобразования:

По условию, принятому Н.Е.Жуковским [92], для двухмерного движения потока жидкости запишем [56]:

$$\frac{Q}{\omega} = 2h_c. \quad (4.9)$$

В нашем случае:

$$\frac{Q}{\omega} = 2h'_c = 2 \frac{B a \varepsilon}{b}, \quad (4.10)$$

где  $B$  – протяженность конического козырька по кромке истечения; и – ширина отверстия в свету;  $\varepsilon$  – коэффициент вертикального бокового сжатия

потока;  $a$  – открытие затвора;  $h'_c$  – глубина в сжатом сечении потока при вертикальном и боковом сжатии потока.

Таким образом,

$$\varepsilon = \varepsilon_B \varepsilon_{\theta}, \quad (4.11)$$

где  $\varepsilon_B$  – коэффициент вертикального сжатия потока;  $\varepsilon_{\theta}$  – коэффициент бокового сжатия потока.

$$\text{При } \theta = 0^\circ \Rightarrow y = -C = -\frac{B\varepsilon a}{b} \Rightarrow$$

$$y = -\frac{2B\varepsilon a}{\pi b} \cdot \left[ \ln \left| \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{6} \right) \right| + 2 \cdot \sin \frac{\theta}{3} - \frac{8}{3} \cdot \sin^3 \frac{\theta}{3} \right] - \frac{B\varepsilon a}{b}. \quad (4.12)$$

$$\text{При } \theta = \frac{3\pi}{4} \Rightarrow y = -a; \varepsilon = \varepsilon_B; B/b = 1.$$

Следовательно, можем записать как для плоской задачи:

$$-a = -\frac{\varepsilon a}{\pi} \cdot \left\{ \frac{2}{\pi} \left[ \ln \left| \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{6} \right) \right| + 2 \cdot \sin \frac{\theta}{3} - \frac{8}{3} \cdot \sin^3 \frac{\theta}{3} \right] + 1 \right\}. \quad (4.13)$$

Упростив выражение (4.13), получим:

$$\begin{aligned} 1 &= -\frac{\varepsilon}{\pi} \cdot \left\{ \frac{2}{\pi} \left[ \ln \left| \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{3\pi}{4 \cdot 6} \right) \right| + 2 \cdot \sin \frac{3\pi}{3 \cdot 4} - \frac{8}{3} \cdot \sin^3 \frac{3\pi}{4 \cdot 3} \right] + 1 \right\}; \\ 1 &= -\frac{\varepsilon}{\pi} \cdot \left\{ \frac{2}{\pi} \left[ \ln \left| \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{8} \right) \right| + 2 \cdot \sin \frac{\pi}{4} - \frac{8}{3} \cdot \sin^3 \frac{\pi}{4} \right] + 1 \right\}; \\ 1 &= -\varepsilon_B \cdot \frac{2,71+\pi}{\pi} \Rightarrow \varepsilon_B = \frac{\pi}{2,71+\pi}. \end{aligned} \quad (4.14)$$

Далее найдем выражение для коэффициента бокового сжатия потока.

Используем формулу К.Ф. Химицкого [93], преобразовав ее для коэффициента бокового сжатия потока к виду:

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{1}{1 + \sqrt{k \sin^2(\gamma\theta) [1 - (b/B)^2]}}, \quad (4.15)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от величины бокового сжатия потока;  
 $\gamma$  – коэффициент, позволяющий привести в соответствие углы наклона плоскостей истечения к потоку.

Для наклона вертикальной плоскости истечения под углом  $\beta = 3\pi/4$  корректив по отношению к плоскостям бокового сжатия потока  $\gamma = 2/3$ .

В случае, когда угол  $\theta = 0$ ,  $\varepsilon_{\beta} = 1$ . Если угол  $\theta = 3\pi/4$ ,  $\varepsilon_{\beta} = b/B$ .

Найдем значение коэффициента  $k$  с учетом последнего:

$$\frac{b}{B} = \frac{1}{1 + \sqrt{k \sin^2\left(\frac{2\theta}{3}\right) [1 - (b/B)^2]}};$$

$$\frac{b}{B} = \frac{1}{1 + \sqrt{k [1 - (b/B)^2]}};$$

$$\frac{B}{b} = 1 + \sqrt{k [1 - (b/B)^2]};$$

$$\left(\frac{B}{b} - 1\right)^2 = k [1 - (b/B)^2];$$

$$k = \frac{1 - \frac{b}{B}}{\left(\frac{b}{B}\right)^2 \left(1 + \frac{b}{B}\right)}. \quad (4.16)$$

Подставим выражение (4.16) в формулу (4.15):

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{1 - \frac{b}{B}}{\left(\frac{b}{B}\right)^2 \left(1 + \frac{b}{B}\right)} \left(1 - \frac{b}{B}\right) \left(1 + \frac{b}{B}\right) \sin^2(\gamma\theta)}};$$

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{1}{1 + \frac{1 - \frac{b}{B}}{\frac{b}{B}} \sin(\gamma\theta)} = \frac{\frac{b}{B}}{\frac{b}{B} + \left(1 - \frac{b}{B}\right) \sin(\gamma\theta)} .$$

Принимая во внимание, что для  $\beta = 3\pi/4$  имеем  $\gamma = 2/3$ , получим:

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{\frac{b}{B}}{\frac{b}{B} + \left(1 - \frac{b}{B}\right) \sin\left(\frac{2\theta}{3}\right)} . \quad (4.17)$$

Таким образом, коэффициент сжатия потока, вытекающего из-под конического козырька, можно записать в виде:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\beta} \varepsilon_{\delta} = \frac{\pi}{2,71 + \pi} \cdot \frac{\frac{b}{B}}{\frac{b}{B} + \left(1 - \frac{b}{B}\right) \sin\left(\frac{2\theta}{3}\right)} . \quad (4.18)$$

С учетом (4.18) перепишем выражение (4.12) в виде:

$$y = -\frac{\pi a}{2,71 + \pi} \cdot \frac{1}{\frac{b}{B} + \left(1 - \frac{b}{B}\right) \sin\left(\frac{2\theta}{3}\right)} \cdot \left\{ \frac{2}{\pi} \left[ \ln \left| \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{6} \right) \right| + 2 \sin \frac{\theta}{3} - \frac{8}{3} \cdot \sin^3 \frac{\theta}{3} \right] + 1 \right\}. \quad (4.19)$$

Уравнение (4.19) устанавливает связь между ординатой  $y$  и углом  $\theta$  наклона касательной кривой свободной поверхности в оси  $Ox$  при любом открытии затвора.

Из уравнения (4.2) можно получить абсциссу  $x = f(\theta)$ , так как

$$dy/dx = \operatorname{tg} \theta. \quad (4.20)$$

Продифференцируем (4.2), записав его с учетом (4.11), (4.17) и (4.18).

$$y = -2 \frac{\varepsilon a B}{b} \cdot \frac{2}{3\pi} \int \sin \theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\theta}{3} d\theta - \frac{\varepsilon a B}{b},$$

$$y = -\frac{a\pi}{2,71+\pi} \cdot \frac{1}{\frac{b}{B} + (1-\frac{b}{B})\sin(\frac{2\theta}{3})} \cdot \left[ \frac{4}{3\pi} \int \sin \theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\theta}{3} d\theta + 1 \right]. \quad (4.21)$$

Введем обозначение:

$$K = -\frac{a\pi}{2,71+\pi} \cdot \frac{1}{\frac{b}{B} + (1-\frac{b}{B})\sin(\frac{2\theta}{3})} ; \quad (4.22)$$

$$y = K \cdot \frac{4}{3\pi} \int \sin \theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\theta}{3} d\theta + K; \quad (4.23)$$

$$dy = \frac{4K}{3\pi} \sin \theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\theta}{3} d\theta. \quad (4.24)$$

С учетом (4.20) запишем:

$$dx = \frac{4K}{3\pi} \cos \theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\theta}{3}. \quad (4.25)$$

Проинтегрируем (4.25):

$$x = \frac{4K}{3\pi} \int \cos \theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\theta}{3} d\theta. \quad (4.26)$$

Упростим подынтегральное выражение в формуле (4.26):

$$\begin{aligned}
\cos \theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\theta}{3} &= \frac{\cos \frac{3\theta}{3} \cdot \cos \frac{2\theta}{3}}{\sin \frac{2\theta}{3}} = \frac{\left(4 \cos^3 \frac{\theta}{3} - 3 \cos \frac{\theta}{3}\right) \cdot \cos \frac{2\theta}{3}}{\sin \frac{2\theta}{3}} = \\
&= \frac{4 \cos^3 \frac{\theta}{3} \cdot \cos \frac{2\theta}{3}}{\sin \frac{2\theta}{3}} - \frac{3 \cos \frac{\theta}{3} \cdot \cos \frac{2\theta}{3}}{\sin \frac{2\theta}{3}} = \frac{4 \cos^3 \frac{\theta}{3} \cdot \cos \frac{2\theta}{3}}{2 \sin \frac{\theta}{3} \cos \frac{\theta}{3}} - \frac{3 \cos \frac{\theta}{3} \cdot \cos \frac{2\theta}{3}}{2 \sin \frac{\theta}{3} \cos \frac{\theta}{3}} = \\
&= \frac{2 \cos^2 \frac{\theta}{3} \cdot \cos \frac{2\theta}{3}}{\sin \frac{\theta}{3}} - \frac{3 \cos \frac{2\theta}{3}}{2 \sin \frac{\theta}{3}} = \frac{2 \cos^2 \frac{\theta}{3} \cdot \cos \frac{2\theta}{3}}{\sin \frac{\theta}{3}} - \frac{3 \left(\cos^2 \frac{\theta}{3} - 1\right)}{2 \sin \frac{\theta}{3}} = \\
&= \frac{2 \cos^2 \frac{\theta}{3} \cdot \left(2 \cos^2 \frac{\theta}{3} - 1\right)}{\sin \frac{\theta}{3}} - \frac{3 \cos^2 \frac{\theta}{3}}{2 \sin \frac{\theta}{3}} + \frac{3}{2 \sin \frac{\theta}{3}} = \\
&= \frac{4 \cos^4 \frac{\theta}{3}}{\sin \frac{\theta}{3}} - \frac{2 \cos^2 \frac{\theta}{3}}{\sin \frac{\theta}{3}} - \frac{3 \cos^2 \frac{\theta}{3}}{2 \sin \frac{\theta}{3}} + \frac{3}{2 \sin \frac{\theta}{3}} = \\
&= \frac{4 \left(\cos^2 \frac{\theta}{3} + \sin^4 \frac{\theta}{3}\right)}{\sin \frac{\theta}{3}} - \frac{5 \left(1 - \sin^2 \frac{\theta}{3}\right)}{\sin \frac{\theta}{3}} + \frac{3}{2 \sin \frac{\theta}{3}} = \\
&= \frac{4 \cos^2 \frac{\theta}{3}}{\sin \frac{\theta}{3}} - \frac{4 \sin^2 \frac{\theta}{3}}{\sin \frac{\theta}{3}} + \frac{4 \sin^4 \frac{\theta}{3}}{\sin \frac{\theta}{3}} - \frac{5}{\sin \frac{\theta}{3}} + \frac{5 \sin^2 \frac{\theta}{3}}{\sin \frac{\theta}{3}} + \frac{3}{2 \sin \frac{\theta}{3}} = \\
&= \frac{4 \left(1 - \sin^2 \frac{\theta}{3}\right)}{\sin \frac{\theta}{3}} - 4 \sin \frac{\theta}{3} + 4 \sin^3 \frac{\theta}{3} - \frac{5}{\sin \frac{\theta}{3}} + 5 \sin \frac{\theta}{3} + \frac{3}{2 \sin \frac{\theta}{3}} =
\end{aligned}$$

$$\cos \theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{2\theta}{3} = \frac{4}{\sin \frac{\theta}{3}} - 3 \sin \frac{\theta}{3} + 4 \sin^3 \frac{\theta}{3} - \frac{7}{2 \sin \frac{\theta}{3}} = \frac{1}{2 \sin \frac{\theta}{3}} - 3 \sin \frac{\theta}{3} + 4 \sin^3 \frac{\theta}{3}$$

(4.27)



Проинтегрируем выражение (4.26) с учетом (4.27):

$$x = \frac{4K}{3\pi} \left[ \int \frac{d\theta}{2 \sin \frac{\theta}{3}} - \int 3 \sin \frac{\theta}{3} d\theta + \int 4 \sin^3 \frac{\theta}{3} d\theta \right]; \quad (4.28)$$

$$\int \frac{d\theta}{2 \sin \frac{\theta}{3}} = \frac{3}{2} \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\theta}{6} \right| + C_1; \quad (4.29)$$

$$\int 3 \sin \frac{\theta}{3} d\theta = -9 \cos \frac{\theta}{3} + C_2; \quad (4.30)$$

$$\int 4 \sin^3 \frac{\theta}{3} d\theta = 4 \left[ -3 \cos \frac{\theta}{3} + \cos^3 \frac{\theta}{3} \right] = 4 \cos^3 \frac{\theta}{3} - 12 \cos \frac{\theta}{3} + C_3. \quad (4.31)$$

Следовательно, с учетом (4.29), (4.30), (4.31), получим выражение (4.32) в виде:

$$\begin{aligned} x &= \frac{4K}{3\pi} \left[ \frac{3}{2} \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\theta}{6} \right| - 9 \cos \frac{\theta}{3} + 4 \cos^3 \frac{\theta}{3} - 12 \cos \frac{\theta}{3} \right] - C' = \\ &= \frac{2K}{\pi} \left[ \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\theta}{6} \right| - 2 \cos \frac{\theta}{3} + \frac{8}{3} \cos^3 \frac{\theta}{3} \right] - C' \end{aligned} \quad (4.32)$$

Подставим в (4.32) значение  $K$ :

$$x = -\frac{2a}{2,71 + \pi} \cdot \frac{1}{\frac{b}{B} + \left(1 - \frac{b}{B}\right) \sin \left(\frac{2\theta}{3}\right)} \cdot \left[ \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\theta}{6} \right| - 2 \cos \frac{\theta}{3} + \frac{8}{3} \cos^3 \frac{\theta}{3} \right] - C'. \quad (4.33)$$

Постоянную величину  $C'$  найдем из условия  $x = 0$  при  $\theta = \frac{3\pi}{4}$ .

В этом случае:

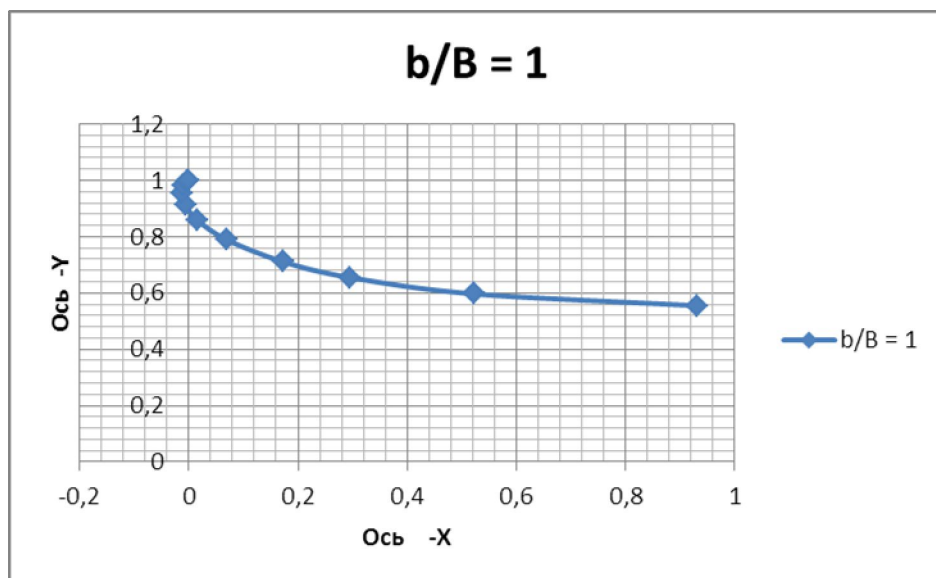
$$\begin{aligned} 0 &= -\frac{2a}{2,71 + \pi} \cdot \left[ \ln \left| \operatorname{tg} \frac{3\pi}{4 \cdot 6} \right| - 2 \cos \frac{3\pi}{4 \cdot 3} + \frac{8}{3} \cos^3 \frac{3\pi}{4 \cdot 3} \right] - C' \\ C' &= -\frac{2a}{2,71 + \pi} [-0,881 - 1,414 + 0,943] \Rightarrow C' = \frac{2,71 \cdot a}{2,71 + \pi}. \end{aligned} \quad (4.34)$$

Система уравнений для расчета координат свободной поверхности жидкости, вытекающей из-под конического козырька с углом наклона к горизонту  $\beta = 3\pi/4$  будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} x = -\frac{2a}{2,71+\pi} \cdot \frac{1}{\frac{b}{B} + \left(1 - \frac{b}{B}\right) \sin\left(\frac{2\theta}{3}\right)} \cdot \left[ \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\theta}{6} \right| - 2 \cos \frac{\theta}{3} + \frac{8}{3} \cos^3 \frac{\theta}{3} \right] - \frac{2,71a}{2,71+\pi}; \\ y = -\frac{a\pi}{2,71+\pi} \cdot \frac{1}{\frac{b}{B} + \left(1 - \frac{b}{B}\right) \sin\left(\frac{2\theta}{3}\right)} \cdot \left\{ \frac{2}{\pi} \left[ \ln \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{6} \right) \right] + 2 \sin \frac{\theta}{3} - \frac{8}{3} \sin^3 \frac{\theta}{3} \right\} + 1. \end{cases} \quad (4.35)$$

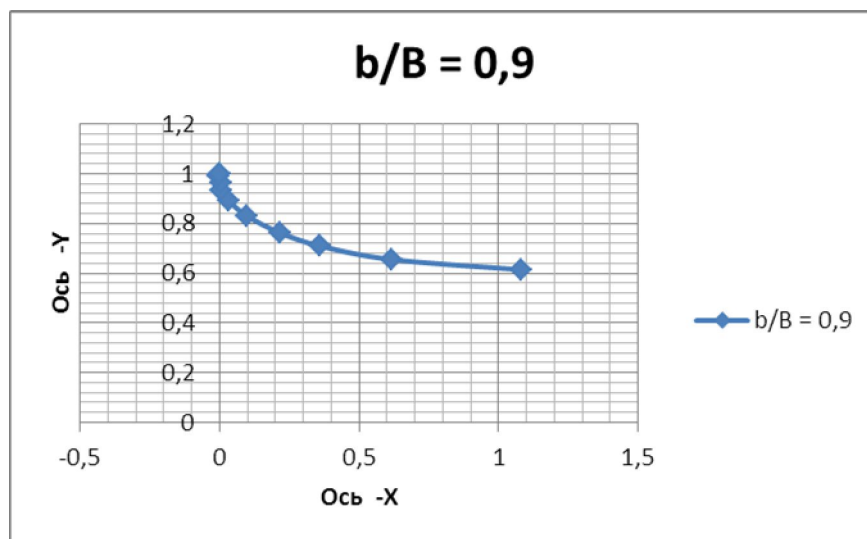
Таким образом, зная величину бокового сжатия потока  $b/B$  для конкретного стабилизатора и величину открытия затвора  $a$ , можем рассчитать координаты  $x$  и  $y$  кривой свободной поверхности жидкости, вытекающей из-под конического козырька, задаваясь углом  $\theta$  от 0 до  $\frac{3\pi}{4}$ .

Построим кривые свободной поверхности при различной величине радиального сжатия потока  $b/B$  (рис.4.4).

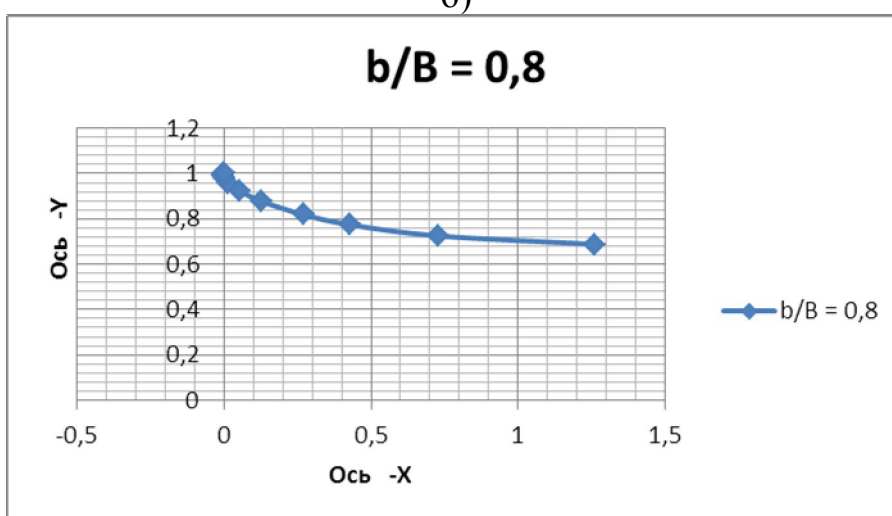


а)

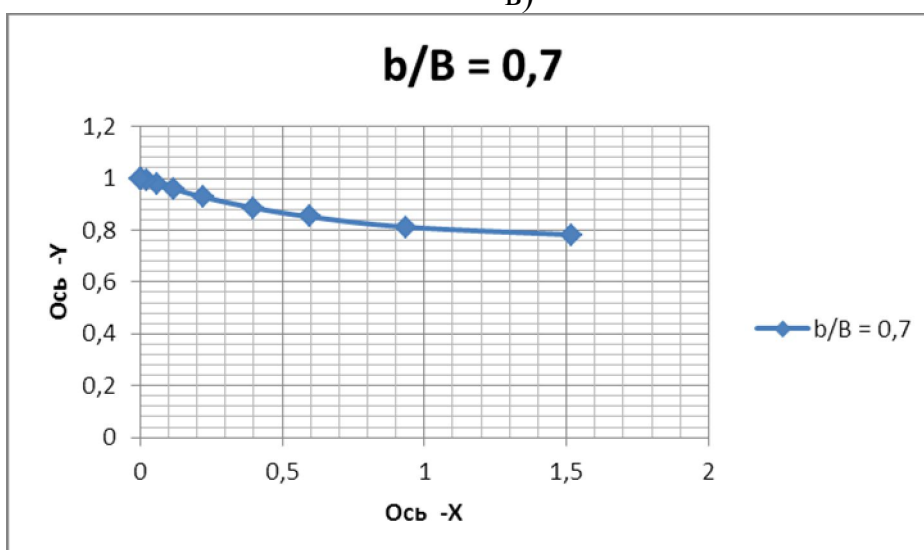
Рис. 4.4. Кривые свободной поверхности потока: а) без бокового сжатия



б)



в)



г)

Рис. 4.4. Кривые свободной поверхности потока: б) с боковым сжатием потока  $b/B=0,9$ ; в) с боковым сжатием  $b/B=0,8$ ; г) с боковым сжатием  $b/B=0,7$ .

