

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МОДУЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА
В ИНТЕГРАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

МОНОГРАФИЯ
(часть I)

Ташкент 2025

Данная монография рассмотрена и рекомендована к печати учёным Советом университета, протокол № _____ от ____ 12.25 г.

Монография посвящена вопросам интеграции внутри и межхозяйственной частей оросительной сети на основе создания автоматизированных (модульных) технологий, по управлению водными потоками, направленных на структуры внутрихозяйственной оросительной сети (ВОС). В работе рассмотрены структурные и организационные изменения технологических процессов на ВОС, связанные с автоматизацией водосберегающих поливов, таких как капельный полив, без сбросной поверхностный, полив путем смешивания полевых вод. Это послужило основой создания АСУТП на ВОС и её интеграции в индустриальную структуру межхозяйственной части оросительной сети. Такой подход предполагает создание интегрированной модели управления с применением математических методов, современных средств управления водными ресурсами - цифровых, информационно-коммуникационных, компьютерных технологий, обладающих большим быстродействием, гибкостью логики, значительным объёмом памяти, способностью обработки большого количества информации (big data), реализации сложных законов управления на основе искусственного интеллекта. Настоящий материал является первой частью работы

Усманов А.М., профессор, к.т.н.

Ядгарова Д.Б. доцент, к.т.н.

Рецензенты:

1. Исмаилов О.М. – профессор, д.т.н.
2. Бегматов И.А. – профессор, к.т.н.

(С) НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», 2025 г.

Введение

Вектор развития новых технологий и средств полива на внутрихозяйственной оросительной сети (ВОС), а так же индустриальной структуризации ВОС в условиях дефицита водных ресурсов, вызывает необходимость в научных и инженерных мероприятиях направленных на разработку и создание новых методов организации поливного земледелия. Это, в свою очередь, требует новых подходов в управления сложными водохозяйственными системами, в которых на передовые позиции выходят возможности интегрированного взаимодействия источника оросительной системы, транспортирующего канала и поливного участка, где потребляется вода. В свою очередь это предполагает развитие математических методов управления, внедрения в водохозяйственный комплекс современных средств управления водными ресурсами - цифровых, информационно-коммуникационных, компьютерных технологий, обладающих большим быстродействием, гибкостью логики, значительным объёмом памяти, способностью обработки большого количества информации (big data), реализации сложных законов управления на основе искусственного интеллекта.

В этой связи в настоящее время оросительная сеть ирригационной системы, и в целом водное хозяйство, активно подвержено применению на своих объектах современных автоматизированных систем управления, в составе которых функционируют новые методы и средства контроля и управления технологическими процессами.

Существующие жесткие требования к экономии водных ресурсов и реальное состояние водораспределения (транспортирования воды) на каналах межхозяйственной оросительной сети (МОС) в условиях необходимости технического взаимодействия и совместимости с ВОС, обуславливают такие недостатки как: стохастический характер колебаний расходов притоков воды, затрудняют равномерное обеспечение водой потребителей на ВОС и соблюдение установленных лимитов; на внутрихозяйственной части во многом отсутствуют современные средства измерений, наблюдаются ошибки измерения расходов и уровней воды, из-за недостаточной точности измерительных устройств; несвоевременность и недостоверность и не полнота информации, получаемой на гидростаях МОС и ВОС, а также непроизводительные организационные сбросы воды. По объектам водораспределения на МОС монтируются разнотипные устройства и системы автоматизации нарушающие установленные принципы типизации. Для преодаления этих недостатков и определения основных направлений

развития стратегии внедрения современных средств автоматизации и методов управления водными ресурсами проведена настоящая работа.

В последнее десятилетие на ВОС наблюдается значительный рост оснащенности техническими средствами полива, такими как технологии капельного орошения, дождевальные средства и технологии и другие. Президентом республики Узбекистан Ш.М.Мирзиёевым изданы указы [1], которые открывают возможности для водопотребителей переходить на вышеприведенные способы полива сельхозкультур. Например, к 2035 г. из 4 миллионов га. орошаемых земель в Узбекистане 2 миллиона га. должны перейти на капельные технологии полива, дождевание и др. водосберегающие способы и средства. Очевидно, это не значит, что оставшаяся часть земель, а это 2 млн. га., должна пребывать в условиях старых методов, т.е. без технологий водосбережения.

На кафедре «Автоматизации и управления технологическими процессами» национального исследовательского университета ТИИИМСХ проводятся работы направленные на создание водосберегающих автоматизированных технологий среди которых выделяются автоматизированные поливные модули на основе без сбросных поливов [8,25] и технологии связанные с водоподготовкой на основе смешивания и подготовки поливных растворов. Учитывая, что обозначенные выше водосберегающие автоматизированные технологии в перспективе могут занять свою нишу на ВОС наряду с капельным орошением и дождеванием, нельзя не констатировать, что поливной участок и в целом внутрихозяйственная оросительная сеть приобретает сегодня устойчивые свойства структурированного объекта с технологическим оборудованием и может рассматриваться как технологический объект – ТОУ. Это первое. При этом важным фактором такого позиционирования ВОС является средства и сеть транспортировки воды внутри ВОС. Эта сеть, от забора воды из межхозяйственного канала до временного оросителя ВОС, снабжается аналогичными с МОС электрифицированными затворами и стандартными промышленными шкафами управления, датчикам положения исполнительного механизма, датчиками конечных положений рабочего органа и пр. Это второе. При этом единство первого и второго обстоятельств предполагают концепцию интеграции внутрихозяйственной оросительной сети в межхозяйственную вплоть до источника орошения. Этой проблеме и посвящена данная монография.

Исходя из сказанного формируются цели и задачи по созданию ТОУ на ВОС. Они связаны с необходимостью применения и создания автоматизированных средств и методов транспортировки воды по

ирригационной сети: источник – межхозяйственный канал – внутрихозяйственный канала – поливной участок, независимо от того какие водосберегающие технологии применяются на поливном участке. Имеется ввиду постоянная оросительная сеть на ВОС, т.е. не временная, которая ежегодно запахивается. При этом следует отметить, что водосбережение может быть связано не только с техническими средствами полива (капельный, дождевание и пр.) но и с эксплуатацией без сбросных технологий полива. Поэтому текущие цели и задачи, в этом вопросе на наш взгляд связаны с изучением технологических условий автоматизации управления водотоками, имея ввиду: устройство и структуру внутрихозяйственной оросительной сети; сооружения на ВОС начиная с водовыпуска во внутрихозяйственный ороситель до временной части оросительной сети ВОС; вопросы эксплуатации водопроводящих систем; вопросы диапазонов измерений, учета и качества воды; вопросы энергообеспечения и пр. Так же для ВОС становятся актуальными технологические функции оборудования и средств управления и автоматизации исполнительных органов для подачи необходимого количества воды на полив. Для технологий капельного полива это уже есть в виде насосных станций и сооружений накопителей воды. Так же следует иметь ввиду, что разработка средств и методов автоматизации измерения, учета воды, а так же автоматизации управления для ВОС должны в будущем служить практическим материалом для разработки и внедрения АСУ ТП, с учетом целей интеграции внутрихозяйственной и межхозяйственной частей оросительной системы на принципах (например) АСУ одного регионального участка водопользователей или оросительной сети водного бассейна.

В монографии 6 глав. Первая и вторая главы посвящены структурной организации внутрихозяйственной оросительной сети, условиям и возможностям её автоматизации, как технологического объекта управления. Третья, четвертая и пятая главы отражают новую структурную и организационную основу ВОС в связи с её современным наполнением машинами, технологиями и оборудованием. На ряду с этим третья и четвертая главы характеризуют исследовательский характер без сбросных возможностей автоматизации полива для части ВОС, не охваченной капельным орошением. Шестая глава посвящена составлению математических моделей участков межхозяйственной структуры и интегрируемых с ней трех оросителей ВОС, для создания искомой объединённой модели: межхозяйственный канал – внутрихозяйственный канал – хозяйственный канал – поливной ороситель. Вторая и шестая главы подготовлены доц. Ядгаровой Д.Б., Первая, третья, четвертая и пятая проф. Усмановым А.М.

ГЛАВА I СТРУКТУРА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ И УСЛОВИЯ ИНТЕГРАЦИИ АСУ МЕЖХОЗЯЙСТВЕННОЙ И ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОЙ СЕТЕЙ.

Новые экономические отношения развивающиеся на внутрихозяйственной части оросительной системы заметным образом опережают уровень оснащённости ее водопроводящих структур техническими средствами автоматизации, информационно-измерительных систем, цифровых технологий. Это в первую очередь касается средств автоматизированных систем управления и контроля [5,7]. В принятой концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020—2030 годы, были определены приоритетные направления модернизации отрасли в частности «совершенствование прогнозирования и ведение учета водных ресурсов, системы формирования и обеспечения прозрачности базы данных, автоматизации управления *крупными объектами* водного хозяйства на основе цифровых технологий, совершенствования системы управления водными ресурсами, внедрения технологии «Smart Water» («Умная вода»)), а так же другие важнейшие мероприятия в целях «стабильного водоснабжения населения, улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель, широкого внедрения рыночных принципов и механизмов, автоматизации и цифровых технологий в водное хозяйство» [1]. Возникает вопрос аналогичного содержания в отношении перспектив развития не крупных объектов, а внутрихозяйственной оросительной сети, которая кроме транспортирующей функции выполняет главную - водопотребляющую с её поливной структурой и площадями сельскохозяйственных посевов [6,15]. Совершенно очевидно, что ВОС не может оставаться в стороне от развивающихся тенденций современных индустриализаций в целеполагающем направлении экономии и распределения водных ресурсов на технологическом этапе *потребления* воды структурами внутрихозяйственной оросительной сети на основе применения автоматизированных технологий, программно-аппаратных и информационно-коммуникационных средств [7,8]. В этой связи осуществлялись исследования, направленные на анализ структуры внутрихозяйственной

оросительной сети и существующих условий создания на ней технологического объекта (ов) управления с перспективой его интеграции в МОС. Для этого было необходимо характеризовать структуру поливного участка и маршруты движения потоков воды до растений, с одной стороны и пути транспортировки воды до этого поливного участка, с другой. Указанные вопросы рассмотрены с точки зрения возможностей автоматизации ВОС в реалиях собственных интересов фермерских хозяйств.

1.1 Характеристика ВОС, как технологического объекта управления и схемы орошения при водосберегающем поверхностном поливе (хлопчатника)

Характеристика технической оснащённости ВОС в сравнении с техническим наполнением межхозяйственных каналов и ГТС, показывает, что электрические средства автоматизации включая датчики, управляющие устройства (PLC), средства мониторинга (SCADA) или отдельно взятые средства цифровых коммуникационных систем, вплоть до исполнительных механизмов практически отсутствуют на первых [5,7.15]. Что касается структуры транспортирующей части ВОС, применительно к которой должны употребляться указанные технические средства, то можно наблюдать сложное построение внутрихозяйственных водотоков в последовательную (или непоследовательную) структуру: от старшего канала к младшему, [6,14] где в принципе на различных уровнях может формироваться водозабор в отдельное фермерское хозяйство. При этом многочисленность фермерских хозяйств, находящихся в механизмах рыночных отношений в том числе с вышестоящими ассоциациями водопользователей, а так же известный дефицит водных ресурсов по стране, рост численности населения, меняющийся климат становятся вызывающими факторами для формирования новых, усовершенствованных, инновационных подходов в вопросах управления потоками и экономии воды на внутрихозяйственной части оросительной системы на основе автоматизированных и информационных

средств и методов. Вышесказанное позволяет характеризовать ВОС организационными, структурными и техническими показателями [5]

1. Организационные показатели связаны с известными цифрами аграрного комплекса, как то 80000 фермерских хозяйств, 1700 ассоциаций водопотребителей (АВП), 4 млн. га орошаемых площадей [2,4].
2. Для структурных показателей характерна планировка и многоуровневый состав водопроводящей сети от границы ВОС до АВП и участка конкретного фермера с его внутренней структурой. [6,14].
3. Третий технический показатель – это, в большинстве своем, практическое отсутствие на ВОС технических средств, позволяющих характеризовать её как автоматизированный, или даже способный к этому объект [5].

