

УДК 626.824:626.822

**КЫРГЫЗСКИЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. К. И. СКРЯБИНА**

Совет по защите диссертаций Д 06.02.206

УДК 626.824:626.822

На правах рукописи

АТАМАНОВА Ольга Викторовна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ
ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ
С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ
СТАБИЛИЗАТОРАМИ РАСХОДА ВОДЫ**

Специальность: 06.01.02 — Мелиорация, рекультивация и охрана земель
05.23.07 — Гидротехническое строительство

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

БИШКЕК 2003

Работа выполнена в Кыргызском аграрном университете имени К.И.Скрябина.

Научные консультанты - член-корреспондент РАСХН и НАН КР,
доктор технических наук, профессор
БОЧКАРЕВ Я.В.

академик НАН КР,
доктор технических наук, профессор
МАКОВСКИЙ Э.Э.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Вагапов Р.И.,
доктор технических наук, профессор Лавров Н.П.,
доктор технических наук Соболев Г.В.

Ведущая организация - Кыргызский научно-исследовательский институт
иригации

Защита состоится " 4 " ИЮЛЯ 2003 г. в 10⁰⁰ часов на заседании
совета по защите диссертаций Д 06.02.206 в Кыргызском аграрном универ-
ситете им. К.И. Скрябина по адресу: 720005, г.Бишкек, ул. О.Медерова, 68;
факс: (996 312) 540 545.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского аграрного
университета им. К.И. Скрябина.

Автореферат разослан " 26 " МАЯ 2003 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук,
доцент

Иванова Н.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Одним из основных факторов подъема сельского хозяйства является развитие мелиорации земель.

В Кыргызской Республике, где площадь орошаемых земель, занятых в сельскохозяйственном производстве, в настоящее время составляет около 960 тыс.га и обеспечивает более 90 % всей продукции растениеводства орошению и мелиорации земель уделяется особое внимание.

Однако современные оросительные системы чаще всего работают в режимах, недостаточно использующих возможности оросительных каналов и гидротехнических сооружений.

В настоящее время в условиях аграрной реформы возникает острая необходимость разработки более простых и совершенных автоматизированных систем водораспределения, позволяющих обеспечивать управление технологическими процессами водораспределения и водоподачи. Это вызвано также необходимостью нормированного обеспечения возросшего количества мелких водопотребителей.

Оптимальное управление процессами водораспределения и водоподачи на оросительных системах может быть успешно осуществлено системами каскадного регулирования на базе отдельных связанных между собой автоматизированных автономных систем трансформации стока, способных перерегулировать сток и обеспечить гарантированную подачу воды потребителям согласно оперативным графикам водоподачи.

В качестве средств автоматизации сооружений водоподачи, являющихся самыми массовыми на системах водораспределения, наиболее целесообразно использовать гидравлические стабилизаторы расхода воды, получившие последнее время широкое распространение на оросительных системах в качестве средств автоматизации отдельных водовыпусков.

Гидравлические стабилизаторы расхода воды являются достаточно простыми в конструктивном отношении, несложными в изготовлении и эксплуатации. Помимо этого, отсутствие у них подвижных частей в работе способствует значительному увеличению надежности и повышению качества функционирования их на системе.

Стабилизаторы расхода воды, удачно сочетая в себе функции регулирования (стабилизации) водоподачи и водоучета, могут считаться многофункциональными средствами автоматизации оросительных систем.

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

Использование стабилизаторов расхода на системах водораспределения способствует решению этой проблемы, поскольку благодаря своим конструктивным особенностям, они являются инвариантными системами и обеспечивают однозначную зависимость расхода отвода от какого-либо измеряемого параметра стабилизатора. Это позволяет, используя службу диспетчерского контроля и управления, значительно упростить систему

водоучета на оросительной сети, уменьшив число каналов связи. Замеры проводятся только в отдельных точках автономных систем (например, на водораспределительных узлах), резко сокращая тем самым объем работ диспетчерской службы, давая возможность значительно ускорить подсчет баланса по стоку воды в системе и способствуя обеспечению оперативного управления на оросительной сети.

Вышеизложенное обосновывает актуальность проблемы совершенствования систем водораспределения по принципу каскадного регулирования, включающих гидравлические стабилизаторы расхода воды, как средства автоматизации водовыпускных сооружений автономных систем.

Такие системы позволяют минимизировать потери неравномерного стока, решить проблему учета оросительной воды в условиях рыночных отношений и обеспечить оперативность управления на системах, повысить надежность водовыпускных сооружений, а вместе с тем и качества функционирования оросительных систем.

Разработки и исследования по теме диссертации проведены в 1988-2002 гг. в Кыргызском сельскохозяйственном институте им. К.И.Скрябина, преобразованном в 1996 г. в Кыргызскую аграрную академию и в 2001 г. в Кыргызский аграрный университет, в соответствии с планом научно-исследовательских работ института по теме 13 проблемы 0.06.03.

Целью исследований является совершенствование теории и методов расчетного обоснования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды, как средствами автоматизации водоподачи, позволяющими сократить материалоемкость, улучшить эксплуатационные характеристики, повысить надежность работы водовыпускных сооружений и оросительной системы в целом.

Для реализации поставленной цели требовалось решить следующие основные задачи:

- выполнить технологическое обоснование процесса и способов водораспределения на оросительных системах, включая согласование режимов работы каналов и гидротехнических сооружений на них;
- выявить и проанализировать статические характеристики объектов регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды;
- теоретически исследовать и обосновать динамические процессы в объектах регулирования и на этой основе предложить рациональные параметры звеньев усовершенствованных систем водораспределения;
- обосновать выбор средств стабилизации водоподачи для систем водораспределения, разработать более совершенные конструкции стабилизаторов расхода воды, теоретически и экспериментально исследовать их с целью получения методик гидравлического расчета;
- на основе анализа качественных характеристик стабилизаторов расхода воды оценить эффективность их использования для целей водоучета на оросительных системах;

- разработать научно обоснованные рекомендации по выбору способов и средств автоматизации водораспределения, методам расчетного обоснования и проектирования объектов регулирования водораспределительных систем.

Научная новизна диссертации состоит в:

- обобщении литературных и других научных данных по названной проблеме, разработке на этой основе развернутой классификации (многоуровневой структуры) принципов и средств стабилизации водоподачи для оросительных систем;
- разработке технологического обоснования способа автоматизации водораспределения с рациональным размещением сооружений и схемами автоматизации объектов регулирования систем водораспределения;
- установлении и описании статических характеристик объектов регулирования и их элементов (на примере кольцевых стабилизаторов расхода воды); разработке математических моделей динамических процессов в объектах регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды;
- разработке рациональных параметров объектов регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды;
- разработке новых усовершенствованных конструкций гидравлических стабилизаторов расхода воды, получении на основе теоретических и экспериментальных исследований методик их гидравлического расчета;
- обосновании эффективности использования гидравлических стабилизаторов расхода воды в качестве средств водоучета на оросительных системах;
- разработке рекомендаций по выбору способов и средств автоматизации водораспределения на оросительных каналах, методам инженерного расчета систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

Практическая значимость работы заключается в разработке комплексных научно обоснованных методов расчетного обоснования объектов регулирования усовершенствованных систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

Использование разработанных в диссертации научных рекомендаций позволит повысить качество проектирования комплекса гидротехнических сооружений систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды, и за счет снижения материалоемкости, повышения надежности сооружений водоподачи и снижения эксплуатационных затрат получить более экономичные и простые проектные решения.

Применение разработанных конструкций стабилизаторов расхода воды дает возможность снизить металлоемкость в среднем в 2 раза (по сравнению с аналогами), обеспечить увеличение надежности за счет особенностей конструктивного исполнения полотнищ затворов и повышение эксплуатационных характеристик сооружений, обеспечив защиту от попадания основной массы наносов в отвод, благодаря конструктивному исполнению водоприемной камеры.

Обоснованность и достоверность результатов обусловлены: проведением детальных экспериментов с применением современного лабораторного оборудования; сопоставлением расчетных данных с опытными и результатами исследований других авторов; проверкой адекватности полученных экспериментально математических моделей по критериям Стьюдента, Кохрена и Фишера; подтверждением предложенных технических решений авторским свидетельством СССР и патентами Кыргызской Республики; использованием классических методов операционного исчисления при получении теоретических математических моделей динамики процессов в объектах регулирования.

Реализация и экономическая значимость полученных результатов. Результаты исследований внедрены в производство на канале Каирма Кантского района Чуйской области, вошли в проекты каналов Аламедин-Норус Кантского района и Бургандинского магистрального канала Кадамжайского района Ошской области, реализуются в других проектах АО "Кыргызсуудолбоор".

Дисконтированный чистый доход от внедрения системы водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды только на канале Бурганда составил 24757 долларов США в ценах 2000 года.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- усовершенствованная система водораспределения на каналах с использованием гидравлических стабилизаторов расхода воды;
- математические модели динамических процессов в объектах регулирования систем водораспределения;
- усовершенствованная развернутая классификация принципов, способов и средств стабилизации водоподачи для оросительных систем;
- новые улучшенные конструкции гидравлических стабилизаторов расхода воды и методики их расчета;
- обоснование эффективности использования гидравлических стабилизаторов расхода воды для целей водочета на оросительных системах;
- рекомендации по выбору способов и средств автоматизации водораспределения, методам расчета систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

Личный вклад в решение проблемы. Диссертация выполнена автором на основе 15-летних исследований, проведенных на базе факультета гидромелиорации и землеустройства Кыргызского аграрного университета им. К.И.Скрябина.

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

Теоретические и экспериментальные исследования, анализ основного объема экспериментальных данных, разработка методик инженерного расчета средств автоматизации и объектов регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды, разработка рекомендаций по проектированию и эксплуатации объектов регулирования, формулирование основных выводов осуществлены лично автором диссертации.

При постановке ряда задач исследований средств стабилизации водоподачи автор получил ценные советы научного консультанта, академика МАЭП и АВН РФ, чл.-корр. РАСХН и НАН КР, д.т.н., проф. Я.В. Бочкарева.

При выборе и обосновании направления теоретических исследований объектов регулирования систем водораспределения автор получил эффективную помощь научного консультанта, академика НАН КР, д.т.н., проф. Э.Э. Маковского.

Апробация работы. Основные результаты разработок и исследований докладывались и были одобрены на научно-практических конференциях Кыргызского СХИ, КАА, КАУ в 1989-2003 гг., на заседаниях технического совета Минводхоза Кыргызской ССР в 1991-93гг., на международной научной конференции КТУ им. И.Раззакова в 1998г., на научно-технических конференциях КРСУ в 1997, 2000, 2002 гг., на научно-практических семинарах института автоматики НАН КР в 1998-99гг., на юбилейной научно-практической конференции САНИИРИ (г.Ташкент) в 2000г., на I съезде инженеров Кыргызской Республики в 2001г., на научно-практической конференции Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова (г.Саратов) в 2002 г., на международном симпозиуме по проблемам гор в 2002 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 43 научные работы, из них одна монография, одно учебное пособие (в соавторстве), 1 авторское свидетельство и 2 предварительных патента на изобретение. Материалы исследований вошли в 3 учебных пособия для высших и средних специальных заведений по специальности "Гидромелиорация".

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы и приложений. Общий объем работы 358 страниц, включая 57 рисунков, 65 таблиц, список литературы из 171 наименования, 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава диссертации посвящена характеристике систем водораспределения и их элементов, анализу технологического процесса и схем автоматизации водораспределения на ирригационных системах с целью их дальнейшего совершенствования.

Оросительные мелиорации, призванные создавать и регулировать на полях водный режим, обеспечивая, таким образом, получение проектного урожая сельскохозяйственных культур, предполагают создание совершенных конструкций водораспределительных систем. Технологический процесс распределения воды, поступающей от источника орошения к орошаемому массиву, требует выполнения сложнейших технологических операций, происходящих в каналах систем водораспределения.