Анализ графических зависимостей на рис. 4.4 показывает, что наиболее рациональной величиной бокового сжатия потока при истечении из-под конического козырька является значение  $b/B=0,7\div 0,9$ .

Расход истечения  $Q_1$  до перелива в коробчатую секцию и расход  $Q_2$  после перелива в коробчатую секцию можем записать по аналогии со стабилизатором ССКЩ:

$$Q_1 = \varphi_1 \varepsilon_1 a_{max} B \sqrt{2g(H_p - a_{max} \varepsilon_1)}; \quad (4.36)$$

$$Q_2 = \varphi_2 \varepsilon_2 a_1 b \sqrt{2g(H_p + \Delta H_1 - a_1 \varepsilon_2)}, \quad (4.37)$$

где  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – коэффициенты скорости конического и наклонного козырьков;  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – коэффициенты сжатия потока при истечении из-под конического и наклонного козырьков;  $a_{max}$  и  $a_1$  – расчетные открытия лицевой и внутренней стенок затвора;  $B$  – длина водосливной кромки конического козырька;  $b$  – ширина стабилизатора в свету;  $H_p$  – расчетный напор;  $\Delta H_1$  – высота ступени.

На основе анализа зависимостей (4.36) и (4.37) можем записать выражение для определения точности стабилизации СРВКК в пределах одной секции:

$$p = \left( 1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{H_p - a_{max} \varepsilon_1}{H_p + \Delta H_1 - a_1 \varepsilon_2} \right) \cdot 100\%. \quad (4.38)$$

Таким образом, зависимости, полученные на основе теоретических исследований и необходимые для расчета СРВКК, представлены в табл. 4.1.

Расчетные зависимости, представленные в табл. 4.1, положены в основу методики расчета СРВКК. Для установления не показанных в таблице: толщины  $t$  коробчатой секции затвора, величины угла наклона лицевой стенки к вертикальной плоскости и оптимизации других конструктивных параметров

СРВКК необходимо проведение дополнительных модельных исследований стабилизатора.

Таблица 4.1 – Расчетные зависимости для определения параметров СРВКК

Зависимость	Ед.изм.	Название зависимости
$y = -\frac{a\pi}{2,71 + \pi} \cdot \frac{1}{\frac{b}{B} + \left(1 - \frac{b}{B}\right) \sin\left(\frac{2\theta}{3}\right)} \cdot \left[ \frac{2}{\pi} \left( \ln \left  \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{6} \right) \right  + 2 \sin \frac{\theta}{3} - \frac{8}{3} \cdot \sin^3 \frac{\theta}{3} \right) + 1 \right]$	м	Ордината кривой свободной поверхности воды, вытекающей из-под конического козырька, $\beta = 3\pi/4$
$x = -\frac{2a}{2,71 + \pi} \cdot \frac{1}{\frac{b}{B} + \left(1 - \frac{b}{B}\right) \sin\left(\frac{2\theta}{3}\right)} \cdot \left[ \ln \left  \operatorname{tg} \frac{\theta}{6} \right  - 2 \cos \frac{\theta}{3} + \frac{8}{3} \cos^3 \frac{\theta}{3} \right] - \frac{2,71 \cdot a}{2,71 + \pi}$	м	Абсцисса кривой свободной поверхности воды, вытекающей из-под конического козырька, $\beta = 3\pi/4$
$Q_1 = \varphi_1 \varepsilon_1 a_{max} B \sqrt{2g(H_p - a_{max} \varepsilon_1)}$	$\text{м}^3/\text{с}$	Расход истечения до перелива в коробчатую секцию
$Q_2 = \varphi_2 \varepsilon_2 a_1 b \sqrt{2g(H_p + \Delta H_1 - a_1 \varepsilon_2)}$	$\text{м}^3/\text{с}$	Расход истечения после перелива в коробчатую секцию
$p = \left( 1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot \frac{H_p - a_{max} \varepsilon_1}{H_p + \Delta H_1 - a_1 \varepsilon_2} \right) \cdot 100\%$	%	Точность стабилизации СРВКК в пределах одной секции
$n = \frac{1}{p} \left( \frac{1 - c^n}{1 + c^n} \right) \cdot 100,$	шт.	Количество ступеней стабилизатора

$c''$ – коэффициент, определяемый по формуле: $c'' = \varepsilon_1 \sqrt{\frac{1,85H_p - a_{max} \varepsilon_1}{H_p - a_{max}}}$		
$\beta_1 = 5\pi/6 \div 11\pi/12$		Угол $\beta_1$ наклона внутренней козырьки к горизонтальной плоскости
$\beta_2 = 3\pi/4$		Угол $\beta_2$ наклона внешнего козырьки к горизонтальной плоскости
$b/B = 0,7$		Максимальная величина бокового сжатия пото

Проведенные теоретические исследования истечения из-под конического козырька позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Построенные кривые (рис.4.4) свободной поверхности потока истечения из-под конического ( $\beta = 3\pi/4$ ) козырька позволяют определить местоположение кромки внутреннего наклонного козырька стабилизатора расхода воды с коническим козырьком.
2. Кривые свободной поверхности воды, вытекающей из-под конического козырька, показывают, что конструктивное выполнение соотношения длин кромок истечения конического и внутреннего плоского наклонного козырьков наиболее предпочтительно  $0,7 \leq b/B \leq 0,9$ , поскольку при  $b/B < 0,7$  наступает подтопление поверхности истечения с нижнего бьефа, что недопустимо в данной конструкции. При  $b/B > 0,9$  уменьшается диапазон регулирования данной конструкции.
3. Формализованные зависимости (4.35) являются универсальными и позволяют определять координаты свободной поверхности потока

жидкости при истечении из-под наклонного козырька ( $\beta = 3\pi/4$ ) и наличии бокового сжатия потока на величину  $b/B$ .

4. Полученные расчетные зависимости (см.табл.4.1) лежат в основе методики расчета СРВКК.

#### **4.3 Методика выполнения лабораторных гидравлических исследований усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем**

Поскольку СРВКК является новой конструкцией стабилизатора расхода воды, необходимо было проверить его работоспособность в лабораторных условиях. Для этого была рассчитана и изготовлена действующая модель СРВКК.

##### **4.3.1 Модельная установка и модели стабилизатора расхода воды**

Лабораторные исследования действующей модели СРВКК выполнены в лаборатории гидротехнических сооружений (ГТС) кафедры ГТСиВР КРСУ на гидравлическом лабораторном лотке (ГЛЛ) (рис.4.5, 4.6).

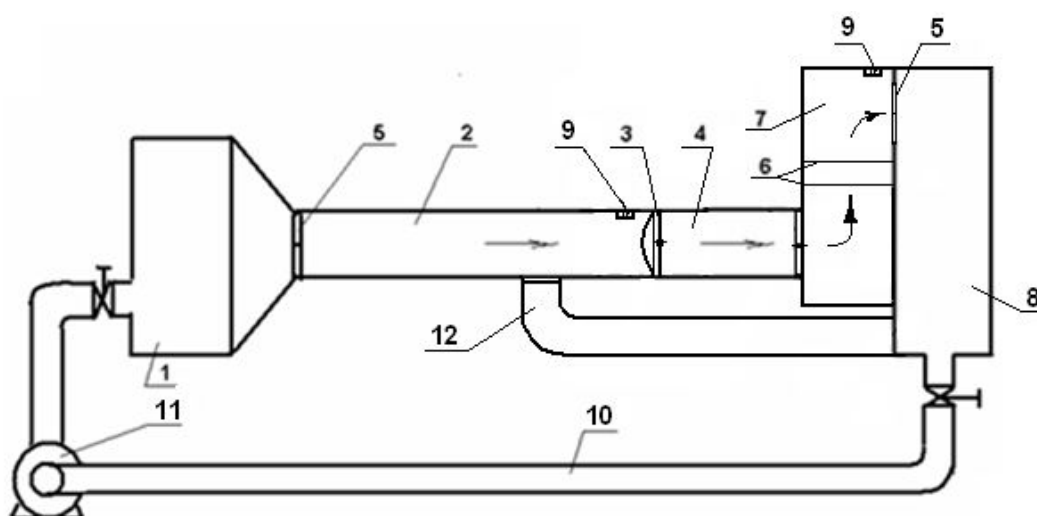


Рис.4.5.ГЛЛ (в плане) с указанием положения модели СРВКК:

1 – успокоительный бак; 2 – лоток лабораторный; 3 – модель СРВКК;

4 – отвод; 5 – водослив; 6 – решетки-волногасители; 7 – мерная емкость;  
8 – приемная камера; 9 – шпитценмасштаб; 10 – трубопровод;  
11 – насос; 12 – сброс.



Рис.4.6.ГЛЛ с моделью СРВКК в лаборатории ГТС.

Лабораторная установка выполнена в виде закольцованной системы, включающей напорный успокоительный бак 1, лоток 2 лабораторный, размещенную в нем модель стабилизатора 3 расхода воды, отвод 4 с водосливом 5 Томсона, решетки-волногасители 6, мерную емкость 7 с водосливом 5 и шпитценмасштабом 9, приемную камеру 8, соединенную трубопроводом 10 с успокоительным баком 1. Вода в успокоительный бак 1 закачивается насосом 11, а излишки воды из лотка 2 сбрасываются по сбросному каналу 12 в приемную камеру.

Для измерения расхода воды, поступающей из бака 1 в лоток 2, использовался треугольный водослив Томсона 5. Уровни воды в лотке 2 перед стабилизатором расхода измерялись шпитценмасштабом (мерная игла) 9.



Другой шпитценмасштаб размещался в мерном баке 7 перед водосливом Томсона и позволял определять отводимые расходы воды.

Подаваемый в ГЛЛ расход воды регулировался верхней задвижкой. Величина отводимого моделью СРВКК расхода воды регулировалась изменением открытия стабилизатора.

Уклон лотка принимался меньше критического ( $i=0,0008$ ), устанавливаясь винтовым подъемником.

Стенки лотка в зоне установки модели выполнены из прозрачного стекла, что позволило осуществить фотографирование гидравлических процессов на модели.

Дно ГЛЛ выполнено с искусственной шероховатостью, рассчитанной по законам физического моделирования, в пересчете с шероховатости бетонного покрытия каналов.

Мерные водосливы, шпитценмасштабы и ГЛЛ в 2010 г. аттестованы метрологической службой ПКТИ «Водавтоматика и метрология» (на кафедре ГТСиВР имеются сертификаты аттестации указанного оборудования).

Для оптимизации параметров СРВКК были выполнены несколько моделей стабилизатора с различными значениями величин бокового сжатия потока  $b/B$  и различными толщинами секций  $t$  стабилизатора. Причем, изменение толщины секций проводилось путем дополнительных вставок в секции короба.

Модели СРВКК были рассчитаны с учетом возможной пропускной способности и габаритных размеров ГЛЛ.

Модели СРВКК изготовлены в лаборатории ГТС кафедры ГТСиВР КРСУ. Принятый линейный масштаб моделирования – 1:3, который обеспечивает автомодельность по Рейнольдсу [94]. Рассчитанные масштабные коэффициенты (по Фрудру) гидравлических параметров потока приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2– Основные масштабные коэффициенты модели СРВКК

Наименование параметра	Обозначение	Формулы	Масштабный коэффициент
Линейные параметры (длина, ширина, высота)	$l$	$\lambda$	3
Скорость потока	$V$	$\lambda^{0,5}$	1,73
Расход потока	$Q$	$\lambda^{2,5}$	15,59
Время	$t$	$\lambda^{0,5}$	1,73
Ускорение	$a$	$\lambda$	3

За натуральный объект принят правый отвод АВУ на канале «Джаламыш» Сокулукского района.

Линейный масштаб моделирования позволил пересчитать размеры водовыпускного сооружения с природы на модель по формуле  $l_m = l_n / \lambda$ , где  $l_n$  и  $l_m$  – линейные размеры частей сооружения у природы и модели,  $\lambda$  – масштаб физического моделирования.

Подводящий и отводящий участки ГЛЛ, имеющие прямоугольные сечения на модели, следующих размеров: ширина 0,3 м, высота 0,3 м, уклон дна 0,0008, которые в выбранном масштабе соответствуют размерам натурального канала.

Модели СРВКК, как и сама лабораторная установка, выполнены из металла (рис. 4.7).



Рис.4.7. Модель СРВКК, установленная в ГЛЛ, при переливе в первую секцию стабилизатора.

Шпитценмасштаб, установленный на ГЛЛ, передвигался в процессе исследований, что дало возможность измерять глубины потока в разных фиксированных створах лотка.

Каждый день перед началом проведения исследований и по завершении их выполнялся обязательный контроль сохранения уклона лотка, установки модели, а также формы модели. Осуществлялся постоянный контроль замеров расхода воды по завершении каждого опыта. Контроль измерения расходов на ГЛЛ выполнялся методом баланса расходов сопоставлением замеров на верхнем и двух нижних мерных водосливах.

Тщательная герметизация стыков модели в ГЛЛ позволила свести к минимуму потери воды на протечку, которые не превышали  $3\div 4$  % расхода  $Q$  в лабораторном лотке.

#### **4.3.2 Особенности методики лабораторных исследований СРВКК**

Для того, чтобы подтвердить работоспособность СРВКК и установить его наиболее рациональные параметры были проведены модельные исследования СРВКК.

**Цель модельных исследований СРВКК** заключалась в нахождении наиболее рациональных параметров стабилизатора расхода воды, а также обосновании работоспособности СРВКК.

Поставленная цель требовала решения ряда **задач**:

- рассчитать размеры лабораторной модели СРВКК;
- изготовить модель СРВКК;
- выбрать обоснованный состав, а также объем проведения натурных исследований, аппаратуру и технические средства измерения;
- обозначить последовательность выполнения гидравлических исследований;
- обосновать методику модельных исследований;
- выполнить модельные исследования СРВКК;
- обработать результаты замеров лабораторных исследований;

- составить методику расчета СРВКК и обосновать его работоспособность.

Последовательность проведения модельных исследований [80, 81]:

- I. Проведение подготовки к исследованиям, расчеты и изготовление модели СРВКК, выбор необходимого объема исследований, составление методики исследований и др.
- II. Выполнение модельных исследований для установления наиболее рациональных параметров СРВКК, а также обоснование его работоспособности;
- III. Обработка замеров параметров, вывод эмпирических формул и составление графиков характеристик СРВКК.

Рассмотрим особенности **методики** модельных исследований СРВКК.

Расходы воды, подаваемые в ГЛЛ, и расходы на выходе из лотка замерялись аттестованными в ПКТИ «Водавтоматика и метрология» треугольными мерными водосливами Томсона.

Для исключения ошибки измерения глубин и геометрических напоров перед стабилизатором и на мерном водосливе замеры выполнялись с трехкратной повторностью ( $n=3$ ), при этом шпитценмасштаб имел точность до 1 мм.

Статистическая обработка результатов экспериментов с целью получения эмпирических формул выполнялась методом наименьших квадратов.

Полученные в результате исследований зависимости представлены ниже в форме таблиц и графиков.

Для обобщения экспериментальных данных и получения эмпирических зависимостей  $Q = f(H)$  были построены экспериментальные кривые, подтвердившие стабилизацию водоподачи при работе СРВКК.

При обработке результатов модельных исследований СРВКК применялась персональная ЭВМ.

Модельные исследования СРВКК подтвердили работоспособность конструкции стабилизатора на распределительных каналах оросительных систем.

#### **4.4 Лабораторные исследования усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения**

##### **4.4.1 Оптимизация конструктивных и технологических параметров усовершенствованной конструкции**

Для оптимизации конструктивных и технологических параметров СРВКК были проведены исследования процесса стабилизации расходов воды данной конструкцией.

Выше отмечалось, что модельные исследования параметров СРВКК (рис.4.8) проводились в лаборатории ГТС кафедры ГТСиВР КРСУ.

Параметром оптимизации (откликом) был назначен процент стабилизации, являющийся показателем качества работы СРВКК.



Рис.4.8. Измерение отводимых расходов воды.

Назначенный отклик относится к группе технико-экономических параметров оптимизации и представляет собой процентное соотношение:

$$p = \frac{Q_{\text{факт}} - Q_{\text{расч}}}{Q_{\text{расч}}} \cdot 100\%, \quad (4.39)$$

где  $Q_{\text{факт}}$  – фактический расход стабилизатора;  $Q_{\text{расч}}$  – расчетный расход стабилизатора.

Процент стабилизации характеризует надежность процесса стабилизации (качества стабилизации) расхода воды данной конструкцией.

Известно [58], что конструкция обладает достаточным качеством, если имеет  $p = (0 \dots 5)\%$ . При увеличении  $p \rightarrow 5 \Rightarrow \Delta H \rightarrow \Delta H_{\text{max}}$ , т.е. диапазон возможных колебаний уровней воды в верхнем бьефе сооружения достигает своего наибольшего значения.

Поэтому запишем,

$$\begin{cases} p = (0 \div 5)\% \\ p \rightarrow 5 \end{cases} \quad (4.40)$$

Факторы, оказывающие воздействие на принятый отклик, которые намечены к оптимизации: напор  $H$  в верхнем бьефе сооружения, открытие стабилизатора  $a$ , боковое сжатие потока за затвором  $b/B$  и толщина коробчатой секции  $t$  стабилизатора.

Оптимальное планирование экспериментов проводилось по методу Бокса-Уилсона, путем крутого восхождения[95]. Этот метод сочетает в процессе исследований движение по градиенту и метод факторного планирования экспериментов. При этом движение к оптимуму осуществлялось по самому короткому пути, а области, удаленные от оптимума, были представлены в виде линейного уравнения, которое позволило лишь выбрать направление движения восхождения, не прибегая к подробному описанию поверхности. Адекватность линейной модели подтверждает возможность восхождения (движения) по градиенту.

Исследование для оптимизации параметров СРВКК проводилось «наиболее коротким и эффективным путем – восхождением по градиенту функции отклика» [96].

Градиент непрерывной однозначной функции  $\varphi$  представляет собой вектор:

$$\nabla\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial x_1}i + \frac{\partial\varphi}{\partial x_2}j + \dots + \frac{\partial\varphi}{\partial x_k}k, \quad (4.41)$$

где  $\nabla\varphi$  – обозначение градиента;  $\frac{\partial\varphi}{\partial x_i}$  – частная производная по  $i$ -му фактору;  $i, j, k$  – единичные векторы в направлении координатных осей.

Поэтому, составляющие градиента – частные производные функции отклика, а коэффициенты регрессии являются их оценками.

Анализ априорных данных позволил выбрать основные уровни факторов и интервалы варьирования (табл.4.3) .

Таблица 4.3– Варьируемые факторы и их уровни

Уровень варьируемых факторов	Кодовое обозначение	Открытие, $a$ , мм	Напор, $H$ , мм	$b/B$	Толщина, $t$ , см
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
Уровень основной	0	20	140	0.8	24
Интервал варьирования	$\Delta X_i$	10	25	0.1	4
Уровень нижний	-1	10	115	0.9	20
Уровень верхний	+1	30	165	0.7	28

В процессе экспериментальных исследований был реализован план эксперимента  $2^4$ .

Оценить влияние указанных (табл. 4.3) факторов на выбранный отклик и математически описать гидравлические процессы позволила регрессионная модель первого порядка:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_1x_2 + b_6x_1x_3 + b_7x_1x_4 + b_8x_2x_3 + b_9x_2x_4 + b_{10}x_3x_4 + b_{11}x_1x_2x_3 + b_{12}x_1x_3x_4 + b_{13}x_2x_3x_4 + b_{14}x_1x_2x_3x_4 \quad (4.42)$$

где  $y$  – параметр оптимизации (отклик), кодированное обозначение процента стабилизации  $p$ ;  $b_i$  – коэффициент уравнения регрессии;  $i$  – номер фактора;  $x_i$  – кодированное обозначение фактора, оказывающего влияние на величину изменения отклика.

Матрица планируемого эксперимента, полученные значения оптимизируемого параметра, расчет взаимодействия факторов при модельных исследованиях СРВКК вынесены в табл.4.4.

Для проверки возможности выполнения регрессионного анализа [96] выполнялся расчет на однородность дисперсий по критерию Кохрена:

$$G_{расч} = \frac{s_{n\max}^2}{\sum_1^n s_n^2} = \frac{0,07853}{0,4898} = 0,1603. \quad (4.43)$$

Полученное значение сравнено с табличным значением критерия Кохрена для степеней свободы числителя  $f_1 = 2$  и знаменателя  $f_2 = 16$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  (5% ошибка)[97]:

$$G_{табл(2;16;0,05)} = 0,3346 > G_{расч} = 0,1603. \quad (4.44)$$

В нашем случае экспериментальное значение критерия Кохрена не превышает табличного значения, соответственно, гипотеза об однородности дисперсий результатов опытов может быть принята.



Таблица 4.4–Матрица полного факторного эксперимента  $2^4$  и статистические расчеты

Номер опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_1x_4$	$x_2x_3$	$x_2x_4$	$x_3x_4$	$x_1x_2x_3$	$x_1x_3x_4$	$x_2x_3x_4$	$x_1x_2x_3x_4$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-
3	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
4	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+
5	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-
6	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+
7	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+
8	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-
9	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-
10	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+
11	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+
12	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-
13	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+
14	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-
15	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-
16	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
$b_i$	-0,719	5,018	0,760	-0,123	0,213	0,013	0,0242	0,748	0,078	0,281	0,020	0,088	-0,214	-0,151	-0,237

Номер опыта	$y_{1n}$	$y_{2n}$	$y_{3n}$	$\bar{y}_n$	$y_{1n} - \bar{y}_n$	$y_{2n} - \bar{y}_n$	$y_{3n} - \bar{y}_n$	$(y_{1n} - \bar{y}_n)^2$	$(y_{2n} - \bar{y}_n)^2$	$(y_{3n} - \bar{y}_n)^2$	$S_n^2$	$\hat{y}$	$(\bar{y}_n - \hat{y})^2$	
1	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
<b>1</b>	5,19	5,58	5,25	5,34	-0,150	0,240	-0,090	0,0225	0,0576	0,00810	0,04410	5,74	0,1607	
<b>2</b>	5,08	4,76	4,97	4,94	0,143	-0,177	0,033	0,0205	0,031211	0,00111	0,02643	4,46	0,2264	
<b>3</b>	6,37	6,18	6,56	6,37	0,000	-0,190	0,190	0,0000	0,0361	0,03610	0,03610	6,86	0,2401	
<b>4</b>	3,65	3,87	3,4	3,64	0,010	0,230	-0,240	0,0001	0,0529	0,05760	0,05530	3,17	0,2193	
<b>5</b>	4,32	4,88	4,58	4,59	-0,273	0,287	-0,013	0,0747	0,082178	0,00018	0,07853	4,10	0,2401	
<b>6</b>	1,9	1,79	2,09	1,93	-0,027	-0,137	0,163	0,0007	0,018678	0,02668	0,02303	2,40	0,2193	
<b>7</b>	4,82	4,79	4,59	4,73	0,087	0,057	-0,143	0,0075	0,003211	0,02054	0,01563	4,33	0,1607	
<b>8</b>	2,7	2,89	2,95	2,85	-0,147	0,043	0,103	0,0215	0,001878	0,01068	0,01703	3,32	0,2264	
<b>9</b>	-4,62	-4,52	-4,73	-	4,62	0,003	0,103	-0,107	0,0000	0,010678	0,01138	0,01103	-5,07	0,1951
<b>10</b>	-5,53	-5,77	-5,72	-	5,67	0,143	-0,097	-0,047	0,0205	0,009344	0,00218	0,01603	-5,16	0,2669
<b>11</b>	-5,12	-4,82	-4,9	-	4,95	-0,173	0,127	0,047	0,0300	0,016044	0,00218	0,02413	-5,40	0,2018
<b>12</b>	-4,55	-4,69	-4,91	-	4,72	0,167	0,027	-0,193	0,0278	0,000711	0,03738	0,03293	-4,29	0,1828
<b>13</b>	-7,78	-7,94	-7,52	-	7,75	-0,033	-0,193	0,227	0,0011	0,037378	0,05138	0,04493	-7,30	0,2018
<b>14</b>	-5,31	-5,53	-5,64	-	5,49	0,183	-0,037	-0,147	0,0336	0,001344	0,02151	0,02823	-5,92	0,1828
<b>15</b>	-7,62	-7,94	-7,75	-	0,150	-0,170	0,020	0,0225	0,0289	0,00040	0,02590	-7,33	0,1951	

				7,77									
<b>16</b>	-4,88	-5,04	-4,85	- 4,92	0,043	-0,117	0,073	0,0019	0,013611	0,00538	0,01043	-5,44	0,2669
											0,4898		3,386



Дисперсия воспроизводимости[97]:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_1^N S_n^2 = \frac{0,4898}{16} = 0,0306. \quad (4.45)$$

Тогда, ошибка эксперимента:

$$S_y = \sqrt{S_y^2} = \sqrt{0,0306} = 0,175. \quad (4.46)$$

Проверка значимости коэффициентов уравнения регрессии проводилась по критерию Стьюдента [97].