На все эти показатели накладываются кадровый профессиональный, эксплуатационный факторы и взаимоувязанное влияние этих трех показателей на процесс водопользования внутри ВОС в целом.

1.1.1 Поливной участок, структура и водосбережение при поверхностном поливе.

В технике поверхностного полива (хлопчатника) существуют устройства, которые позволяют унифицировать параметры количества воды подающейся в борозды, то есть сберегать воду. Таким устройством являются трубки-сифоны. Они позволяют механизировать процесс поступления воды в целый ряд борозд из временного оросителя (ок-арик, шох-арик, выводная борозда) или даже из постоянного оросителя с повышенным расходом в десятки и сотню борозд. При этом, как известно, необходимо поддерживать командный уровень в указанном оросителе. Таким образом формируется оборудование в виде сифонов, оросителя, устройства пропуска поды в ороситель, а так же процесс в виде поддержания уровня воды в оросителе или его (уровня) регулирования. А это уже новые возможности и пути создания высокотехнологичных методов и устройств автоматизации поливных работ. Такой подход позволяет представить поливной участок, как

«индустриализованный» объект, подлежащий автоматизации, начиная от теоретических основ и формализации процессов при построении автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) полива, до создания интеграции АСУТП поливного участка с ирригационными объектами более высокого порядка.

Актуальность вопроса в этом аспекте не вызывает сомнений, так как охватить поливные работы в республике на 4 миллионах га. только капельным орошением невозможно, или можно в достаточно дальней перспективе. В этих условиях поверхностный полив при его коренном техническом перевооружении со значительной, порядка 40%, водосберегающей технологией, может стать очень хорошим подспорьем и для капельного полива.

Принимая во внимание выше сказанное рассмотрим движение воды по внутрихозяйственным водотокам, при самотечном поверхностном поливе, через сеть постоянных и временных оросителей. Здесь следует сказать, что на постоянных оросителях в головной части и выпуска имеются плоские прямоугольными затворами с ручным приводом. На временной части сети таких затворов нет, кроме возможного его наличия в определенном месте к которому подводится временный ороситель. Манипулированием затвора добиваются примерно необходимого расхода воды на участок, но всегда с запасом, что приводит, если не к затоплению, то к перерасходу воды, идущей на сброс. Ниже изложен путь движения воды по ВОС от внутрихозяйственного оросителя. [2]

1. Внутрихозяйственный канал.
2. Внутрихозяйственный распределитель
3. Участковый распределитель
4. Постоянный ороситель
5. Временный ороситель
6. Шох арик
7. Ок арик.

8. Борозда
9. Растение
10. Транспирация



Рис. 1.1 Транспортировка воды по структуре ВОС к бороздам

Временные оросители, выводные борозды, поливные борозды и полосы являются последними звеньями оросительной сети и устраиваются ежегодно. По своему технологическому назначению и уровню автоматизации указанные элементы оросительной системы можно разделить на три основные группы:

- к первой группе можно отнести источник орошения и головное сооружение (пп.1.2), являющиеся объектом-источником воды;
- ко второй группе магистральные каналы и межхозяйственные каналы (пп.3.4), которые являются объектами доставки воды до потребителя;
- третьей группе внутрихозяйственные каналы, сеть постоянных и временных оросителей (пп.5.6.7.), которые являются потребителями воды.

Указанные технологические группы выполняют различные функции в общей структуре оросительной системы. Наиболее тесно с процессом полива из предложенных групп связана третья, а именно постоянная и временная оросительная сеть. Однако именно здесь, где осуществляется непосредственно полив, наблюдается значительное отставание по оснащенности средствами электромеханизации и автоматизации. В значительной степени это обусловлено недостаточным исследованием условий для осуществления технических мероприятий на внутрихозяйственных каналах.

Поэтому в общей структуре оросительной системы, технологическим объектом исследований является поливной участок внутрихозяйственной оросительной сети.

1.2. Сбор хлопка в 2025 г. и перспективы без сбросного полива (хлопчатника) с помощью сифонов

В 2024 году в Узбекистане собрали более 3 миллионов тонн хлопка. Об этом сообщил Президент Республики Узбекистан Мирзиёев Ш.М. Это стало возможным благодаря самоотверженному труду фермеров и последовательной реализации государственной политики в области развития агропромышленного комплекса. Ключевую роль в достижении этих результатов сыграли кластерные системы и внедрение инновационных технологий и научных разработок. В частности, широкое применение нашли высокоурожайные сорта сельскохозяйственных культур, устойчивые к засухе и болезням. Кроме того, была оптимизирована система орошения, что позволило сократить расход воды и повысить эффективность производства. Сокращение расхода воды при орошении сегодня связывают в основном с внедрением капельного полива. Рекомендованная площадь для такого орошения – 2,5 млн. гектаров. То есть оставшиеся порядка 1,5 млн. га. могут занять другие водосберегающие способы полива. Один из которых, без сбросной с помощью сифонов. Такой полив может осуществляться из оросителя с большой пропускной способностью, а именно до $0,5-1.0 \text{ м}^3/\text{сек.}$

1.3 Схемы и структурные условия для автоматического без сбросного полива через сифоны.

В настоящее время орошение на поливных участках осуществляется посредством территориального деления сетью постоянных оросительных каналов на обособленные друг от друга поливные площади. При этом полив осуществляется по двум схемам: продольной и поперечной (рис. 1.2.).

При продольной схеме вода из проводящего распределителя X , через щитовой затвор с ручным приводом, подается в постоянный распределитель $X-1$. Из постоянного распределителя $X-1$ вода поступает в постоянный ороситель (участковый распределитель воды $Y-1-1$, $Y-1-2$ и т.д.). Из участкового распределителя вода подается во временный ороситель (ок-арык) $O-1$, $O-2$, $O-3$ и т.д. Из временного оросителя вода направляется в выводную борозду (шох-арык), а из нее распределяется поливальщиком непосредственно в поливные борозды. Применение такой схемы орошения из-за наличия выводной борозды, приводит к излишним затратам труда, уменьшению коэффициента использования земли, увеличению потерь воды на фильтрацию.

Другой схемой полива хлопчатника является поперечная. При поперечной схеме, вода из проводящего распределителя X также через щитовой затвор с ручным приводом направляется в постоянный ороситель

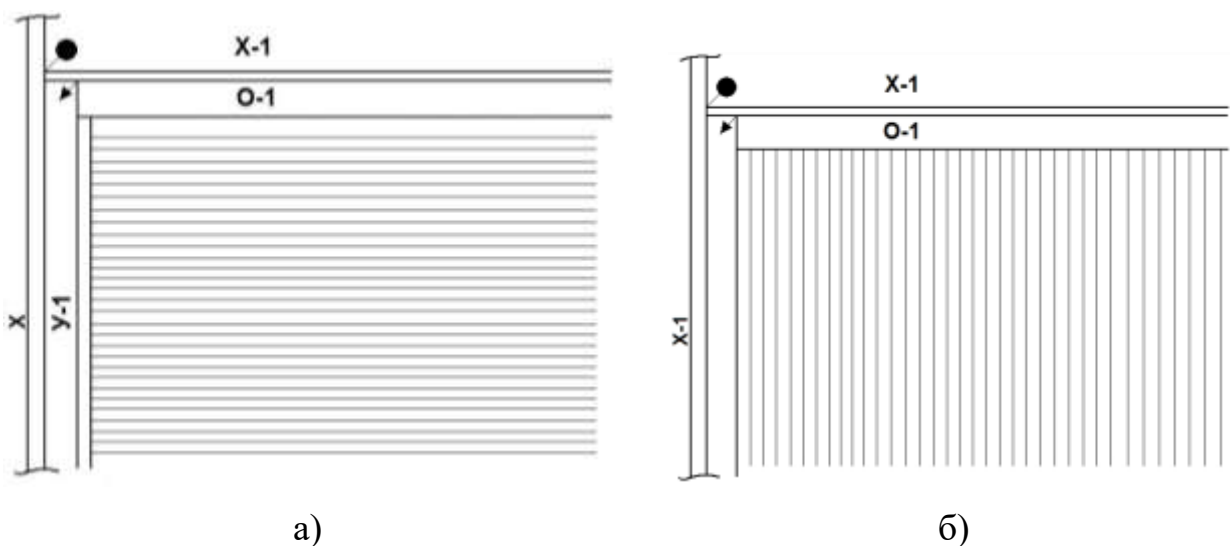


Рис.1.2. Технологическое построение полива по продольной *а* и поперечной *б* схемам.

Х-1. Из распределителя Х-1 вода поступает в участковый распределитель У-1-1, У-1-2 и т.д., а из него в ок-арык, откуда вода направляется непосредственно в борозду. В этой схеме полива отсутствует выводная борозда (шох-арык), что уменьшает потери воды, затраты труда на организацию выводных борозд и др.

Приведенное описание эксплуатируемых в хозяйствах схем полива, позволяет представить объем и трудоемкость работ, возлагающихся на поливальщиков. Они должны следить не только за подачей воды в борозды и состоянием уплотнения оголовков борозд (чим, салфетки и т.д.), но и за ее расходом в шох-арыке, ок-арыке, а также и в участковом распределителе.

Поэтому для снижения трудоемкости работ при самотечном поливе, пользуются средствами, позволяющими механизировать процесс выпуска воды в борозду. К таким средствам относятся переносные сифоны, позволяющие также и автоматизировать распределение воды, поступающей в каждую борозду.

Таким образом, анализируя два рассмотренных выше обстоятельства, а именно схему полива и сифонную подачу воды в борозды можно прийти к следующему выводу: 1. Ликвидировать временную оросительную сеть и устанавливать сифоны в постоянный распределитель Х-1 для подачи воды сразу в борозды. 2. Создать систему автоматического поддержания и регулирования уровня в постоянном распределителе Х-1. 3. Создать систему без сбросного орошения, то есть такую систему автоматического управления уровнем в постоянном распределителе Х-1, которая была способна обеспечивать баланс между поступающей воды в распределитель Х-1 и отводимой водой в борозды через сифоны.

Пояснения дальнейших описаний будем привязывать к рис. 1.1, так как этот рисунок удобным и правильным образом в последующих изложениях совмещается с межхозяйственным каналом. Поэтому, с учетом п.1 предыдущего абзаца, можно сказать, что ликвидация временной оросительной

сети, позволяет устанавливать сифоны во постоянный ороситель ПО - борозды, рис.1.1, или даже в участковый распределитель УР – борозды.

1.3.1 Технология полива сифонами и условия его автоматизации.