Под системой водораспределения понимается технически оснащенная система гидросооружений, обеспечивающая распределение оросительной воды на ирригационной сети. Она представляет собой комплекс элементов

гидромелиоративной системы, включающий магистральный канал, распределительные каналы и сооружения на них, предназначенный для поступления воды от источника орошения к потребителю (к регулирующей сети).

Основная цель системы водораспределения – распределение объема воды, поступающей из источника орошения в канал, между потребителями по оперативному плану водопользования.

Вопросам разработок и исследований гидротехнических сооружений систем водораспределения большое место уделено в работах Ш.С.Бобохидзе, Я.В.Бочкарева, Р.И.Вагапова, М.К.Жусупова, П.И.Коваленко, Н.Н.Кременецкого, Н.П.Лаврова, Э.Э.Маковского, Н.П.Розанова, И.С.Румянцева, С.С.Сатаркулова, Г.В.Соболина, И.Б.Хамадова, Д.В.Штеревлихта и других ученых.

На основе анализа технических характеристик систем водораспределения и гидросооружений на них автором диссертации были выявлены особенности этих систем, позволившие наметить пути их совершенствования.

Проанализированы основные технологические принципы автоматизации водораспределения на оросительных системах.

Рассмотрена технология функционирования систем водораспределения, предполагающая обеспечение следующих основных технологических режимов в процессе работы открытой оросительной системы:

- установочный режим, объединяющий фазы заполнения каналов системы водораспределения водой и установку средств автоматизации в положение, обеспечивающее оптимальные параметры рабочего режима;
- основной (рабочий) режим, обеспечивающий устойчивую работу системы исходя из заданных параметров;
- аварийный режим, предусматривающий функционирование системы в условиях отклонения от заданных параметров;
- режим обслуживания, предполагающий опорожнение системы, техническое обслуживание и ремонт сооружений, настройку и регулировку средств автоматизации.

Подробно рассмотрена работа сооружений системы водораспределения в каждом из перечисленных технологических режимов.

Исходя из принятой технологии водораспределения на системе рассмотрены основные технологические схемы автоматизации водораспределения на каналах открытых оросительных систем.

Анализ рассмотренных технологических схем автоматизации водораспределения позволил отметить несомненные преимущества схем второго класса и, в частности, схем каскадного регулирования, характеризующихся наличием обратной гидравлической или других видов связи и осуществлением регулирования водораспределением снизу вверх. Однако на участках систем водораспределения, где уклоны каналов больше критических, оправдано использование более простых технологических схем автоматического регулирования первого класса, характеризующиеся отсутствием обратной гидравлической связи и осуществлением нормированного распределения сверху вниз.

Системы каскадного регулирования, позволяющие разграничить операции управления вододелиением между диспетчеризацией и автономными системами регулирования и управления, дают возможность обеспечить баланс воды между многочисленными потребителями, автоматизацию процессов накопления и сбрасывания резервных объемов воды, выравнивание неравномерных графиков водоподачи и ее стабилизацию в хозяйстве.

Оснащение систем этого типа стабилизаторами расхода воды предусматривает установку стабилизаторов расхода на водовыпускных сооружениях автономных систем. Перегораживающие сооружения в соответствии с предлагаемой технологической схемой рационально оборудовать авторегуляторами УНБ с защитой от переполнения каналов либо стабилизаторами расхода воды (рис.1).

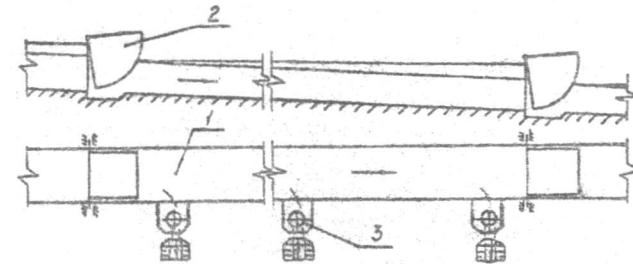


Рис.1. Компонентная схема участка канала системы водораспределения при каскадном регулировании с гидравлическими стабилизаторами расхода воды: 1-транзитный канал; 2-регулятор УНБ с защитой от переполнения канала; 3-водовыпуск, автоматизированный стабилизатором расхода воды.

Проведенный анализ теоретических основ неустановившегося движения воды в каналах с малыми уклонами и наличием водораспределительных сооружений позволил выявить зависимости, описывающие динамику процессов в любом объекте регулирования и самой системе водораспределения в целом с учетом ее индивидуальных особенностей. В основу анализа положены работы В.А.Архангельского, Н.М.Бернадского, И.В.Егизарова, Э.Э.Маковского, Н.В.Мастицкого, Н.Т.Мелешенко, Г.Г.Самородова, В.П.Симонова, С.А.Христиановича и других ученых.

Обзор и анализ существующих систем водораспределения дал возможность выделить в число наиболее перспективных системы водораспределения, работающие по принципу каскадного регулирования, с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

Во второй главе рассмотрены статические характеристики объектов регулирования, позволяющие проанализировать установившиеся режимы движения воды через гидротехнические сооружения систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода.

В качестве типового объекта регулирования системы водораспределения был выбран участок канала, ограниченный вододелительными сооружениями и размещенными вдоль трассы канала водовыпусками.

Важнейшей составной частью материала по статическим характеристикам объекта регулирования системы водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды явились вопросы, связанные с анализом передаточных функций. Для проведения такого анализа необходимо было получить расчетные зависимости по определению расхода истечения через стабилизатор, построить универсальные графические зависимости для определения по трем переменным H , h_0 , a (H —наполнение перед стабилизатором, h_0 —наполнение в нижнем бьефе водовыпуска, a —открытие стабилизатора) режима истечения из-под стабилизатора и найти частные производные от расхода по каждой из переменных.

Анализ установившихся режимов движения воды через гидротехнические сооружения проводился на примере кольцевого стабилизатора расхода воды (рис.2), обеспечивающего требуемое качество стабилизации водоподачи при большем диапазоне колебаний напоров в ВБ, чем у других типов стабилизаторов. Описание конструкций кольцевых стабилизаторов расхода воды приводится далее в главе 4.

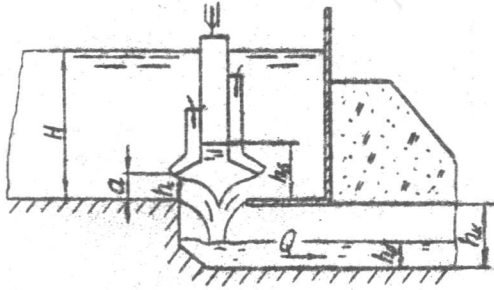


Рис.2. Схема истечения из-под кольцевого стабилизатора расхода воды.

По результатам эксперимента, используя метод наименьших квадратов, сначала были установлены зависимости для определения коэффициента расхода стабилизатора, работающего в режимах свободного и затопленного истечения. На основе чего найдены формулы расхода истечения из-под кольцевого стабилизатора (при любых наполнениях в верхнем бьефе), работающего в режиме: свободного истечения:

$$Q = \left[0,31867 + 0,36971 \exp \left\{ -0,5 \left[\frac{\left(\frac{a}{H} - 0,27 \right)^2}{0,09837} \right] \right\} \right] a \pi D \sqrt{2gH \left[0,65 - 0,469 \left(\frac{a}{H} \right) \right]}, \quad (1)$$

где a — открытие стабилизатора; D — диаметр цилиндрического затвора по кромке истечения; H — напор воды перед стабилизатором; затопленного истечения:

$$Q = \left[\begin{aligned} & -2923,685 \left(\frac{a}{H} \right)^6 + 4736,3696 \left(\frac{a}{H} \right)^5 - 2822,339 \left(\frac{a}{H} \right)^4 + 746,2506 \left(\frac{a}{H} \right)^3 - \\ & - 85,523 \left(\frac{a}{H} \right)^2 + 4,5017 \left(\frac{a}{H} \right) + 0,3390 \end{aligned} \right] \times$$

$$\times a \pi D \left\{ \begin{aligned} & 4,73321 - 4,0475 \ln \left(\frac{a}{H} \right) + \frac{2,83158}{\ln \left(\frac{a}{H} \right)} - 7,01845 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^2 - \frac{4,76585}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^2} - \\ & 2gZ - 3,66686 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^3 - \frac{1,1484}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^3} - 0,85534 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^4 + \frac{5,6176}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^4} - \\ & - 0,0759 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^5 + \frac{3,13522}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^5} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где Z — перепад напоров верхнего и нижнего бьефов сооружения.

Используя выражения (1) и (2), были получены (рис.3) графические зависимости $\frac{h_0 - h_r}{H} = f \left(\frac{h_0}{H}, \frac{a}{H} \right)$, где h_0 , h_r , h_k — гидравлические параметры потока.

Полученные графические зависимости наглядно демонстрируют границы режимов истечения из-под кольцевого стабилизатора: А — зона свободного истечения; В — зона затопленного истечения; С — зона подтопления.

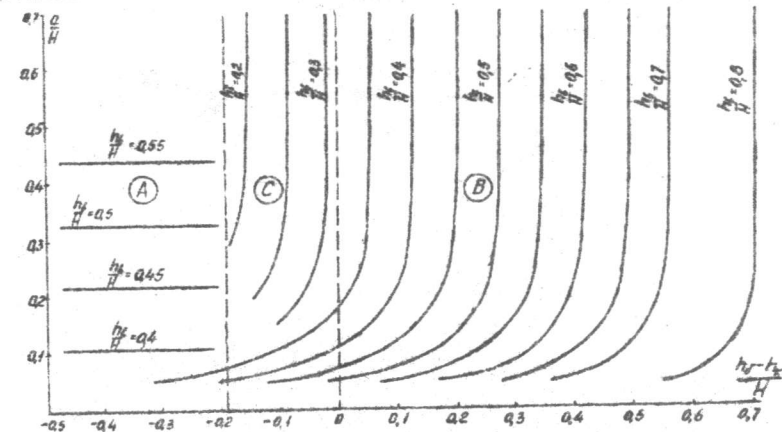


Рис.3. Зависимости для определения режимов истечения

С целью установления коэффициентов граничных условий для уравнений неустановившегося движения воды выбранного участка канала были получены частные производные от расхода Q по переменным H , a , h_s . Для их составления использовались зависимости (1) и (2).

Выражение в частных производных от расхода составлено сначала для режима свободного истечения в нижний бьеф сооружения.

Производная $\frac{\partial Q}{\partial h_s}$ в этом случае равна нулю, поскольку бытовая глубина в нижнем бьефе сооружения не влияет на изменение величины расхода воды через стабилизатор.

Производная $\frac{\partial Q}{\partial H}$ с учетом зависимости (1) приняла вид:

$$\frac{\partial Q}{\partial H} = \pi D \left\{ 0,32 + 0,37 \exp \left[-50 \left(\frac{a}{H} - 0,27 \right)^2 \right] \right\} \frac{0,65g}{\sqrt{2g(0,65H - 0,47a)}} + \sqrt{2gH \left(0,65 - 0,47 \frac{a}{H} \right)} \frac{37a^2 \pi D}{H^2} \left(\frac{a}{H} - 0,27 \right) \exp \left[-50 \left(\frac{a}{H} - 0,27 \right)^2 \right]. \quad (3)$$

Производная $\frac{\partial Q}{\partial a}$:

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \pi D \left\{ 0,32 + 0,37 \exp \left[-50 \left(\frac{a}{H} - 0,27 \right)^2 \right] \right\} \left[1 - \frac{100a}{H} \left(\frac{a}{H} - 0,27 \right) \right] \cdot \sqrt{2gH \left(0,65 - 0,47 \frac{a}{H} \right)} - \pi D a \left\{ 0,32 + 0,37 \exp \left[-50 \left(\frac{a}{H} - 0,27 \right)^2 \right] \right\} \frac{0,47g}{\sqrt{2gH \left(0,65 - 0,47 \frac{a}{H} \right)}}. \quad (4)$$

Далее были составлены выражения в частных производных от расхода истечения для режима затопленного истечения из-под стабилизатора расхода воды, используя зависимость (2).