При полном факторном эксперименте (ПФЭ) ошибки всех коэффициентов равны друг другу и определяются по формуле:

$$S_{(b_i)} = \frac{S_y}{\sqrt{N \cdot r}} = \frac{0,175}{\sqrt{16 \cdot 3}} = 0,02526. \quad (4.47)$$

Доверительный интервал длиной  $2\Delta b_i$ , где

$$\Delta b_i = t_{\alpha/2} \cdot S_{(b_i)} = 2,04 \cdot 0,02526 = 0,05152. \quad (4.48)$$

Критическое значение  $t_{\alpha/2}$  выбиралось по табл. [97] при  $N \cdot (r - 1) = 32$  степенях свободы и заданном уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

В результате сравнения коэффициентов уравнения регрессии с половиной доверительного интервала был сделан вывод о незначимости влияния фактора  $x_1 x_2, x_1 x_3, x_3 x_4$ .

После этого составлено уравнение регрессии, включающее только значимые коэффициенты:

$$\hat{y} = -0,719 + 5.018 \cdot x_1 + 0.760 \cdot x_2 - 0.123 \cdot x_3 + 0.213 \cdot x_4 - 0.748 \cdot x_1 x_4 + 0.078 \cdot x_2 x_3 + 0.281 \cdot x_2 x_4 + 0,088 \cdot x_1 x_2 x_3 - 0.214 \cdot x_1 x_3 x_4 - 0.151 \cdot x_2 x_3 x_4 - 0,237 \cdot x_1 x_2 x_3 x_4$$

(4.49)

Проверка гипотезы об адекватности математической модели проводилась по критерию Фишера:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum(\bar{y} - \hat{y})^2}{N - (k+1)} = \frac{3.386}{16 - 12} = 0.8465; \quad (4.50)$$

$$F_{расч} = \frac{S_{ad}^2}{S_n^2} = \frac{0.8465}{0.4898} = 1.73;$$

$$F_{расч} = 1.73 < F_{табл}(0,05; 4; 32) = 2,69. \quad (4.51)$$

Соответственно, был сделан вывод об адекватности линейной математической модели.

Пользуясь уравнением (4.49) реализовывалось движение по градиенту (крутое восхождение) в поисках оптимума. Все необходимые расчеты сведены в табл. 4.5.

Шаг движения по градиенту выбирался в соответствии [96, с.165], так чтобы исключить вероятность проскока области оптимума.

Таким образом, изменяя независимые переменные пропорционально величинам коэффициентов регрессии (полученные на основании полнофакторного эксперимента) мы «двигались в направлении градиента функции отклика по самому крутому пути (крутое восхождение)» [95, 98].

Достоверность проведения трехкратных измерений была установлена в соответствии с критерием Стьюдента [58].

При осуществлении крутого восхождения была составлена рандомизированная матрица. На основании проведенных опытов выяснено,

что трехкратная повторяемость экспериментов обеспечивает доверительную вероятность не менее  $\alpha = 0,95$  [58].

В результате проведения серии опытов был получен ряд оптимизируемых параметров. При восхождении по градиенту значения факторов  $x_1, x_2, x_3$  назначались исходя из возможностей проведения эксперимента и особенностей процесса истечения.

Таблица 4.5 – Крутое восхождение для оптимизации параметров СРВКК

№ п/п	Последовательность операции крутого восхождения	Исследуемые факторы				Оптимизируемый параметр			
		$a$ , мм	$H$ , мм	$b/B$	$t$ , см	$y_{1n}$	$y_{2n}$	$y_{3n}$	$\bar{y}_n$
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Основной уровень	140	20	0,8	24				
2	Интервал варьирования, $\Delta \tilde{x}_i$	25	10	0,07	4				
3	Коэффициент регрессии, $b_i$	5,02	0,76	-0,12	0,21				
4	$b_i \Delta \tilde{x}_i$	50,18	19,00	-0,01	0,85				
5	$\lambda_1 = 1/ b_{\phi} $		0,1594						
6	Шаги $\cong \lambda_1 (b_i \Delta \tilde{x}_i)$	8,00	3	0,001	0,136				
7	Опыты на линии восхождения:								
	1	148	23	0,8	24	0,46	0,7	0,52	0,56
	2	156	25	0,8	24	2,35	2,18	2,22	2,25
	3	164	28	0,8	24	3,35	3,24	3,5	3,36
	4	172	30	0,79	24	5,05	4,95	4,94	4,98
	5	180	30	0,79	25	5,07	4,88	5,2	5,05
	6	188	30	0,79	25	5,92	5,8	5,89	5,87

7	196	30	0,79	25	6,25	6,35	6,13	6,24
8	200	30	0,79	25	7,35	7,47	7,25	7,30
9	145	30	0,79	24	0,32	0,36	0,26	0,31
10	142	30	0,79	24	0,09	0,27	0,19	0,18
11	139	30	0,79	24	-0,03	-0,09	-0,09	-0,07
12	136	30	0,79	24	-1,25	-1,18	-1,21	-1,21
13	133	30	0,79	24	-2,4	-2,5	-2,5	-2,47
14	130	30	0,79	24	-3,29	-3,21	-3,26	-3,25
15	127	30	0,79	24	-4,13	-4,17	-4,15	-4,17
16	124	30	0,79	24	-5,14	-5,01	-5,02	-5,06
17	121	30	0,79	24	-5,62	-5,6	-5,72	-5,65
18	118	30	0,79	24	-5,9	-6,02	-6,03	-5,98
19	115	30	0,79	24	-6,25	-6,25	-6,2	-6,23

Серия опытов (№ 1-4, 9-15) показала результаты допустимого качества стабилизации отводимых расходов воды при максимально возможном диапазоне колебаний напоров в водоприемной камере, что соответствует значениям параметров СРВКК: максимальному открытию щита  $a_{max} = 25 \div 30$  мм, удельному диапазону колебаний напоров в водоприемнике  $\Delta H_i = 48 \div 50$  мм, относительному сжатию потока за щитом  $b/B = 0.78 \div 0,8$  и толщине секции  $t = 24 \div 25$  мм.

Пересчет полученных данных с модели на натуре и перевод их в относительные величины, позволили получить значения оптимизируемых факторов:

а) максимальное открытие стабилизатора СРВКК целесообразно назначать:

$$a_{max} = (0,37 \div 0,46)H_{min}, \quad (4.52)$$

где  $H_{min}$  – минимальная глубина воды перед стабилизатором;

$$H_{min} \approx 0,55 \div 0,65 \text{ м};$$

б) допустимое колебание уровня воды в пределах одной секции:



$$\Delta H_i \approx a_{max}; \quad (4.53)$$

в) допустимое колебание уровня воды в верхнем бьефе сооружения:

$$H_{max}/H_{min} = 2.64; \quad (4.54)$$

г) боковое сжатие потока за стабилизатором  $b/B = 0,78 \div 0.8$ ; (4.55)

д) толщина секции СРВКК:

$$t = (0,32 \dots 0,33)a_{max}; \quad (4.56)$$

На основе проведенных модельных исследований была получена возможность не только оптимизировать значения конструктивных параметров СРВКК, но и оценить влияние ряда исследуемых факторов на качество стабилизации при работе СРВКК:

1. Качество стабилизации при работе СРВКК ухудшается при уменьшении напора в верхнем бьефе сооружения, открытия затвора и толщины секции, однако их взаимовлияние незначимо.

2. Увеличение взаимовлияния напора и толщины секции оказывает положительный эффект на качество стабилизации.

3. Улучшает качество стабилизации уменьшение относительного сжатия потока за затвором, а также его взаимное влияние с другими принятыми к исследованиям факторами.

4. Выбранные значения параметров СРВКК положены в основу методики расчета предложенного стабилизатора расхода воды.

#### **4.4.2 Модельные исследования пропускной способности СРВКК**

Пропускная способность модели СРВКК исследовалась в зависимости от различных конструктивных и гидравлических параметров стабилизатора.

В качестве оптимизируемого параметра (отклика), характеризующего пропускную способность стабилизатора, был выбран приведенный

коэффициент расхода  $\mu'$  исследуемой конструкции, определяемый по формуле[82]:

$$\mu' = \frac{Q}{ab\sqrt{2g(H - \varepsilon a)}}, \quad (4.57)$$

где  $Q$  – расход истечения через стабилизатор;  $a$  –открытие стабилизатора;  $b$  – ширина лотка;  $H$  –уровень воды перед стабилизатором;  $\varepsilon$  – коэффициент сжатия потока.

В качестве наиболее активных факторов, оказывающих влияние на выбранный отклик (4.57), выявлены: относительное вертикальное сжатие потока  $a/H$ , относительное боковое сжатие потока  $b/B$  ( $B$ –длина водосливной кромки конического козырька), угол наклона образующей конического козырька к плоскости дна канала  $\beta$ .

В процессе эксперимента необходимо было проверить возможность линейной аппроксимации зависимости для приведенного коэффициента расхода  $\mu' = f(a/H; b/B; \beta)$ . Поэтому, на начальном этапе исследования был проведен полный факторный эксперимент  $2^3$ , сохраняющий идею шагового поиска. Уровни варьируемых факторов эксперимента приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6 – Варьируемые факторы и их уровни

Уровень варьируемого фактора	Кодовое обозначение	$a/H$	$b/B$	$\beta, \text{рад}$
		$x_1$	$x_2$	$x_3$
Уровень основной	0	0,138	0,8	2,355
Интервал варьирования	$\Delta x_i$	0,038	0,1	0,22
Уровень нижний	-1	0,100	0,72	2,135

Уровень верхний	+1	0,176	0,88	2,575
-----------------	----	-------	------	-------

Интервалы варьирования факторов назначались исходя из конструктивных особенностей затвора и технологических особенностей гидравлических процессов, происходящих в зоне истечения.

Матрица планирования эксперимента со столбцами взаимодействия факторов представлена в табл. 4.7.

По результатам опытов полного факторного эксперимента были получены следующие значения коэффициентов регрессии:

$$b_0 = 0,8744 \quad b_2 = -0,0148 \quad b_4 = 0,0022 \quad b_6 = 0,00133$$

$$b_1 = 0,0290 \quad b_3 = -0,0083 \quad b_5 = 0,0064 \quad b_7 = -0,00158$$

Далее проводился анализ значимости коэффициентов уравнения регрессии. Дисперсия воспроизводимости:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_1^N S_n^2 = \frac{0,000151}{8} = 1,89 \cdot 10^{-5}. \quad (4.58)$$

Ошибка эксперимента:

$$S_y = \sqrt{S_y^2} = 0,0043. \quad (4.59)$$



Таблица 4.7 – Матрица планирования эксперимента  $2^3$

№ опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	$y_{1n}$	$y_{2n}$	$y_{3n}$	$\bar{y}_n$	$y_1 - \bar{y}_n$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	0,840	0,846	0,848	0,845	-0,005
2	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0,882	0,893	0,891	0,889	-0,007
3	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	0,872	0,878	0,877	0,876	-0,004
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0,923	0,918	0,925	0,922	0,001
5	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	0,825	0,818	0,820	0,821	0,004
6	1	1	1	1	1	1	1	1	0,887	0,879	0,887	0,884	0,003
7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0,842	0,845	0,834	0,840	0,002
8	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	0,916	0,918	0,922	0,919	-0,003
	0,8744	0,0290	-0,0148	-0,0083	-0,0022	0,0064	0,00133	-0,00158				0,874	

$y_1 - \bar{y}_n$	$y_2 - \bar{y}_n$	$y_3 - \bar{y}_n$	$(y_1 - \bar{y}_n)^2$	$(y_2 - \bar{y}_n)^2$	$(y_3 - \bar{y}_n)^2$	$s_n^2$	$\hat{y}$	$(\hat{y} - \bar{y}_n)^2$
14	15	16	17	18	19	20	21	22
0,0013	0,0033	0,00002178	0,00000178	0,00001111	1,73333E-05	0,0013	0,845	0,0000006
0,0043	0,0023	0,00004444	0,00001878	0,00000544	3,43333E-05	0,0043	0,891	0,0000037
0,0023	0,0013	0,00001344	0,00000544	0,00000178	1,03333E-05	0,0023	0,875	0,0000006
-0,0040	0,0030	0,00000100	0,00001600	0,00000900	0,000013	-0,0040	0,920	0,0000037
-0,0030	-0,0010	0,00001600	0,00000900	0,00000100	0,000013	-0,0030	0,816	0,0000258
-0,0053	0,0027	0,00000711	0,00002844	0,00000711	2,13333E-05	-0,0053	0,887	0,0000058
0,0047	-0,0063	0,00000278	0,00002178	0,00004011	3,23333E-05	0,0047	0,845	0,0000258
-0,0007	0,0033	0,00000711	0,00000044	0,00001111	9,33333E-06	-0,0007	0,916	0,0000058
						0,000151		0,0000718

Проверка значимости коэффициентов регрессии осуществляется по критерию Стьюдента:

$$S(b_i) = \frac{S_y}{\sqrt{N \cdot r}} = \frac{0.0043}{\sqrt{8 \cdot 3}} = 0.00087. \quad (4.60)$$

где  $N$  – число опытов,  $r$  – повторность опыта.

Половина доверительного интервала равна:

$$\Delta b_i = t_{кр} \cdot S(b_i) = 2,12 \cdot 0,00043 = 0,00188. \quad (4.61)$$

Критическое значение Стьюдент  $t_{кр}$  выбиралось для числа степеней свободы  $N(r - 1) = 8(3 - 1) = 16$  и при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ,  $t_{кр} = 2,12$  [99, с.195, табл. П2].

Из анализа значимости коэффициентов регрессии следует, что совместное влияние факторов  $x_1 x_2, x_2 x_3$  и  $x_1 x_2 x_3$  статистически незначимо.

По полученным данным была построена линейная математическая модель:

$$\hat{y} = 0.874 + 0,0290x_1 - 0,0148x_2 - 0,0083x_3 + 0,0064x_1x_2. \quad (4.62)$$

Проверка адекватности данной математической модели проводилась по критерию Фишера [101, с.308, табл. 7.6].

Дисперсия адекватности составляла:

$$S_{ад}^2 = \frac{m \sum (\bar{y} - \hat{y})^2}{N - (k+1)} = \frac{3 \cdot 7,18 \cdot 10^{-5}}{8-5} = 7,18 \cdot 10^{-5}. \quad (4.63)$$

$$F_{расч} = \frac{S_{ад}^2}{S_{н}^2} = \frac{7,18 \cdot 10^{-5}}{1,89 \cdot 10^{-5}} = 3,8. \quad (4.64)$$

Табличное значение критерия Фишера для числа степеней свободы  $f_1 = N - d = 8 - 5 = 3$ ,  $f_2 = N(k - 1) = 8(3 - 1) = 16$  и значимости  $\alpha = 0,05$ :  $F_{\text{табл}}(0,05; 3; 16) = 3,2$ .

$$F_{\text{расч}} = 3,8 < F_{\text{табл}}(0,05; 4; 16) = 3,2. \quad (4.65)$$

Таким образом, проверка однородности дисперсий опровергла предположение о возможности линейной аппроксимации зависимости коэффициента расхода от перечисленных ранее факторов.

На основании этого был сделан вывод о необходимости описания поверхности отклика, соответствующей оптимальной области независимых факторов, многочленом второй степени вида [99, с. 20]:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{j>i \geq 1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (4.66)$$

где  $i = 1, 2, 3 \dots k$ ;  $b_i$  - коэффициент уравнения регрессии.

Для этого матрица планирования эксперимента  $2^3$  достраивалась композиционного ортогонального плана второго порядка.

Кроме перечисленных опытов в табл. 4.7, также проводились опыты в нулевой и звездных точка.

Выбор величины звездного плеча сделан исходя их априорных данных о границах оптимальной области и в соответствии с табл. 52 [100, табл. 52].

Табл. 4.6 уровней и интервалов варьирования факторов достраивалась до вида табл.4.8.

Таблица 4.8 – Варьируемые факторы и их уровни

Уровень варьируемого фактора	Кодовое обозначение	$a/H$	$b/B$	$\beta$ , рад
		$x_1$	$x_2$	$x_3$
Уровень основной	0	0,138	0,8	2,355



Интервал варьирования		$\Delta x_i$	0,038	0,08	0,22
Уровень нижний		-1	0,100	0,72	2,135
Уровень верхний		+1	0,176	0,88	2,575
Звездная точка	1	-1,215	0,061	0,7	2,09
	2	+1,215	0,214	0,9	2,62

Матрица планирования эксперимента с опытами в центре и звездных точках приведена в табл. 4.9.

Значения коэффициентов уравнения регрессии второго порядка по формуле [99, с.21]:

$$b_i = \left( \sum_{n=1}^n x_{in} y_n \right) / \sum_{n=1}^n x_{in}^2 \quad (4.67)$$

где  $i$  – номер столбца в матрице планирования;  $x_{in}$  – элемент  $i$ -го столбца.

$$\begin{aligned} b_0 &= 0,8614 & b_1 &= 0,0273 & b_2 &= -0,0142 & b_3 &= -0,0072 \\ b_{12} &= -0,0022 & b_{13} &= 0,0064 & b_{23} &= 0,0013 \\ b_{11} &= -0,0044 & b_{22} &= 0,0049 & b_{33} &= 0,0143 \end{aligned}$$

Проверка однородности дисперсии при помощи критерия Кохрена позволила провести регрессионный анализ. Расчетное значение данного критерия равно:

$$G_{расч} = \frac{S_{nmax}^2}{\sum_1^N S_n^2} = \frac{3,43 \cdot 10^{-5}}{2,66 \cdot 10^{-4}} = 0,129. \quad (4.68)$$

Табличное значение критерия Кохрена [99, с.194, табл. П 1] составило для числа степеней свободы  $f_1 = n - 1 = 3 - 1 = 2$  и  $f_2 = N = 15$ :

$$G_{табл}(2; 15) = 0,3346 \quad (4.69)$$

Таким образом, имеем

$$G_{расч} = 0.129 < G_{табл} = 0,3346. \quad (4.70)$$

Следовательно, гипотеза об однородности дисперсии подтверждается, поскольку табличное значение критерия больше расчетного.

Таблица 4.9 - Матрица композиционного ортогонального планирования второго порядка для  $k=3$  с откликами и столбцами статистической обработки

№ п/п	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1^2-11/15$	$x_2^2-11/15$	$x_3^2-11/15$	$y_{1n}$	$y_{2n}$	$y_{3n}$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
<i>1</i>	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,267	0,267	0,267	0,840	0,846	0,848
<i>2</i>	1	1	1	-1	1	-1	-1	0,267	0,267	0,267	0,882	0,893	0,891
<i>3</i>	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,267	0,267	0,267	0,872	0,878	0,877
<i>4</i>	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,267	0,267	0,267	0,923	0,918	0,925
<i>5</i>	1	-1	1	1	-1	-1	1	0,267	0,267	0,267	0,825	0,818	0,820
<i>6</i>	1	1	1	1	1	1	1	0,267	0,267	0,267	0,887	0,879	0,887
<i>7</i>	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,267	0,267	0,267	0,842	0,845	0,834
<i>8</i>	1	1	-1	1	-1	1	-1	0,267	0,267	0,267	0,916	0,918	0,922
<i>9</i>	1	-1,215	0	0	0	0	0	0,743	-0,733	-0,733	0,801	0,808	0,808
<i>10</i>	1	1,215	0	0	0	0	0	0,743	-0,733	-0,733	0,857	0,859	0,867
<i>11</i>	1	0	1,215	0	0	0	0	-0,733	0,743	-0,733	0,831	0,829	0,835
<i>12</i>	1	0	-1,215	0	0	0	0	-0,733	0,743	-0,733	0,868	0,859	0,860
<i>13</i>	1	0	0	-1,215	0	0	0	-0,733	-0,733	0,743	0,866	0,863	0,869
<i>14</i>	1	0	0	1,215	0	0	0	-0,733	-0,733	0,743	0,852	0,858	0,858
<i>15</i>	1	0	0	0	0	0	0	-0,733	-0,733	-0,733	0,840	0,846	0,840
	0,8614	0,0273	-0,0142	-0,0072	-0,0022	0,0064	0,0013	-0,0044	0,0049	0,0143			

$\bar{y}$	$y_{1n}-\bar{y}$	$y_{2n}-\bar{y}$	$y_{3n}-\bar{y}$	$(y_{1n}-\bar{y})^2$	$(y_{2n}-\bar{y})^2$	$(y_{3n}-\bar{y})^2$	$S_n^2$	$\hat{y}$	$(\hat{y}-\bar{y}_n)^2$
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0,845	-0,004667	0,001333	0,003333	0,000022	1,78E-06	1,11E-05	1,73E-05	0,840	2,51E-05
0,889	-0,006667	0,004333	0,002333	0,000044	1,88E-05	5,44E-06	3,43E-05	0,877	1,34E-04
0,876	-0,003667	0,002333	0,001333	0,000013	5,44E-06	1,78E-06	1,03E-05	0,864	1,44E-04
0,922	0,001000	-0,004000	0,003000	0,000001	0,000016	9,00E-06	1,30E-05	0,910	1,50E-04
0,821	0,004000	-0,003000	-0,001000	0,000016	9E-06	1,00E-06	1,30E-05	0,812	7,40E-05
0,884	0,002667	-0,005333	0,002667	0,000007	2,84E-05	7,11E-06	2,13E-05	0,876	7,79E-05
0,840	0,001667	0,004667	-0,006333	0,000003	2,18E-05	4,01E-05	3,23E-05	0,836	1,55E-05
0,919	-0,002667	-0,000667	0,003333	0,000007	4,44E-07	1,11E-05	9,33E-06	0,908	1,10E-04
0,806	-0,004817	0,002633	0,002183	0,000023	6,93E-06	4,77E-06	1,75E-05	0,811	2,51E-05
0,861	-0,004000	-0,002000	0,006000	0,000016	4E-06	3,60E-05	2,80E-05	0,877	2,62E-04
0,832	-0,000633	-0,002533	0,003167	0,000000	6,42E-06	1,00E-05	8,42E-06	0,841	7,49E-05
0,862	0,005867	-0,003433	-0,002433	0,000034	1,18E-05	5,92E-06	2,61E-05	0,875	1,57E-04
0,866	0,000317	-0,003483	0,003167	0,000000	1,21E-05	1,00E-05	1,11E-05	0,880	2,04E-04
0,856	-0,003950	0,002050	0,001900	0,000016	4,2E-06	3,61E-06	1,17E-05	0,863	4,74E-05
0,842	-0,002000	0,004000	-0,002000	0,000004	0,000016	4,00E-06	1,20E-05	0,850	7,18E-05
						1,77E-05	2,66E-04		1,57E-03

Далее проводился анализ значимости коэффициентов уравнения регрессии. Дисперсия воспроизводимости:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_1^N S_n^2 = \frac{2,66 \cdot 10^{-4}}{15} = 1,77 \cdot 10^{-5}. \quad (4.71)$$

Ошибка эксперимента:

$$S_y = \sqrt{S_y^2} = 0.0042. \quad (4.72)$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии осуществляется по критерию Стьюдента:

$$S(b_i) = \frac{S_y}{\sqrt{N \cdot r}} = \frac{0.0042}{\sqrt{15 \cdot 3}} = 0.00063. \quad (4.73)$$

где  $N$  – число опытов,  $r$  – повторность опыта.