Наибольший интерес, с точки зрения технических способов выпуска воды в борозды, представляет сифонный полив. Переносные трубки-сифоны изготавливаются из резины, брезента с гудронированной тканью и гибким каркасом внутри, а также могут быть пластмассовыми, металлическими. Длина их достигает 130 см., диаметр различный от 2 до 60 мм. При этом рис. 1.2. , сифоны устанавливаются по длине шох-арыка (в случае продольной схемы полива) или ок-арыка (в случае поперечной схемы полива) и направляются в каждую отдельную борозду.

Применение таких приспособлений дает существование преимуществ при поливе. С одной стороны происходит равномерное увлажнение почвы, осуществляется дозированное пропускание воды, предотвращается размыв оголовков борозд, значительно облегчается ночной полив; с другой – повышается производительность труда поливальщика, снижаются трудозатраты на полив хлопчатника. В результате проведенных исследований было установлено влияние способов выпуска воды в борозду на эффективность полива.

Таблица1.

Сравнительные показатели производительности при поливе сифонами.

Показатели	Способ выпуска воды в борозду					
	Сифонами			Чимом		
	Длина борозд в метрах					
100	200	300	100	200	300	

Выработка поливальщика, га/смену	0,8	1,1	2,2	0,5	0,8	1,25
--	-----	-----	-----	-----	-----	------

Приведенные данные показывают, что выработка поливальщика при поливе с помощью трубок-сифонов возрастает в 1,6 – 1,7 раза, против существующего способа выпуска воды в борозду.

При этом главной технологической особенностью сифонного полива является необходимость соблюдения командного уровня в оросителе. То есть необходимо иметь такое превышение уровня воды над срезом сифонной трубки, чтобы обеспечить устойчивое перетекание воды по сифону в борозду (рис.1.2.).

Согласно рекомендациям [2,9], величина командного уровня $H_{ком.}$ должна составлять не менее двух диаметров сифона. В процессе полива величина $H_{ком.}$ может повыситься или понизиться, но эти значения не должны приводить при повышении уровня к размыву дамбы оросителя с одной стороны и разрядке сифонов, с другой стороны, при снижении уровня. Указанные обстоятельства

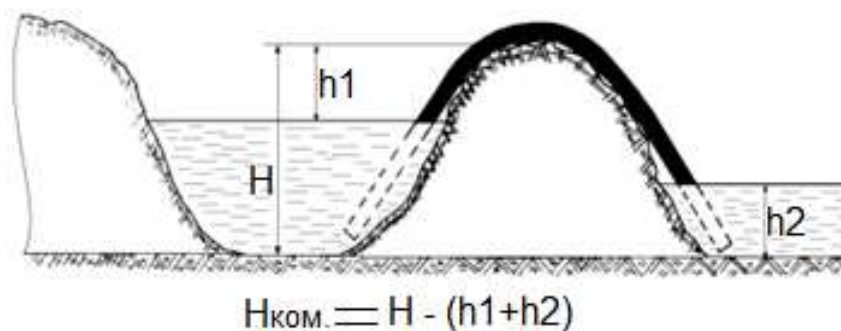


Рис.1.2. Технологические условия полива сифонам

определяют нормальное заполнение канала, которое необходимо поддерживать по всей длине.

Исходя из величины выемки оросителя – H , уровня воды в борозде $h2$, возвышения гребня дамбы над уровнем в оросителе – $h1$, рекомендовано соотношение, определяющее командный уровень – $H_{ком.}$:

$$h=H-h_2-h_1$$

Из указанного соотношения следует, что, изменяя командный уровень можно изменить режим полива. Например, расход через сифон диаметром 5 см при $H_{ком} = 6$ см составляет 1,42 л/с, а при $h = 14$ см – 2,18 л/с. [].

Анализ этих рекомендаций указывает на эффективность регулирования расходом воды через сифон, путем варьирования командным уровнем. Например, в начале полива расход в борозде может быть максимальным (в пределах установленной нормы), что достигается соответствующим увеличением командного уровня $H_{ком}$. Затем, когда вода добежит почти до конца борозды, для уменьшения сброса командный уровень, а это в свою очередь приводит к соответствующему уменьшению расхода воды, подаваемого в борозду.

Этот способ регулирования дает возможность улучшить условия полива с одновременным уменьшением расхода за счет сброса. Такой способ подачи воды в борозды требует регулирования расхода воды в канале, который достигается изменением положения затвора. В связи с этим, переходя к вопросу практической реализации полива с помощью трубок-сифонов, необходимо дать анализ технологических параметров поливного участка, норме полива, расходу воды, которым оперирует поливальщик, и продолжительности полива.

С этой точки зрения создаваемые средства автоматизации должны быть направлены на обеспечение определенных режимов их работы для эффективной эксплуатации сифонного полива.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ состояния вопросов, связанных с автоматизацией сифонного полива (хлопчатника) из оросителя с большой пропускной способностью (ОБПС) позволил установить:

1. Автоматизация полива хлопчатника с применением сифонов, при поддержании командного уровня в ОБПС с помощью электрифицированного

затвора позволяет обеспечивать достижение агротехнических показателей с одновременным снижением трудозатрат.

2. Эффективность и рациональность перехода к технологии сифонного полива из оросителя с повышенной пропускной способностью взамен технологии полива с нарезкой сети временных оросителей.

3. Возможность не только поддерживать, но и регулировать командный уровень в заданных пределах в оросителе с повышенной пропускной способностью и электрифицированным затвором на ГТС в голове оросителя.

4. Аналогию отбора воды в сифоны из оросителя с повышенным расходом, с принципами водораспределения по нижнему бьефу в пределах соответствующих кривых свободной поверхности, формирующихся по длине оросителя, и с забором воды в него через проем автоматизируемого затвора.

Выше изложенные выводы, а так же содержание исследований первой главы, открывают возможность реализовывать определенные условия для создания технологического объекта управления на ВОС, и его автоматизации, с целью осуществления без сбросного полива и интеграции с межхозяйственной частью оросительной сети.

ГЛАВА II СРЕДСТВА И МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ВОС, КАК УСЛОВИЯ ИНТЕГРАЦИИ С МЕЖХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТЬЮ.

Основное технологическое назначение внутрихозяйственных каналов связано с поливом. С другой стороны, транспортировка воды до поливного участка на ВОС, как и на межхозяйственных каналах, осуществляется аналогично им. То есть методы, подходы, оборудование, средства автоматизации, устройства цифровых и информационно-коммуникационных систем и искусственного интеллекта, что обеспечивает, в итоге, транспортировку воды и «командные» значения уровня, должны быть типизированы с аналогичными, используемыми во многом на МОС. Таким образом создавая основу интегрированного взаимодействия двух частей оросительной системы необходимо так же исходить из организации рационального водопользования, в том числе управления процессами водозабора и водораспределения, контроля текущего технического состояния отдельных сооружений и т.п. Это требует получения оперативной и достоверной информации по многим технологическим и техническим параметрам. В случае применения систем и средств автоматизации и механизации технологических процессов на оросительной системе существенно возрастает объем технологической информации, что расширяет сферу применения средств измерения, требует создания систем обработки и передачи информации, прогнозирования водоподачи и водопотребления и т.п., объединенных в единый системный комплекс информационного обеспечения водопользования. Поэтому ниже приводятся средства и методы применение которых может быть перенесено из межхозяйственной части оросительной системы во внутрихозяйственную.

2.1 Методы и средства для получения параметрической информации по расходу и уровню.

В состав средств контроля параметров следует отнести датчики уровня,

расхода, датчики положения исполнительных механизмов, датчики засоленности. Указанные средства должны иметь метрологическое обеспечения и водоизмерения и водоучета для характеристики достоверности их показаний. Кроме того с разделением собственности, для метрологического обеспечения водоизмерения и водоучета, большое значение приобретает разделение прежде единых мелиоративных систем по форме собственности (государственные и частные), имея ввиду многочисленные фермерские хозяйства. Это означает изменение принципов организации метрологического обеспечения и сервисного обслуживания средств измерений. Кроме того, метрологической службе эксплуатационных организаций мелиоративной отрасли предстоит определиться с взаимодействием собственных метрологических служб министерства водного хозяйства (МОС) и служб, которыми пользуются многочисленные фермерские хозяйства (ВОС). Поэтому следует базироваться на общегосударственных метрологических (отраслевых) требованиях в нашей стране.

Как известно в оросительных каналах расход имеет приоритетное значение. Один из методов определения расхода основан на измерении уровней и открытия затвора. То есть следует правильно определять уровень воды путем установления положения затвора. В связи с этим, одной из задач, возложенных на действие технических средств автоматизации является правильное установление учета воды. Это налагает на технические средства необходимость наличия прибора, по которому возможно было бы определить как мгновенный, так и суммарный расход воды на данном участке.

В этой связи известный интерес представляет метод и формула для определения расхода воды через щитовой плоский затвор :

$$Q = \ell b \mu \sqrt{2g(H-h)} \quad (2.1)$$

где Q - расход воды, м³/с ;

ℓ - открытие затвора;

b - ширина затвора, м;

μ - коэффициент расхода;
 H - действующий напор, м;
 h - уровень в нижнем бьефе, м.

Приведенная формула позволяет с учетом наличия средств приборного контроля указанных величин, а также приборов, осуществляющих решение алгебраических действий, фиксировать и задавать необходимый режим водотока в оросителе. Говоря об изменении расхода воды непосредственно в оросителе необходимо учитывать то, что таковой может быть определен и через показатели створа фиксированного сечения канала при установившемся режиме.

С этой точки зрения представляет интерес другая формула, позволяющая определить расход:

$$Q = Kh \cdot b_k \cdot V_{cp} \quad (2.2)$$

где b_k - ширина канала, м;
 V_{cp} - средняя скорость потока, м/с;
 K - коэффициент, учитывающий геометрическую форму канала.

Если последний имеет тарированный створ, для которого величины b_k и V_{cp} постоянны, то выражение (2.2) приобретает вид

$$Q = Kf(h) \quad (2.3)$$

Исходя из сказанного, литературные источники дают рекомендации определять расход воды по показаниям уровня в фиксированном створе канала. В этом случае функция измерения возлагается обычно на датчик. Что касается скорости V_{cp} , то для ее расчета берется ее средняя величина, так как она зависит от многих факторов:

$$V_{cp} = \int_{b_{K'}}^{b_{K''}} V_i(b_K, i)$$

Изложенные выше соображения дают возможность правильно определять и задавать уровни и расходы воды и одновременно при наличии соответствующих приборов, вести ее учет. При разработке технических

средств автоматизации ВОС необходимо учесть возможность использования одного и того же сигнала для автоматического регулирования командного уровня и учета потребляемой воды.

В связи с необходимостью поддержания заданного уровня воды в канале для обеспечения надежных условий полива (командный уровень) были изучены современные устройства (датчики) по автоматическому измерению уровня воды на открытых гидромелиоративных сооружениях. Изучение проводилось с точки зрения особенности их эксплуатации на внутрихозяйственных оросительных каналах. Оно показало, что применение указанных датчиков уровня или разработка новых, должны основываться на специфических особенностях объекта, а именно на особенностях действия средств автоматизации на выводах ВОС.

Анализ литературных источников, натурное ознакомление с мелиоративными объектами внутрихозяйственного масштаба показали, что внутрихозяйственные каналы, с точки зрения современных требований эксплуатации, характеризуются следующими основными признаками:

1. Отсутствием каких-либо средств приборного измерения уровня воды на ВОС;
2. Незначительным диапазоном измерения уровня (до 1,5 м.), а в случае измерения командного уровня то до 0.3-0.4 м.
3. Недостаточной оперативной связью с головными водораспределяющими узлами;
4. Потребностью в воде соответственно научно-обоснованным методам поливного земледелия, что требует поддержания соответствующих режимов подачи воды на полив и др.