Производная $\frac{\partial Q}{\partial h_s}$ приняла вид:

$$\frac{\partial Q}{\partial h_s} = \frac{\sqrt{g} \pi D}{\sqrt{2Z}} \left[2923,69 \left(\frac{a}{H} \right)^6 - 4736,37 \left(\frac{a}{H} \right)^5 + 2822,34 \left(\frac{a}{H} \right)^4 - 746,25 \left(\frac{a}{H} \right)^3 + 85,52 \left(\frac{a}{H} \right)^2 - 4,5 \left(\frac{a}{H} \right) - 0,34 \right] \times \left[4,73 - 4,05 \ln \left(\frac{a}{H} \right) + \frac{2,83}{\ln \left(\frac{a}{H} \right)} - 7,02 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^2 - \frac{4,77}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^2} - 3,67 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^3 - \frac{1,15}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^3} - 0,86 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^4 - \frac{5,62}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^4} - 0,08 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^5 + \frac{3,14}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^5} \right]. \quad (5)$$

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

$$\frac{\partial Q}{\partial H} = \frac{\sqrt{2gZ} \pi D}{H} \left[\left\{ 17542,14 \left(\frac{a}{H} \right)^6 - 23681,85 \left(\frac{a}{H} \right)^5 + 11289,36 \left(\frac{a}{H} \right)^4 - 2238,75 \left(\frac{a}{H} \right)^3 + 171,04 \left(\frac{a}{H} \right)^2 - 4,5 \left(\frac{a}{H} \right) \right\} \times \left[4,73 - 4,05 \ln \left(\frac{a}{H} \right) + \frac{2,83}{\ln \left(\frac{a}{H} \right)} - 7,02 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^2 - \frac{4,77}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^2} - 3,67 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^3 - \frac{1,15}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^3} - 0,86 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^4 + \frac{5,62}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^4} - 0,08 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^5 + \frac{3,14}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^5} \right] \times \left[2923,69 \left(\frac{a}{H} \right)^6 - 4736,37 \left(\frac{a}{H} \right)^5 + 2822,34 \left(\frac{a}{H} \right)^4 - 746,25 \left(\frac{a}{H} \right)^3 + 85,52 \left(\frac{a}{H} \right)^2 - 4,5 \left(\frac{a}{H} \right) - 0,34 \right] \times \left[4,73 - 4,05 \ln \left(\frac{a}{H} \right) + \frac{2,83}{\ln \left(\frac{a}{H} \right)} - 7,02 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^2 - \frac{4,77}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^2} - 3,67 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^3 - \frac{1,15}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^3} - 0,86 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^4 + \frac{5,62}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^4} - 0,08 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^5 + \frac{3,14}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^5} \right] \times \left[4,05 + \frac{2,83}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^2} + 14,04 \ln \left(\frac{a}{H} \right) - \frac{9,54}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^3} + 11,01 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^2 - \frac{3,45}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^4} + 3,44 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^3 + \frac{22,48}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^5} + 0,4 \left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^4 + \frac{15,7}{\left(\ln \left(\frac{a}{H} \right) \right)^6} \right] \right]. \quad (6)$$

Для $\frac{\partial Q}{\partial a}$ при затопленном истечении имело место:

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \sqrt{2gZ} \pi D \left[\left\{ -20465,83 \left(\frac{a}{H} \right)^6 + 28418,22 \left(\frac{a}{H} \right)^5 - 14111,7 \left(\frac{a}{H} \right)^4 + 2985 \left(\frac{a}{H} \right)^3 - 256,56 \left(\frac{a}{H} \right)^2 + 9,0 \left(\frac{a}{H} \right) + 0,34 \right\} \right]$$

$$\begin{aligned}
 & \sqrt{4,73 - 4,05 \ln\left(\frac{a}{H}\right) + \frac{2,83}{\ln\left(\frac{a}{H}\right)} - 7,02 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^2 - \frac{4,77}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^2} - 3,67 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^3 -} \\
 & \times \sqrt{-\frac{1,15}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^3} - 0,86 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^4 + \frac{5,62}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^4} - 0,08 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^5 + \frac{3,14}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^5}} \\
 & \left[-2923,69 \left(\frac{a}{H}\right)^6 + 4736,37 \left(\frac{a}{H}\right)^5 - 2822,34 \left(\frac{a}{H}\right)^4 + 746,25 \left(\frac{a}{H}\right)^3 - \right. \\
 & \left. - 85,52 \left(\frac{a}{H}\right)^2 + 4,5 \left(\frac{a}{H}\right) + 0,34 \right] \\
 & + \frac{a}{2} \sqrt{4,73 - 4,05 \ln\left(\frac{a}{H}\right) + \frac{2,83}{\ln\left(\frac{a}{H}\right)} - 7,02 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^2 - \frac{4,77}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^2} - 3,67 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^3 -} \\
 & \sqrt{-\frac{1,15}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^3} + 0,86 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^4 + \frac{5,62}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^4} - 0,08 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^5 + \frac{3,14}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^5}} \\
 & \left[-4,05 - \frac{2,83}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^2} - 14,04 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right) + \frac{9,54}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^3} - 11,01 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^2 + \right. \\
 & \left. + \frac{3,45}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^4} - 3,44 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^3 - \frac{22,48}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^5} - 0,4 \left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^4 - \frac{15,7}{\left(\ln\left(\frac{a}{H}\right)\right)^6} \right] \quad (7)
 \end{aligned}$$

Полученные выражения в частных производных позволили оценить поведение системы водораспределения с кольцевыми стабилизаторами расхода воды.

Анализ выражения (3), характеризующего режим свободного истечения через стабилизатор, показал, что с увеличением напора H параметр $\exp\left[-50\left(\frac{a}{H} - 0,27\right)^2\right]$ увеличивается, также как и величина $\sqrt{2gH\left(0,65 - 0,47\left(\frac{a}{H}\right)\right)}$, в то время как составные части выражения, где H находится в знаменателе, уменьшаются.

Расчетным путем было установлено, что при наполнениях перед стабилизаторами меньше минимально допустимых H_{\min} , величины частной производной $\frac{\partial Q}{\partial H}$ являются положительными и уменьшаются по величине от 4,7 до 1,0. Причем с увеличением напора величина производной монотонно убывает, что свидетельствовало о повышении качества стабилизации отводимого расхода с увеличением H . В диапазоне изменений напоров перед стабилизатором от H_{\min}

до H_{\max} величина производной $\frac{\partial Q}{\partial H}$ достаточно мала (0,065...0,16), что подтвердило принцип неизменности отводимых расходов воды при напорах $H_{\min} \leq H \leq H_{\max}$, лежащий в основе функционирования стабилизаторов.

С увеличением напоров перед стабилизатором $H > H_{\max}$ величина производной монотонно увеличивается. Однако значения частных производных в этом случае меньше, чем при наполнениях $H < H_{\min}$. Это позволяет сделать вывод о лучшем качестве стабилизации водоподдачи при больших напорах перед сооружением по сравнению с малыми напорами.

Анализ выражения (4) показал, что с увеличением открытия стабилизатора величина производной $\frac{\partial Q}{\partial a}$ увеличивается, а значения производных положительны. Причем зависимость является почти линейной, что очередной раз доказывает возможность использования стабилизаторов расходов воды в качестве водометров, поскольку имеет место $Q = Ca$ (C — постоянная стабилизатора расхода воды).

Анализируя уравнение (5) видим, что значительное влияние на процесс истечения оказывает величина подтопления с нижнего бьефа сооружения. При небольшом подтоплении стабилизация начинается при меньших напорах в верхнем бьефе и производная $\frac{\partial Q}{\partial h_0} \rightarrow 0$, то есть близка к случаю свободного истечения. С увеличением подтопления с нижнего бьефа значения производных $\frac{\partial Q}{\partial h_0}$ увеличиваются по абсолютной величине, создавая картину явно затопленного истечения через сооружение.

Из анализа зависимости (6) видно, что стабилизация при затопленном истечении из-под стабилизаторов начинается при больших значениях H , чем при свободном. В этом случае величины производных $\frac{\partial Q}{\partial H}$ при напорах $H < H_{\min}$ имеют большие значения, чем в выше рассмотренном случае. Кроме этого, диапазон допустимых колебаний напоров перед стабилизатором, который обеспечивает постоянство отводимых расходов воды, при затопленном истечении несколько меньше, чем при свободном, о чем свидетельствуют значения производных $\frac{\partial Q}{\partial H}$ при напорах $H_{\min} \leq H \leq H_{\max}$. Это доказывает невозможность использования стабилизатора в подпорно-переменном режиме истечения. Каждая конкретная конструкция стабилизатора расхода должна рассчитываться применительно к заданным условиям функционирования и выбранному (свободному или затопленному) режиму истечения через стабилизатор.

Немаловажную роль в изменении процесса истечения из-под стабилизатора играет открытие. Как показали расчеты, при небольших открытиях стабилизатора ($a = 0,05, 0,1$ м) допустимый диапазон изменений

напоров больше в 1,5 раза, чем при максимальном открытии ($a = 0,25$ м) при равных прочих гидравлических характеристиках стабилизатора.

Из анализа выражения (7) было установлено, что с увеличением параметра a частная производная $\frac{\partial Q}{\partial a}$ также увеличивается почти пропорционально. Таким образом, можно утверждать, что в режиме затопленного истечения через стабилизаторы последние сохраняют свойства инвариантности систем, давая возможность использовать их как водомеры.

Еще одним немаловажным моментом при рассмотрении статических характеристик систем водораспределения явился анализ режимов работы канала при неравномерном движении потока воды в нем.

Для выбранных параметров канала трапециевидального сечения был выполнен расчет неравномерного движения воды при установке на водовыпусках вдоль трассы канала стабилизаторов расхода воды.

По результатам расчетов были построены кривые свободной поверхности потока как для случая нормального режима работы стабилизаторов, когда $h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$ (h_{\min}, h_{\max} - минимальное и максимальное наполнения перед стабилизатором) (рис.4), так и для случаев наполнения в транзитном канале $h_{\min} > h$ и $h > h_{\max}$ (рис.5). При этом имелось в виду, что наиболее распространенный случай изменения расчетных наполнений в звене каскада имеет место, когда происходит отключение из работы одного или нескольких водовыпускных сооружений. При этом увеличивается наполнение в канале. Другой случай изменения режима работы звена каскада канала - это уменьшение расхода, поступающего в звено каскада.

Из практики эксплуатации систем каскадного регулирования известно, что величины таких неучтенных расходов иногда достигают 30% расчетных.

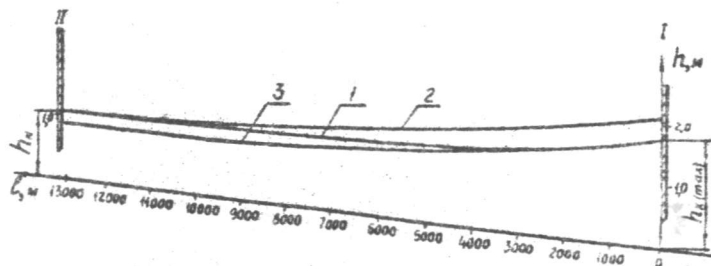


Рис.4. Кривые подпора воды в звене каскада: 1 - нормальный режим работы звена каскада; 2 - увеличение расхода в конечном створе при неизменном в начальном; 3 - уменьшении расхода в начальном створе.

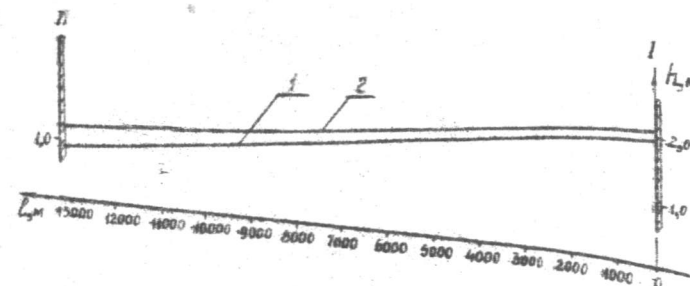


Рис.5. Кривые подпора воды в звене каскада: 1 - одновременное уменьшение расхода в начальном и конечном створах; 2 - уменьшение расхода в конечном створе и увеличение в начальном створе.