Половина доверительного интервала равна:

$$\Delta b_i = t_{кр} \cdot S(b_i) = 2,04 \cdot 0,00063 = 0,0013. \quad (4.74)$$

Критическое значение Стьюдента  $t_{кр}$  выбиралось для числа степеней свободы  $N(r - 1) = 15(3 - 1) = 30$  и при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ,  $t_{кр} = 2,04$ .

Из анализа значимости коэффициентов регрессии следует, что совместное влияние факторов  $x_2 x_3$  незначимо.

Таким образом, математическая модель, отражающая влияние относительного открытия затвора  $a/H$ , относительного сжатия потока за затвором  $b/B$  и угла наклона конического козырька к потоку  $\beta$  на выбранный отклик будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
\hat{y} &= b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}(x_1^2 - 11/15) \\
&\quad + b_{22}(x_2^2 - 11/15) + b_{33}(x_3^2 - 11/15) = \\
&= 0,8614 + 0,0273x_1 - 0,0142x_2 - 0,0072x_3 - 0,0022x_1x_2 \\
&\quad - 0,0064x_1x_3 - 0,0044(x_1^2 - 11/15) + 0,0049(x_2^2 - 11/15) \\
&\quad + 0,0143(x_3^2 - 11/15) \tag{4.75}
\end{aligned}$$

После преобразования, получили уравнение:

$$\begin{aligned}
\hat{y} &= 0,853 + 0,0273x_1 - 0,0142x_2 - 0,0072x_3 - 0,0022x_1x_2 - 0,0064x_1x_3 \\
&\quad - 0,0044x_1^2 + 0,0049x_2^2 + 0,0143x_3^2 \tag{4.76}
\end{aligned}$$

Проверка адекватности данной математической модели проводилась по критерию Фишера [101, с.308, табл. 7.6].

Дисперсия адекватности составляла:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum(\bar{y} - \hat{y})^2}{N - (k+1)} = \frac{0,00157}{15-9} = 2,62 \cdot 10^{-4}. \tag{4.77}$$

$$F_{расч} = \frac{S_{ад}^2}{S_{н}^2} = \frac{2,62 \cdot 10^{-4}}{0,00059} = 0,44. \tag{4.78}$$

Табличное значение критерия Фишера для числа степеней свободы  $f_1 = N - d = 15 - 7 = 8$ ,  $f_2 = N(k - 1) = 15(3 - 1) = 30$  и значимости  $\alpha = 0,05$ :  $F_{табл}(0,05; 8; 30) = 2,4$ .

$$F_{расч} = 0,44 < F_{табл}(0,05; 8; 30) = 2,4. \tag{4.79}$$

Что соответствует гипотезе адекватности.

Полученная регрессионная модель второго порядка (4.70) представлена в кодированном виде, что затрудняет ее использование на практике.

Декодирование данной математической модели проводилось по методике Разоренова Г.И. [98] и позволило выразить зависимость расхода от ряда факторов в привычной для нас форме:

$$\mu' = 2,715 + 3,941\frac{a}{H} - 1,303\frac{b}{B} - 1,319\beta - 0,724\frac{a}{H}\frac{b}{B} - 0,766\frac{a}{H}\beta - 3,047\left(\frac{a}{H}\right)^2 + 0,766\left(\frac{b}{B}\right)^2 + 0,294\beta^2. \quad (4.80)$$

где

$$x_1 = \frac{a/H - 0,138}{0,038}; \quad x_2 = \frac{b/B - 0,8}{0,08}; \quad x_3 = \frac{\beta - 2,355}{0,22}. \quad (4.81-4.83)$$

Таким образом, величина коэффициента расхода стабилизатора СРВКК может быть определена по формуле (4.80) в зависимости от относительного открытия затвора, относительного сжатия потока за затвором и угла наклона поверхности истечения к потоку, что видно из графика на рис. 4.9.

Дальнейшее упрощение выражения (4.80) являлось нецелесообразным ввиду умаления роли одного из факторов, что приводило к искажению величины коэффициента расхода.

При решении практических задач допустимо использовать осредненное значение коэффициента расхода СРВКК  $\mu = 0,82 \dots 0,86$ , что находится в пределах допустимой точности  $\pm 5\%$  от среднего значения коэффициента расхода  $\mu = 0,84$  и отражено в методике инженерного расчета СРВКК (раздел 4.5).

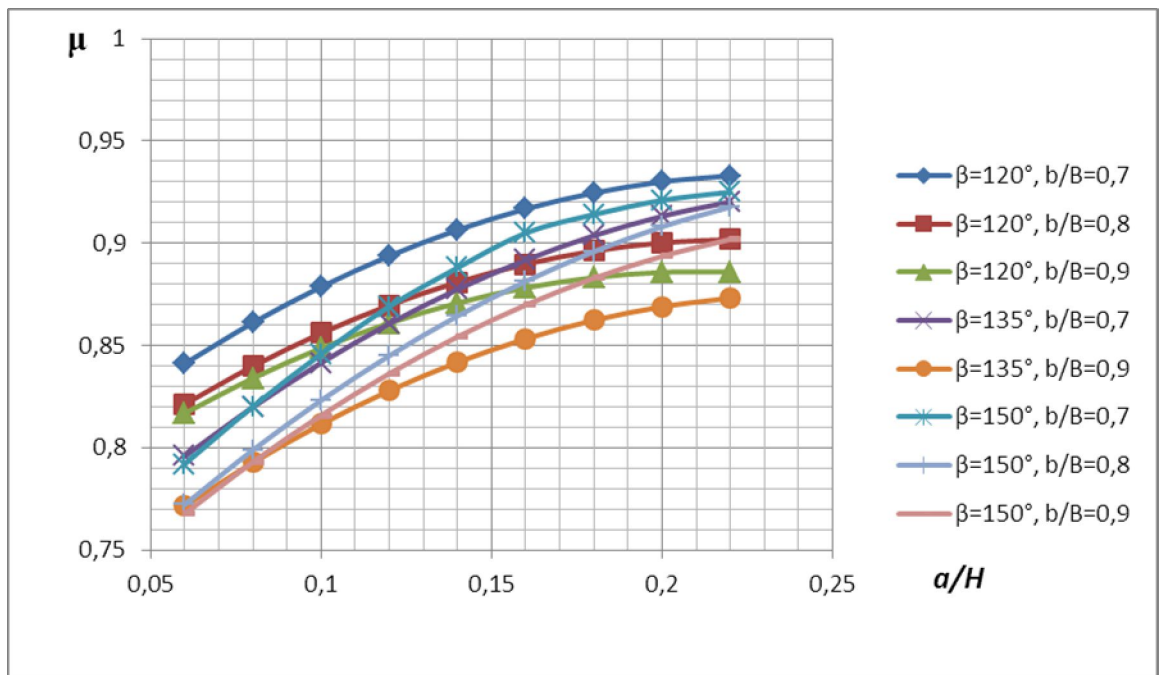


Рис.4.9. Графики зависимости  $\mu' = f(a/H, b/B)$ .

По результатам проведенных исследований были сделаны **выводы** о влиянии выбранных факторов на пропускную способность стабилизатора СРВКК:

1. С увеличением относительного открытия стабилизатора  $a/H$  коэффициент расхода увеличивается.

2. С увеличением угла наклона образующей конического козырька к потоку ( $\beta$ ) и относительного сжатия потока ( $b/B$ ) коэффициент расхода уменьшается.

3. Парное взаимовлияние факторов уменьшает коэффициент расхода.

4. Уравнение (4.74) можно использовать для расчета коэффициента расхода воды при истечении из-под стабилизатора (СРВКК). Однако в практических целях проще пользоваться осредненными значениями приведенного коэффициента расхода  $\mu' = 0,82 \dots 0,86$ , которые вошли в методику расчета стабилизатора расхода с коническим козырьком.



#### 4.4.3 Модельные исследования стабилизирующей способности СРВКК

Лабораторные гидравлические исследования модели СРВКК с рекомендуемыми по результатам оптимизации параметрами предполагали проверку стабилизирующей способности конструкции.

На данном этапе исследований необходимо было установить, изменяется ли отводимый расход воды при неизменном открытии стабилизатора и колебаниях уровней в ГЛЛ перед стабилизатором в пределах  $H_{min} \leq H \leq H_{max}$  (рис.4.10).



а)



б)

Рис. 4.10. Проведение гидравлических исследований модели СРВКК: а) увеличение напора в верхнем бьефе сооружения; б) стабилизация расхода воды при истечении через СРВКК.

Результаты замеров отводимых расходов воды при различных открытиях СРВКК приведены в табл.4.10.

По результатам табл.4.10 были построены графики зависимости  $Q = f(H)$  (рис. 4.11).

Таблица 4.10– Результаты замеров гидравлических параметров на модели СРВКК

Открытие стабилизатора $a$ , м	Относительное открытие стабилизатора $a/a_{max}$	Гидравлические параметры				
		Напор в верхнем бьефе сооружения $H$ , м	Относительный напор в верхнем бьефе сооружения $H/H_p$	Напор на мерном водосливе $h$ , м	Отводимый расход воды $Q$ , м <sup>3</sup> /с	Относительный расход отвода $Q/Q_{max}$
0,005	0,1667	0,08	0,8421	0,0566	0,0011	0,1
0,005	0,1667	0,085	0,8947	0,0605	0,0013	0,1182
Продолжение табл. 4.10						
0,005	0,1667	0,092	0,9684	0,0607	0,00131	0,1191
0,005	0,1667	0,124	1,3053	0,0602	0,00128	0,1164
0,005	0,1667	0,14	1,4737	0,0605	0,0013	0,1182
0,005	0,1667	0,15	1,5789	0,0609	0,00132	0,12
0,005	0,1667	0,155	1,6316	0,0602	0,00128	0,1164
0,005	0,1667	0,164	1,7263	0,0605	0,0013	0,1182
0,005	0,1667	0,176	1,8526	0,0609	0,00132	0,12
0,005	0,1667	0,185	1,9474	0,0613	0,00134	0,1219
0,005	0,1667	0,195	2,0526	0,0611	0,00133	0,1209
0,005	0,1667	0,205	2,1579	0,0613	0,00134	0,1218
0,005	0,1667	0,224	2,35780	0,0615	0,00135	0,1227
0,005	0,1667	0,23	2,421	0,0624	0,0014	0,1273
0,005	0,1667	0,24	2,52632	0,0636	0,00147	0,1336
0,01	0,3333	0,085	0,8947	0,0882	0,0033	0,3
0,01	0,3333	0,09	0,9473	0,0898	0,00345	0,3136
0,01	0,3333	0,104	1,0947	0,0913	0,0036	0,3273
0,01	0,3333	0,124	1,3053	0,0898	0,00345	0,3136
0,01	0,3333	0,14	1,4737	0,0908	0,00355	0,3227
0,01	0,3333	0,164	1,7263	0,0893	0,0034	0,3091
0,01	0,3333	0,176	1,8526	0,0895	0,00342	0,3109
0,01	0,3333	0,185	1,9474	0,0897	0,00344	0,3127
0,01	0,3333	0,195	2,0526	0,0903	0,0035	0,3182
0,01	0,3333	0,205	2,1579	0,0898	0,00345	0,3136
0,01	0,3333	0,225	2,3684	0,0903	0,0035	0,3182
0,01	0,3333	0,235	2,4736	0,0909	0,00356	0,3236
0,01	0,3333	0,245	2,5789	0,0913	0,0036	0,32727
0,015	0,5	0,08	0,8421	0,1076	0,0054	0,4909
0,015	0,5	0,087	0,9157	0,1084	0,0055	0,5

0,015	0,5	0,095	1,0	0,1087	0,00554	0,5036
0,015	0,5	0,11	1,1579	0,11	0,0057	0,5182
0,015	0,5	0,135	1,4211	0,1096	0,00565	0,5136
0,015	0,5	0,156	1,6421	0,11	0,0057	0,5182
0,015	0,5	0,161	1,69474	0,1103	0,00574	0,5218
0,015	0,5	0,17	1,78947	0,1098	0,00567	0,5155
0,015	0,5	0,18	1,8947	0,11	0,0057	0,5182
0,015	0,5	0,19	2,0	0,1104	0,00575	0,5227
0,015	0,5	0,201	2,1158	0,1106	0,00577	0,5246
0,015	0,5	0,21	2,2105	0,11	0,0057	0,5182
0,015	0,5	0,227	2,3895	0,1102	0,00573	0,5209
0,015	0,5	0,24	2,5263	0,1104	0,00576	0,5236
0,015	0,5	0,245	2,5789	0,1108	0,0058	0,5273
0,02	0,6667	0,085	0,8947	0,1174	0,0067	0,6091
Продолжение табл. 4.10						
0,02	0,6667	0,09	0,9473	0,1185	0,00685	0,6227
0,02	0,6667	0,1	1,0526	0,1189	0,0069	0,6273
0,02	0,6667	0,115	1,2105	0,1191	0,00695	0,6318
0,02	0,6667	0,122	1,2842	0,1185	0,00685	0,6227
0,02	0,6667	0,124	1,3053	0,1188	0,0069	0,6273
0,02	0,6667	0,14	1,4737	0,1189	0,00692	0,6291
0,02	0,6667	0,16	1,6842	0,119	0,00693	0,63
0,02	0,6667	0,175	1,8421	0,1188	0,0069	0,6273
0,02	0,6667	0,184	1,9368	0,1189	0,00692	0,6291
0,02	0,6667	0,194	2,0421	0,1191	0,00695	0,6318
0,02	0,6667	0,205	2,1579	0,1198	0,00705	0,6409
0,02	0,6667	0,215	2,2631	0,1195	0,007	0,6364
0,02	0,6667	0,23	2,42105	0,1202	0,0071	0,6455
0,02	0,6667	0,24	2,5263	0,1209	0,0072	0,6546
0,02	0,6667	0,247	2,6	0,1215	0,0073	0,6636
0,025	0,8333	0,09	0,94737	0,1261	0,008	0,7273
0,025	0,8333	0,095	1,0	0,1264	0,00805	0,7318
0,025	0,8333	0,117	1,2316	0,1268	0,0081	0,7364
0,025	0,8333	0,124	1,3053	0,1274	0,0082	0,7455
0,025	0,8333	0,14	1,4737	0,1268	0,0081	0,7364
0,025	0,8333	0,15	1,5789	0,1269	0,00813	0,7391
0,025	0,8333	0,155	1,6316	0,1271	0,00815	0,7409
0,025	0,8333	0,164	1,7263	0,1274	0,0082	0,7455
0,025	0,8333	0,176	1,8526	0,1271	0,00815	0,7409
0,025	0,8333	0,185	1,9474	0,1274	0,0082	0,7455
0,025	0,8333	0,195	2,0526	0,128	0,0083	0,7546
0,025	0,8333	0,205	2,1579	0,1283	0,00835	0,7591
0,025	0,8333	0,22	2,3158	0,128	0,0083	0,7546

0,025	0,8333	0,24	2,5263	0,1283	0,00835	0,7591
0,025	0,8333	0,25	2,6316	0,1286	0,0084	0,7636
0,03	1,0	0,1	1,0526	0,1352	0,0095	0,8636
0,03	1,0	0,12	1,2631	0,1356	0,00957	0,87
0,03	1,0	0,13	1,3684	0,1358	0,0096	0,8727
0,03	1,0	0,135	1,4211	0,1352	0,0095	0,8636
0,03	1,0	0,145	1,5263	0,1358	0,0096	0,8727
0,03	1,0	0,155	1,6316	0,1363	0,0097	0,8818
0,03	1,0	0,16	1,6842	0,1369	0,0098	0,8909
0,03	1,0	0,17	1,7895	0,1372	0,00985	0,8955
0,03	1,0	0,18	1,8947	0,1369	0,0098	0,8909
0,03	1,0	0,19	2,0	0,1369	0,0098	0,8909
0,03	1,0	0,2	2,1053	0,137	0,00983	0,8936
0,03	1,0	0,21	2,2105	0,1375	0,0099	0,9
Продолжение табл. 4.10						
0,03	1,0	0,221	2,3263	0,1377	0,00995	0,9046
0,03	1,0	0,23	2,4211	0,1377	0,00995	0,9046
0,03	1,0	0,24	2,5263	0,138	0,01	0,90909
0,03	1,0	0,245	2,5789	0,1434	0,011	1,0

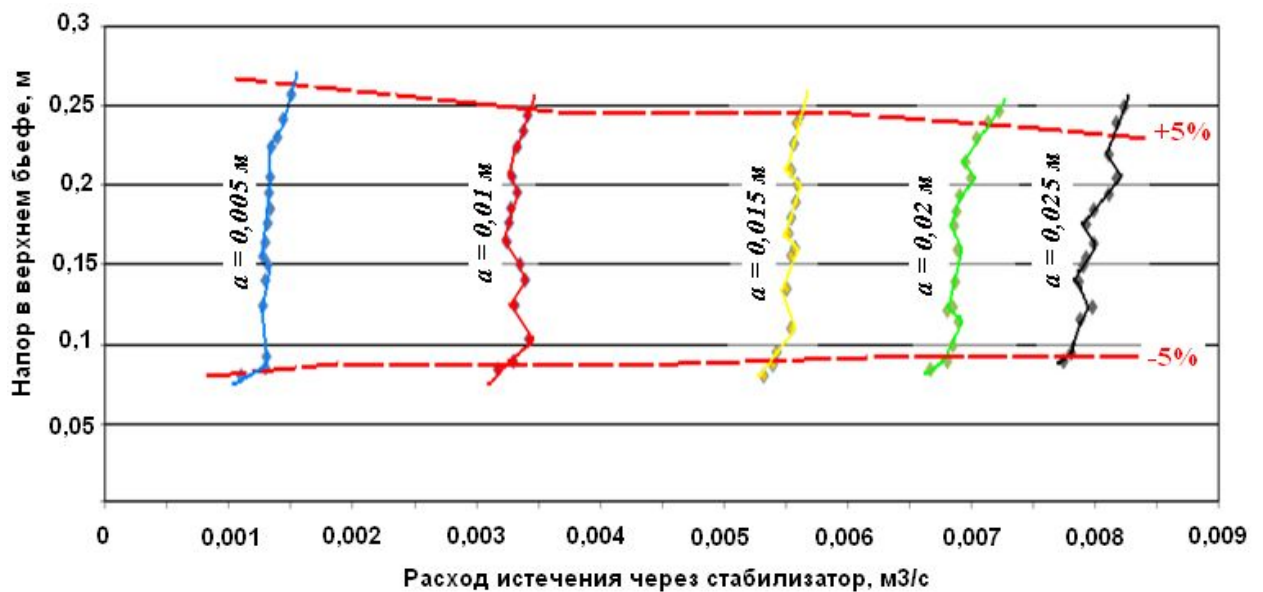


Рис. 4.11. Графические зависимости  $Q = f(H)$ .

Графические зависимости расхода истечения от напора и открытия стабилизатора  $Q/Q_{\max} = f(H/H_p; a/a_{\max})$  в относительных величинах представлены на рис. 4.12.

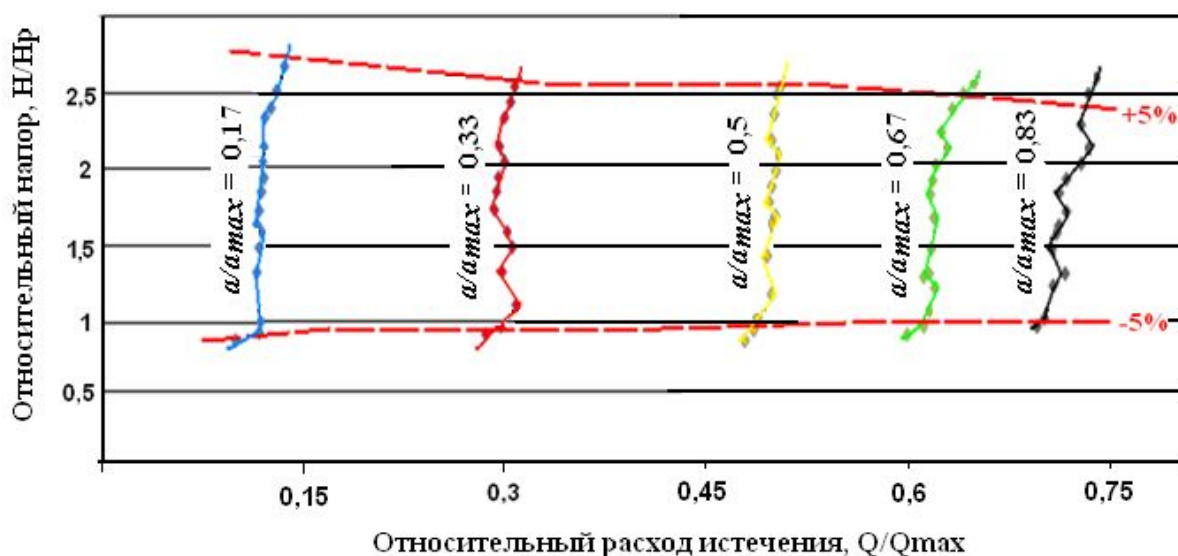


Рис. 4.12. Графические зависимости  $Q/Q_{\max} = f(H/H_p; a/a_{\max})$ .