Приведенные основные эксплуатационные показатели внутрихозяйственных оросительных каналов могут послужить определяющим направлением для анализа принципиальных различных решений по процессу измерения уровня, определения расхода и учета воды с целью выявления наиболее приемлемых из существующих устройств.

В настоящее время существуют различные приборы и устройства, позволяющие производить автоматическое измерение уровня воды в каналах. Эти устройства имеют различные принципы преобразования уровня в унифицированный сигнал, как для измерительных целей, так и для управления. Это современный ряд датчиков, которые обеспечивают возможность непосредственного преобразования уровня в электрический сигнал. Эти принципы основаны на изменении диэлектрической проницаемости среды, (емкостные датчики), на изменении проводимости сред воздух–вода, (электродные датчики), изменении потенциала зарядов пьезопластин (пьезометрические датчики) и др.

Следует обратить внимание на современные средства преобразования информации, которые позволяют принимать и работать на принципах дифференциальных преобразователей. Имеется ввиду выше изложенный принцип тарирования сооружений с формулой 2.1. Как видно для осуществления этого метода необходимо определять как уровень перед затвором, так и после.

Современные дифференциальные датчики, имеют выгодные условия для применения в подобных объектах. Применяются конструкции датчиков Super Module с емкостным преобразователем разницы давлений выполненный по сенсорной технологии Saturn (с применением корпуса датчика типа PlantWeb с соответствующими техническими, функциональными, диагностическими удобствами) В некоторых датчиках разницы давлений используются сенсорные модули на базе емкостной и пьезорезистивной ячеек Coplanar.*

Что касается цифровых, информационных преобразователей, то как было установлено для дифференциального датчика выходные сигналы имеют унифицированные параметры по напряжению 1-0-1В и взаимной индуктивности 10-0-10 мГн. (конечно и другие показатели как по току, так и по напряжению). Для данного типа датчика в системе приборов существует широкий круг вторичной аппаратуры. К ним можно отнести различные

многофункциональные вторичные приборы. Они совмещают в себе функции многоканального регистратора, счетчика, вычислителя и контроллера. Предназначены для комплексного решения задач коммерческого учета с помощью любых типов датчиков расхода, перепада давлений, абсолютного и избыточного давления, температуры.

Они могут вести контроль состояния оборудования, положения исполнительных механизмов, автоматическое регулирование заданных параметров. В интересах фермерских хозяйств на ВОС может осуществляться архивирование (хранение в памяти) учетных параметров. Прикладное программное обеспечение этих приборов может быть интегрировано в системы АСУТП верхнего уровня (по шине RS485) с использованием открытого протокола Modbus, RTU. Имеется возможность разработки соответствующих программ SCADA для применения на внутрихозяйственной части оросительной системы в целях создания автоматизированной системы контроля учета водных ресурсов, а так же интеграции в АСУТП межхозяйственной части оросительной системы.

Они устанавливаются в тарифированных створах и являются основными источниками первичной информации о существующих уровнях воды в каналах для измерения расхода и автоматического регулирования.

2.2 Средства электрической автоматизации.

Для регулирования водотоков в оросительных системах существуют специальные электромеханические средства, которые при ручном или автоматическом управлении обеспечивают действие элементов, входящих в комплекс сооружения.

Ограниченная возможность механических средств автоматического изменения режимов водотока без электрической энергии, и без ведения учета потребляемой воды не дает возможности ее применения.

Действие же технических средств с автоматическим управлением избавлены от этих недостатков и поэтому они при определенных условиях

нашли себе широкое применение в оросительных системах, отнесенных к межхозяйственной оросительной сети (МОС).

Что же касается внутрихозяйственных каналов, то они имеют, в основном, только затворы с ручным управлением и без контроля над водными параметрами

Переходя к автоматическому управлению и регулированию водотока, а также измерению уровня и учету потребляемой воды, необходимо использовать накопленный опыт и те средства автоматизации, которые применяются в МОС, а именно: затворы на гидросооружениях, системы измерения, сравнивающие устройства, регуляторы и электродвигатели с исполнительным механизмом.

Исходя из этого, ниже рассматриваются ряд особенностей применения и действия указанных элементов и возможность использования известных принципов автоматического регулирования на внутрихозяйственных каналах.

2.3 Электрифицированный затвор гидротехнического сооружения.

На всех видах гидросооружений для автоматического регулирования водотоков устанавливаются различные типы подъемников, комплектующих затвор ГТС плоским прямоугольным щитом, электродвигателем, редуктором, винтом (в целом затвор в сборе). Для внутрихозяйственных каналов наиболее подходящим представляется возможным использование подъемника по типу 1ЭВ (или 0,5 ЭВ). Этот исполнительный механизм может менять положение щита, как при ручном, так и автоматизированном способе управления:

- развиваемое усилие до 1000 кг; (до 500 кг)
- мощность электродвигателя 0,4 кВт ПВ 25%; (0,27 кВт ПВ 25%)
- питание 380В.

Малая стоимость этих подъемников, высокая степень надежности действия обеспечивают их использование для внутрихозяйственных каналов.

Подъемники перемещают щит затвора по вертикали, изменяя проем водовыпуска гидротехнического сооружения.

Расход воды через водовыпуск зависит от ряда факторов, которые определяются известной зависимостью 2.1).

Следует отметить, что проемы обычно применяются прямоугольного сечения, вследствие чего расход пропорционален высоте подъема, при постоянстве всех других причины, входящих в указанную зависимость.

2.4 Существующие системы регулирования автоматизации водораспределения.

Существующая в настоящее время дифференциация принципов водораспределения предусматривает пропорциональное, нормированное и водораспределение по требованию, поэтому необходимо было определить эти исходные принципы, приемлемые для ВОС.

Указанные способы водораспределения получили широкое применение при обеспечении режимов работы крупномасштабных каналов, осуществляющих транспортировку воды через систему перегораживающих сооружений. При этом режим работы этих сооружений сводится к пропорциональному делению между потребителем стохастических поступлений воды от источника орошения, в случае пропорционального водораспределения. Нормированное водораспределение характеризуется комплексной компенсацией возмущений водоподачи, стохастически поступающих со стороны источника орошения и также детерминировано от потребителя. В случае водораспределения по требованию, обеспечение потребителя водой соответствует режиму работы канала, когда возмущения водоподачи компенсируются управлением стохастических поступлений воды как от источника орошения, так и от потребителя.

В соответствии с приведенными краткими характеристиками принципов водораспределения, разработаны различные схемы автоматического регулирования. К ним относятся: регулирование по

верхнему бьефу , регулирование по нижнему бьефу , смешанное регулирование и др.

Перечисленные схемы регулирования и указанные выше принципы водораспределения выбираются для эксплуатации на каналах в зависимости от их технологических особенностей или закладываются заранее в проект .

Применительно к выполняемой работе выбор указанных схем регулирования и принципов водораспределения ограничивается технологическими параметрами существующих оросительных площадей с сетью постоянных и временных оросителей ВОС. Кроме того, обеспечение известных условий при автоматизации (полива) на ВОС, выставляет определенные требования как к принимаемому принципу водораспределения , так и к схеме управления водоподачей.

Поэтому, учитывая специфические особенности исследуемого объекта, когда отклонения со стороны потребителя имеет установленный характер, можно считать априори - водораспределение по требованию принятым режимом технологической системы, а регулирование по нижнему бьефу принятой схемой автоматического регулирования (конечно, это не значит, что нормированное водораспределение и регулирование по положению затвора не может быть использовано).

В случае применения указанного принципа водораспределения, а также схемы автоматического регулирования, обеспечиваются необходимые режимы работы всех трех, ранее рассмотренных групп ирригационных систем, задачи которых во многих случаях совпадают, а именно, необходимость поддержания заданного уровня, возможность дистанционного изменения расхода воды, контроль и учет потребляемой воды и др.

Однако, уточнение этих задач выявило значительное расхождение в содержании протекающих процессов, а именно - если для системных магистральных или межхозяйственных каналов допустимы кратко-ременные снижения уровня и это позволяет в расчетах, время добегания воды до створа

уровнемера принимать, в отдельных случаях, равным нулю, то для целей полива на внутрихозяйственных оросителях, время добегания должно быть минимальным и этим фактором пренебрегать нельзя.

В ирригационных каналах управление электрифицированными затворами ГТС осуществляется либо ручное («местное»), либо автоматическое с целью поддержания заданных расходов или изменения режима водоподачи. При этом обычно рассматривается функциональная схема (рис 2.1), в которой под объектом I понимается уровень воды в нижнем бьефе ГТС. Датчиком служит уровнемер 2, задающее устройство 3 и сравнивающий орган представляют элемент органа управления с регулятором 4. Исполнительный механизм 6 приводится электродвигателем 5 и органом включения 4'.

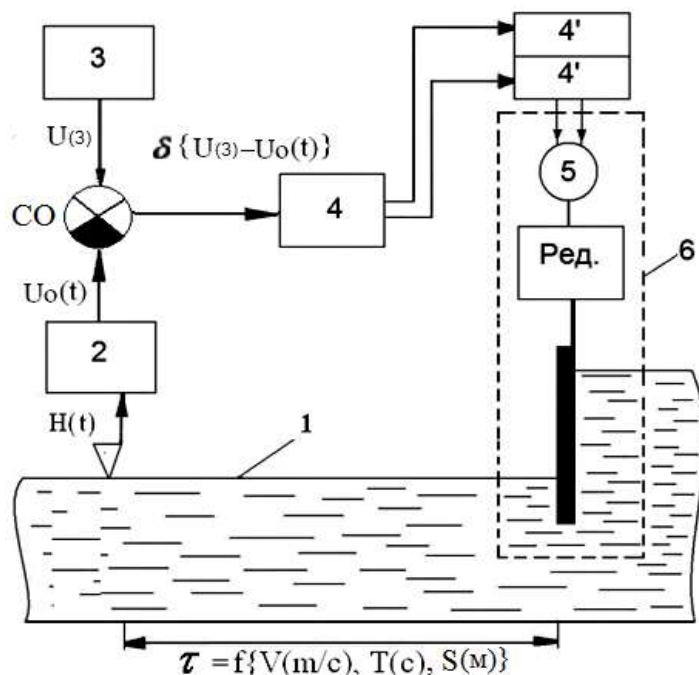


Рис.2.1. Функциональная схема автоматического регулирования на участке оросителя: затвор - створ измерения.

В этой схеме возникающее возмущение фиксируется датчиком 2, преобразуется в электрический сигнал, который сравнивается с заданием.

Результирующий сигнал, после сравнения указанных выше сигналов, в регуляторе преобразует в управляющее воздействие реверсивного электродвигателя и изменяет соответственно положение затвора ГТС.

В рассматриваемой автоматической системе управления датчики уровня в нижнем бьефе устанавливаются на определенном расстоянии от затвора, что приводит к запаздыванию в регулировании. При этом колебания уровня в створе датчика проходят с определенной инерционностью, если не принять соответствующих мер, то эта инерционность может породить колебания как затухающие, так и незатухающие.