Выполненные расчеты наполнений в канале позволили сделать вывод, что при выбранных габаритных размерах и расчетных расходах транзитного канала стабилизаторы наиболее рационально располагать вдоль звена каскада на расстоянии от нижнего створа:

$$0,291 l \leq l_1 \leq 0,813 l, \quad (8)$$

где l - длина звена каскада канала; l_1 - расстояние от конечного створа до створа, в котором устанавливается стабилизатор расхода.

Данные рекомендации могут использоваться при других габаритных размерах каналов трапециевидального сечения при использовании данного типа стабилизаторов расхода воды, что подтверждается расчетами, и наполнениях в канале $h_0 \leq 1,0$ м. При нормальных наполнениях в канале $h_0 > 1,0$ м и других конструкциях стабилизаторов расчет по определению наиболее рационального местоположения водовыпусков по длине звена каскада необходимо повторить для требуемых h_0 аналогично проведенному в данной работе.

Проведенный в настоящей главе анализ приращений отводимых расходов воды по длине звена каскада в аварийных режимах работы стабилизаторов позволил также сделать вывод о возможности их использования в системах каскадного регулирования для целей пропуска излишков воды в аварийных ситуациях. Такая возможность должна предусматриваться на стадии проектирования системы водораспределения. Это позволит минимизировать число дорогостоящих катастрофических водосососов на системах водораспределения предложенного типа.

Третья глава посвящена описанию динамики процессов в объектах регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

Для выявления особенностей динамики процессов в объектах регулирования были проанализированы изменения наполнений в звене каскада системы водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды,

возникающие в результате возмущающих воздействий в крайних створах, как наиболее критических створах звена каскада канала (рис.6).

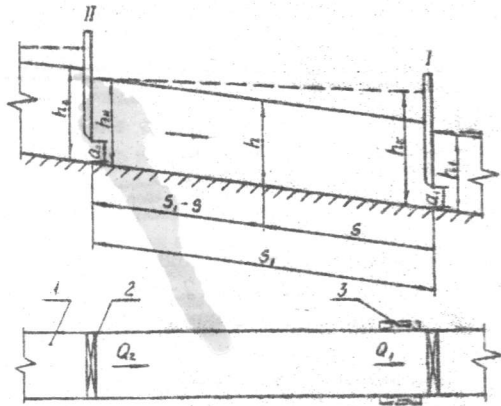


Рис.6. Расчетная схема звена каскада канала системы водораспределения:
1- транзитный канал; 2- автомат УНБ; 3- водовыпуск.

Аналитическим методом были получены расчетные зависимости для определения приращений наполнений в створах звена каскада канала при возмущении в начальном створе и времени $\tau_1^1 < t \leq \tau_{10}^1 + \tau_2^1$ (отсутствие влияния на створ обратной волны):

$$\Delta h^1 = \frac{\gamma_1 g \omega}{Bv} N_n \alpha_n \left\{ \frac{\beta Bhv}{\gamma_1 Ixg\omega} + \frac{v \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - \beta Bhv}{g \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \gamma_1 Ixg\omega} \right\} \times \exp\left[-(t - \tau_1^1) \frac{\frac{\gamma_1 x \omega}{2Bh \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)} \exp\left(\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - 1}{\frac{v}{g\beta} + \tau_1(1 - \mu^1) - \left(1 + \frac{\mu^1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \frac{Bhv}{Ixg\omega}}}\right] \quad (9)$$

где $\alpha_n = \frac{\Delta a_2}{a_2}$, Δa_2 - абсолютные приращения открытия; a_2 - открытие регулятора уровня или стабилизатора верхнего перегораживающего сооружения;

$N_n = \frac{\partial Q_2}{\partial a_2} \frac{a_2}{Q_2}$, Q_2 - расход воды в нижнем бьефе верхнего перегораживающего сооружения;

t - время с момента возникновения возмущения;

$$\gamma_1 = \exp(\tau_1 \sqrt{ab}) \tau_1 = \frac{S_1 - S}{B} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}, \sqrt{ab} = \frac{Ix}{2h} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}; \mu^1 = \frac{a+b}{2\sqrt{ab}}; a+b = 2 \frac{Ig}{v} \left(1 - \frac{v^2 B}{g\omega} + \frac{v^2 x}{2gh}\right);$$

$$\tau_1^1 - \text{время запаздывания прямой волны, } \tau_1^1 = \frac{S_1 - S}{\sqrt{\frac{g\omega}{B} + v}}$$

S - расстояние вдоль канала от рассматриваемого створа до нижнего перегораживающего сооружения;

S_1 - расстояние между нижним и верхним перегораживающими сооружениями;

ω - живое сечение потока воды в канале;

B - ширина потока по верху;

$\beta = 2l, l$ - уклон канала;

v - средняя скорость воды в канале;

g - ускорение силы тяжести;

x - гидравлический показатель русла;

h - глубина наполнения воды в канале.

Получено также выражение для установления приращений наполнений в канале при возмущении в начальном створе и времени $t > \tau_{10}^1 + \tau_2^1$:

$$\Delta h^1 = -\frac{\gamma_1 g \omega}{Bv} N_n \alpha_n \left\{ \frac{v \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - \beta Bhv}{g \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \gamma_1 Ixg\omega} \left(\frac{1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}}{1 - \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}} \exp(-\tau_2(a+b)) - \frac{Ixg\omega^2}{Bhv} \left(\frac{v}{g} + \tau_1(1 - \mu^1)\beta \right) - \left(1 + \frac{\mu^1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \beta \gamma_2^2 \right) \exp\left[-(t + \tau_{10}^1 + \tau_2^1) \times \left(\frac{\gamma_1 Ix\omega}{Bh \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)} \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - \beta \left(1 - \frac{\mu^1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \right) \right] + \frac{\gamma_1 \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) Ix\omega}{\left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) Bh} - \beta \left(\frac{Ixg\omega^2}{Bhv} \left(\frac{v}{g} + \tau_1(1 - \mu^1)\beta \right) - \left(1 + \frac{\mu^1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \beta \gamma_2^2 \right) \times \left(\frac{v}{g} + \tau_1(1 - \mu^1)\beta \right) - \left(1 + \frac{\mu^1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \beta \frac{Bhv}{Ixg\omega} \right) \left(\frac{\gamma_1 Ix\omega}{Bh \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)} \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right) - \beta \left(1 - \frac{\mu^1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \right) \right\}$$

$$\begin{aligned} & \times \left(\frac{v}{g \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)} \exp \left(-\tau_1 \frac{a+b}{2} - \frac{\beta Bhv}{\gamma_1 Lxg\omega} \right) + \frac{\beta Bhv}{\gamma_1 Lxg\omega} \frac{1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}}{1 - \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}} \exp \left(-\tau_2 (a+b) \right) + \right. \\ & \left. + \frac{\beta \gamma_2^2}{\gamma_1 \left(1 - \frac{\mu^1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)} (t - \tau_{10}^1 - \tau_2^1) - \frac{\beta Bhv}{\gamma_1 Lxg\omega} \left(\frac{v}{g \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)} \exp \left(-\tau_1 \frac{a+b}{2} - \frac{\beta Bhv}{\gamma_1 Lxg\omega} \right) \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times \exp \left[\frac{(t - \tau_1) \left(\frac{\gamma_1 Lx\omega}{Bh \left(1 + \frac{1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)} \exp \left(-\tau_1 \frac{a+b}{2} \right) - \beta \right)}{\frac{v}{g} + \tau_1 (1 - \mu^1) \beta - \left(1 + \frac{\mu^1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right) \beta \frac{Bhv}{Lxg\omega}} \right] \right] \right) \right) \end{aligned} \quad (10)$$

где $\gamma_2 = \exp(-\tau_2 \sqrt{ab})$, $\tau_2 = \frac{S}{\frac{g\omega}{B} - v^2} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}$, $\tau_{10}^1 = \frac{S_1}{\sqrt{\frac{g\omega}{B} + v}}$,
 $\tau_2^1 = \frac{S}{\sqrt{\frac{g\omega}{B} - v}}$.

Уравнение для определения величины отклонения глубины воды от нормальной глубины в произвольном створе канала, когда возмущение имеет место в конечном створе звена каскада (α_x) и времени $t > \tau_2^1$:

$$\Delta h^1 = \gamma_2 \frac{\omega}{B} N_x \alpha_x \left\{ \frac{\gamma_2 \beta g (t - \tau_2^1)}{v - \mu^1 \sqrt{\frac{g\omega}{B}}} + \frac{v \exp \left(-\frac{a+b}{2} \tau_2 \right)}{v - \sqrt{\frac{g\omega}{B}}} \right\}, \quad (11)$$

где $\alpha_x = \frac{\Delta a_1}{a_1}$, Δa_1 - абсолютное приращение открытия, a_1 - открытие регулятора

уровня или стабилизатора нижнего перегораживающего сооружения;

$N_x = \frac{\partial Q_1}{\partial a_1} \frac{a_1}{Q_1}$, Q_1 - расход воды в створе нижнего перегораживающего сооружения.

При возникновении возмущений одновременно в начальном и конечном створах приращения наполнений можно определить по формуле:

$$\Delta h = \Delta h^1 + \Delta h^2. \quad (12)$$

Используя зависимости (9)...(11), выполнены расчеты наполнений в створах звена каскада канала с параметрами, принятыми во второй главе и величинами возмущающих воздействий $\frac{\Delta Q}{Q} = -0,25; -0,2; -0,15; -0,1; -0,005$.

Результаты анализа расчетов наполнений в различных створах звена каскада канала в зависимости от наносимых возмущающих воздействий позволили сделать вывод о том, что стабилизаторы расхода воды, расположенные на расстоянии $0,29S_1 \leq S \leq 0,81S_1$, находятся в наиболее благоприятных условиях и менее всего подвержены воздействию динамических процессов, возникающих в системах водораспределения. Они позволяют обеспечить подачу практически постоянных расходов воды потребителям независимо от возмущений в створах звена каскада канала.

Аналитическим методом было установлено время нормальной работы стабилизаторов, когда наполнения перед стабилизаторами $h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$, при возникновении возмущения в начальном створе звена каскада при длинном бьефе:

$$t \leq \tau_1^1 - \ln \frac{\frac{0,07h_n B v}{\gamma_1 g \omega N_x \alpha_x} - \frac{\beta Bhv}{\gamma_1 Lxg\omega}}{v \exp \left(-\tau_1 \frac{a+b}{2} \right) - \frac{\beta Bhv}{\gamma_1 Lxg\omega}} \frac{v}{g\beta} + \tau_1 (1 - \mu^1) - \left(1 + \frac{\mu^1}{v} \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right) \frac{Bhv}{Lxg\omega} \quad (13)$$

Также получено выражение для определения времени нормальной работы стабилизаторов, когда наполнения перед стабилизаторами $h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$, после возмущения, возникшего в конечном створе:

$$t \leq \frac{0,18h_n B \left(v - \mu^1 \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)}{\gamma_2^2 \beta g N_x \alpha_x} \frac{v \exp \left(-\frac{a+b}{2} \tau_2 \right) \left(v - \mu^1 \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)}{\gamma_2 \beta g \left(v - \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)} + \tau_2^1. \quad (14)$$

Установлено, что для сохранения нормального режима работы стабилизаторов возмущающее воздействие ΔQ_1 в конечном створе должно соответствовать условию:

$$\Delta Q_1 \leq \frac{0,18h_n B \left(v - \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)}{\gamma_2 \omega v \exp \left(-\frac{a+b}{2} \tau_2 \right)} Q_1, \quad (15)$$

а при возмущении в начальном створе:

$$\Delta Q_1 \leq \frac{0,07h_n B \left(1 + \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)}{\gamma_1 \omega \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right)} Q_1. \quad (16)$$

При возникновении возмущений одновременно в начальном и конечном створах величины возмущающих воздействий должны соответствовать условию:

$$\begin{cases} \Delta Q_1 \leq \frac{0,18h_n B \left(\nu - \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)}{\gamma_2 \omega \nu \exp\left(-\frac{a+b}{2} \tau_2\right)} Q_1; \\ \Delta Q_2 \leq \frac{0,07h_n B \left(1 + \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)}{\gamma_1 \omega \exp\left(-\tau_1 \frac{a+b}{2}\right)} Q_2, \end{cases} \quad (17)$$

где $\frac{\Delta Q_1}{Q_1} = N_n \alpha_n$; $\frac{\Delta Q_2}{Q_2} = N_n \alpha_n$.