Построенные зависимости подтверждают стабилизирующую способность СРВКК. Причем, изменение величины отводимого расхода воды в пределах  $\pm 5\%$  имеет место при соотношении напоров воды перед стабилизатором  $H_{\max}/H_{\min}=2,64$ , что лучше, чем у наиболее оправданной конструкции ССКЩ [102, 103].

В результате проведенных модельных исследований можно сделать **вывод** о целесообразности использования стабилизатора расхода воды с коническим козырьком для стабилизации водоподачи из распределительных каналах оросительных систем.

#### 4.5 Оценка показателей надежности усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения

Одной из целей создания усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения была повышение надежности существующих конструкций. Прототипом новой конструкции средства автоматизации водовыпускного сооружения стал стабилизатор расхода воды типа ССКЩ [78], с которым необходимо сравнить показатели надежности новой конструкции СРВКК.

Отказом стабилизатора можно считать отсутствие стабилизации расхода воды в водовыпуске при изменении уровня воды в верхнем бьефе.

Критерием отказа в этом случае будет уменьшение пропускной способности конструкции стабилизатора.

На основе дерева отказов ССКЩ (рис.2.12) было разработано дерево отказов стабилизатора расхода воды типа СРВКК (рис.4.13) с учетом конструктивных изменений. Условные обозначения, используемые при построении дерева отказов, приведены в табл.2.1 и 2.2.

В новой конструкции верхняя часть секций имеет наклон в  $7^\circ$  для предотвращения забивки секций, т.е. для уменьшения интенсивности отказов секций.

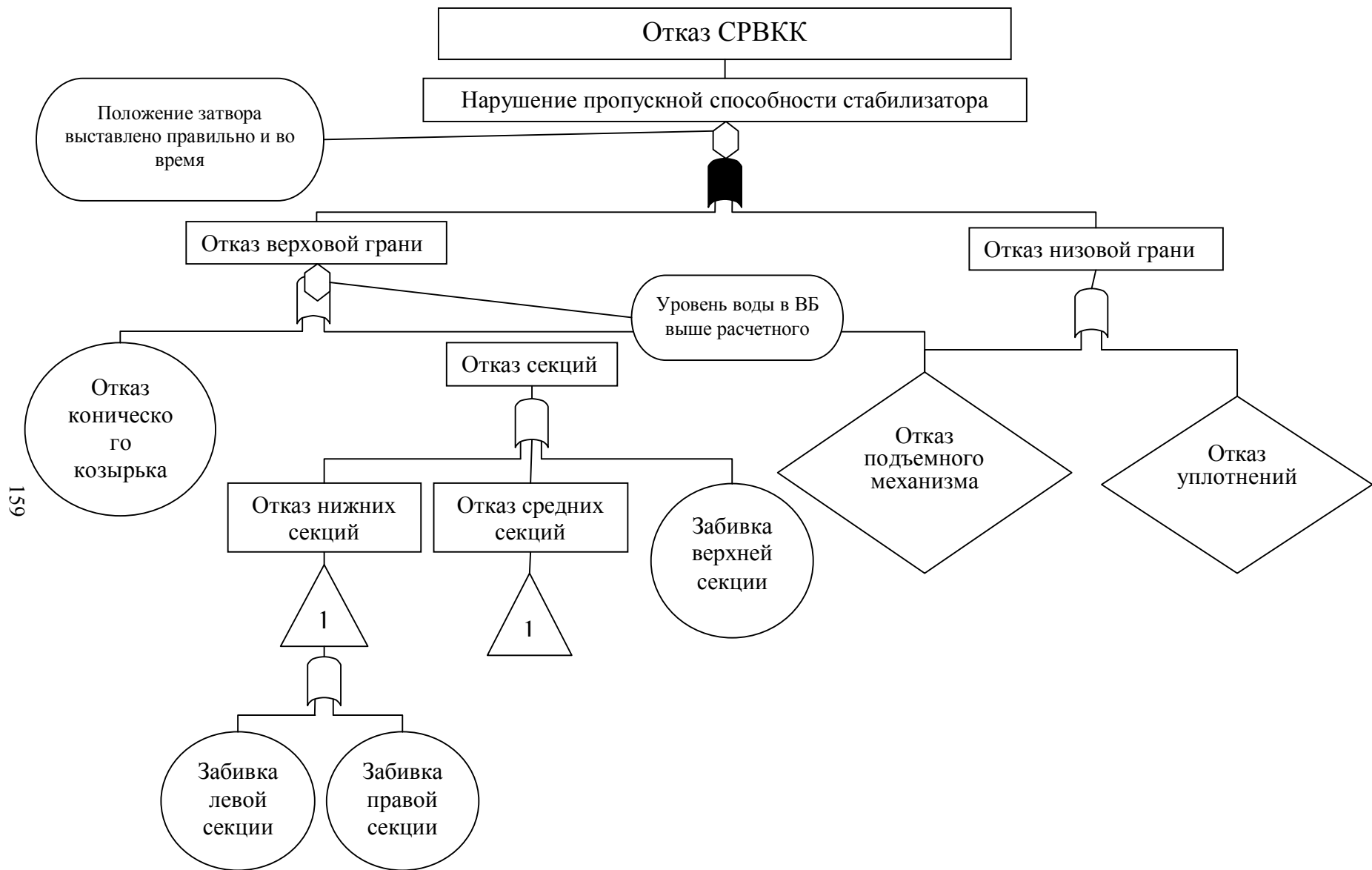


Рис. 4.13. Дерево отказов стабилизатора расхода воды типа СРВКК.

Принципиальным конструктивным изменением в конструкции является замена криволинейного козырька на конический козырек. Это дает несколько положительных эффектов: во-первых, за счет меньшей металлоемкости уменьшается не только стоимость конструкции, но и облегчение конструкции предотвращает заклинивание затвора; во-вторых, повышается диапазон регулирования в 1,4 раза.

На этапе проектирования были проведены сравнительные лабораторные исследования надежности стабилизаторов расхода воды СРВКК и ССКЩ, который в дальнейшем будут уточняться эксплуатационными данными. Полученные показатели приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11 – Показатели надежности стабилизаторов расхода воды ССКЩ и СРВКК

Стабилизатор расхода воды	Интенсивность отказов, $\lambda$ , ч <sup>-1</sup>	Вероятность безотказной работы, $P$	Вероятность возникновения отказа, $Q$	Коэффициент готовности, $k_2$	Коэффициент оперативной готовности, $k_{o.g.}$
ССКЩ	$4,13 \cdot 10^3$	0,63	0,37	0,87	0,701
СРВКК	$3,57 \cdot 10^3$	0,67	0,33	0,89	0,72

Для уточнения количественных значений необходимо проведение натуральных исследований. На этапе проектирования были заданы некоторые значениями, которые показали, в какой степени может повыситься надежность усовершенствованной конструкции СРВКК.

В результате внесенных конструктивных изменений предполагается, что уменьшится интенсивность возникновения отказов секций и верховой грани в целом. Из табл.4.12 видно, как изменяются показатели надежности при увеличении времени безотказной работы водовыпуска. На графике (рис.4.14) показано как изменяется вероятность возникновения отказа при увеличении времени безотказной работы.



Графическая зависимость вероятности безотказной работы усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения от относительного времени его эксплуатации представлена на рис. 4.15.

Таблица 4.12 – Изменение показателей надежности в зависимости от времени безотказной работы

Время безотказной работы T, ч.	Интенсивность отказов, $\lambda$ , ч <sup>-1</sup>	Вероятность безотказной работы, P	Вероятность возникновения отказа, Q
242	0,004132	0,633	0,367
243	0,004115	0,634	0,366
244	0,004098	0,635	0,365
245	0,004082	0,636	0,364
250	0,004	0,64	0,36
255	0,003922	0,642	0,358
260	0,003846	0,65	0,35
270	0,003704	0,658	0,342
280	0,003571	0,666	0,334
290	0,003448	0,674	0,326
300	0,003333	0,681	0,319
400	0,0025	0,74	0,26
484	0,002066	0,773	0,227
500	0,002	0,778	0,222

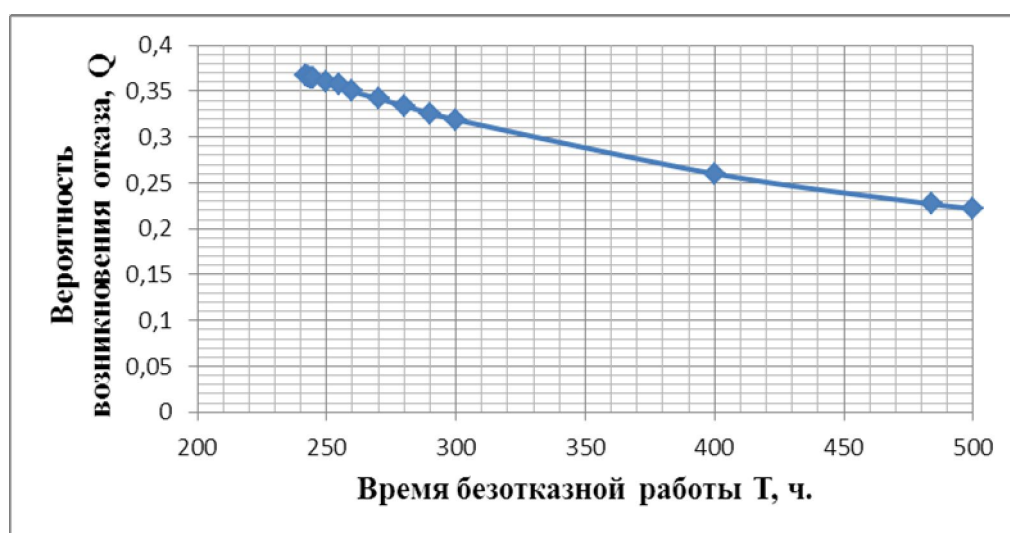


Рис. 4.14. График зависимости  $Q=f(T)$ .

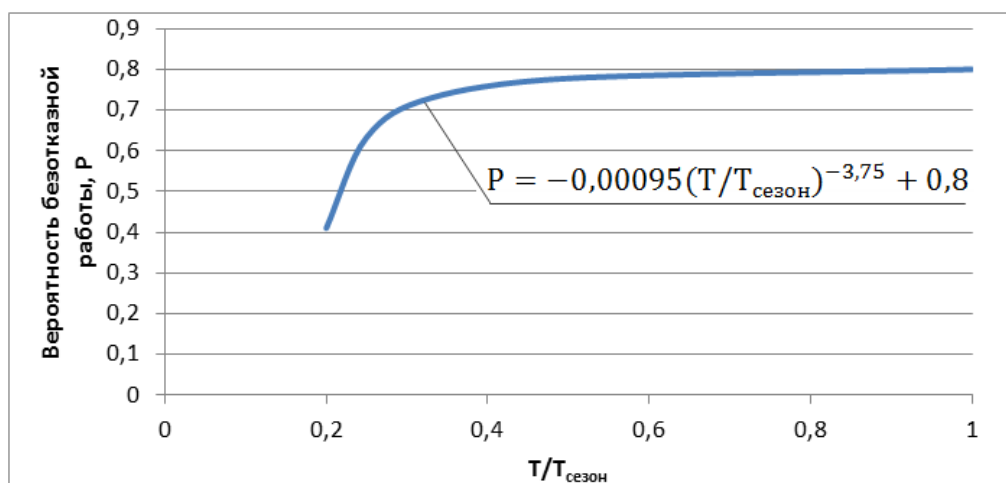


Рис.4.15. График зависимости  $P=f(T/T_{\text{сезон}})$ .

В случае применения СРВКК вместо стабилизатора типа ССКЩ на канале «Джаламыш», сравнительный расчет показал, что при увеличении времени безотказной работы на 1% вероятность безотказной работы водовыпуска увеличивается на 0,3%; на 10% – увеличивается на 3,35%; при 50% – на 12,2% и т.д. Таким образом, проведенная оценка показателей надежности усовершенствованной конструкции водовыпускного сооружения, автоматизированного СРВКК, позволила сделать следующие **выводы**:

1. Даже на этапе проектирования, благодаря построенному дереву отказов водовыпуска и лабораторным исследованиям, можно утверждать, что внесенные конструктивные изменения в конструкции стабилизатора расхода воды СРВКК оправданы с точки зрения повышения надежности.
2. Для уточнения количественных значений показателей надежности необходимы натурные исследования усовершенствованной конструкции СРВКК.

#### **4.6 Методика расчета усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем**

Гидравлический расчет автоматизированного водовыпускного сооружения, включающего стабилизатор расхода воды с коническим козырьком, состоит в следующем.

Исходными данными для гидравлического расчета являются: минимальный напор  $H_{\min} = H_p$  и максимальный напор  $H_{\max}$  на сооружении; максимальный отводимый расход  $Q$ , пропускаемый одним стабилизатором расхода воды.

Расчет сооружения проводится в следующей последовательности:

- 1) Определяется расчетный напор перед стабилизатором из условия:

$$H_{\min} = H_p, \quad (4.81)$$

где  $H_p$  – расчетный напор на сооружении;

- 2) рассчитывается величина максимального открытия по формуле:

$$a_{\max} = (0.37 \dots 0.46) H_p; \quad (4.82)$$

- 3) вычисляется ширина стабилизатора в свету:

$$b = \frac{Q}{\mu' a_{\max} \sqrt{2g(H_p - \varepsilon a_{\max})}}, \quad (4.83)$$

где  $\mu'$  – приведенный коэффициент расхода стабилизатора,  $\mu' = 0,82 \div 0,86$ ;  $\varepsilon$  – коэффициент вертикального сжатия потока,  $\varepsilon = 0,5 \dots 0,54$ ;

- 4) число секций стабилизатора:

$$n = \frac{1}{p} \left( \frac{1 - c''}{1 + c''} \right) \cdot 100, \quad (4.84)$$

где  $p$  – заданная точность стабилизации водоподачи,  $p = 3 \div 5\%$ ;

$c''$  – коэффициент, определяемый по формуле:

$$c'' = \varepsilon \sqrt{\frac{1.85 H_p - a_{\max} \varepsilon}{H_p - a_{\max}}}; \quad (4.85)$$

- 5) диапазон колебаний напоров перед стабилизатором:

$$\Delta H = H_{pв. max} - H_{pв. min} ; \quad (4.86)$$

6) высота ступени короба:

$$h_{cm} = \frac{\Delta H}{n} ; \quad (4.87)$$

7) угол  $\beta_1$  наклона к направлению потока внутреннего козырька:

$$\beta_1 = 150^\circ \div 165^\circ ; \quad (4.88)$$

8) угол  $\beta_2$  наклона к потоку конусообразного козырька вдоль оси стабилизатора:

$$\beta_2 = 135^\circ ; \quad (4.89)$$

9) радиус конусообразного козырька в плане по кромке истечения:

$$R = (0,65 \dots 0,7)b ; \quad (4.90)$$

10) длина внутреннего козырька:

$$L = (0,6 \dots 0,7) \cdot a_{max} ; \quad (4.91)$$

11) вертикальное расстояние от нижней кромки лицевой грани до излома:

$$h' = H_1 - a_{max} - (0,4 \dots 0,5) \cdot h_{cm} ; \quad (4.92)$$

12) толщина коробчатой секции затвора:

$$t = (0,5 \dots 0,6)a_{max} ; \quad (4.93)$$

13) угол наклона лицевой стенки к вертикальной плоскости определяется из условия:

$$\gamma = 6^\circ \dots 8^\circ . \quad (4.94)$$

14) положение нижней кромки наклонного козырька относительно нижней кромки конического козырька определяется по кривым, изображенным на рис. 4.4 для открытия затвора  $\alpha = \alpha_{max}$ .

Изменение установки СРВКК осуществляется вертикальным перемещением коробчатого затвора в пазах сооружения при помощи подъемного устройства, управляемого электроприводом или механически.

Предлагаемый стабилизатор расхода воды рекомендуется для распределительных каналов оросительных систем с величинами отводимых расходов воды не превышающими  $Q \leq 3,0 \text{ м}^3 / \text{с}$ .

## ГЛАВА 5

### ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ВОДОВЫПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

#### 5.1 Результаты проектирования и внедрения усовершенствованной конструкции автоматизированного водовыпускного сооружения на канале «Отводящий» в Ак-Талинском районе Нарынской области

Автоматизированное водораспределительное сооружение, оборудованное гидравлическим стабилизатором расхода воды с коническим козырьком (Патент КР № 1551. Стабилизатор расхода воды/О.В.Атаманова, В.В.Круглова (Матвиец), 2013 г.) [89], применено в проекте реконструкции водораспределительного узла на канале «Отводящий» (ПК 11+60) системы р. Ак-Сай Ак-Талинского района Нарынской области Кыргызстана. Копия акта внедрения водораспределительного сооружения, автоматизированного гидравлическим стабилизатором расхода воды СРВКК, на канале «Отводящий» прилагается (Приложение 1).

Целью данного проекта является улучшение водообеспеченности системы р. Ак-Сай за счет экономии поливной воды и увеличение площади орошаемых земель с 461 га до 500 га. Также предполагаются дополнительные доходы от выращиваемых на полях с/х культур: семенной люцерны, семенного эспарцета и многолетних трав.

Водораспределительный узел находится на р. Ак-Сай в Ак-Талинском районе Нарынской области (рис.5.1). Максимальный отводимый расход, пропускаемый стабилизатором  $Q = 0,5 \text{ м}^3 / \text{с}$ , а напор перед сооружением колеблется в пределах  $0,6 \div 1,1$  м. Уклон дна канала  $i = 0,0005$ .



Рис. 5.1. Схема размещения водовыпускного сооружения на канале «Отводящий» системы р. Ак-Сай Ак-Талинского района Нарынской области.

Исходя из разработанных технических требований, с учетом экономического эффекта и улучшения условий эксплуатации сооружения было решено установить на ПК 11+60 вместо плоского затвора стабилизатор расхода воды СРВКК. СРВКК предназначен для подачи требуемого постоянного во времени расхода воды  $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  в канал МК-1.

Расчет конструктивных параметров стабилизатора СРВКК, запроектированного на водовыпуске из канала «Отводящий» в канал МК-1, выполнен по методике, приведенной в разделе 4.5, и отражен в Приложении 2. Результаты гидравлического расчета СРВКК показаны в табл. 5.1.

Таблица 5.1—Конструктивные и гидравлические параметры СРВКК на ПК 11+60 канала «Отводящий»

Наименование параметра	Значение
<u>Исходные данные:</u>	
Глубина воды перед стабилизатором $h_{\min}$	0,6 м
$h_{\max}$	1,1 м
Расход отвода $Q_0$	$0,5 \text{ м}^3/\text{с}$
<u>Расчетом получено:</u>	
1. Минимальное наполнение перед стабилизатором $H_{\text{р.в.}\min}$	0,65 м
2. Максимально допустимое открытие стабилизатора $a_{\max}$	0,25 м
3. Ширина стабилизатора в свету $b$	0,7 м
4. Число секций стабилизатора $n$	3 шт.
5. Высота ступени секции короба $h_{\text{ст.}}$	0,15 м
6. Угол наклона к направлению потока внутреннего козырька $\beta_1$	$165^\circ$
7. Угол наклона к направлению потока конического козырька вдоль оси стабилизатора $\beta_2$	$135^\circ$
8. Длина внутреннего козырька	0,15 м
9. Радиус конусообразного козырька в плане по кромке истечения $R$	0.5 м



Продолжение табл.5.1	
10. Вертикальное расстояние от нижней кромки лицевой грани до излома $h'$	0,34 м
11. Толщина коробчатой секции затвора $t$	0.14 м
12. Угол наклона лицевой стенки к вертикальной плоскости определяется из условия $\gamma$	$7^{\circ}$

Проектным конструкторско-технологическим институтом «Водавтоматика и метрология» принята к использованию при проектировании методика расчета стабилизатора расхода воды новой конструкции.

## **5.2 Расчет экономической эффективности от внедрения усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения на канале «Отводящий» в Ак-Талинском районе Нарынской области**

Расчет экономической эффективности от внедрения в проект водораспределительного сооружения, автоматизированного гидравлическим СРВКК, выполнен по методу сравнительной экономической эффективности.

Для расчета годового экономического эффекта от внедрения новой техники, определяемого как экономия приведенных совокупных затрат, используется формула [104]:

$$\mathcal{E}_2 = [(E_n \cdot K_б + C_б) - (E_n \cdot K_n + C_n) + D] \cdot A, \quad (5.1)$$

где  $K_б$  и  $K_n$  – капитальные вложения для базовой и новой техники, сом;  
 $C_б$  и  $C_n$  – ежегодные эксплуатационные издержки для базовой и новой техники, сом в год;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ( $E_n = 0,15$ );  $D$  – дополнительный эффект от экономии

воды, сом в год;  $A$  – объем замены базовых элементов на новые в год ( $A=1$  шт.).

В качестве базового варианта сравнения принят плоский затвор ПС 60-60, установленный в производственных условиях на отводе в канал МК-1 из канала «Отводящий».

Суммарные капитальные вложения по сравниваемым вариантам приведены в Приложении 3.

Годовые издержки эксплуатации по вариантам включают в себя:

а) Отчисления на амортизацию составят 3,8 % от стоимости базовой конструкции:

$$U_{\text{а1}} = 430723,4 \cdot 0,038 = 16367 \text{ сом}; \quad (5.2)$$

составят 12,5% от стоимости новой техники:

$$U_{\text{а2}} = 432936,9 \cdot 0,125 = 54117 \text{ сом}. \quad (5.3)$$

б) Отчисления на текущий ремонт составят 5% от стоимости:  
для базовой конструкции

$$U_{\text{б3}} = 430723,4 \cdot 0,05 = 21536 \text{ сом}; \quad (5.4)$$

для новой конструкции

$$U_{\text{б4}} = 432936,9 \cdot 0,05 = 21646 \text{ сом}. \quad (5.5)$$

в) Зарплата эксплуатационного персонала.

Обслуживание существующего сооружения реконструируемой части системы осуществляют 2 инженера-гидротехника и 3 мираба, при среднемесечном окладе 6000 сом. Таким образом, годовые издержки на заработную плату составляют:

$$I_{\text{зпл.1}} = 6000 \cdot 6 \cdot 5 = 180 \text{ тыс.сом в год}. \quad (5.6)$$

При проектном варианте обслуживание канала «Отводящий», водораспределительного сооружения, канала МК-1 и закрепленных за ним земель будут осуществлять: один инженер-гидротехник и 2мираба, которые нанимаются на вегетационный период. Среднемесячный оклад такой же 6000 сом.

Годовые издержки на зарплату составляют:

$$I_{\text{зрпл.2}} = 6000 \cdot 6 \cdot 3 = 108 \text{ тыс.сом в год } .(5.7)$$

Исходные данные, используемые при расчете экономической эффективности, приведены в табл. 5.2.