Для обеспечения надежной и устойчивой работы систем стабилизации водотока и качества регулирования, электрические системы предусматривают автоматическое регулирование непрерывного и дискретного действия. К первым относятся регуляторы, в которых непрерывное изменение входной величины по времени соответствует непрерывному изменению выходной величины. Ко вторым относятся регуляторы с непрерывным изменением входной величины, которые на выходе появляются в виде импульсов через некоторые промежутки времени (паузы). Такие системы - системы с прерывистым регулированием применяются на объектах с большими запаздываниями и инерционностью, т.е. со значительным отнесением датчика от перегораживающего сооружения. Для компенсации возникающих при этом динамических погрешностей в системе автоматического регулирования применяют корректирующие элементы.

При решении вопросов, связанных с применением систем автоматического регулирования большое значение приобретает скорость перемещения затвора. Если в крупных ирригационных каналах может допускаться некоторый дефицит водотока или некоторое превышение уровня против задания, за счет скорости затвора, то оно не повлияет на общую систему водообеспечения. При решении же вопросов автоматизации на ВХК оба эти условия имеют решающее значение. Первое - уменьшение уровня (дефицит) может привести к понижению командного уровня и нарушению полива, а второе - повышение уровня может привести к непредвиденному размыву насыпной части дамб оросителей ВХК, к заболачиванию и пр. Таким образом,

вопросы автоматического регулирования скорости перемещения затвора приобретают большое значение для оросителей внутрихозяйственной системы.

Во всех рассматриваемых случаях, при регулировании водотока важное место занимают переходные процессы, возникающие при изменении положения затвора.

2.5 Динамические процессы в системах автоматического поддержания уровня нижнего бьефа на ВОС.

Общие вопросы теории систем регулирования рассматриваются в трудах многих отечественных и зарубежных ученых. Они позволяют определить передаточные функции элементов, составляющих систему автоматического регулирования, а также перейти к описанию всей системы автоматического регулирования, и с помощью критериев устойчивости импульсных систем высказать суждение о надежности, работоспособности систем и необходимости качественного улучшения ее действия. Однако, высокий порядок уравнений (линейных и нелинейных) затрудняет практическое их использование и решение их относят обычно к экспериментальным исследованиям, результаты которых дают возможность, как аналитического описания процесса, так и определение величин, входящих в предлагаемые зависимости.

Для ирригационных объектов регулирования были проведены разработки (В.А.Рожнов), в основу которых положены исследования систем с регуляторами импульсного действия. Даются рекомендации, связанные с выбором закона регулирования, формирующего продолжительность паузы и время импульса, обеспечивающие получение необходимого качества переходного процесса при стабилизации уровня в нижнем бьефе.

В тех случаях, когда датчик располагается вблизи затвора, предлагают, с определенными допущениями в расчетах, использовать переходную функцию в виде:

$$h_{(t)} = \left[K_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) + \frac{L_1}{T} e^{-\frac{t}{T_1}} \right] \frac{1}{x} \quad (2.4)$$

где, первый многочлен показывает условия протекания переходного процесса, а второй – учитывает начальные условия водотока до переходного процесса;

$\frac{1}{x}$ – величина установившегося водотока после завершения

переходного процесса;

K_1 – коэффициент усиления электрического регулятора;

t – текущее время;

T_1 – постоянная времени переходного процесса.

Если допустить, что указанные в формуле (2.1) величины (кроме T_1 ,) могут быть заданы или получены в результате инженерных расчетов, то первый многочлен, характеризующий инерционность (а может быть и колебание) процесса, должен быть учтен исходя из условий конкретного случая.

Следует отметить, что основа переходной функции (первый многочлен), может быть также использована при рассмотрении вопросов, связанных с решением вопросов непрерывного регулирования. При этом нужно учесть, что некоторые авторы делают одно из важных для непрерывного регулирования допущений, принимая величину отнесения датчика от затвора равным нулю.

Кроме того, делается допущение, что изменение положения затвора в переходном процессе происходит скачкообразно. При импульсном регулировании и малых перемещениях затвора это допущение не вызывает особых динамических погрешностей. Если это положение допустимо при вполне определенных условиях рассматриваемых случаев, то при использовании непрерывного регулирования это может внести значительные динамические погрешности.

Следует отметить, что некоторые авторы рассматривают примеры и делают определенные выводы для аналитического и графического описания переходного процесса с учетом времени перемещения затвора.

Однако обобщение материалов дало возможность этим авторам сделать вывод, что при расположении датчиков на значительных расстояниях от перегораживающего сооружения можно пренебречь временем перемещения затвора, приняв его равным нулю для случая прерывистого регулирования.

Таким образом, обзор литературных источников не дает возможности использовать рекомендации по автоматизации систем регулирования водотока, а также использовать их для определения скоростных параметров перемещения затвора при непрерывном регулировании.

2.6 Вопросы инерционности действия систем при непрерывном регулировании

Инерционность действия системы управления водотоком при всех приведенных выше случаях, вызывает значительные динамические погрешности, которые при регулировании затвором значительно усложняют управление техническими средствами. Это усложнение связано с тем, что в системе автоматического регулирования сигнал, снимаемый датчиком с объекта в виде параметра h переходного процесса (уровня воды в фиксированном сечении канала), не отражает того расхода, который проходит через водовывод (рис.2.2). Этот расход определяется положением затвора, а наличие расстояния между ним и датчиком создает определенную инерционность. Вследствие этого, сигнал, поступающий на орган сравнения не характеризует фактического состояния водотока при изменении положения затвора.

Переходя к непрерывному регулированию, были рассмотрены различные рекомендации по компенсации инерционности процессов регулирования. При этом необходимо учесть, что постоянные времени объекта, могут иметь переменные значения для одного и того же канала и

разные значения для разных каналов. Таким образом, были рассмотрены рекомендации дробления элементарного инерционного звена. Сущность этих рекомендаций заключается в том, что апериодическое звено первого порядка можно разделить на два звена - на звено с чистым запаздыванием и безынерционное звено. Но это возможно лишь в том случае, если переходной процесс водотока при перемещении затвора будет описан соответствующей аналитической зависимостью.

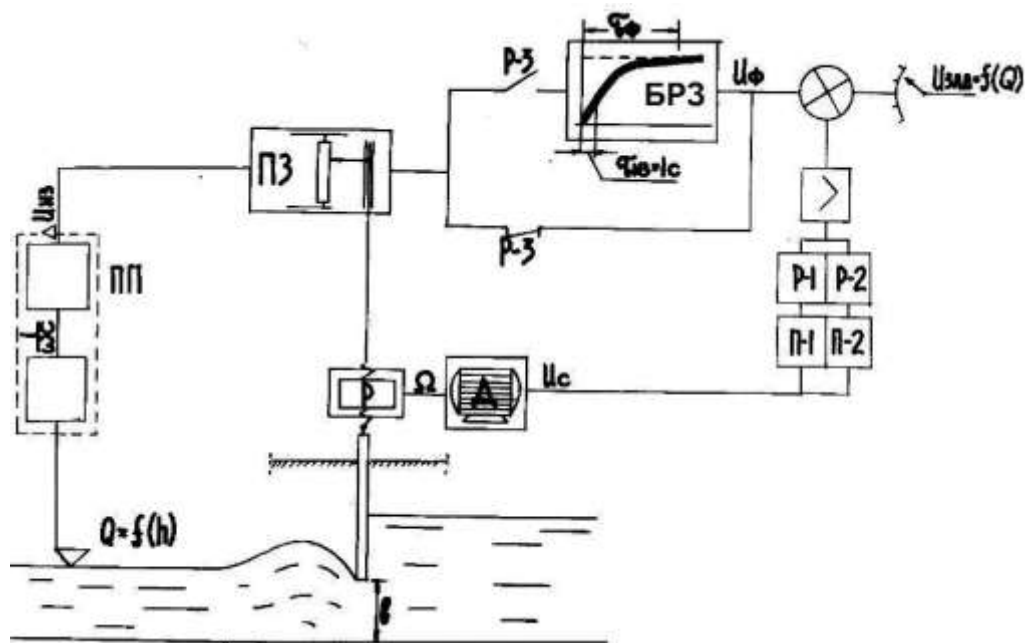


Рис.2.2. Параметры инерционности регуляторов уровня (расхода).

В этом случае (рис. 1.4) сигнал на действие системы снимается через малое время (0,5...1 с.). Этот сигнал отражает характер протекания переходного процесса по установленной аналитической зависимости, а безынерционное звено решает задачу, заключающуюся в определении конечного значения переходного процесса. Иными словами, если через заданное время (0,5...1 с), а можно и более (в зависимости от продолжительности переходного процесса) снять сигнал, то представляется возможным мгновенно получить сигнал, после решения задачи о фактической величине установившегося значения при окончании переходного процесса, и устанавливать затвор в необходимое положение.

Столь малые значения времени запаздывания (0,5...1с.) дают возможность рассматривать систему управления с дроблением элементарного звена как систему непрерывного регулирования.

Заслуживают внимания авторы, рассматривающие действие непрерывных и импульсных регуляторов. Регуляторы непрерывного действия имеют возможность реагирования на быстрое изменение регулируемой величины, в то время как импульсные регуляторы во время паузы на нее не реагируют.

Исследования, проведенные для объектов, обладающих транспортным (чистым) запаздыванием τ и постоянной времени T применительно к регуляторам непрерывного действия, позволили установить, что величина максимального отклонения на выходе данного объекта при импульсном воздействии на его входе, стремится к единице, т.е. эффективность регулирования падает, время регулирования увеличивается до $t_p = (6...7)\tau$, увеличивается количество срабатывания исполнительного механизма (включений двигателя затвора).

Применение же импульсных регуляторов дает ощутимые преимущества, так как появляется возможность рационального выбора времени паузы T_{Π} . Тогда, при $\frac{\tau}{T} \succ 1$ можно добиваться малой величины времени регулирования $t_p \approx (3...4) \tau$ значительно уменьшить количество срабатываний исполнительного механизма.

Некоторые авторы рекомендуют для большинства объектов применение импульсных регуляторов (для $\frac{\tau}{T} \succ 1$) с примерным их построением: датчик, задатчик, электронный блок, блок паузы и усиления мощности импульса, блок управления, блок питания.

С блока датчика выдается напряжение U_{δ} , зависящее от величины уровня в объекте. С блока задатчика поступает напряжение U_z , зависящее

от величины задания. Эти напряжения подаются на блок электронного блока, который вырабатывает импульс, длительностью пропорциональной разности напряжений датчика и задатчика ($\Delta U = U_{\delta} - U_{\varepsilon}$). Электронный блок имеет два выхода. При разности $\Delta U = 0$ импульсы появляются на одном выходе, при $\Delta U < 0$ на другом.

Пауза T_{Π} между импульсами устанавливается в зависимости от инерционности объекта управления и запаздывания в системе авторегулирования. С электронного блока импульсы поступают в блок управления, в результате чего срабатывают соответствующие контакты реле, имитирующие цепь управления приводом затвора. Величина и направление перемещения затвора зависит от величины и разности ΔU , и при правильной работе регулятора ΔU будет уменьшаться. Работа регулятора будет продолжаться до тех пор, пока не будет выполняться условие $\Delta U < \varepsilon$, где ε - зона «нечувствительности» регулятора.

Приведенная система имеет такие же недостатки, как и выше описанные.