При разработке систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды следует проводить тщательный расчет резервной емкости канала, важнейшими моментами при расчете которой являются установление активной зоны в бьефах звена каскада системы, объемов резервирования воды и времени переходных процессов в бьефах звена каскада.

Установлено, что при возмущении α_n распространение кривой подпора, определяющей величину активной зоны, в длинном бьефе ограничивается расстоянием:

$$(S_1 - S) = \frac{\left[\sqrt{\frac{g\omega}{B}} + \nu \left[\frac{\nu}{g\beta} - \left(1 + \frac{\mu^1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \frac{Bh\nu}{Lxg\omega} \right] \right] \ln \frac{\nu}{g \left(1 + \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)} \frac{\beta Bh\nu}{Lxg\omega}}{\frac{x\omega}{2Bh \left(1 + \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)} - 1} \ln \frac{[\Delta h_n] B \nu}{g\omega N_n \alpha_n} \frac{\beta Bh\nu}{Lxg\omega}. \quad (18)$$

Принимая во внимание выводы акад. Э.Э. Маковского о величине активной зоны для возмущения α_n , был сделан вывод о том, что стабилизаторы расхода воды, устанавливаемые на отводах вдоль звена каскада, работают в нормальном режиме при одновременном возникновении возмущений в створах звена каскада, если соблюдается условие:

$$\frac{\nu - \mu^1 \sqrt{\frac{g\omega}{B}}}{g\beta} \left\{ \frac{[\Delta h_n] B \sqrt{\frac{g\omega}{B}} - \nu}{\omega N_n \alpha_n} + \nu \right\} \leq [S] \leq$$

$$\leq S_1 = \frac{\left[\sqrt{\frac{g\omega}{B}} + \nu \left[\frac{\nu}{g\beta} - \left(1 + \frac{\mu^1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \frac{Bh\nu}{Lxg\omega} \right] \right] \ln \frac{\nu}{g \left(1 + \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)} \frac{\beta Bh\nu}{Lxg\omega}}{\frac{x\omega}{2Bh \left(1 + \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)} - 1} \ln \frac{[\Delta h_n] B \nu}{g\omega N_n \alpha_n} \frac{\beta Bh\nu}{Lxg\omega}. \quad (19)$$

Резервный объем воды, накапливаемый в бьефе в результате возмущения α_n , можно определить по зависимости:

$$\Delta W_n = \Delta Q_n t_n, \quad (20)$$

где $\Delta Q_n = Q_n N_n \alpha_n$ - приращение расхода водовыпуска; t_n - время переходного процесса от возмущения в конечном створе, определяемое из выражения:

$$t_n = \frac{\nu - \mu^1 \sqrt{\frac{g\omega}{B}}}{g\beta} \left\{ \frac{[\Delta h_n] B}{\omega N_n \alpha_n} - \nu \left(\nu - \sqrt{\frac{g\omega}{B}} \right)^{-1} \right\}. \quad (21)$$

Резерв воды, накапливаемый в бьефе от возмущения α_n :

$$\Delta W_n = \Delta Q_n t_n, \quad (22)$$

где $\Delta Q_n = Q_n N_n \alpha_n$ - приращение расхода верхнего перегораживающего сооружения, t_n - время переходного процесса от возмущения в начальном створе:

$$t_n = \frac{\left[\sqrt{\frac{g\omega}{B}} + \nu \left[\frac{\nu}{g\beta} - \left(1 + \frac{\mu^1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right) \frac{Bh\nu}{Lxg\omega} \right] \right] \ln \frac{\nu}{g \left(1 + \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)} \frac{\beta Bh\nu}{Lxg\omega}}{\frac{x\omega}{2Bh \left(1 + \frac{1}{\nu} \sqrt{\frac{g\omega}{B}}\right)} - 1} \ln \frac{[\Delta h_n] B \nu}{g\omega N_n \alpha_n} \frac{\beta Bh\nu}{Lxg\omega}. \quad (23)$$

Накопление резервной емкости при одновременно возникающих возмущениях α_n и α_n составит:

$$\Delta W = \Delta W_n + \Delta W_n. \quad (24)$$

Разновременность возникновения возмущающих воздействий должна учитываться элементом запаздывания.

В результате теоретических исследований, проведенных в настоящей главе, получены необходимые данные для разработки рекомендаций по расчету и проектированию систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

В четвертой главе рассмотрены технологические основы и схемы автоматизации водоподачи из каналов систем водораспределения.

Автоматизируя водовыпускные сооружения на системах водораспределения, предполагается достичь обеспечения технологического процесса регулирования водоподачи (частично или полностью) без непосредственного участия человека.

Технологический процесс, обеспечиваемый при работе водогыпуск что сооружения, включает несколько технологических режимов:

- установочный режим, когда происходит первичное поступление воды к регулирующему устройству;
- рабочий режим водовыпускного сооружения;
- аварийный режим работы водовыпуска;
- режим обслуживания, когда происходит опорожнение водовыпускного сооружения, проводится техническое обслуживание и ремонт.

В работе подробно рассмотрено функционирование водовыпускного сооружения в каждом из перечисленных технологических режимов.

По результатам анализа теоретических основ функционирования систем стабилизации расхода воды была разработана развернутая классификация принципов, способов и средств стабилизации водоподачи (рис.7), • согласно которой локальные гидравлические системы - авторегуляторы и стабилизаторы расхода воды обеспечивают в работе реализацию принципов стабильной водоподачи следующими способами и средствами. •

1. Для стабилизации водоподачи поддержанием постоянства напора над отводом используются»

- 1.1) способ сочетания неподвижных водослива и водовыпуска:
 - 1.1.1) комбинированными системами, включающими неподвижный водослив различных конфигураций и неподвижное водовыпускное отверстие;
 - 1.1.2) способ перемещения неподвижного водослива на водовыпуске различной формы (конфигурации):

- 1.2.1) водосливами и водосливными отверстиями, перемещающимися при помощи поплавков;
- 1.2.2) водосливами-затворами, оборудованными уравновешенными поплавками;
- 1.2.3) водосливами-затворами, уравновешенными воздействием сил потока и груза;
- 1.3) способ поддержания постоянного перепада в бьефах:
 - 1.3.1) передвижными уравновешенными сифонами;
 - 1.3.2) комбинированными системами, включающими неподвижный сифон и подвижные уравновешенные элементы.

2. Для стабилизации расхода воды отвода изменением площади работающего отверстия обратно пропорционально величине $V//$, используются:

- 2.1) способ перемещения элементов криволинейной формы вдоль отводящего отверстия:
 - 2.1.1) конструкциями, обеспечивающими перемещение регулирующего органа при помощи поплавка;
 - 2.1.2) устройствами, у которых давление воды на рабочий орган уравновешивается грузом или пружиной;
 - 2.1.3) затворами, уравновешенными гидродинамическим воздействием сил потока;
 - 2.1.4) затворами, уравновешенными гидростатическим давлением потока и собственным весом;



- 2.2) способ дифференциации функций в различных режимах работы:
- 2.2.1) саморегулирующимися водосливами;
 - 2.2.2) многорежимными регуляторами расхода;
 - 2.2.3) системами стабилизации со счетно-решающими механизмами.
3. Для стабилизации расхода воды изменением коэффициента расхода в функции $\sim G_n$ применяются:
- 3.1) способ использования гидравлических сопротивлений неподвижными устройствами;
 - 3.1.1) конструкциями с рассредоточенными перегородками;
 - 3.1.2) автоматами, создающими вихревые потоки в камерах;
 - 3.1.3) пневмогидравлическими регуляторами, работающими за счет давления в трубе (сифоне);
 - 3.2) способ создания сопротивлений в виде противотоков основному потоку стационарными конструкциями;
 - 3.2.1) стационарными автоматами со встречными струями;
 - 3.2.2) стабилизаторами расхода типа "коробчатый щит";
 - 3.3) способ использования гидравлических сопротивлений от подвижных элементов;
 - 3.3.1) авторегуляторами расхода с подвижными элементами.
4. Для стабилизации расхода воды использованием динамических свойств потока реализуются:
- 4.1) способ деления потока в вертикальной плоскости;
 - 4.1.1) неподвижными в работе устройствами с водоотбором из бурного потока при делении его в вертикальной плоскости;
 - 4.2) способ деления потока в горизонтальной плоскости;
 - 4.2.1) неподвижными в работе конструкциями с делением свободно падающей струи потока в плане;
 - 4.3) инерционное деление потока в плане;
 - 4.3.1) неподвижными конструкциями, использующими силы инерции потока на повороте.
5. Для стабилизации расхода воды отвода регулированием уровня воды нижнего бьефа водовыпуска используются:
- 5.1) способ сочетания регулирования уровня воды нижнего бьефа и истечения из отверстий;
 - 5.1.1) регуляторами уровня нижнего бьефа в дополнение с отверстиями на входе в нижний бьеф;
 - 5.2) способ сочетания регулирования уровня воды нижнего бьефа с истечением через водосливы;
 - 5.2.1) устройствами стабилизации напора в нижнем бьефе в комплексе с водосливами;
 - 5.3) сложные сочетания гидравлических явлений;
 - 5.3.1) интегральными системами стабилизации уровня воды нижнего бьефа.
6. Для стабилизации отводимого расхода воды использованием двух или более перечисленных принципов одновременно может применяться:

- 6.1) способ сочетания конструктивных особенностей нескольких систем стабилизации.

Исходя из указанных принципов, рассмотрены теоретические основы функционирования средств стабилизации водоподачи на оросительных системах.

С учетом теоретических основ функционирования средств стабилизации водоподачи, были рассмотрены технические характеристики основных типов стабилизаторов расхода воды.

На сегодня разработано около 100 конструкций стабилизаторов расхода воды.

Вопросами разработок и исследований стабилизаторов расхода для гидромелиоративных систем уделено особое внимание в работах А.И.Авдеева, Э.Б.Бекбоева и Р.С.Бекбоевой, Ш.С.Бобохидзе, Я.В.Бочкарева, А.И.Бредиса, М.В. Бутырина, А.А.Гартунг, В.Д.Журина, М.К.Жусупова, А.М.Кэрманова, Н.П.Лаврова, К.И.Лубны-Герика, А.С.Лугового, Э.Э.Маковского, Б.И.Мельникова, Р.Ю.Мусаджановой, Р.Н.Мухудиновой, Ф.И.Пикалова, А.И.Рохмана, Д.П.Рузского, В.Е.Старковской, Г.П. Фроловой, И.Б.Хамадова и других ученых. Среди зарубежных инженеров и ученых значительная работа в этом направлении проведена В.Андерсен, П.Бернард, В.Брандт, П.Данел, П.Жиросе, М.О'Керол, Э.Робинсон, С.Сишедри и др.

В работе рассмотрены наиболее оригинальные конструкции стабилизаторов расхода воды с точки зрения возможности применения их на сооружениях водоподачи систем водораспределения. Было отмечено, что многие из них могут использоваться на оросительных системах в качестве средств стабилизации водоподачи исходя из конкретных условий объектов внедрения.

Проведенный анализ технических характеристик стабилизаторов расхода воды показал область применения каждой из рассмотренных конструкции стабилизаторов, а также позволил выявить наиболее перспективные из них для использования на оросительных системах.