В проектных условиях экономическая эффективность от внедрения на водораспределительном сооружении на канале «Отводящий» стабилизатора расхода воды СРВКК может быть получена за счет экономии оросительной воды.

Таблица 5.2 – Данные для расчета экономического эффекта

Наименование показателей	Единицы измерения	Обозначение	Варианты		Обоснование
			базовый	новой техники	
Капитальные вложения	сом	$K_{\delta}; K_n$	430723,44	432936,9	Смета расходов
Годовые издержки эксплуатации, в т.ч.:	сом	$C_{\delta}; C_n$	217903	183763	
Отчисления на амортизацию	сом	$U_{\delta 1}; U_{\delta 2}$	16367	54117	По нормативам
отчисления на текущий ремонт	сом	$U_{\delta 3}; U_{\delta 4}$	21536	21646	По нормативам
Зарплата эксплуатационного персонала	сом	$I_{\text{зрпл.1}};$ $I_{\text{зрпл.2}}$	180000	108000	По данным РУВХ

Нормативный коэффициент эффективности		$E_n$	0,15	0,15	
Объем замены в год базовых элементов	шт.	A	1	0	

Согласно [105] экономия оросительной воды составит (4...6) % от общего объема водопотребления.

Среднегодовой объем водопотребления  $W$  при расходе отвода  $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  и продолжительности вегетационного периода для данной зоны 6 месяцев (180 суток) составит:

$$W = 0,5 \cdot 86400 \cdot 180 = 7776000 \text{ м}^3. \quad (5.8)$$

Таким образом, экономия оросительной воды  $\Delta W_e$  будет составлять:

$$\Delta W_e = 7776000 \cdot 0,05 = 388800 \text{ м}^3. \quad (5.9)$$

При существующей стоимости 1  $\text{м}^3$  оросительной воды, равной 0,03 сом (по данным Ак-Талинского РУВХ) [106] дополнительный экономический эффект  $D$ , получаемый за счет экономии воды:

$$D = \Delta W_e \cdot 0,03 = 388800 \cdot 0,03 = 11664 \text{ сом}. \quad (5.10)$$

По данным табл. 5.2 найдем годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_2$  от внедрения СРВКК:

$$\mathcal{E}_2 = [(0,15 \cdot 430723,4 + 217903) - (0,15 \cdot 432936,9 + 183763) + 11664] \cdot 1 = 45472 \text{ сом}. \quad (5.11)$$

Проведенный расчет показывает, что годовой экономический эффект от внедрения новой техники, представляющей стабилизатор расхода воды с коническим козырьком на водораспределительном сооружении на ПК 11+60

канала «Отводящий» системы р. Ак-Сай Ак-Талинского района Нарынской области составит  $\mathcal{E}_2 = 45,5 \text{ тыс. сом}$ .

### **5.3 Рекомендации по расчету и проектированию усовершенствованного автоматизированного водовыпускного сооружения для распределительных каналов оросительных систем**

По результатам проведенных натурных, теоретических и модельных исследований составлены практические рекомендации по расчету и проектированию автоматизированных водовыпускных сооружений, оборудованных гидравлическим стабилизатором расхода воды с коническим козырьком.

СРВКК рекомендуется для автоматизации водовыпускных сооружений, как одно из наиболее надежных в работе устройств стабилизации подачи воды в отвод.

Расчет СРВКК включает определение его параметров по методике расчета, нашедшей отражение в п. 4.6. Исходные данные: отводимый расход воды  $Q_0$ ; минимальное  $H_{min}$  и максимальное  $H_{max}$  наполнения перед стабилизатором.

Минимальная глубина воды перед стабилизатором составляет  $H_{min} = H_p = (0,5 \div 1,0)$  м. При расчете конструкции необходимо соблюдать соотношение  $H_{max}/H_{min} \leq 2,7$ , что является диапазоном возможных колебаний напоров перед СРВКК, при котором выполняется постоянство водоподачи.

Предлагаемый СРВКК рекомендуется для распределительных каналов гидромелиоративных систем с отводимыми расходами воды не более  $Q=3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Предлагаемые автоматизированные водовыпускные сооружения рекомендуется применять на распределительных каналах оросительных систем со спокойным течением. При необходимости установки СРВКК на

каналах с бурным течением необходимо запроектировать водораспределительный узел таким образом, чтобы энергия бурного потока гасилась на подходе к стабилизатору. Для этого необходимо создание водоприемника достаточных размеров и, при необходимости, размещения на входе в водоприемную камеру гасителей энергии бурного потока. Конструкция СРВКК позволяет его применение на головных водозаборах при обеспечении требуемого диапазона изменений напоров перед стабилизатором.

При отсутствии электропривода управление стабилизаторами затруднено из-за значительного веса, поэтому рекомендуемая максимальная ширина пролета СРВКК при ручном управлении  $b=1,2$  м. При необходимости пропуска больших расходов возможна установка двух стабилизаторов на одном отводящем канале.

При строительстве бетонных и железобетонных элементов водовыпускных сооружений, согласно СНиП 11.06.08 – 87 [107] и СНиП II. 03. 01 – 84 [108], рекомендуется применение гидротехнического бетона.

Для защиты от коррозии СРВКК и металлических элементов автоматизированного водовыпускного сооружения, согласно СНиП II – 03. 11 – 85 «Защита строительных конструкций от коррозии» [109] металлические части сооружения следует покрывать водостойкой краской.

На стадии проектирования водовыпускного сооружения, автоматизированного СРВКК следует обозначить некоторые особенности его эксплуатации. Эксплуатация и обслуживание автоматизированного водовыпускного сооружения обеспечивается службой эксплуатации РУВХ, которому подчиняется данный участок канала.

Основные задачи по эксплуатационному обслуживанию автоматизированного водовыпускного сооружения: поддержание СРВКК в рабочем состоянии, своевременная регулировка открытия затвора в соответствии с графиком водоподачи и др.

Для поддержания СРВКК в рабочем состоянии и сохранения показателей его надежности необходимо выполнять следующие виды работ:

- своевременную очистку секций стабилизатора от сора и плавающих тел;
- периодическую очистку верхнего бьефа сооружения от влекаемых наносов;
- в начале и по завершении вегетационного сезона проверку и смазку подъемного механизма и уплотнений затвора, а при необходимости их ремонт или восстановление.

Таким образом, соблюдение вышеперечисленных рекомендаций при расчете и проектировании водовыпускных сооружений, автоматизированных стабилизаторами расхода воды с коническим козырьком, позволяет обеспечить: высокую точность стабилизации отводимых расходов, надежность конструкции, минимальную потребность в обслуживании и контроле со стороны эксплуатационного персонала и др.

## ВЫВОДЫ

1. На оросительных системах самыми массовыми объектами автоматизации являются сооружения водоподачи, средства гидравлической автоматизации которых представлены авторегуляторами и стабилизаторами расхода воды. Проведенный анализ показателей надежности авторегуляторов и стабилизаторов расхода позволил обосновать необходимость дальнейшего совершенствования автоматизированных водовыпускных сооружений с целью повышения их надежности.
2. Разработанная классификация отказов автоматизированных водовыпускных сооружений позволила наметить пути совершенствования способов и средств автоматизации сооружений водоподачи на распределительных каналах оросительных систем. На основе метода построения деревьев отказов проведен качественный анализ и оценка надежности автоматизированных водовыпускных сооружений, показавшие явные преимущества в работе гидравлических стабилизаторов расхода воды по сравнению с авторегуляторами расхода.
3. Натурными исследованиями установлена недостаточная эксплуатационная надежность авторегуляторов расхода (уровня) воды отвода, что ограничивает возможность их применения на распределительных каналах оросительных систем. Авторегуляторы расхода ввиду наличия в их составе подвижных элементов, датчиков уровня и др. могут применяться только на крупных гидроузлах, где имеется постоянный надзор и контроль их работы со стороны обслуживающего персонала (например, на головных сооружениях магистральных каналов). На удаленных внутрисистемных водораспределительных сооружениях для стабилизации водоподачи целесообразно использовать гидравлические стабилизаторы расхода воды.
4. В результате натурального эксперимента получены зависимости (3.3) и (3.6) для расчета и анализа пропускной способности гидравлических затворов-автоматов «Автоматический регулятор уровня гидравлический» и



«Секционный ступенчатый коробчатый щит». Установлено, что стабилизаторы расхода воды типа «Коробчатый щит» являются инвариантными системами, обладают удовлетворительной стабилизирующей способностью и могут обеспечивать водоучет на оросительных системах. Однако для повышения эксплуатационной надежности и улучшения качественных показателей целесообразно усовершенствовать существующие конструкции стабилизаторов расхода воды данного типа.

5. Разработан и исследован усовершенствованный гидравлический стабилизатор расхода воды с коническим козырьком (Патент КР № 1551. Стабилизатор расхода воды / О.В. Атаманова, В.В. Круглова (Матвиец), 2013 г.), как средство автоматизации водовыпускных сооружений распределительных каналов оросительных систем, обладающее повышенной пропускной способностью и эксплуатационной надежностью.
6. Полученная аналитически система уравнений (4.35), описывающая кривую свободной поверхности воды, вытекающей из-под конического козырька с углом наклона к горизонту  $\beta = 135^{\circ}$ , а также результаты модельных исследований позволили разработать методику расчета автоматизированного водовыпускного сооружения с предложенным стабилизатором расхода воды.

Экспериментально подтверждена стабилизирующая способность новой конструкции, причем соотношение максимального и минимального напоров в верхнем бьефе сооружения, позволяющее стабилизировать подаваемый расход воды, составило  $H_{max}/H_{min}=2,64$ , что лучше, чем у других конструкций стабилизаторов.

7. Разработаны рекомендации по расчету и проектированию водовыпускных сооружений, автоматизированных гидравлическим стабилизатором расхода воды с коническим козырьком, примененные в проекте реконструкции канала «Отводящий» в Ак-Талинском районе Нарынской

области Кыргызстана. Годовой экономический эффект от внедрения автоматизированного водовыпускного сооружения составил 45,5 тыс. сом  
в  
год.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мирцхулава Ц.Е.** Надежность гидромелиоративных сооружений [Текст]/Ц.Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1974. – 279 с.
2. **Мухутдинова Р.Н.** Разработка и исследования стабилизаторов расхода воды типа «ступенчатый секционный коробчатый щит» для каналов предгорной зоны [Текст]: дис. ... канд.техн.наук: 05.14.09/Р.Н. Мухутдинова. - Новочеркасск, 1978. – 174 с.
3. **Атаманова О.В.** Требования к надежности средств автоматизации водоподачи на каналах оросительных систем [Текст]/О.В. Атаманова, В.В.Круглова// Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр., Рязань, 2010.–№ 4. – С. 373-378.
4. **Бочкарев Я.В.** Гидравлическая автоматизация водораспределения на оросительных системах [Текст]/Я.В. Бочкарев. – Фрунзе: Кыргызстан, 1971. – 264 с.
5. **Бочкарев Я.В.** Эксплуатационная гидрометрия и автоматизация оросительных систем [Текст]/Я.В. Бочкарев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 175 с.
6. **Бочкарев Я.В.** Локальные системы стабилизации водоподачи на оросительных системах [Текст]: учеб.пособие /Я.В. Бочкарев, О.В. Атаманова. –Бишкек: КАА, 1997. – 76 с.
7. **Бобохидзе Ш.С.** Гидравлическая автоматизация водораспределения на оросительных системах [Текст]/ Ш.С. Бобохидзе. –М.: Колос, 1973. –247 с.
8. **Коваленко П.И.** Автоматизация мелиоративных систем[Текст]. – М.: Колос, 1983. –304 с.
9. **Маковский Э.Э.** Автоматизированные автономные системы трансформации неравномерного стока[Текст] / Э.Э. Маковский, В.В. Волчкова. –Фрунзе: Илим, 1981. –380 с.

10. **Фролова Г.П.** Гидравлические параметры и расчет моноблочных коробчатых стабилизаторов расхода воды [Текст]: дис. ...канд.техн.наук: 06.01.02/Г.П. Фролова – Бишкек, 1998. – 163 с.

11. **Зайцева О.В.** Разработка и исследование стабилизаторов расхода воды типа «цилиндрический ступенчатый коробчатый щит» (ЦСКЩ) [Текст]: дис. ...канд.техн.наук: 06.01.02/ О.В.Зайцева.– Бишкек 1992. –311 с.

12. **Бочкарев Я.В.** Стабилизаторы расхода воды типа цилиндрический ступенчатый коробчатый щит [Текст] / Я.В.Бочкарев, О.В.Зайцева// Проблемы научного обеспечения повышения эффективности сельскохозяйственного производства: 3 межрегиональная науч.-практич. конф. молодых ученых и специалистов: тез.докл. – Бишкек, 1992. –Часть 3. – С.25-26.

13. **Бочкарев Я.В.** Стабилизация расходов на ирригационных параболических лотках [Текст]/ Я.В. Бочкарев, Е.Г.Климов. – Фрунзе: Кыргызстан, 1975. – 200 с.

14. **Авдеев А.И.** Особенности построения саморегулирующей водоподачу оросительной сети горно-предгорной зоны[Текст]/ А.И. Авдеев, С.Л. Гребеньков // Вопросы водного хозяйства: сб. науч. тр. – Союзавтоматика, 1978. –С.14-21.

15. **Бекбоева Р.С.** Гидравлические исследования и расчет стабилизаторов расхода воды типа «коробчатый моноблок» с донным гидродействующим приводом управления [Текст]/ Р.С. Бекбоева // Автоматизация оросительных систем на базе ресурсо- и энергосберегающих технологий: сб. науч. тр. – Бишкек,1995. –С.166-176.

16. **Бекбоева Р.С.** Математические связи между конструктивными и гидравлическими параметрами стабилизатора расхода типа «коробчатый моноблок» с донным гидродействующим приводом управления [Текст]/ Р.С. Бекбоева, З.Р. Сулайманкулова // Автоматизация оросительных систем на базе ресурсо- и энергосберегающих технологий: сб. науч. тр. – Бишкек: Кырг. с.-х. ин-т,1995. –С.158-166.

17. **Бобохидзе Ш.С.** Некоторые результаты производственного исследования шахтного водовыпуска с цилиндрическим затвором – автоматом [Текст]/ Ш.С. Бобохидзе // Тр. ин-та. – Грузинский науч.- исслед. ин-т гидротехники и мелиорации, 1963. –С.133-143.

18. **Бобохидзе Ш.С.** К вопросу постоянства отводимого расхода в автоматических водовыпусках – регуляторах систем ГрузНИИГиМ [Текст]/ Ш.С. Бобохидзе, Л.Л. Кикнадзе // Тр. ин-та. – Грузинский науч.- исслед. ин-т гидротехники и мелиорации, 1965. – С.57-65.

19. **Бочкарев Я.В.** Гидроавтоматика в орошении [Текст]. –М.: Колос, 1978. –188 с.

20. **Бочкарев Я.В.** Гидротехнические сооружения на каналах-быстротоках со сверхбурным течением [Текст]: учеб.пособие/ Я.В. Бочкарев, Н.П. Лавров. – Бишкек: Кырг. СХИ, 1991. – 116 с.

21. **Бочкарев Я.В.** Исследование конструктивных и гидравлических параметров стабилизатора расхода «вертикальный коробчатый щит» [Текст]/ Я.В. Бочкарев, Р.Н. Мухутдинова // Автоматизация оросительных систем Киргизии: сб. науч. тр. – Бишкек: Кырг. с.-х. ин-т, 1980. – С.100-107.

22. **Бочкарев Я.В.** Основы автоматики и автоматизация производственных процессов в гидромелиорации [Текст]/ Я.В. Бочкарев, Е.Е. Овчаров. –М.: Колос, 1981. – 335 с.

23. **Хамадов И.Б.** К вопросу классификации автоматических устройств стабилизации расхода воды для водовыпусков оросительной сети [Текст]/ И.Б. Хамадов, Р.Ю. Мусаджанова // Новая техника в эксплуатации оросительных систем Средней Азии и Казахстана: сб. науч. тр. – Москва: САНИИРИ, 1974. –Т.141. – С.104-113.

24. **Бутырин М.В.** Внутрихозяйственный пружинный автомат постоянного расхода воды ПАР [Текст]/ М.В. Бутырин //Вопросы гидротехники: сб. науч. тр. – М: САНИИРИ, 1962. – С.66-75.

25. **Бутырин М.В.** Водомеры для колхозной и межхозяйственной сети [Текст]/ М.В. Бутырин// Тр. ин-та – М.: САНИИРИ, 1941. – С.35-60.

26. **Гартунг А.А.** Лабораторные исследования моделей гидравлических автоматов верхнего бьефа фирмы «Нейрпик» [Текст]/ А.А. Гартунг // Вопросы гидротехники: сб. науч. тр. – М.: САНИИРИ, 1961. – С.35-47.

27. **Журин В.Д.** Мелкие водовыпуски [Текст]/ В.Д. Журин// Вестник ирригации. – Ташкент, 1924. – С.8-9.

28. **Жусупов М.К.** Разработка и исследование стабилизаторов расхода воды для каналов с бурным и сверхбурным режимами течения [Текст]: дис....канд. техн. наук/М.К. Жусупов. – Бишкек, 1994. – 208 с.

29. **Колпычев В.** Влияние условий службы разборчатой плотины на определение наивыгоднейшего ее типа [Текст]/ В. Колпачев. – М., 1914. – 136 с.

30. **Курсин С.А.** Щит с козырьком, как гидравлический элемент водомера [Текст]/ С.А. Курсин // Автоматический контроль и измерительная техника: сб. науч. тр. – Киев: АН УССР, 1958. – С.110-124.

31. **Луговой А.С.** Стабилизаторы расхода для каналов предгорной зоны [Текст]: дис. ...канд. техн. наук/ А.С.Луговой. – Новочеркасск, 1971. – 322 с.

32. **Луговой А.С.** Опыт внедрения и эксплуатации водовыпусков стабилизаторов расхода [Текст]/А.С.Луговой//Вопросы автоматизации и механизации оросительных систем. – Фрунзе, 1973. – С.59-66.

33. **Маковский Э.Э.** Передаточные функции объектов регулирования ирригационных систем [Текст]/ Э.Э.Маковский // Автоматическое регулирование расходов воды на ирригационных системах. – Фрунзе: Илим, 1970. – С.16-26.

34. **Маковский Э.Э.** Гидравлические стабилизаторы расходов воды в системах автоматизации водораспределения [Текст]/ Э.Э. Маковский, О.В. Атаманова// Традиции и новации в культуре университетского образования: сб. тр. международной науч. конф. – Бишкек: КТУ, 1998. – Часть 2. – С.166-170.

35. **Меркурьев И.С.** Автоматизация сооружений на мелиоративных системах [Текст]/ И.С. Меркурьев // Гидротехника и мелиорация. – 1963. №6. – С.24-31.

36. **Мусаджанова Р.Ю.** Выявление математической связи между гидравлическими и конструктивными параметрами затворов-автоматов расхода воды типа наклонных козырьков [Текст]/ Р.Ю. Мусаджанова// Орошение, эксплуатация гидромелиоративных систем: сб. науч. тр. – САНИИРИ, 1970. – С.130-150.

37. **Пикалов П.И.** Водомерно-регулирующие сооружения внутрихозяйственной оросительной сети [Текст]/ П.И. Пикалов, А.Я. Фалькович. – М.: Сельхозгиз, 1951. – 137 с.

38. **Рохман А.И.** Гидравлические исследования и разработка затворов-автоматов для горных водозаборных узлов на малых реках [Текст]: дис. ...канд. техн. наук / А.И. Рохман. – М., 1983. – 201 с.

39. **Рузский Д.П.** Водомеры с возрастающими сопротивлениями. Модуль Джибба [Текст]/Д.П. Рузский// Тр. научно-мелиоративного ин-та. – Л., 1926. –С.114-125.

40. **Рузский Д.П.** Модуль Кеннеди (водомер для ирригационных систем)[Текст]/Д.П. Рузский// Тр. научно-мелиоративного ин-та. –Петроград, 1922. – С.96-108.

41. **Старковская В.Е.** Трубчатые водомеры-регуляторы с сужением в выходной части [Текст]/В.Е. Старковская// Вопросы гидротехники: сб. науч. тр. САНИИРИ. – 1962. – Т.4. – С.29-36.

42. **Старковская В.Е.** Трубчатый водомер-регулятор с боковым цилиндром [Текст]/Е.В. Старковская// Механизация водохозяйственных работ: сб. науч. тр. САНИИРИ. – 1970. – Т.122. – С.127-140.

43. **Тишабаев Б.** Пружинные автоматы постоянного расхода воды для трубчатых водовыпусков [Текст]/Б. Тишабаев // Вопросы гидротехники: сб. науч. тр. САНИИРИ. – 1968. – С.41-51.

44. **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.

45. **Хамадов И.Б.** Устройства гидроавтоматики для регулирования расходов и горизонтов воды [Текст]/ И.Б.Хамадов, А.А. Гартунг// Вопросы гидротехники: сб. науч. тр. САНИИРИ. – 1968. – Т.32. –С.25-41.

46. **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. – Ташкент: САНИИРИ, 1974. – 184 с.

47. **Хамадов И.Б.** К вопросам истории развития автоматических водорегулирующих устройств, их классификации и выбора [Текст]/ И.Б.Хамадов, Н.Ш.Хамадова // Вопросы гидротехники: сб. науч. тр. САНИИРИ. – 1963. – Т.16. – С.25-34.

48. **Andersen V.M.** Non-uniform flow in front of a free overfull[Text] / V.M. Andersen // ActaPolytechnicaScandinavica Civil engineering and building construction. –Copenhagen, 1967. – Series №42. – P.1-24.

49. **Danel P.F.** Controlling flume. USA. Patent №2073610, 1973. Cl.61-64.

50. **O'Carroll M.J.** Numerical computations of critical flow over a weir[Text] / M.J. O'Carroll, E.F. Toro // International Journal for numerical methods in fluids. – 1984. – Vol.4 – P.449-509.

51. **Robinson A.R.** Trapezoidal flumes for openchannel flow measurement [Text] / A.R. Robinson, A.R. Chamberlain // Transactions of the ASAE. –1960. –3, №2. – P.120-124.

52. **Robinson A.R.** Water measurement in small irrigation channels using trapezoidal flumes[Text] / A.R. Robinson, A.R. Chamberlain // Transactions of the ASAE. –1966. – P.382-385,388.

53. **Seshadri S.** Flow characteristics of hydrofoil weirs, hydrofoil topped weirs and streamlined triangular profile weirs: Ph. D.[Text] / S. Seshadri //Thesis submitted to the Indian Institute of science. – 1981.



54. **Атаманова О.В.** Принципы и способы стабилизации водоподачи на водовыпускных сооружениях оросительных систем [Текст]/О.В. Атаманова // Пути совершенствования средств гидроавтоматики в мелиорации: сб. науч. тр. Кырг. с.-х. ин-т. – 1995. – С. 97-103.