ВЫВОДЫ

Создавая основу интегрированного взаимодействия двух частей оросительной системы были изучены основные вопросы обеспечивающие взаимодействие, «стыкуемость» существующих методов и средств контроля и управления применяемых на МОС с аналогичными их возможностями использования на ВОС. К таким вопросам, которые дали положительный ответ были отнесены:

- средства и методы измерения уровня (расхода) на сооружениях ВОС, их оросителях постоянной сети;
- средства автоматизации электрифицированных затворов;
- средства и методы автоматизации водораспределения;
- динамические процессы в системах автоматического поддержания уровня в оросителях ВОС.

ГЛАВА III АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОЛИВНОЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВЕ БЕЗ СБРОСНОГО СИФОННОГО ПОЛИВА ИЗ ОРОСИТЕЛЯ ПОВЫШЕННЫМ РАСХОДОМ

Эффективное управление водными ресурсами становится особенно актуальным в аридных и полуаридных регионах, где дефицит воды напрямую влияет на продуктивность сельского хозяйства. Узбекистан, как один из ведущих сельскохозяйственных производителей региона, сильно зависит от открытых каналов орошения, которые часто характеризуются низкой эффективностью из-за потерь воды, неравномерного распределения и отсутствия автоматизации. По данным региональных исследований, традиционные каналы теряют до 30–40% подаваемой воды через инфильтрацию, испарение и переливы, что подчёркивает необходимость внедрения инновационных решений.

Без сбросные системы орошения (полива) являются перспективным подходом к устойчивому управлению водой, позволяя минимизировать потери и повторно использовать воду. Сифонные системы полива привлекают внимание благодаря простой конструкции, надёжной гидравлике и способности обеспечивать стабильный расход воды при изменяющихся условиях подачи. Однако их эффективность во многом зависит от поддержания стабильного уровня воды в канале. Любое изменение расхода может привести к воздушным пробкам, прерыванию сифона или неравномерному распределению воды.

Проблема поддержания стабильного уровня воды под динамическими гидравлическими условиями мотивировала интеграцию автоматических систем управления на основе программируемых контроллеров. Классические PID контроллеры широко применяются из-за простоты и надёжности, но их эффективность снижается в изменяющихся системах, таких как каналы с сифонами. Логические контроллеры на основе нечёткой логики (FLC) способны компенсировать нелинейности благодаря адаптивной настройке правил. Комбинация PID и FLC, известная как fuzzy-PID, обеспечивает

улучшенную адаптивность и стабильность, особенно в сложных гидравлических системах.

Несмотря на наличие исследований по автоматическому управлению водным уровнем в каналах, мало работ посвящено сифонным без сбросным системам с интегрированными современными алгоритмами управления и автоматизации.

Общей практической целью или проблемой, которую необходимо решать является разработка и оптимизация гибридного fuzzy–PID контроллера для поддержания уровня воды в каналах с сифонами. Когда нужно будет моделировать и тестировалась в MATLAB/Simulink, а затем реализовать (например) на ПЛК Siemens S7-1200 для работы в реальном времени. Однако для выполнения этой части работы было необходимо исследовать динамические процессы в системе автоматического управления, что представлено в настоящей главе. А это в свою очередь решает задачу обеспечить стабильность уровня воды при изменяющемся расходе, минимизируя потери и обеспечивая совместимость с интеллектуальными системами орошения.

Совершенствование автоматизации поверхностного полива требует выполнения определенных требований к технологии формирования полива. Эти требования предусматривают исследование объекта управления как структуры АСУТП. На этой основе, в последующем, могут разрабатываться (выбираться) специальные технические средства, обеспечивающие автоматизацию процесса. Так же, на этой основе необходимо изучение вопросов поддержания (регулирования) заданного уровня (расхода) воды при поливе, возможности точного установления режима полива и учета потребляемой воды. Выполнение этих условий связано с исследованием динамических процессов водотока при работе автоматического регулятора и перемещения затвора, а также исследованием других элементов системы управления.

3.1. Исследование динамических процессов водотока при перемещении затвора ГТС и условий автоматизации полива из оросителя с повышенным расходом.

Исходя из технологических требований к поливу (хлопчатника) заданный уровень (расход) может устанавливаться путем изменения положения электрического затвора ГТС автоматизированным способом управления. Режимы работы затвора задаются специальными приборами, сигнал для которых снимается с датчика уровня, преобразующего линейное изменение его по высоте в электрический сигнал.

Датчик уровня 1 устанавливается на определенном расстоянии (рис.2.1а) от затвора 4 в фиксированном сечении канала, где движение воды при установившемся режиме имеет спокойный характер.

Положение затвора, уровня воды в верхнем (Н) и нижнем бьефах $h(t)$, а также условия истечения воды через проем затвора определяют расход ее в канале. Но поскольку датчик устанавливается на определенном расстоянии S от затвора, то изменение уровня воды в фиксированном сечении канала будет происходить с определенным запаздыванием.

Это запаздывание характеризуется переходным процессом изменения уровня воды от одного установившегося состояния до другого, определяемого заданным расходом для данного положения затвора

$$h(t) = \frac{L_{1p} + K_1}{N_{1p} + 1} \cdot \frac{\gamma}{x_2} (N_H A_H + R_H Z) e^{-\tau'_{1p} p} \quad (3.1)$$

где: второй множитель $e^{-\tau'_{1p} p}$ - характеризует звено запаздывания, связанное с расстоянием между створом датчика и затвором, а первый (оставшаяся часть уравнения 3.1.) множитель описывает передаточную функцию апериодического звена.

При отклонении расхода воды в канале от установленного режима протекает переходный процесс, который практически оказывает основное влияние на условия полива.

Длительность переходного режима зависит от ряда параметров, определяемых особенностями потока воды и условиями изменения открытия водовыпуска затвором. Таким образом, изменение расхода воды в фиксированном сечении канала, где установлен датчик, не будет соответствовать расходу в водовыпуске при измененном положении затвора, т.е. в момент его открытия или закрытия. Вследствие этого возникают колебания, которые могут нарушить сифонный полив за счет изменения командного уровня, а также снизить надежность действия средств автоматизации управления затвором. Колебания могут носить как затухающий, так и незатухающий характер. Затухающие и незатухающие колебания могут иметь длительный характер в зависимости от принятой скорости перемещения затвора, скорости водотока в канале и расстояния от затвора до фиксированного сечения канала, где устанавливается датчик уровня.

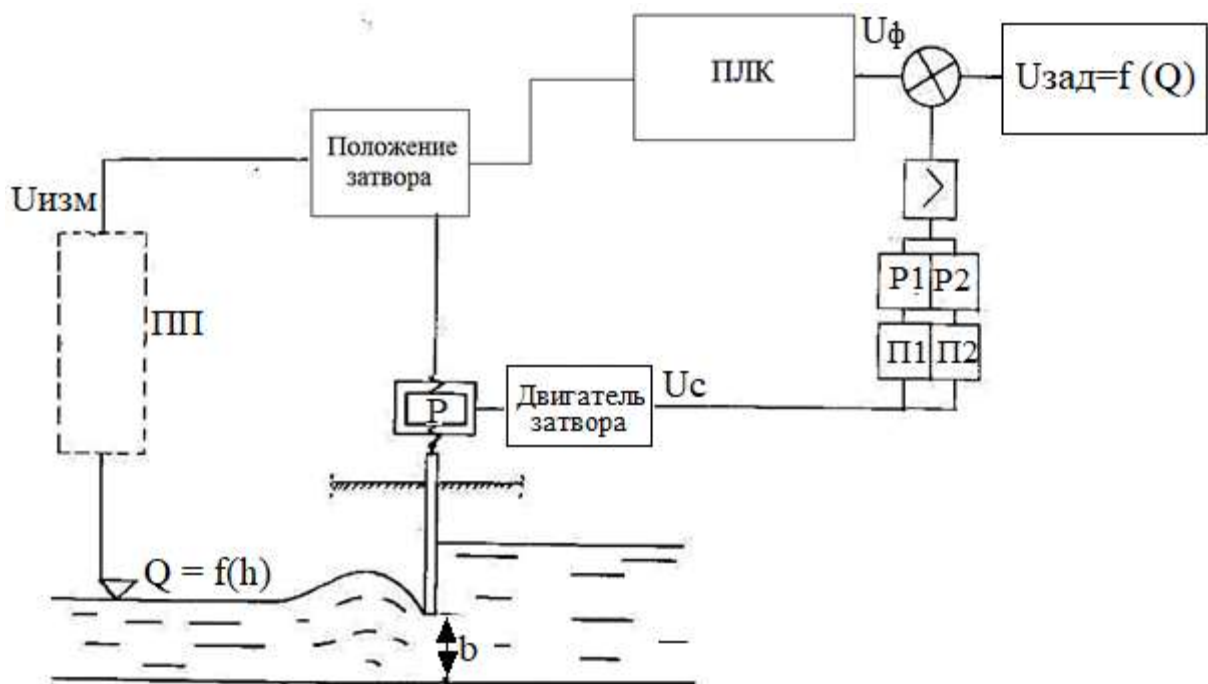


Рис.2.1.а. Технологическая схема регулирования водотоком

Они будут влиять на величину расхода воды. Изменение командного уровня при снижении уровня может привести к дефициту водотока и разрядке

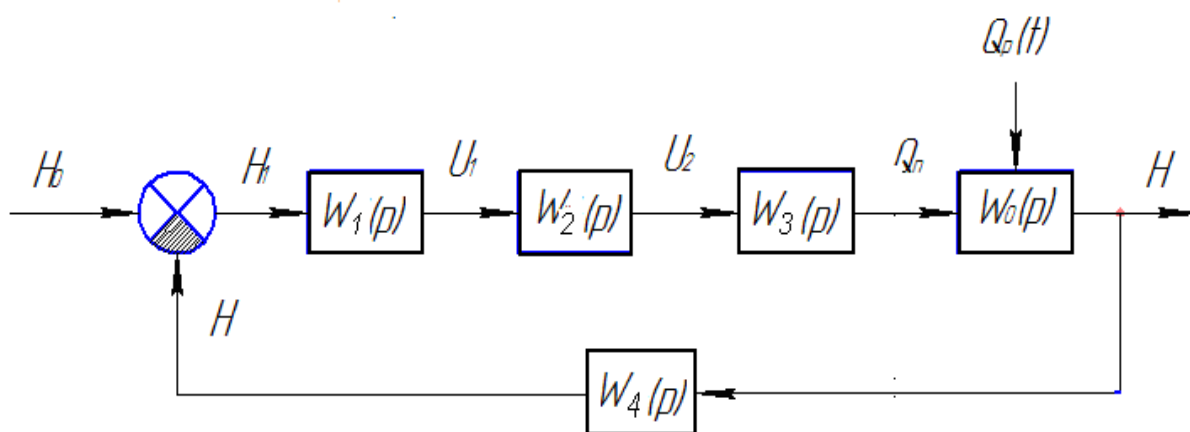


Рис.2.1.6. Структурная схема управления затвором
(к описанию переходного процесса)

сифонов, а увеличение командного уровня к повышенному расходу в борозды.

Однако при определенном соотношении параметров скорости перемещения затвора и водотока они (колебания уровня) могут перейти и в гармонические, что и скажется на надежности действия системы автоматического регулирования.

Рассмотрим причины, которые могут пояснить происхождение колебаний.