Было отмечено, что в последнее время наиболее широкое распространение на мелиоративных системах получили стабилизаторы расхода воды типа "коробчатый щит". Такие конструкции стабилизаторов этого типа, как "ступенчатый секционный коробчатый щит" (ССКЩ) нашли широкое применение не только на распределительных каналах, но и на водозаборных гидроузлах, поскольку они позволяют обеспечивать требуемую водоподачу при достаточно больших колебаниях уровней воды перед стабилизаторами. Другая конструкция стабилизатора этого типа, называемая "коробчатый моноблок"! КМ с гидродействующей системой управления обладает маломощным приводом и применяется на мелких водовыпусках из распределительных каналов. Представители "коробчатых щитов" - "водовыпуски-стабилизаторы расхода для быстротечных каналов" (ВСРБК) позволяют обеспечивать стабильную водоподачу из каналов с бурным и сверхбурным режимами течения воды. Упомянутые ранее кольцевые стабилизаторы расхода воды нашли применение на магистральных и распределительных каналах оросительных систем, где имеется перепад местности в местах устройства водовыпусков.

Каждый представитель "коробчатых щитов" имеет свою область применения и может служить средством автоматизации сооружений водоподдачи оросительных систем в зависимости от особенностей этих сооружений.

В основе функционирования этих стабилизаторов имеет место принцип обеспечения постоянства расхода воды за счет изменения коэффициента расхода обратно пропорционального величине 4-Н .

В основу конструктивного исполнения стабилизаторов расхода воды типа "коробчатый щит" было положено уравнение Н.Е. Жуковского для ординаты линии тока при истечении жидкости из сосуда:

$$y = \frac{a}{\sin^2 \alpha} \left(\frac{2\pi}{3} \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha \right) + \text{const.} \quad (25)$$

где a = d/γg; d - расход жидкости;

α - угол между касательной к кривой свободной поверхности и осью X в плоскости YOX;

a> - скорость потока в сжатом сечении;

y - ордината точек кривой свободной поверхности потока;

α - параметр, зависящий от угла наклона затвора к потоку α = α(Δ),

Δ, - угол наклона затвора к потоку.

Решение уравнения (25) для различных углов наклона Δ, дало возможность рассчитать координаты и построить профиль свободной поверхности потока, вытекающего из-под затворов при различном наклоне их к потоку. При этом теоретически была решена не только плоская, но и пространственная задача, что позволило построить профиль потока, вытекающего из-под затвора, при наличии вертикального и радиального сжатия потока одновременно.

Так, при истечении из-под кольцевых затворов координаты свободной поверхности потока могут быть определены по формулам: когда Δ, =90°:

$$y = \frac{c}{2a} \left(\frac{c}{2a} + \frac{c}{2a} \right) + \frac{\pi}{2} \left(\frac{c}{2a} - \frac{c}{2a} \right) \quad \Phi \& Hc \quad) \quad \text{п 6)}$$

где и - величина, характеризующая сжатие потока, вытекающего из-под затворе;

когда Δ, =150°:

$$10 \quad \tau \in " \quad 10 \quad -1 - - \quad \frac{1\% - 1,39}{5 \cdot 10} \quad \ll \frac{1\%}{10} + 0,72$$

$$-151 \frac{11 + \cos^2 \alpha}{12} + 6 \cos^2 \alpha + 39,94$$

$$5l + 14,4 \quad \text{'8Mc \setminus I} \quad \begin{matrix} 4 \text{ He} \\ \text{я 18'2-HC} \end{matrix}$$

$$\left[\frac{5 \pi}{5} \left(\frac{73}{2} \right) - 5 \text{ я} \right]$$

$$y = \frac{1}{5} + 14,4 \quad \text{! бзшб* + 5 - /31п} \quad \frac{5 \pi}{5} \left(\frac{73}{2} \right) - 5 \text{ я}$$

$$\text{!Mc} \left(1 \cdot \frac{1}{k} - \frac{1}{2Mc} \right) \quad (27)$$

когда Δ, =180°

$$b. \frac{[\ln(1 - \cos \alpha) - 1 - \cos \alpha - \ln 2 \tau 1]}{2\alpha} \frac{(v + 3mv + x)}{+ 4/0'}$$

Решение теоретических зависимостей (26)...(28) позволило установить математические зависимости между конструктивными и гидравлическими параметрами кольцевых стабилизаторов расхода воды, которые вошли в методику их расчета.

На сегодняшний день существует три модификации кольцевых стабилизаторов расхода воды: а) "цилиндрический ступенчатый коробчатый щит с кольцевыми каналами" (ЦСКЩ-1), о) "цилиндрический ступенчатый коробчатый щит с осесимметричными равновысокими секциями" (ЦСКЩ-Н), в) "цилиндрический ступенчатый коробчатый щит с внутренним горизонтальным козырьком" (ЦСКЩ-Ш) (рис.8).

Каждая из указанных конструкций представляет собой цилиндрический коробчатый затвор, состоящий из соосно установленных цилиндров различной высоты и диаметров, которые в основании соединены с усеченными конусами. Перемещается затвор при помощи подъемника и устанавливается на кольцевом водосливе, который представляет собой вход в трубчатый водовыпуск.

С целью подтверждения результатов конструкторских разработок и теоретических исследований, всестороннего изучения взаимовлияния различных факторов на гидравлические параметры кольцевых стабилизаторов расхода воды. а также выбора оптимальных конструктивных и гидравлических параметров этих стабилизаторов. были обоснованы и проведены

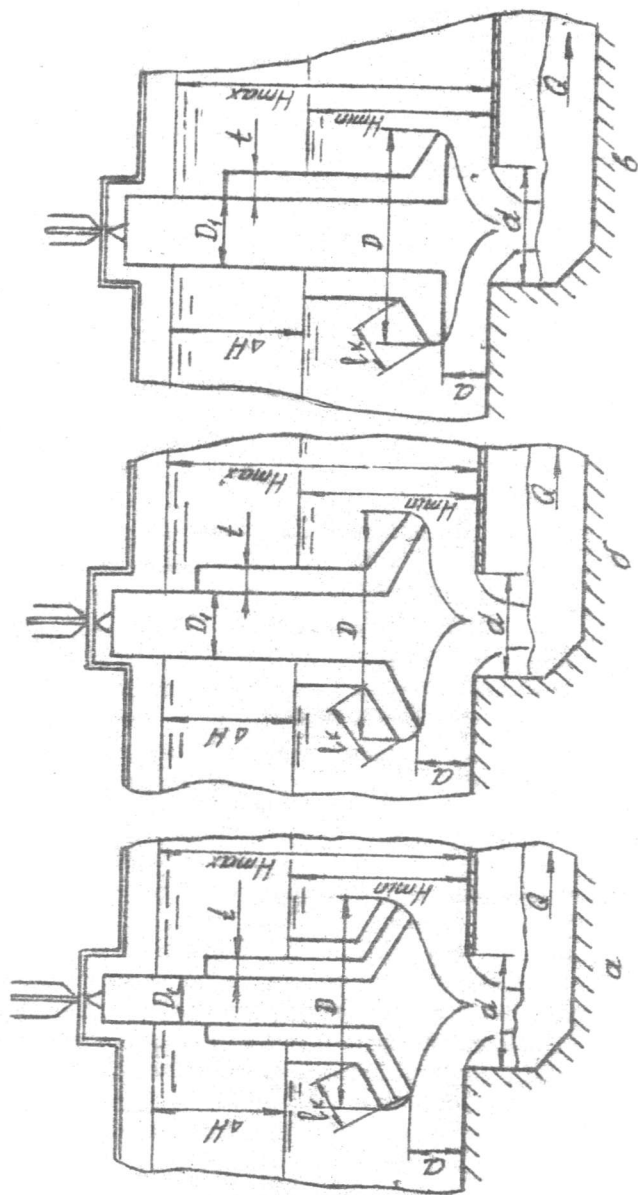


Рис. 8. Схемы кольцевых стабилизаторов расходов воды: а — ЦСКЩ-1; б — ЦСКЩ-1; е — ЦСКЩ-11.

экспериментальные исследования, выполненные по разработанной методике на экспериментальной установке в масштабах 1:5 и 1:10, что больше минимально допустимого, обеспечивающего автомодельность по Рейнольдсу.

В процессе исследований изучались: пропускная способность кольцевых затворов, взаимовлияние конструктивных и гидравлических параметров стабилизаторов с целью их оптимизации, пропускная способность кольцевого в плане водослива.

Исследования пропускной способности кольцевых стабилизаторов расхода воды проводились в соответствии с методикой многофакторного эксперимента. С целью получения математической модели гидравлических явлений был реализован полный факторный эксперимент 2^3 (трехфакторный эксперимент на двух уровнях). Для получения адекватной квадратичной модели план 2^3 достраивался до ортогонального центрального композиционного плана второго порядка с опытами в центре и звездных точках.

Полученная математическая модель в раскодированном виде:

$$\mu = 0,618 + 0,1217(a/H) + 0,3222(b/B) - 0,0802\beta_1 - 0,2657(a/H)(b/B) + 0,0149(a/H)\beta_1 + 0,3691(a/H)^2 - 0,0886(b/B)^2 + 0,00657\beta_1^2, \quad (29)$$

где μ - коэффициент расхода кольцевого затвора; a/H - относительное открытие затвора; b/B - относительное сжатие; β_1 - угол наклона конического козырька к потоку, рад.

При решении практических задач допускается использовать осредненное значение коэффициента расхода кольцевого затвора $\mu = 0,61 \dots 0,64$, что находится в пределах допустимой точности от среднего значения.

Исследования кольцевых стабилизаторов расхода воды с целью определения наиболее рациональных параметров проводились для трех перечисленных модификаций по методу Бокса-Уилсона (крутое восхождение) путем сочетания движения по градиенту с методом факторного планирования.

Полученные в результате экспериментальных исследований конструктивные и гидравлические параметры стабилизаторов вошли в методику их расчета.

Экспериментальные исследования кольцевых водосливов с различными водосливными профилями позволили получить зависимости для определения коэффициентов расхода кольцевых водосливов:

для широкого порога:

$$m = 0,329 \left(\frac{R}{H} \right)^{0,0556}; \quad (30)$$

для практического профиля со скошенной кромкой:

$$m = 0,357 \left(\frac{R}{H} \right)^{0,0625}; \quad (31)$$

для практического профиля с плавно очерченной кромкой:

$$m = 0,393 \left(\frac{R}{H} \right)^{0,0769}. \quad (32)$$

Зависимости (30)...(32) позволяют обосновывать выбор конструкций кольцевых водосливов применительно к конкретным условиям использования кольцевых стабилизаторов. Как видно, наибольшей пропускной способностью обладает водослив практического профиля. Однако его устройство не всегда рационально ввиду повышенных трудозатрат при изготовлении.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований кольцевых стабилизаторов расхода воды была разработана методика инженерного расчета этих стабилизаторов (табл. 1).

В пятой главе рассмотрены теоретические основы водоучета средствами стабилизации водоподдачи.

Строгий учет оросительной воды способствует успешному проведению в жизнь системных и внутрихозяйственных планов водопользования, оказывает существенное влияние на рациональное использование оросительной воды, обеспечивает правильное водораспределение, повышает КПД оросительных каналов, улучшает мелиоративное состояние орошаемых земель.

Проведенный в работе анализ теоретических основ водоучета системами стабилизации водоподдачи показал целесообразность их использования в качестве водомеров на гидромелиоративных системах, что позволит повысить эксплуатационные показатели систем водораспределения, обеспечить экономию энергетических, трудовых и материальных ресурсов, совместив функции стабилизации водоподдачи и водоучета на оросительных системах.

Рассмотренные качественные характеристики наиболее совершенных конструкций стабилизаторов расхода воды подтвердили возможность использования их для целей водоучета на системах водораспределения, а также позволили рассчитать водомерные константы приведенных конструкций.

На основе экспериментальных исследований были выявлены особенности водомерных свойств стабилизаторов расхода воды в различных режимах истечения.

На примере кольцевых стабилизаторов расхода воды установлено, что диапазон колебаний напоров, при котором обеспечивается стабильная водоподдача, у одних и тех же стабилизаторов, работающих в различных режимах истечения, различен. Это подтвердили результаты теоретического анализа, выполненного во второй главе диссертации.