55. **Атаманова О.В.** Курс лекций по основам автоматике и автоматизации процессов в гидротехническом строительстве: учеб.пособие. 2-е издание [Текст] / О.В.Атаманова. – Бишкек: КРСУ, 2013. – 232 с.

56. **Атаманова О.В.** Совершенствование систем автоматизации водораспределения с использованием гидравлических стабилизаторов расходов воды [Текст]/О.В.Атаманова. – Бишкек: Илим, 2002. – 91 с.

57. **Авдеев А.И.** Систематизация принципов построения локальных средств автоматизации гидромелиоративных систем [Текст]/А.И. Авдеев, С.П. Гребеньков // Вопросы комплексной автоматизации мелиоративных систем. –Фрунзе: Кыргызстан, 1976. – С. 95-119.

58. **Веденянин Г.В.** Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных [Текст]/Г.В. Веденянин. – М.: Колос, 1973. – 200 с.

59. **Мирцхулава Ц.Е.** Надежность и безопасность гидротехнических сооружений: история, настоящее, приоритетные направления [Текст]: обзорная лекция на международном симпозиуме «Гидравлические и гидрологические аспекты надежности и безопасности гидротехнических сооружений»/Ц.Е. Мирцхулава. – С-Пб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2002. – 82 с.

60. **БарлоюР.** Математическая теория надежности [Текст]/ Р. Барлою, Ф. О. Прошан. – М.: Сов.Радио, 1965. – 466 с.

61. **Гнеденко Б.В.** Математические методы в теории надежности [Текст]/ Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 382 с.

62. **Штильман В.Б.** Повышение надежности водопроводящих трактов гидротехнических сооружений на основе методов системного анализа работы

затворов [Текст]: автореферат док.техн.наук: 05.23.07/ В.Б. Штильман. – С-Пб., 2005. – 40 с.

63. **Иващенко И. Н.** Инженерная оценка надежности грунтовых плотин[Текст]/ И.Н. Иващенко. – М.: Энергоатомиздат, 1993. Вып. 105. –С. 144.

64. **Пепоян В. С.** К вопросу оценки надежности водоупорных элементов грунтовых плотин, возводимых в сейсмических районах [Текст] / В.С. Пепоян, А.П. Троицкий// Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1989. Т. 212. – С. 62-69.

65. **Стефанишин Д. В.** Расчет деревьев отказов для грунтовых плотин с учетом стохастических связей между событиями[Текст] / Д.В. Стефанишин// Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1993. Т. 227. –С. 38-46.

66. **Стефанишин Д. В.** Расчет деревьев отказов для грунтовых плотин с учетом стохастических связей между событиями [Текст] / Д.В. Стефанишин // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1993. Т. 227. –С. 38-46.

67. **Финагенов О.М.** К вопросу оценки эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений[Текст] / О.М. Финагенов, С. Г. Шульман // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1999. Т. 234. – С. 7-15.

68. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ.1990-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 64 с.

69. Автоматика и автоматизация производственных процессов [Текст]/ [И.И. Мартыненко, Б.Л. Головинский, Р.Д. Проценко и др.] – М.: Агропромиздат, 1985. – 335 с.

70. Проект: Теория надежности / <http://reliability-theory.ru/topics/t2r1part1.html>.

71. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. – Введ. 1997-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 19 с.

72. Опытнo-производственнoе внедрение сифонных регуляторов на каналах Ак-Суйского УОС, Сокулукского УОС: Технический проект. – Фрунзе: ОКБ «Водавтоматика», 1983.– 114 с.

73. Регулятор сифонной конструкции инж. Глазьева В.А.: Технический проект. – Фрунзе: ОКБ «Водавтоматика», 1982. – 120 с.

74. **Капур К.** Надежность и проектирование систем [Текст]/К. Капур, Л. Ламберсон. – М.: Мир, 1980. – 604 с.

75. **Атаманова О.В.** Анализ надежности сифонных регуляторов расхода воды на оросительных каналах Кыргызской Республики: Материалы международной IV научно-практической конференции «Основы рационального природопользования»/О.В. Атаманова, В.В.Матвиец. – Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2013. – С.391-396.

76. Инструкция по эксплуатации Ат-Башинского канала, Фрунзе, 1976. – 95 с.

77. **Маковский Э.Э.** Автоматизированные автономные системы трансформации неравномерного стока [Текст]/Э.Э.Маковский, В.В. Волчкова. – Фрунзе: Илим, 1981. – 354 с.

78. А.с. 687172. Стабилизатор расхода воды/ Я.В. Бочкарев, Р.Н. Мухутдинова, А.И. Рохман. – Оpubл. Б.И. 1979. –№ 35.

79. Оценка надежности машин и оборудования: теория и практика [Текст]: учебник/И.Н. Кравченко, Е.А. Пучин, А.В. Чепурин и др. – М: ИНФРА-М, 2012. – 336 с.

80. Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны [Текст]/ Под ред. Н.П.Лаврова. –Бишкек: ИД «Салам», 2009. – 504 с.

81. Основы научных исследований[Текст]/ Под ред. В.И. Крутова и В.В. Попова. – М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.

82. **Штеренлихт Д.В.** Гидравлика [Текст]: Учебник для вузов/ Д.В. Штеренлихт. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 640 с.

83. **Маковский Э.Э.** Автоматизация гидротехнических сооружений [Текст]/Э.Э. Маковский, В.В. Волчкова. – Фрунзе: Илим, 1984. – 141 с.

84. **Маковский Э.Э.** Автоматизация гидротехнических сооружений в системах каскадного регулирования расходов воды [Текст]/Э.Э.Маковский. – Фрунзе: Илим, 1972. – 302 с.

85. Справочник по гидравлическим расчетам [Текст]/ Под ред. П.Г.Киселева.- М.: Энергия, 1974. – 312 с.

86. **Малафеев С.И.** Надежность технических систем. Примеры и задачи [Текст]: учеб. пособие/ С.И. Малафеев, А.И., Копейкин А.И. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 320 с.

87. Патент № 1043 КР МКИ Е 02 В 13/00. Вододелитель для каналов со сверхбурным течением / Н.П. Лавров, Г.С. Аджыгулова, О.В. Атаманова, К.К. Бейшекеев. Оpubл. в БИ № 5, КР, 2008. – 4 с.: ил.

88. Инструкция по эксплуатации Атбашинского канала / Министерство мелиорации и водного хозяйства Киргизской ССР; Бассейновое управление Чуйской долины/ Сост. А.И.Аркатов [Текст]. – Фрунзе, 1976. – 40 с.

89. **Атаманова О.В.** Специфика вопросов надежности гидравлических средств автоматизации водоподачи гидромелиоративных систем[Текст]/ О.В. Атаманова, В.В. Круглова, В.А. Юдаков// Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – Бишкек, 2012. – Т.12, №6. – С. 9-13.

90. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия[Текст]. – Введ.1991-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 18 с.

91. Патент № 1551 КР МКИ Е02В 13/02. Стабилизатор расхода воды/О.В.Атаманова, В.В.Круглова. Оpubл. в БИ № 6, КР, 2013. – 5 с.: ил.

92. **Жуковский Н.Е.** Собрание сочинений в 4-х т[Текст] /Н.Е. Жуковский. – М.-Л.: Госиздат технико-теоретической литературы, 1949. Т.2. – 764 с.

93. **Слисский С.М.** Гидравлические расчеты высоконапорных гидротехнических сооружений [Текст] / С.М. Слисский. – М.: Энергия, 1979. – 400 с.

94. **Леви И.И.** Моделирование гидравлических явлений [Текст] / И.И. Леви.–Л.: Энергия, 1967. – 235 с.

95. **Адлер Ю.П.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

96. **Кацев П.Г.** Статистические методы исследования режущего инструмента [Текст] / П.Г. Кацев.– М.: Машиностроение, 1974. – 231 с.

97. **Большов М.Н.** Таблицы математической статистики [Текст] /М.Н. Большов, Н.В. Смирнов. – М.: Наука, 1965. – 200 с.

98. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа [Текст]: справочное пособие / А.С. Ключев, А.Т. Лебедев, С.А. Ключев. – М.: Наука, 1980. – 228 с.

99. **Барабашук В.И.** Планирование эксперимента в технике [Текст] /В.И. Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко. – Киев:Техника, 1984. – 200 с.

100. **Беликов В.Г.** Применение математического планирования и обработка результатов эксперимента в фармации [Текст]/В.Г.Беликов. – М.:Медицина, 1973. – 232 с.

101. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования [Текст]: справочное пособие/ Под ред. А.С.Ключева. – М.: Энергоиздат, 1989. – 368 с.

102. Мельников Б.И. Совершенствование конструкций, методов расчетного обоснования и проектирования сооружений и гидравлических средств автоматизации головных участков оросительных систем предгорной зоны [Текст]: Дисс. ...докт. техн. наук / Б.И.Мельников. –Бишкек, 1994. –561 с.

103. Мельников Б.И., Рохман А.И. Определение основных параметров стабилизаторов расхода типа «секционный коробчатый щит»[Текст]/Б.И. Мельников, А.И. Рохман// Локальные системы автоматизации в мелиорации: сб. науч. тр. – Фрунзе:Кырг. с.-х. ин-т, 1986. –С.53-62.

104. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений[Текст]. – М.: Экономика, 1984. – 46 с.

105. Методика определения экономической эффективности автоматизации управления межхозяйственнымводораспределением на оросительных системах/ Разраб. Всесоюзным научно-исследовательским институтом комплексной автоматизации мелиоративных систем[Текст]. – М., 1984. – 67 с.

106. Проект реабилитации головного водозаборного сооружения на реке Ак-Сай Ак-Талинского района Нарынской области: Пояснительная записка[Текст]. –Бишкек: ПКТИ «Водавтоматика и метрология», 2013. – 110 с.

107. СНиП 2.06.08 – 87. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений [Текст]. – М.:Госстрой СССР, 1988. – 140 с.

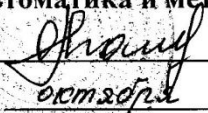
108. СНиП 2.03. 01 – 84 (1996). Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – М.:Госстрой СССР, 1996. – 176 с.

109. СП 28.13330.2012. Защита строительных конструкций от коррозии [Текст]. – М.:Технический комитет по стандартизации РФ, 2013. – 99 с.



УТВЕРЖДАЮ

Директор Проектно-конструкторского  
технологического института  
«Водавтоматика и метрология»

  
О.С. Макаров  
«24» октября 2013 г.

А К Т

*о реализации научных результатов, полученных в диссертации Матвиец  
Валентины Васильевны на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 05.23.07 – Гидротехническое  
строительство на тему: «Повышение надежности  
автоматизированных водовыпускных сооружений на  
распределительных каналах оросительных систем»*

Комиссия в составе: председателя Крахмалева В.И. – заведующего отделом метрологической службы ПКТИ «Водавтоматика и метрология»; членов комиссии: Артюхина А.В. – заведующего отделом разработки средств измерения и систем управления ПКТИ «Водавтоматика и метрология»; Борисенко Д.А. – инженера-технолога 2 кат. отдела метрологической службы ПКТИ «Водавтоматика и метрология»; Атамановой О.В. – зав. кафедрой «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» КРСУ, докт. техн. наук, профессора; Матвиец В.В. – аспиранта кафедры «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» КРСУ свидетельствует о том, что при разработке проекта «Реабилитация головного водозаборного сооружения на р. Ак-Сай Ак-Талинского района Нарынской области» были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Матвиец В.В.:

- применен в проекте реконструкции водораспределительного сооружения гидравлический стабилизатор расхода воды (Патент КР № 1551. Стабилизатор расхода воды / О.В. Атаманова, В.В. Круглова (Матвиец), 2013 г.) на канале «Отводящий» на ПК 11+60;
- принята к использованию при проектировании методика расчета стабилизатора расхода воды новой конструкции;
- приняты и реализованы рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации гидравлического стабилизатора расхода воды с коническим козырьком.



Реализация материалов кандидатской диссертации Матвиец В.В. позволила:

- обеспечить стабилизацию водоподачи из канала «Отводящий» в канал МК-1 с требуемой точностью;
- обеспечить экономию поливной воды за счет постоянства (в заданном диапазоне колебаний напоров на сооружении) отводимых расходов воды;
- обеспечить гарантированное орошение земель, закрепленных за каналом МК-1 в Ак-Талинском районе Нарынской области.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- в рабочем проекте «Реабилитация головного водозаборного сооружения на р. Ак-Сай Ак-Талинского района Нарынской области».

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- экономия поливной воды за счет стабилизации водоподачи в канал МК-1 составила 389 тыс. м<sup>3</sup>;
- повышена водообеспеченность на орошаемых землях в Ак-Талинском районе Нарынской области;
- экономия затрат строительных материалов по сравнению с альтернативным вариантом стабилизатора расхода воды;
- расчетный годовой экономический эффект от внедрения автоматизированного водораспределительного сооружения составил 45,5 тыс. сом.

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ**

**В.И. Крахмалев**

**ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:**

**А.В. Артюхин**

**Д.А. Борисенко**

**О.В. Атаманова**

**В.В. Матвиец**

**УТВЕРЖДАЮ**  
 Ректор Кыргызско-Российского  
 Славянского университета  
 \_\_\_\_\_ В.И. Нифадьев  
 « 16 \_\_\_\_\_ 2013 г.

## А К Т

**о реализации в учебный процесс научных результатов, полученных в диссертации Матвиец Валентины Васильевны на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.07 – Гидротехническое строительство на тему: «Повышение надежности автоматизированных водовыпускных сооружений на распределительных каналах оросительных систем»**

Комиссия в составе: председателя Муксинова Р.М. – декана факультета Архитектуры, дизайна и строительства, докт. архитектуры, профессора; членов комиссии: Атамановой О.В. – зав. кафедрой «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» КРСУ, докт. техн. наук, профессора; Аджигуловой Г.С. – доцента кафедры «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» КРСУ, канд. техн. наук; Логинова Г.И. – доцента кафедры «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» КРСУ, канд. техн. наук; Матвиец В.В. – аспиранта кафедры «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» КРСУ свидетельствует о том, что при разработке рабочих программ дисциплин «Основы автоматики и автоматизации процессов в гидротехническом строительстве», «Автоматическое регулирование при строительстве гидротехнических объектов» и «Речные гидротехнические сооружения» направления «Строительство» профиля «Гидротехническое строительство» были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Матвиец В.В.:

- внедрена в учебный процесс информация о расчете и проектировании гидравлического стабилизатора расхода воды (Патент КР № 1551. Стабилизатор расхода воды / О.В. Атаманова, В.В. Круглова (Матвиец), 2013 г.), которая предназначена для обучения студентов старших курсов;
- принята к использованию при выполнении расчетно-графических заданий и курсового проекта методика расчета стабилизатора расхода воды;
- приняты и реализованы в учебный процесс рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации гидравлического стабилизатора расхода воды.

Реализация материалов кандидатской диссертации Матвиец В.В. в учебный процесс позволила:

- дополнить материал дисциплин профессионального цикла новой современной информацией по расчету и проектированию средств автоматизации водоподачи на распределительных каналах;
- обеспечить учебный процесс новой лабораторной моделью, установленной на гидравлическом лабораторном лотке в лаборатории «Гидротехнических сооружений» и позволяющей наглядно демонстрировать стабилизацию отводимых расходов воды на каналах;
- обеспечить курсы дисциплин «Основы автоматики и автоматизации процессов в гидротехническом строительстве», «Автоматическое регулирование при строительстве гидротехнических объектов» новой лабораторной работой по автоматизации водоподачи на распределительной сети;
- повысить уровень образования студентов направления «Строительство» профиля «Гидротехническое строительство» в Кыргызско-Российском Славянском университете.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- в рабочих программах дисциплин «Основы автоматики и автоматизации процессов в гидротехническом строительстве», «Автоматическое регулирование при строительстве гидротехнических объектов» и «Речные гидротехнические сооружения» направления «Строительство» профиля «Гидротехническое строительство».

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- повысился уровень образования студентов направления «Строительство» профиля «Гидротехническое строительство»;
- пополнена и усовершенствована лабораторная база кафедры «Гидротехническое строительство и водные ресурсы» Кыргызско-Российского Славянского университета.

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ**  
**ЧЛЕНЫ КОМИССИИ:**



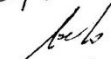
**Р.М. Муксинов**



**О.В. Атаманова**



**Г.С. Аджыгулова**



**Г.И. Логинов**



**В.В. Матвиец**

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Гидравлический расчет стабилизатора расхода воды с коническим козырьком на водораспределительном узле на ПК 11+60 канала «Отводящий» системы р. Ак-Сай Ак-Талинского района Нарынской области

Гидравлический расчет стабилизатора расхода воды с коническим козырьком (СРВКК) состоит в следующем.

*Исходными данными* для гидравлического расчета являются:

- минимальный напор перед сооружением  $H_{p.v.min}=0,6$  м;
- максимальный напор перед сооружением  $H_{p.v.max}=1,1$  м;
- максимальный отводимый расход, пропускаемый стабилизатором  $Q = 0,5 м^3 / с$ .

Расчетная схема СРВКК приведена на рис. П.1.

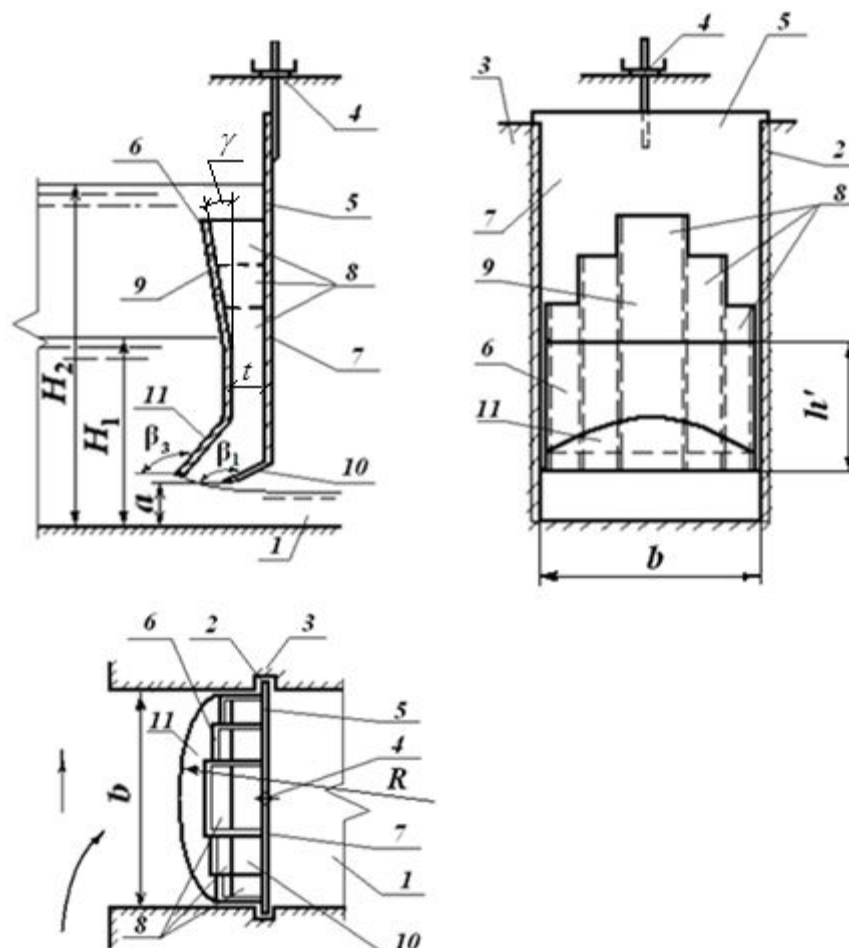


Рис. П.1. Схема стабилизатора расхода воды с коническим козырьком.

Расчет сооружения проводится в следующей последовательности:

- 6) Определяется расчетный напор перед стабилизатором из условия:

$$H_{p.v.min} = H_1 = 0,65 \text{ м}; \quad (1)$$

- 7) рассчитывается величина максимального открытия по формуле:

$$a_{max} = 0,38 H_{p.v.min} = 0,65 \cdot 0,37 = 0,25 \text{ м}; \quad (2)$$

- 8) вычисляется ширина стабилизатора в свету:

$$b = \frac{Q}{\mu' a_{max} \sqrt{2g(H_{p.v.min} - \varepsilon a_{max})}}, \quad (3)$$

где  $\mu'$  – приведенный коэффициент расхода стабилизатора,  $\mu' = 0,84 \dots 0,87$ ;  $\varepsilon$  – коэффициент вертикального сжатия потока при истечении из-под внутреннего козырька,  $\varepsilon = 0,5 \dots 0,54$ ;

$$b = \frac{0,5}{0,87 \cdot 0,25 \sqrt{2 \cdot 9,81(0,65 - 0,5 \cdot 0,25)}} = 0,69 \text{ м.}$$

Принимаем  $b = 0,7 \text{ м}$ ;

9) число секций стабилизатора:

$$n = \frac{1}{p} \left( \frac{1 - c'}{1 + c'} \right) \cdot 100, \quad (4)$$

где  $p$  – заданная точность стабилизации водоподдачи,  $p=3 \dots 5\%$ ;

$C'$  – коэффициент, определяемый по формуле:

$$C' = \varepsilon \sqrt{\frac{1,85 H_{pв. \min} - a_{\max} \varepsilon}{H_{pв. \min} - a_{\max}}}; \quad (5)$$

$$C' = 0,5 \sqrt{\frac{1,85 \cdot 0,65 - 0,25 \cdot 0,5}{0,65 - 0,25}} = 0,82.$$

Число секций стабилизатора:

$$n = \frac{1}{4} \left( \frac{1 - 0,82}{1 + 0,82} \right) \cdot 100 = 2,5 \text{ шт.}$$

Принимаем целое значение  $n = 3 \text{ шт.}$

10) диапазон колебаний напоров перед стабилизатором:

$$\Delta H = H_{pв. \max} - H_{pв. \min} = 1,1 - 0,65 = 0,45 \text{ м}; \quad (6)$$

11) высота ступени секции короба:

$$h_{cm} = \frac{\Delta H}{n} = \frac{0,45}{3} = 0,15 \text{ м}; \quad (7)$$

12) угол  $\beta_1$  наклона к потоку внутреннего козырька:

$$\beta_1 = 165^0; \quad (8)$$

13) угол  $\beta_2$  наклона к потоку конусообразного козырька вдоль оси стабилизатора:

$$\beta_2 = 135^0; \quad (9)$$

14) радиус конусообразного козырька в плане по кромке истечения:

$$R = (0,65 \dots 0,7) b = 0,7 \cdot 0,7 = 0,5 \text{ м}; \quad (10)$$

15) длина внутреннего козырька:

$$L = (0,6 \dots 0,7) \cdot a_{\max} = 0,6 \cdot 0,25 = 0,15 \text{ м}; \quad (11)$$

16) вертикальное расстояние от нижней кромки лицевой грани до излома:

$$h' = H_1 - a_{\max} - (0,4 \dots 0,5) \cdot h_{cm}; \quad (12)$$

$$h' = 0,65 - 0,25 - 0,4 \cdot 0,15 = 0,34 \text{ м};$$

17) толщина коробчатой секции затвора:

$$t = (0,5 \dots 0,6) a_{\max} = 0,56 \cdot 0,25 = 0,14 \text{ м}; \quad (13)$$

18) угол наклона лицевой стенки к вертикальной плоскости определяется из условия:

$$\gamma = 7^{\circ}. \quad (14)$$

Изменение установки стабилизатора осуществляется вертикальным перемещением коробчатого затвора в пазах сооружения при помощи подъемного устройства.