Решая уравнение (3.1.) и принимая скачкообразное изменение сигнала (т.е. не учитывается скорость изменения перемещения затвора), а также расстояние между затвором и датчиком $s = 0$ (рис.3.1.а), авторы в своих работах рекомендуют использовать описание переходного процесса в виде (3.1.). Решая уравнение 3.1. авторы работ делают следующие допущения:

- изменение входного сигнала протекает скачкообразно (т.е. считается, что скорость настолько велика, что заданное перемещение затвора протекает при $t=0$);
- расстояние между затвором и местом установки датчика $S=0$ (рис.3.1.а);
- время запаздывания появления выходного сигнала $\tau = 0$;
- показатель, характеризующий временные условия истечения воды через проем, задаваемый положением затвора, $\gamma = 0$.

Результат решения может быть описан переходной функцией апериодического звена 2-го порядка, в которой использованы параметры, принятые литературными источниками.

$$h(t) = \left[K_1 \left(1 - \ell^{\frac{t}{T}} \right) \frac{L_1}{T_1} \ell^{\frac{t}{T}} \right] \frac{1}{x} N \alpha \quad (3.2)$$

В уравнениях (3.1. и 3.2.) приняты следующие обозначения:

L_1 -характеристика начальных условий истечения водотока перед переходным процессом; T_1 - постоянная времени элемента системы управления; N_H - коэффициент, отражающий влияние изменения открытия затвора на расход в канале; α - относительное открытие затвора, $A = f(\alpha_H)$;

$\frac{1}{x}$ - показатель, характеризующий условие истечения воды через проем затвора; x - гидравлический показатель русла.

При изучении переходных процессов, также делается вывод о влиянии уклонов каналов на длительность их завершения, а также влияния скорости перемещения затвора на стабилизацию уровня и др. Одновременно приводятся результаты анализа, показывающие влияние на указанные параметры, связанные с местом расположения датчика.

Авторы [2,3] считают, что при установке датчика уровня на незначительном расстоянии от водовыпуска скорость перемещения затвора влияет на динамику процесса, а при значительном удалении практического значения на стабилизацию уровня не оказывает.

Это дало возможность авторам [2,3] не рассматривать изменение уровня по длине водотока по времени при переходном процессе, хотя отклонения от заданного уровня на незначительное время может привести к разрядке сифонов. Это является основным отличием условий стабилизации уровня во внутрихозяйственных каналах, от требований, предъявляемых к системным каналам.

Рассматривая систему регулирования водотоком, допустим что для обеспечения сифонного полива необходим расход воды (рис.3.1.а), определяемый уровнем ее h , в фиксированном сечении канала. Поддержание этого уровня обеспечивается положением затвора ℓ_o . Привод затвора (с определенными допущениями при применении к.з. асинхронного электродвигателя) может изменить свое положение с постоянной скоростью, которая обеспечивает прямо пропорциональное увеличение или уменьшение $\Delta \ell$ проема истечения воды, т.е.:

$$\ell = k\tau \quad (3.3)$$

Анализ литературных источников [2,3,4], связанных с созданием автоматического регулирования водотоков показал, что характер изменения уровня воды в нижнем бьефе при отсутствии воздействия обратных волн и возмущений в верхнем бьефе описывается уравнением в операторном виде:

$$Z = \frac{L_1 p + K}{T_1 p + 1} \cdot \frac{\gamma_1}{K_2} N_H A_H \exp(-\tau'_1) \quad (3.4)$$

Рассматривая уравнение (2.4) с точки зрения системы автоматического управления, можно выделить элементарное звено с дробно- иррациональной передаточной функцией,

$$\frac{L_1 p + K}{T_1 p + 1}$$

которое последовательно соединено с безинерционным звеном

$$\frac{\gamma_1}{K_2} N_H A_H$$

и звеном запаздывания: $\exp(-\tau'_1)$

Поскольку уровнемер установлен на некотором расстоянии от затвора, то происходит определенное запаздывание появления сигнала от уровнемера при начале переходного процесса, возникающего при изменении положения затвора.

Таким образом, при положении затвора ℓ_0 в канале обеспечивается заданный расход с уровнем h .

При изменении уровня (рис.2.1.а) допустим снижение его на величину Δh , возникает необходимость в подъеме затвора до величины ℓ_1 , которую практически ни оператор, ни средства автоматики, привлеченные для автоматического управления водотоком, не могут по ряду причин определить. Наиболее характерным и быстродействующим средством изменения положения затвора является автоматизированное управление. При таком управлении сигнал с уровнемера обеспечивает, через вспомогательную аппаратуру, включение электропривода и затвор начинает подниматься. Причем, непрерывное регулирование продолжается до тех пор, пока уровень воды в фиксированном сечении канала не достигнет заданного значения.

Описанные выше условия работы электропривода обеспечивают изменение величины проема в водовыводе ℓ по уравнению (3.3.) кривая I на рис.3.2.

Поскольку между местом установки затвора и датчика существует расстояние S , то время добегания воды τ_q от затвора до уровнемера можно определить как:

$$\tau_g = \frac{S}{V_{нов}} \quad (3.5)$$

где: $V_{нов}$ – скорость поверхностной волны водотока на рассматриваемом участке.

Поэтому, в начальный момент изменения степени открытия затвора, датчик не изменяет заданной величины сигнала. По истечении времени запаздывания $\tau = \tau_q$, после добегания измененной величины уровня воды в измеряемом месте, сигнал начнет изменяться.

Переходной процесс нарастания уровня будет описываться по некоторой зависимости, состоящей из постоянных и переменных параметров.

Учитывая эту особенность на практике, рекомендуется осуществлять импульсное электрическое регулирование, которое описывается в современной технической литературе. Этот вид регулирования может быть достаточным для использования его в системных ирригационных каналах, так как отдельные кратковременные изменения расхода не повлияют в целом на полив сельскохозяйственных культур в хозяйствах.

Используя же непрерывный принцип регулирования расхода в оросителе с повышенным расходом возникает ряд особенностей, которые следует также изучить. Это изучение потребовало применения специального метода проведения синтеза системы с переменными параметрами, метод замороженных коэффициентов. Так как переходной процесс водотока протекает при перемещении затвора, т.е. сам водоток изменяется по определенным законам и одновременно с этим изменяется и перемещение затвора, то появляются переменные коэффициенты в переходных функциях.

Используемый метод предусматривал замораживание переменной величины в фиксированный момент процесса через определенное время $\Delta \tau$. Это позволило рассматривать систему с переменными параметрами в виде линейной зависимости с постоянными коэффициентами и применять соответствующие известные методы синтеза.

Рассматривая процесс поддержания (регулирования уровня воды “h” в нижнем бьефе канала с помощью перемещения затвора на величину ℓ , были построены характерные зависимости двух взаимосвязанных во времени величин: открытие затвора ℓ , уровень воды h в нижнем бьефе (рис.3.1.а)

Исследование процесса регулирования строилось на основе САУ в составе датчика, задатчика, блока сравнения (рассогласования) с выходным реле, контакты которых используются для реверсивного управления двигателем затвора (ГТС). Характер протекания переходного процесса водотока в оросителе (рис.3.2) показан кривой I, а изменения положения затвора (щита) – ломаной II.

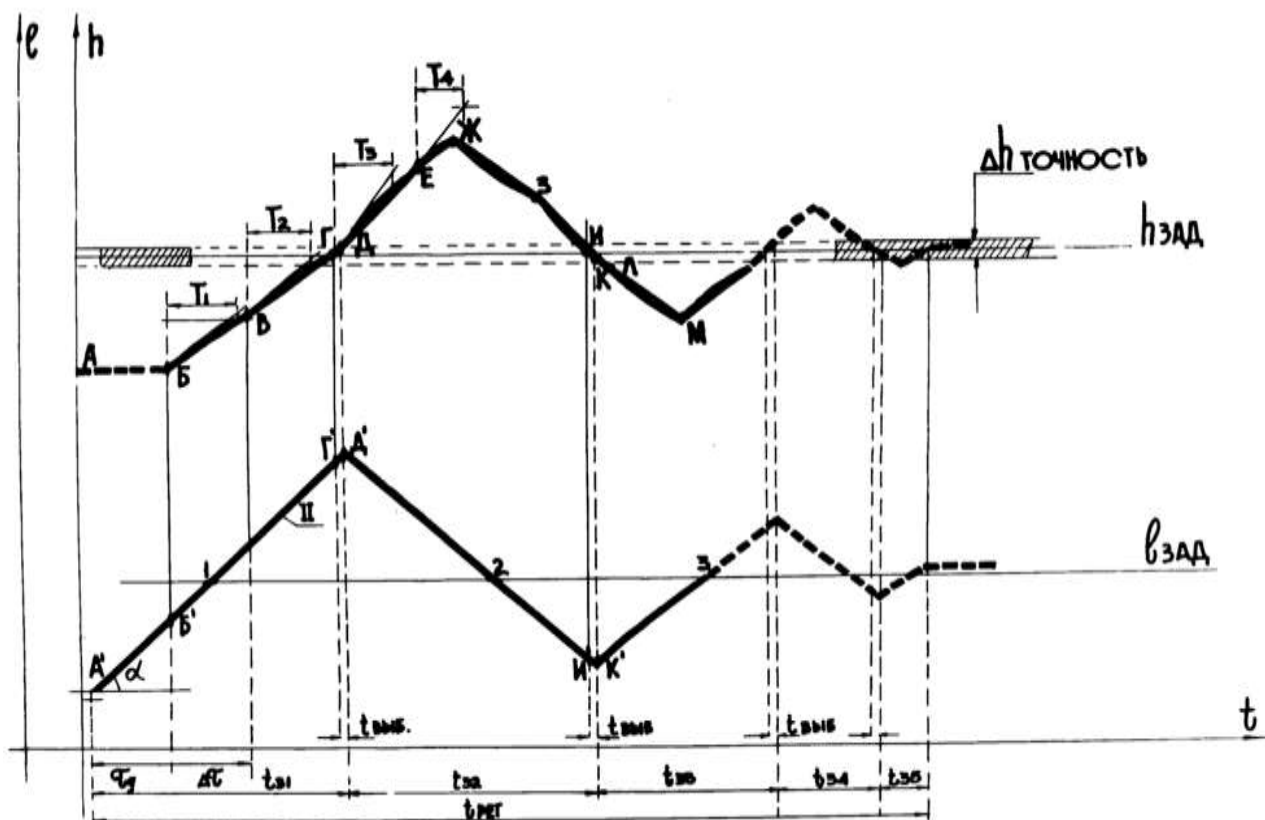


Рис.3.2.Переходная характеристика водотока при перемещении затвора

Установившийся режим характеризовался уровнем $h_{\text{зад}}$, с положением затвора $\ell_{\text{зад}}$, при рассмотрении было допущено, что начало переходного процесса изменения уровня протекало при скачкообразном его изменении в створе измерения ($h_{\text{зад}} \rightarrow A$). Скорость перемещения затвора принималась постоянной, которая на графике определялась прямой под некоторым углом α наклона к оси абсцисс. В начальный период затвора (участка $A^1 - B^1$), датчик не фиксирует изменение уровня, поскольку идет запаздывание (участок A-B). Рассматривая дальнейшее протекание переходного процесса постоянные времени будут нарастать, поскольку увеличение расхода воды будет влиять на некоторое увеличение ее скорости. Это приведет к их изменению в виде:

$$T_1 > T_2 > T_3 > T_4$$

Используя метод замороженных коэффициентов для фиксации переменных параметров и принимая условно определенный закон изменения

динамической характеристики звена (как апериодического первого порядка), ниже приводится характер протекания переходного процесса с интервалом замораживания $\Delta \tau$.