Решение задачи оптимального планирования экспериментов с целью установления наиболее рациональных параметров стабилизаторов в режиме затопленного истечения в трубчатый водовыпуск осуществлялось методом крутого восхождения.

На основе априорных данных выбраны основные уровни факторов, интервалы варьирования и реализован план эксперимента 2⁴.

В результате проведенных исследований было установлено, что при работе кольцевых стабилизаторов расхода воды в подпорном режиме, стабилизаторы являются водомерами при напорах H в водоприемной

Методика расчета кольцевых стабилизаторов расхода воды

Параметр конструкции	Режим свободного истечения			Режим затопления	
	Тип щита				
	ЦСКЩ-I	ЦСКЩ-II	ЦСКЩ-III	ЦСКЩ-II	ЦСКЩ-III
Минимальн. наполнение перед стабилизат., H_{\min}	0,5...0,7 м				
Миним. перепад дна в старш. и младш. канале	H_{\min}			0,7 H_{\min}	
Максимально допустимое открытие стабилизатора, a_{\max}	(0,36...0,46) H_{\min}	(0,35...0,48) H_{\min}		(0,33...0,46) H_{\min}	
Диаметр наружного конического козырька по кромке истеч., D	$\frac{Q}{\pi a_{\max} \sqrt{2g(H_{\min} - a_{\max})}}$				
Кэф-ты расхода μ и сжатия потока ε	$\mu = 0,61...0,64$ $\varepsilon = 0,67...0,7$				
Диаметр кольцевого водослива, d	(0,7...0,9) D				
Диапазон колебаний напоров перед стабилизатором, ΔH	$H_{\max} - H_{\min}$				
Число ступеней, n	$\frac{\Delta H}{a_{\max}}$	$\frac{\Delta H}{(1,36...1,42)a_{\max}}$	$\frac{\Delta H}{(1,4...1,5) \times a_{\max}}$	$\frac{\Delta H}{(0,85...0,95)a_{\max}}$	
Угол накл. наружного козырька к потоку, β	150°				
Длина образующей наруж. конического козырька, l_k	$l_k \geq (0,4...0,6)a_{\max}; (D' \approx 0,5d)$ D' - диаметр внутреннего цилиндра				
Угол м/у образующей наруж. конического козырька и линией касат. к кромкам козырьков, α	35°...45°	37°...47°			
Толщина коробчатой секция по верху, t	(0,32...0,33) a_{\max}	(0,45...0,5) a_{\max}		(0,6...0,65) a_{\max}	
Толщина коробчатой секция по низу, t' (из условия)	t	$\frac{D'^2 - D^2}{D^2 - D_k^2} = 1 (D_1 - \text{диаметр внутр. конич. козырька по кромке истечения}; D' - \text{диаметр наруж. цилиндра})$			
Высота ступени, h_{cm}	$\Delta H/n$				
Габариты водоприемника, C и B	$C=3d; B=1,5C$				
Высота порога на входе в водопр., h_p	$\frac{2}{3} H_{\min}$				
Радиус закругления углов водоприемника, R	(0,4...0,5) C				

камере $H_{\min} \leq H \leq (1,9...2,3)H_{\min}$, что несколько меньше, чем при свободном истечении из-г:эд стабилизатора. Это условие необходимо учитывать при проектировании водовыпускных сооружений, работающих в режиме затопленного истечения.

Рассмотрены пути повышения оперативности систем водораспределения. Отмечено, что повышению оперативности управления ими, способствует использование на автономных системах гидравлических стабилизаторов расхода воды.

Шестая глава включает описание объектов внедрения и основных рекомендаций по проектированию и эксплуатации систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

Предлагаемая система водораспределения применена при реконструкции магистрального канала Бурганда в Кадамжайском районе Ошской области.

В работе приведены расчеты элементов системы водораспределения, а также результаты проектных разработок.

Изложены результаты апробации кольцевых стабилизаторов расхода воды на водовыпускных сооружениях каналов Каирма и Аламедин-Норус в Кантском районе Чуйской области.

На основе проведенных разработок и исследований составлены основные рекомендации по гидравлическому расчету, проектированию и эксплуатации систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

Приведены варианты расчета параметров системы водораспределения на ЭВМ.

Выполнен расчет технико-экономической эффективности системы водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды на примере Бургандинского магистрального канала.

Проведена экологическая оценка использования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды. Доказана целесообразность использования систем предложенного типа с точки зрения экологии.

ВЫВОДЫ

1. Распределение стока оросительной воды во времени характеризуется значительной неравномерностью во всех звеньях ирригационной сети. Причиной этого является изменение расходов воды в источнике орошения, возмущения, вызванные многочисленными ее потребителями и инерционностью процессов трансформации стока.

Оптимальное управление процессами водоподачи и водораспределения на автоматизированных системах управления технологическими процессами ирригации может быть успешно осуществлено на базе отдельных и связанных между собой автоматизированных автономных систем трансформации стока.

Автономные системы трансформации неравномерного стока обеспечивают баланс воды между потребителями, автоматическое наполнение и сработку резервных объемов воды, выравнивание неравномерных графиков водоподачи.

Исключить погрешность, накладываемую на величину отводимых расходов воды в результате наполнения и сработки резервной емкости каскада, позволят гидравлические стабилизаторы расхода воды. Они устанавливаются на водовыпускных сооружениях вдоль трассы канала и обеспечивают постоянство отводимых расходов воды по запросам потребителей.

2. При выборе технологической схемы автоматического регулирования процесса водораспределения на открытой оросительной системе с уклонами дна каналов меньше критических предпочтение отдается в большинстве случаев схемам автоматизации II класса и, в частности, схемам каскадного регулирования.

С учетом использования общих принципов каскадного регулирования возникла необходимость дальнейшего совершенствования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды, как средствами автоматизации водоподачи, позволяющими сократить материалоемкость, улучшить эксплуатационные характеристики, повысить надежность работы сооружений водоподачи и самой гидромелиоративной системы.

На участках систем водораспределения, где имеют место каналы с уклонами больше критических, бывает оправдано использование технологических схем автоматического регулирования водораспределения I класса. Выбор стабилизаторов расхода для таких участков каналов осуществляется с учетом конкретных особенностей этих каналов.

3. На основе анализа статических характеристик объектов регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды установлены формализованные (1)...(7) и графические (рис.3) закономерности для расчетов параметров и местоположения (8) стабилизаторов расхода воды (на примере кольцевых стабилизаторов расхода).

Изучены аварийные режимы работы звена каскада, выявлены отклонения гидравлических параметров потока в этих случаях и рассмотрена возможность перераспределения стока между автоматизированными водовыпусками.

4. С позиций теории управления процессами трансформации стока выполнено теоретическое обоснование динамики процессов в объектах регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

Получены теоретические зависимости (9)...(12) для определения отклонений глубины воды в произвольных створах канала в различные моменты времени с учетом величин возмущающих воздействий.

Предложены рекомендации по определению условий нормальной работы объектов регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

5. Обоснована технология и схемы автоматизации водовыпускных сооружений из каналов гидромелиоративных систем с позиций применения стабилизаторов расхода воды.

6. На базе теоретических основ гидравлики локальных систем стабилизации отводимых расходов воды усовершенствована классификация способов и средств стабилизации водоподачи для каналов оросительных систем.

Анализ технических характеристик стабилизаторов расхода воды позволил обосновать выбор гидравлических стабилизаторов наиболее предпочтительных для водовыпускных сооружений систем водораспределения. В число таких конструкций вошли кольцевые стабилизаторы расхода воды.

7. Разработаны и исследованы три конструкции кольцевых стабилизаторов расхода воды. По результатам теоретических и экспериментальных исследований установлены связи между конструктивными и гидравлическими параметрами этих конструкций.

Разработана методика инженерного расчета кольцевых стабилизаторов расхода воды применительно к различным режимам истечения.

8. Рассмотрены теоретические основы водоучета локальными системами стабилизации водоподачи.

На основе анализа показателей качества работы систем стабилизации расхода воды доказана целесообразность использования стабилизаторов расхода воды в качестве средств водоучета на оросительных системах.

Доказано, что наличие на системах водораспределения гидравлических стабилизаторов расхода воды будет способствовать повышению оперативности управления процессом водораспределения на системе, а также позволит упростить систему диспетчерского контроля и управления.

9. На основе апробации результатов разработок и исследований в производственных условиях составлены рекомендации по гидравлическому расчету, проектированию и эксплуатации объектов регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

Предлагаемые методы расчета и конструирования применены при проектировании и строительстве ряда объектов Чуйской и Ошской областей Кыргызстана.

Дисконтированный чистый доход от внедрения в проект реабилитации ирригационной системы водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды только на магистральном канале Бурганда Кадамжайского района Ошской области составил 24757 долларов США в ценах 2000 года.

10. Проведенная экологическая оценка использования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды доказала, что они способствуют целенаправленному улучшению орошаемых земель, и позволила положительно характеризовать их с экологической точки зрения.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Зайцева О.В. Выбор и обоснование конструкции водоприемного сооружения для стабилизаторов расхода воды типа цилиндрический ступенчатый коробчатый щит // Гидроавтоматика в мелиорации: Сб. науч. тр. / Кирг. с.-х. ин-т. –1989. – С.80-90.
2. Зайцева О.В. Гидродинамическое обоснование стабилизаторов расхода воды типа цилиндрический ступенчатый коробчатый щит // Гидравлическая автоматизация оросительных систем: Сб. науч. тр. / Кирг. с.-х. ин-т. –1990. – С.66-75.
3. Зайцева О.В. Математические связи между конструктивными и гидравлическими параметрами стабилизаторов расхода воды типа цилиндрический ступенчатый коробчатый щит // Системы гидравлики оросительных систем и совершенствование технологии регулирования водного режима орошаемых полей: Сб. науч. тр. / Кыргыз. с.-х. ин-т. –1991. –С.80-91.
4. Зайцева О.В., Зайцев В.Ф. Гидравлические исследования стабилизаторов расхода воды типа цилиндрический ступенчатый коробчатый щит // Системы гидравлики оросительных систем и совершенствование технологии регулирования водного режима орошаемых полей: Сб. науч. тр. / Кыргыз. с.-х. ин-т. –1991. –С.92-100.
5. Бочкарев Я.В., Зайцева О.В. Стабилизаторы расхода воды типа цилиндрический ступенчатый коробчатый щит // Проблемы научного обеспечения повышения эффективности сельскохозяйственного производства: 3 межрегиональная науч.-практич. конф. молодых ученых: Тез. докл. –Бишкек, 1992. –Часть 3. –С.25-26.
6. А.с. 1734078 СССР; МКИ G 05 D 9/02. Стабилизатор расхода воды / Я.В. Бочкарев, О.В. Зайцева, В.В. Гриднев. Опубл. в БИ №18, 1992. –3с.: ил.
7. Атаманова О.В. Результаты исследований стабилизаторов расхода воды типа “цилиндрический ступенчатый коробчатый щит” в подпорно – переменном режиме работы // Юбилейная науч. конф., посвященная 60-летию образования Кыргыз. с.-х. ин-та: Тез. докл. –Бишкек, 1992. –С.17-18.
8. Атаманова О.В. Повышение пропускной способности кольцевых стабилизаторов расхода воды // Совершенствование методов и средств автоматизации гидромелиоративных систем: Сб. науч. тр. / Кыргыз. с.-х. ин-т. –1994. –С.74-81.
9. Атаманова О.В., Зайцев В.Ф. Опыт внедрения кольцевых стабилизаторов расхода воды // Совершенствование методов и средств автоматизации гидромелиоративных систем: Сб. науч. тр. / Кыргыз. с.-х. ин-т. –1994. –С.81-87.
10. Султаналиева Т., Атаманова О.В. Теоретическое обоснование секторных прислонных затворов – автоматов уровня верхнего бьефа с сифонными датчиками // Совершенствование методов и средств автоматизации гидромелиоративных систем: Сб. науч. тр. / Кыргыз. с.-х. ин-т. –1994. –С.87-93.
11. Атаманова О.В. Исследование процесса и оценка качества работы стабилизаторов расхода типа “цилиндрический ступенчатый коробчатый щит” //

Предложены рекомендации по определению условий нормальной работы объектов регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

5. Обоснована технология и схемы автоматизации водовыпускных сооружений из каналов гидромелиоративных систем с позиций применения стабилизаторов расхода воды.