Результаты проведенного гидравлического расчета СРВКК положены в основу проектирования водораспределительного сооружения на ПК 11+60 канала «Отводящий» системы р.Ак-Сай Ак-Талинского района Нарынской области.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### Сметные расчеты

Сметная документация составлена по чертежам к проекту согласно титульному списку сооружений, входящих в проект.

Расценки на основные компоненты, используемые в строительных работах, такие как строительные материалы, земляные работы, бетонные работы, рабочая сила и т.д., рассчитывались в рублях по справочникам [1].

Общую экономическую эффективность капитальных вложений подсчитывают на всех стадиях планирования и проектирования развития народного хозяйства, отрасли и строительства отдельных объектов. По показателям общей экономической эффективности определяют эффективность водохозяйственного объекта или водохозяйственной системы в условиях хозрасчетной практики.

Перерасчет единичных расценок на нынешние цены в национальной валюте Кыргызской Республики (сом) проводился с учетом переводных коэффициентов:

$$P_c = \frac{P_p \cdot K_1 \cdot K_2}{200}, \quad (1)$$

где  $P_c$  - цена в сомах;  $P_p$  - цена в рублях;  $K_1$  - переводной коэффициент 1991 года,  $K_1=1,683$ ;  $K_2$  - переводной коэффициент на II квартал 2013 года,  $K_2=21170$ .

Далее приведем сметы на строительно-монтажные работы [2]:



Таблица П.3.1 – Локальная смета № 1. Водовыпуск. Вариант «без проекта»

№ п/п	Обоснование или шифр	Наименование работ	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость ед- цы (руб.)		Всего (руб.)		
					Всего пр. затр.	ЭМ/М	Прямые затраты	осн. з/п	ЭМ/М
					в т.ч. з/п о.с.	в т.ч. з/п			в т.ч. з/п
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1-175А	Выемка грунта экскаватором	1000 м³	0,080	156	148,09	12,48	0,61	11,85
					7,64	61,4			4,91
2	1-256А	Обратная засыпка	1000 м³	0,045	14,9	14,9	0,67	0	0,67
					0	5,21			0,23
2	1-256А	Насыпь	1000 м³	0,050	14,9	14,9	0,75	0	0,75
					0	5,21			0,26
3	37-76-4	Гравийно-песчаная подготовка	100 м³	0,042	1101,6	52,1	46,27	1,73	2,2
					41,3	17,2			0,72
4	37-707-7	Стенки из монолитного ж/бетона В-20	100 м³	0,116	4175,38	54	484,34	34,57	6,26
					298	18,4			2,13
5	37-705-7	Дно из монолитного ж/бетона	100 м³	0,048	3533,2	53	169,59	4,9	2,54
					102	18			0,86

Продолжение табл. П 3.1

6	37-728	Укладка арматуры	тн	0,225	54,5	22,3	12,26	4,39	5,02
					19,5	7,68			1,73
7	37-37-5	Монтаж ж/бетонных блоков Л4 с покрытием	м3	1,05+0,41=1,46	565	26,44	824,9	77,53	38,6
					53,1	8,17			11,92
8	37-75-3	Бетонная подготовка В7.5	100 м3	0,024	3287,09	35	78,89	3,26	0,84
					136	12,5			0,3
9	9-122	Установка затвора ПС 100-100	тн	0,13	52,6	4,19	6,84	3,3	0,54
					25,41	1,34			0,17
12	9-122	Установка затвора ПС 60-60	тн	0,08	52,6	4,19	4,21	2,03	0,33
					25,41	1,34			0,11
14	41-16	Устройство толевых швов с промазкой битумом	100 м2	0,022	230	45	5,06	2,22	0,99
					101	20			0,44
15	41-28	Гидроизоляция бетонных поверхностей битумом за 2 раза	100 м2	0,54	62,8	2,42	33,91	15,71	1,31
					29,1	0,73			0,39
16	13-157	Окраска металлоконструкций	100 м2	0,031	6,5	0,3	0,2	0,062	0,01
					2	0,1			0,003
17	37-37-5	Сборный ж/бетон блоков	м3	0,56	10,1	8,5	5,66	1,74	4,76

		<i>СМ-4.4 (бетон В 15)</i>			<i>3,1</i>	<i>3,23</i>			<i>1,81</i>
<i>Продолжение табл. П 3.1</i>									
<i>18</i>	<i>37-37-5</i>	<i>Сборный ж/бетон блоков СМ-4.4 (арматура)</i>	<i>тн</i>	<i>0,114</i>	<i>54,5</i>	<i>22,3</i>	<i>6,21</i>	<i>2,22</i>	<i>2,54</i>
					<i>19,5</i>	<i>7,68</i>			<i>0,88</i>
<b><i>Итого</i></b>			<b><i>-</i></b>	<b><i>-</i></b>	<b><i>-</i></b>	<b><i>-</i></b>	<b><i>1692,24</i></b>	<b><i>150,21</i></b>	<b><i>79,1</i></b>
									<b><i>26,86</i></b>
<i>Итого</i>							<b><i>1948,41</i></b>		
<i>НС 14,9%</i>							<b><i>290,31</i></b>		
<i>Итого</i>							<b><i>2238,72</i></b>		
<i>ПН 8%</i>							<b><i>179,1</i></b>		
<i>Итого</i>							<b><i>2417,81</i></b>		
<i>Всего в ценах на 1991г. К=1,683</i>							<b><i>4069,18</i></b>		
<i>В сомах на 2013г. К=21170</i>							<b><i>430723,44</i></b>		

Таблица П.3.2 – Локальная смета № 2. Водовыпуск со стабилизатором расхода воды. Вариант «с проектом»

№ п/п	Обоснование или шифр	Наименование работ	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость ед- цы (руб.)		Всего (руб.)		
					Всего пр. загр.	ЭМ/М	Прямые затраты	осн. з/п	ЭМ/М
					в т.ч. з/п о.с.	в т.ч. з/п			в т.ч. з/п
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1-175А	Выемка грунта экскаватором	1000 м³	0,080	156	148,09	12,48	0,61	11,85
					7,64	61,4			4,91
2	1-256А	Обратная засыпка	1000 м³	0,045	14,9	14,9	0,67	0	0,67
					0	5,21			0,23
2	1-256А	Насыпь	1000 м³	0,050	14,9	14,9	0,75	0	0,75
					0	5,21			0,26
3	37-76-4	Гравийно-песчаная подготовка	100 м³	0,042	1101,6	52,1	46,27	1,73	2,2
					41,3	17,2			0,72
4	37-707-7	Стенки из монолитного ж/бетона В-20	100 м³	0,116	4175,38	54	484,34	34,57	6,26
					298	18,4			2,13
5	37-705-7	Дно из монолитного ж/бетона	100 м³	0,048	3533,2	53	169,59	4,9	2,54
					102	18			0,86

Продолжение табл. П 3.2

6	37-728	Укладка арматуры	тн	0,225	54,5	22,3	12,26	4,39	5,02
					19,5	7,68			1,73
7	37-37-5	Монтаж ж/бетонных блоков Л4 с покрытием	м3	1,05+0,41=1,46	565	26,44	824,9	77,53	38,6
					53,1	8,17			11,92
8	37-75-3	Бетонная подготовка В7.5	100 м3	0,024	3287,09	35	78,89	3,26	0,84
					136	12,5			0,3
9	9-122	Установка затвора ПС 100-100	тн	0,13	52,6	4,19	6,84	3,3	0,54
					25,41	1,34			0,17
12	9-122	Установка стабилизатора расхода	тн	0,15	52,6	4,19	7,89	3,8	0,63
					25,41	1,34			0,2
14	41-16	Устройство толевых швов с промазкой битумом	100 м2	0,022	230	45	5,06	2,22	0,99
					101	20			0,44
15	41-28	Гидроизоляция бетонных поверхностей битумом за 2 раза	100 м2	0,54	62,8	2,42	33,91	15,71	1,31
					29,1	0,73			0,39
16	13-157	Окраска металлоконструкций	100 м2	0,031	6,5	0,3	0,2	0,062	0,01
					2	0,1			0,003
17	37-37-5	Сборный ж/бетон блоков	м3	0,56	10,1	8,5	5,66	1,74	4,76

		<i>СМ-4.4 (бетон В 15)</i>			<i>3,1</i>	<i>3,23</i>			<i>1,81</i>
<i>Продолжение табл. П 3.2</i>									
<i>18</i>	<i>37-37-5</i>	<i>Сборный ж/бетон блоков СМ-4.4 (арматура)</i>	<i>тн</i>	<i>0,114</i>	<i>54,5</i>	<i>22,3</i>	<i>6,21</i>	<i>2,22</i>	<i>2,54</i>
					<i>19,5</i>	<i>7,68</i>			<i>0,88</i>
<b><i>Итого</i></b>			<b><i>-</i></b>	<b><i>-</i></b>	<b><i>-</i></b>	<b><i>-</i></b>	<b><i>1695,92</i></b>	<b><i>156,04</i></b>	<b><i>79,51</i></b>
<i>Итого</i>							<b><i>1958,42</i></b>		
<i>НС 14,9%</i>							<b><i>291,8</i></b>		
<i>Итого</i>							<b><i>2250,22</i></b>		
<i>ПН 8%</i>							<b><i>180,02</i></b>		
<i>Итого</i>							<b><i>2430,24</i></b>		
<i>Всего в ценах на 1991г. К=1,683</i>							<b><i>4090,1</i></b>		
<i>В сомах на 2013г. К=21170</i>							<b><i>432936,9</i></b>		

Приведем объектную смету для базового варианта в табл.П.3.3.

Таблица П.3.3 -Объектная смета реконструкции

<i>№ п/п</i>	<i>№ локальных смет</i>	<i>Наименование работ</i>	<i>Сметная стоимость, руб.</i>	<i>Сметная стоимость, сом</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	1	Реконструкция водораспределительного сооружения	4069,18	430723,44
Общая стоимость			4069,18	430723,44

Составим объектную смету «с проектом» и приведем ее в табл. П.3.4.

Таблица П.3.4 -Объектная смета реконструкции

<i>№ п/п</i>	<i>№ локальных смет</i>	<i>Наименование работ</i>	<i>Сметная стоимость, руб.</i>	<i>Сметная стоимость, сом</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
2	2	Реконструкция водораспределительного сооружения	4090,1	432936,9
Общая стоимость			4090,1	432936,9

Таким образом, общие капиталовложения на реконструкцию при базовом варианте составляют 430723,44 сом, а при варианте со стабилизатором расхода воды типа СРВКК составляют 432936,9 сом.

#### **Список использованных источников**

1. ГОССТРОЙ Киргизской ССР, Государственный проектный институт «Киргизгипрострой». Каталог единых районных единичных расценок на строительные работы, привязанных к местным условиям строительства на территории Киргизской ССР. В 2-х кн. - Фрунзе: Кыргызстан, - 1983.
2. Проект реабилитации головного водозаборного сооружения на реке Ак-Сай Ак-Талинского района Нарынской области: Пояснительная записка. – Бишкек: ПКТИ «Водавтоматика и метрология», 2013. – 110 с.







г. Бишкек

29.11.2012 - 40/a.i

## СПРАВКА

Общественный CAMP Алатао при финансовой поддержке GIZ с 2008 по 2011 год реализовал проект «Устойчивое управление пастбищами и водными ресурсами в бассейнах рек Жергетал и Онарча, Нарынского района». В рамках компонента: «управления водными ресурсами» вышеназванного проекта, с 5 июля по 14 сентября 2010 г совместно со студентами КРСУ с участием Кругловой Валентины Васильевны было проведено Базовое исследование пилотной территории.

Кругловой В.В. проведены работы по измерению расходов воды в водовыделах и внутрихозяйственных каналах на территории водного бассейна р. Онарча. Замеры были проведены переносным водосливом Сагаркулова и гидрометрической трубкой «Зама». В результате были получены расходы на водозаборах и внутрихозяйственных каналах. GPS аппаратом были получены точки, где были произведены замеры. В течении двух полевых работ были проведены измерения расхода воды на каналах: Большой Минбулакский канал, Кумуш Суран кызы, Уранкай, Жалгызтал, Ташдобо, Байдулуу-1 и Байдулуу-2, Карабулак и Карачий.

Координатор проекта  
Исаков А.Т.





КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА



КЫРГЫЗПАТЕНТ

ПАТЕНТ

№ 1551

Название изобретения: *Стабилизатор расхода воды*

Патентовладелец, страна: *Кыргызско-Российский Славянский университет (KG)*

Автор (авторы): *Атаманова О.В., Круглова В.В. (KG)*

Заявка № *20120044.1*

Приоритет изобретения *27 апреля 2012 года*

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Кыргызской Республики  
*31 мая 2013 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) **1551** (13) **C1** (46) **28.06.2013**

(51) **E02B 13/02** (2013.01)

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
И ИННОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя

(21) 20120044.1

(22) 27.04.2012

(46) 28.06.2013. Бюл. № 6

(71) (73) Кыргызско - Российский  
(Славянский) университет (KG)

(72) Атаманова О. В., Круглова В. В. (KG)

(56) А. с. SU № 687171, кл. E02B 13/02, 1979

(54) **Стабилизатор расхода воды**

(57) Изобретение относится к гидротехнике и предназначено для стабилизации расхода воды при водоподаче из распределительных каналов старшего порядка в каналы младшего порядка.

Техническая задача - повышение точности регулирования и надежности работы.

Поставленная задача решается за счет того, что в стабилизаторе расхода воды, содержащем коробчатый секционный затвор со ступенчатой верхней гранью и криволинейным козырьком в основании, нижней гранью с плоским козырьком в основании, боковыми стенками, вертикальными ребрами, делящими полость между гранями на симметричные относительно вертикальной оси затвора секции, верхняя грань выполнена с изломом и наклонена навстречу потоку, криволинейный козырек выполнен конусообразным с углом конусности  $\beta_1 > 120^\circ$ , а плоский козырек нижней грани установлен к ней под углом  $\beta_2 < (180^\circ - \beta_1/2)$ .

1 н. п. ф., 3 фиг.

(19) **KG** (11) **1551** (13) **C1** (46) **28.06.2013**

3

Изобретение относится к гидротехнике и предназначено для стабилизации расхода воды при водоподаче из распределительных каналов старшего порядка в каналы младшего порядка.

Известен стабилизатор расхода воды в гидротехническом сооружении, содержащий два плоских затвора, последовательно установленных и связанных с приводом, перед первым затвором установлен ступенчатый водослив, а на втором закреплены вертикальные ребра и на нижней кромке закреплен горизонтальный козырек (А. с. SU № 711548, кл. G05D 7/06, E02B 7/26, 1980).

Недостатком известного стабилизатора расхода воды в гидротехническом сооружении является низкий диапазон регулирования из-за равной ширины лицевой и внутренней граней затвора, что снижает пропускную способность секций и приводит к их забивке плавником и мусором, что снижает надежность работы и требует дополнительных эксплуатационных и финансовых затрат.

Известен стабилизатор расхода воды, принятый за прототип, содержащий коробчатый секционный затвор со ступенчатой верхней гранью и ступенчатым водосливом, жестко заделанным в устой сооружения, нижние ребра верхней и нижней граней затвора снабжены, соответственно, криволинейным и плоским козырьками, расположенными на одном уровне. (А. с. SU № 687171, кл. E02B 13/02, 1979).

Недостатком известного устройства являются низкая точность регулирования, обусловленная равной шириной в основании верхней и нижней граней, а также низкая надежность из-за малой пропускной способности секций, имеющих неизменное по высоте сечение, в результате чего происходит забивка секций на входе плавником и мусором, затраты на очистку которых повышает эксплуатационные издержки сооружения.

Техническая задача - повышение точности регулирования и надежности работы устройства.

4

Поставленная задача решается за счет того, что в стабилизаторе расхода воды, содержащем коробчатый секционный затвор со ступенчатой верхней гранью и криволинейным козырьком в основании, нижней гранью с плоским козырьком в основании, боковыми стенками, вертикальными ребрами, делящими полость между гранями на симметричные относительно вертикальной оси затвора секции, верхняя грань выполнена с изломом и наклонена навстречу потоку, криволинейный козырек выполнен конусообразным с углом конусности  $\beta_1 > 120^\circ$ , а плоский козырек нижней грани установлен к ней под углом  $\beta_2 < (180^\circ - \beta_1/2)$ .

Выполнение верхней грани с изломом и наклоном навстречу потоку позволяет увеличить сечение верхней части секций, что создает поле повышенных скоростей в зоне излома, в результате чего повышается пропускная способность секций, уменьшается забивка секций плавником, повышается надежность работы и точность отводимых расходов.

Выполнение криволинейного козырька конусообразным с углом конусности  $\beta_1 > 120^\circ$  повышает пропускную способность верхней грани и точность регулирования, за счет увеличения ширины водосливной кромки.

Выполнение плоского козырька на нижней грани наклонным к ней под углом  $\beta_2 < (180^\circ - \beta_1/2)$  позволит сместить положение сжатого сечения вниз по потоку, исключив захват козырьком потока, вытекающего из-под верхней грани, а также уменьшить расход истечения из-под секций при повышении уровня воды, что будет способствовать повышению точности стабилизации водоподачи.

Стабилизатор расхода воды иллюстрируется чертежом, где на фиг. 1 изображен разрез общего вида сооружения, на фиг. 2 - вид А-А на фиг. 1, на фиг. 3 - вид В-В на фиг. 1.

5

Стабилизатор расхода воды, расположенный на входе в отводящий канал 1, состоит из коробчатого секционного затвора 2, подвижно установленного в пазах 3 устоев 4 и имеющего привод 5. Полость затвора 2 образована ступенчатой верховой гранью 6, низовой гранью 7, боковыми стенками 8 и вертикальными ребрами 9, делящими полость между гранями на секции 10, симметричные относительно вертикальной оси затвора 2.

Верхняя часть 11 верховой грани 6 выполнена с изломом 12 и наклонена навстречу потоку. В основании ступенчатой верховой грани 6 закреплен конусообразный козырек 13 с углом конусности  $\beta_1 > 120^\circ$ . В основании низовой грани установлен плоский козырек 14 под углом  $\beta_2 < (180^\circ - \beta_1/2)$  к ней.

Устройство работает следующим образом.

При расчетном уровне воды  $H_1$  перед затвором 2 стабилизатор работает в режиме без перелива в секции 10, истечение в отводящий канал 1 происходит из-под нижней водосливной кромки конусообразного козырька 11, сжатый поток проходит, не касаясь наклонного козырька 12. При этом стабилизатор имеет максимальную пропускную способность (коэффициент расхода  $\mu > 0.57$ , ширина водосливной кромки затвора  $b_1 > b$ ).

6

При увеличении уровня воды больше расчетного  $H_1$ , начинается перелив воды в крайние секции 10, после заполнения секций водой на этом участке затвора 2 истечение переходит из режима истечения из-под конусообразного козырька 11 на истечение из-под плоского наклонного козырька 12 с меньшей пропускной способностью ( $\mu \leq 0.57$ ) и меньшей шириной водосливной кромки  $b$ . Пропускная способность при этом первой секции резко уменьшается за счет уменьшения ширины крайних секций затвора и уменьшения коэффициента расхода. Это уменьшение расхода истечения из-под крайних секций компенсирует увеличение расхода из-под остальных секций затвора 2.

Диапазон допустимых изменений напоров перед стабилизатором определяется при равенстве расхода воды до перелива и после перелива. При дальнейшем повышении уровня воды  $H$  вступают в работу вторые от края секции, а затем и центральная секция, стабилизируя расход воды на всем диапазоне изменения напоров от  $H_1$  до  $H_2$ .

Использование стабилизатора расхода воды предлагаемой конструкции позволит повысить точность подаваемого расхода и надежность в работе.

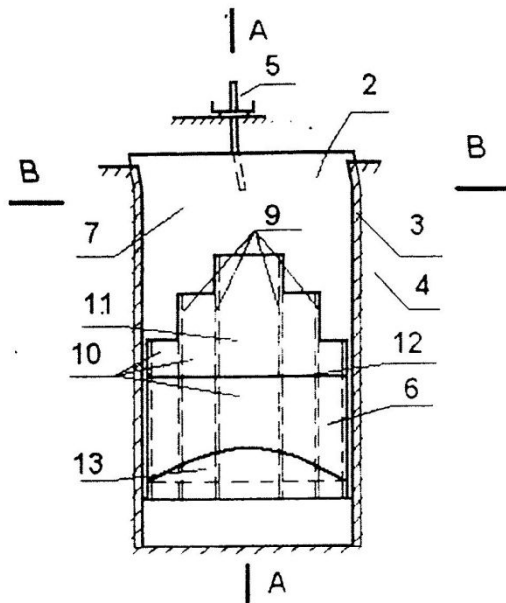
7

**Формула изобретения**

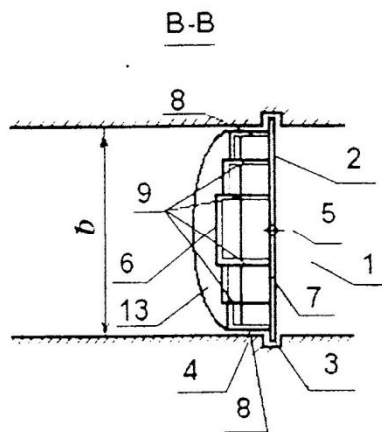
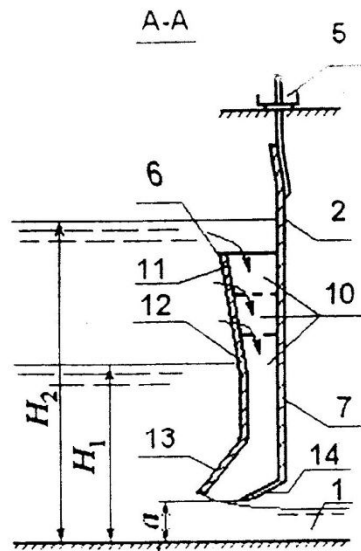
Стабилизатор расхода воды, содержащий коробчатый секционный затвор со ступенчатой верховой гранью и криволинейным козырьком в основании, низовой гранью с плоским козырьком в основании, боковыми стенками, вертикальными ребрами, делящими полость между гранями на симметричные

8

относительно вертикальной оси затвора секции, отличающийся тем, что верховая грань выполнена с изломом и наклонена навстречу потоку, криволинейный козырек выполнен конусообразным с углом конусности  $\beta_1 > 120^\circ$ , а плоский козырек низовой грани установлен к ней под углом  $\beta_2 < (180^\circ - \beta_1/2)$ .



Фиг. 1



Выпущено отделом подготовки материалов

Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики.  
720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03