6. На базе теоретических основ гидравлики локальных систем стабилизации отводимых расходов воды усовершенствована классификация способов и средств стабилизации водоподачи для каналов оросительных систем.

Анализ технических характеристик стабилизаторов расхода воды позволил обосновать выбор гидравлических стабилизаторов наиболее предпочтительных для водовыпускных сооружений систем водораспределения. В число таких конструкций вошли кольцевые стабилизаторы расхода воды.

7. Разработаны и исследованы три конструкции кольцевых стабилизаторов расхода воды. По результатам теоретических и экспериментальных исследований установлены связи между конструктивными и гидравлическими параметрами этих конструкций.

Разработана методика инженерного расчета кольцевых стабилизаторов расхода воды применительно к различным режимам истечения.

8. Рассмотрены теоретические основы водоучета локальными системами стабилизации водоподачи.

На основе анализа показателей качества работы систем стабилизации расхода воды доказана целесообразность использования стабилизаторов расхода воды в качестве средств водоучета на оросительных системах.

Доказано, что наличие на системах водораспределения гидравлических стабилизаторов расхода воды будет способствовать повышению оперативности управления процессом водораспределения на системе, а также позволит упростить систему диспетчерского контроля и управления.

9. На основе апробации результатов разработок и исследований в производственных условиях составлены рекомендации по гидравлическому расчету, проектированию и эксплуатации объектов регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды.

Предлагаемые методы расчета и конструирования применены при проектировании и строительстве ряда объектов Чуйской и Ошской областей Кыргызстана.

Дисконтированный чистый доход от внедрения в проект реабилитации ирригационной системы водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды только на магистральном канале Бурганда Кадамжайского района Ошской области составил 24757 долларов США в ценах 2000 года.

10. Проведенная экологическая оценка использования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расхода воды доказала, что они способствуют целенаправленному улучшению орошаемых земель, и позволила положительно характеризовать их с экологической точки зрения.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Зайцева О.В. Выбор и обоснование конструкции водоприемного сооружения для стабилизаторов расхода воды типа цилиндрический ступенчатый коробчатый щит // Гидроавтоматика в мелиорации: Сб. науч. тр. / Кирг. с.-х. ин-т. –1989. – С.80-90.
2. Зайцева О.В. Гидродинамическое обоснование стабилизаторов расхода воды типа цилиндрический ступенчатый коробчатый щит // Гидравлическая автоматизация оросительных систем: Сб. науч. тр. / Кирг. с.-х. ин-т. –1990. – С.66-75.
3. Зайцева О.В. Математические связи между конструктивными и гидравлическими параметрами стабилизаторов расхода воды типа цилиндрический ступенчатый коробчатый щит // Системы гидравлики оросительных систем и совершенствование технологии регулирования водного режима орошаемых полей: Сб. науч. тр. / Кырг. с.-х. ин-т. –1991. –С.80-91.
4. Зайцева О.В., Зайцев В.Ф. Гидравлические исследования стабилизаторов расхода воды типа цилиндрический ступенчатый коробчатый щит // Системы гидравлики оросительных систем и совершенствование технологии регулирования водного режима орошаемых полей: Сб. науч. тр. / Кырг. с.-х. ин-т. –1991. –С.92-100.
5. Бочкарев Я.В., Зайцева О.В. Стабилизаторы расхода воды типа цилиндрический ступенчатый коробчатый щит // Проблемы научного обеспечения повышения эффективности сельскохозяйственного производства: 3 межрегиональная науч.-практич. конф. молодых ученых: Тез. докл. –Бишкек, 1992. –Часть 3. –С.25-26.
6. А.с. 1734078 СССР; МКИ G 05 D 9/02. Стабилизатор расхода воды / Я.В. Бочкарев, О.В. Зайцева, В.В. Гриднев. Опубл. в БИ №18, 1992. –3с.: ил.
7. Атаманова О.В. Результаты исследований стабилизаторов расхода воды типа “цилиндрический ступенчатый коробчатый щит” в подпорно – переменном режиме работы // Юбилейная науч. конф., посвященная 60-летию образования Кырг.с.-х. ин-та: Тез. докл. –Бишкек, 1992. –С.17-18.
8. Атаманова О.В. Повышение пропускной способности кольцевых стабилизаторов расхода воды // Совершенствование методов и средств автоматизации гидромелиоративных систем: Сб. науч. тр. / Кырг. с.-х. ин-т. – 1994. –С.74-81.
9. Атаманова О.В., Зайцев В.Ф. Опыт внедрения кольцевых стабилизаторов расхода воды // Совершенствование методов и средств автоматизации гидромелиоративных систем: Сб. науч. тр. / Кырг. с.-х. ин-т. –1994. –С.81-87.
10. Султаналиева Т., Атаманова О.В. Теоретическое обоснование секторных прислонных затворов – автоматов уровня верхнего бьефа с сифонными датчиками // Совершенствование методов и средств автоматизации гидромелиоративных систем: Сб. науч. тр. / Кырг. с.-х. ин-т. –1994. –С.87-93.
11. Атаманова О.В. Исследование процесса и оценка качества работы стабилизаторов расхода типа “цилиндрический ступенчатый коробчатый щит” //

36. Атаманова О.В. Динамика процессов в объектах регулирования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расходов воды. – Саратов: Изд. Центр СГСЭУ, 2000. –41 с.
37. Атаманова О.В. Экологическая оценка использования систем водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расходов воды // Проблемы реформирования и стратегия аграрной науки на рубеже XXI века (Материалы научно-практического семинара, посвященного I съезду ученых Кыргызской Республики): Сб. науч. тр./ КАА. –2001. – Вып.3. –Часть 1.- С.121-125.
38. Атаманова О.В. Условия работы стабилизаторов расходов воды при наличии возмущений в канале // Проблемы реформирования и стратегия аграрной науки на рубеже XXI века (Материалы научно-практического семинара, посвященного I съезду ученых Кыргызской Республики): Сб. науч. тр./ КАА. –2001. – Вып.3. – Часть 1.- С.125-130.
39. Атаманова О.В. Определение времени и условий нормальной работы стабилизаторов расходов воды при наличии возмущений в канале системы водораспределения // Современные проблемы мелиорации и водного хозяйства и пути их решения: Юбилейный сб. науч. тр./САНИИРИ им. В.Д.Журина. –2001. – Часть 1. – С.114-119.
40. Атаманова О.В. Динамика краткосрочного перерегулирования стока в системах водораспределения с гидравлическими стабилизаторами расходов воды // Передовой производственный и научно-технический опыт в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: Сб. статей. Вып.3 / под ред. А.П. Кубанцева: Сарат. гос. агр. университет им. В.И. Вавилова. – Саратов. –2002. –С. 30-38.
41. Атаманова О.В. Совершенствование систем автоматизации водораспределения с использованием гидравлических стабилизаторов расходов воды. –Бишкек: Илим, 2002. –91 с.
42. Рохман А.И., Бекбоева Р.С., Атаманова О.В., Омуралиева У.С. Реконструкция комплекса сооружений на внутрихозяйственной оросительной сети // Наука и новые технологии: Материалы I съезда инженеров Кыргызской Республики. –2002. –№ 1. – С. 209-213.
43. Atamanova O.V., Sultanaliyeva T., Frolova G.P. Space Cartography Materials in Designing Water Distribution System in Foothills of Kyrgyzstan // Abstracts of Papers Presented at Seventh International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography (HMRSC VII) / Kyrgyz Geodesy and Cartography Service, Institute for Cartography – Dresden University of Technology. –Bishkek, 2002. –С.11-12.



КЫСКАЧА МАЗМУНУ

Атаманова Ольга Викторовна

“Суу чыгымынын гидравликалык стабилизаторлор менен жабдылган суу бөлүштүрүү системаларын жакшыртуу”

Диссертациялык иш актуалдуу проблемаларды чечүүгө арналган, башкага айтканда суу чыгымынын гидравликалык стабилизаторлору менен жабдылган суу бөлүштүрүү системаларынын теориясын жана эсептөө ыкмаларын жакшыртуу проблемалары каралган. Суу чыгымынын стабилизаторлору суу берүүнү автоматташтырат, ошону менен бирге материалдык сыйымдуулукту кыскартат, эксплуатациялык мүнөздөмөлөрдү жакшыртат, суу чыгаруу курулмалардын жана суу системаларынын иштеринин бекемдүүлүгүн жогорулатат.

Автор суу системасындагы суу бөлүштүрүү процессинин технологиялык негиздөөсүн өздөштүрөт жана бул негиздөөнүн натыйжасында суу чыгымынын гидравликалык стабилизаторлорун колдонуу менен суу бөлүштүрүү системаларын жакшыртуу жолдору көрсөтүлгөн. Суу чыгымынын гидравликалык стабилизаторлору менен жабдылган суу бөлүштүрүү системаларынын жөнгө салуу объектеринин статикалык мүнөздөмөлөрү аныкталган жана анализделген. Жөнгө салуу объектердем динамикалык процесстер теориялык изилдөөнүн жана негиздөөнүн натыйжасында суу системаларынын элементтеринин рационалдык параметрлери сунуш кылынган. Суу системалары үчүн суу бөлүштүрүүнү стабилизациялоо курулмаларынын жана ыкмаларынын квалификациясы жакшыртылган, суу чыгымынын стабилизаторлорун суу чыгаруусу курулмаларын автоматташтыруу куралы катары тандоо негизделген. Жакшыртылган суу чыгымынын стабилизаторлору иштелип чыккан жана изилденген, аларды эсептөө методикалары сунуш кылынган. Суу системаларында сууну эсептөө үчүн суу чыгымынын гидравликалык стабилизаторлорун колдонуунун ылайыктуулугу негизделген. Суу чыгымынын гидравликалык стабилизаторлор менен жабдылган жакшыртылган суу бөлүштүрүү системаларын долбоорлоо жана колдонуу боюнча сунуштар түзүлгөн.

Эсептөө жана конструкциялоо боюнча сунуш кылынган ыкмалар Кыргыз Республикасынын Чүй жана Ош областарындагы ирригациялык объектерди долбоорлоодо колдонулду.

SUMMARY

Olga V. Atamanova

**"Perfecting of water distribution systems
with hydraulic stabilizers of water discharge"**

This thesis for Doctor's degree is given up to decide issue of the day — perfecting theory and methods of analysis of water distribution systems with hydraulic stabilizers of water discharge which are facilities of automation water delivery. These facilities allow to reduce specific consumption of materials, to improve operating characteristics, to raise performance reliability of water outlets and irrigation systems.

The author has carried out technical validation of water allocation process in irrigation systems. According to this trends of perfecting of water distribution systems with hydraulic stabilizers of water discharge are determined. Static characteristics of controlling objects of water distribution systems with hydraulic regulators of water discharge are determined and analyzed. Dynamic processes in the controlling units are theoretically studied and proved, on the basis of that efficient parameters of irrigation systems elements are offered. Classification of methods and facilities for stabilizing of water delivery into irrigation systems is improved, criterions of water discharge stabilizers choices as tools of automation of water outlet are proved. Modernized stabilizers of water discharge are elaborated and studied. The design methods of stabilizers of water discharge are also offered. Advisability of usage of hydraulic stabilizers of water discharge with the purpose of water accounting for irrigation systems is proved. Recommendations for design and operation of the modernized water distribution systems with hydraulic stabilizers of water discharge are given.

Offered methods of design and engineering have been applied for designing of irrigation systems in Chui and Osh oblasts of Kyrgyz Republic.

Подписано в печать 16.05.2003 Формат 60x84/16
 Печать офсетная. Объем 2,0 п.л. Тип. 150 экз.
 г. Бишкек, ул. О.Меркурова, 68. ООО "Молот".