Уровень в створе измерения начнет возрастать лишь через некоторое время τ_q после завершения чистого запаздывания. По мере нарастания (участок В-Г) этот уровень повысится до заданного значения и в точке Г выдаст сигнал на отключение привода затвора. К этому времени затвор пройдет путь от В¹ до Г¹. Наличие в системе управления времени срабатывания аппаратов и инерции маховых масс привода, затвор остановится лишь в точке Д¹. В то же время следует иметь в виду, что для установления заданного уровня, при изменившихся условиях водотока, новое положение затвора, допустим, должно определяться величиной $l_{\text{зад}}$. Таким образом, открытие затвора $l_{\text{выб}}$ (точка Д¹) будет намного выше необходимой величины $l_{\text{зад}}$. Хотя сигнал на отключение (Г) затвора будет выдан, но уровень все же будет повышаться, так как время чистого запаздывания водотока от нового положения затвора не повлияет на уровень воды в тарированном створе, где установлен датчик. Нарастание водотока будет проходить даже в то время, когда затвор начнет опускаться, так как величина водотока, характеризуемая положением затвора Д¹, еще не подошла к точке измерения. И только после прохождения точки Е и достижения Ж, уровень в тарированном створе начнет уменьшаться. В процессе снижения уровня водотока от Ж до И, затвор будет перемещаться вниз от Д до И, уменьшая сечение водовыпуска. В точке И будет дан сигнал о достижении заданного уровня, хотя сечение водовыпуска не будет соответствовать заданному расходу водотока. Вследствие этого, затвор начнет перемещаться вверх, повторяя процесс изменения водотока, описанный выше, т.е. увеличение створа водовыпуска не приведет к увеличению расхода. Он будет понижаться до определенной величины, характеризуемой точкой М и точкой Д.

Таким образом, будут проходить затухающие колебания в системе с

непрерывным регулированием и подчиняться закону изменения, описываемому переходной функцией

$$h(t) = h_{ycm} \left[1 - e^{-\gamma t} \left(\cos \lambda t + \frac{\gamma}{\lambda} \sin \lambda t \right) \right] 1(t) \quad (3.6)$$

где: γ - коэффициент затухания, $\gamma = \frac{\lambda}{\pi} \ln \frac{A_1}{A_2}$

λ - частота затухания колебаний, $\lambda = q \sqrt{1 - \xi^2}$

ξ - параметр затухания, $0 < \xi < 1$

q -угловая частота свободных колебаний, $q = \frac{1}{T}$

T -постоянная времени объекта

Теоретически затухание произойдет при $t_{зад.} = \infty$, а практически учитывая допустимую зону погрешности в определении уровня водотока, время затухания будет иметь реальное значение, которое можно вычислить из формулы

$$h_{(t)} = h_{ycm} (1 - e^{-\gamma t})$$

$$t_{зад} = \frac{T}{\xi} \ln \frac{h_{ycm}}{h(t_{cp})} \quad (3.7)$$

где $h_{(t_{cp})}$ - средневзвешенный показатель уровня, определяемый

$$h_{(t)} = \frac{1}{t_{зад}} \int_0^{t_{зад}} h_{(t)} \cdot dt$$

Использовать зависимости (3.6) и (3.7) для описания искомого переходного процесса практически невозможно из-за отсутствия данных о параметрах γ, λ, ξ, T . Однако, возможно поставить исследования, направленные на отыскание условий, которые позволили бы сигналами с предварением, вести непрерывное регулирование водотока. Решение задачи будет состоять из определения ожидаемого показателя уровня водотока после затухания колебательного переходного процесса, по информации, получаемой

от первичного преобразователя, по аналогии с решением задач, путем дробления элементарного звена.

Следует иметь также ввиду, что решение поставленного вопроса, осложняется еще и тем, что в систему управления будут входить и другие функциональные элементы, преобразование сигнала в которых имеет свои особенности.

3.2 Проявление особенностей водотока участкового распределителя при перемещении затвора.

При перемещении затвора возникают переходные процессы водотока, которые сопровождаются нестационарным движением воды в открытых руслах [2,3,4]. Задачей расчетов неустановившегося движения воды в открытых руслах, описываемого уравнением Сен-Венана является определение расхода и отметок уровня воды в рассматриваемых створах в зависимости от их положения и времени.

Решение таких задач проводится с теми или иными допущениями и в то же время требуют знания динамических характеристик ряда параметров. При этом, теория волн малой амплитуды предполагает, что все изменения гидравлических элементов, обусловленные волновым движением суть величины малые и можно ими пренебречь.

Однако, образующиеся волновые явления могут повлечь за собой искажение выходных сигналов, получаемых от датчика и вследствие этого возникает нарушение действия автоматического управления, учитывая, что для наиболее надежного действия системы регулирования водотока желательно створ измерения уровня воды выбрать как можно ближе к затвору.

Поскольку тема диссертации направлена на совершенствование методов автоматизации технологического процесса полива хлопчатника, а сама работа носит теоретический характер, то в настоящей работе определение параметров волновых явлений не изучалось.

Для установления параметров, намеченных к изучению, ниже приводятся некоторые основные положения, связанные с условиями, которые необходимо

учитывать при действии системы измерения уровня воды. Эти условия характеризуются тем, что при перемещении затвора, в водотоке увеличивается поверхностная скорость на границе раздела жидкость-воздух. Когда глубина жидкости может соответствовать определению “глубокой воды”, т.е. когда отношение $2\pi h / \lambda$ очень велико, то искомое значение поверхностной скорости $V_{\text{пов}}$ может определяться по формуле:

$$V_{\text{пов}} = \sqrt{\frac{gh}{2\pi} + \frac{2\pi\alpha}{\lambda\rho}}$$

где: g-ускорение силы тяжести;

λ - длина волны;

ρ - плотность жидкости.

Если же условия водотока в канале характеризуются определением “неглубокой воды”, показывающем, что отношение $2\pi h / \lambda$ очень мало, то в этом случае поверхностную скорость $V_{\text{пов}}$ следует определять:

$$V_{\text{пов}} = \sqrt{gh}$$

Это имеет заметное значение, т.к. диапазон измерения уровня в МОС и ВОС имеет ощутимую разницу.

Что касается определения величины амплитуды, то ее значение также

может быть определено при значении характеристики водотока, условий истечения воды через затвор и ряда других показателей.

3.3 Разработка параметров и анализ САУ водотоком для совершенствования метода автоматизации полива.

Выявленные выше недостатки действия системы управления водотоком, оказывающие влияние на надежность и работоспособность сифонного полива, связаны с технологическими особенностями системы орошения поливных участков. К ним следует отнести реальность технологии полива из выводной борозды, когда между возможным электрифицированным

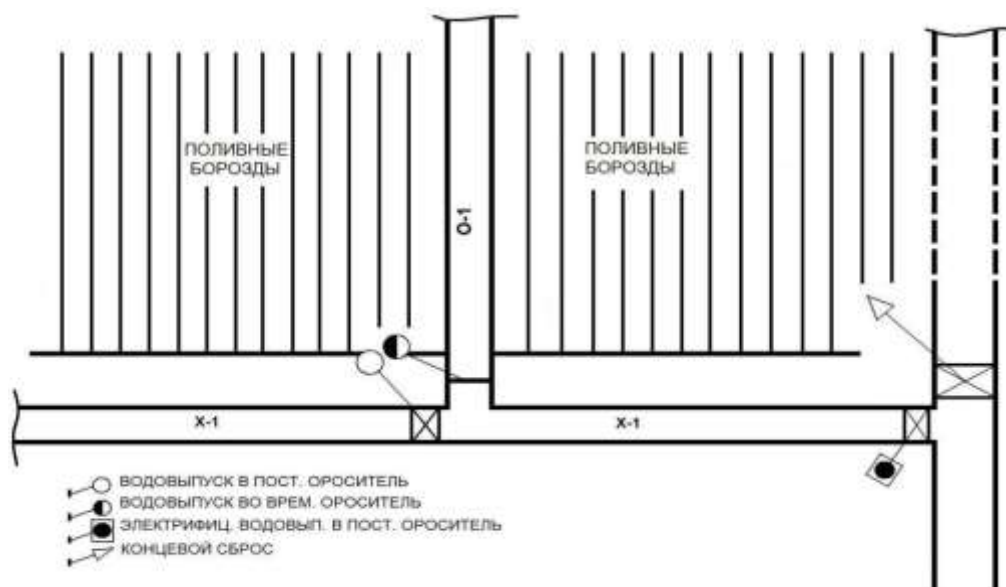
затвором и точкой отбора воды через сифон целый ряд временных оросителей. Поэтому, исключая эти недостатки, с целью совершенствования технологии полива, предлагается производить отбор воды в борозду непосредственно из оросителя с повышенным расходом – X-1 (рис.3.3).

Соответственно при этом следует выполнять условия:

- автоматическое поддержание уровня (расхода) воды в нижнем бьефе оросителя или командного уровня;
- возможность автоматического регулирования уровня в зависимости от норм полива и других условий потребления воды (режимы полива) с фиксированием нарушений водопотребления, например аварийная автоматическая сигнализация.

Для выполнения перечисленных выше условий была разработана функционально-технологическая схема управления затвором (рис.3.4.), в которой использованы серийно выпускаемые аппараты.

Схема предусматривает возможность автоматического управления как при непрерывном, так и при импульсном регулировании.



3.3.Поливной участок, как объект управления.

3.4 Схема регулирования водотока

В состав разработанной схемы автоматического регулирования входят следующие элементы (рис.3.4): затвор 3 с винтовым подъемом и редуктором Р, электродвигатель Д, реверсивный пускатель П-1 (вверх) и П-2 (вниз), усилитель 4, с выходным реле Р-1 и Р-2, уровнемер ПП, потенциометр затвора ПЗ, блок решения задачи БРЗ, реле запуска БРЗ Р-3, орган сравнения и задатчик режимов.

Каждый из этих элементов имеет свое назначение- затвор изменяет проем в водовыпуске и тем самым изменяется расход воды. Электродвигатель с редуктором преобразует напряжение U в угловую скорость, а затем в линейное перемещение затвора ℓ . Уровнемер ПП преобразует линейное изменение уровня воды в напряжение $U_{из}$, которое подается на потенциометр ПЗ. Потенциометр ПЗ связан с винтовым подъемником таким образом, что подъем или опускание затвора изменяет сопротивление потенциометра и соответственно напряжение U_n . При отсутствии возмущения в системе водотока реле запуска Р-3 (катушка в схеме не указана), отключено и его контакт подает напряжение $U_{из}$ на орган сравнения. Задатчик также подает напряжение $U_{зад}$ на орган сравнения, в результате чего при соответствии командного уровня водотока заданному значению сигнал разбаланса отсутствует. Но, если, таковой сигнал возникает, то возникающее напряжение на выходе органа сравнения обеспечивает включение реле запуска Р-3 и выходных реле Р-1 и Р-2 после усиления сигнала рассогласования. Взаимосвязь между всеми элементами обеспечивает действие системы автоматического регулирования при возникновении возмущения, т.е. изменения уровня воды в фиксированном сечении оросителя.

При отсутствии возмущающего сигнала система управления регулирования бездействует.

Особенность действия системы регулирования заключается в том, что совокупные действия всех элементов приводит к появлению сигнала с

предварением, который регламентирует изменение положения затвора. Сигнал предварения выдается после решения задачи блоком БРЗ,

Рис.3.4. Рекомендуемая схема управления затвором

Таким образом, для обеспечения действия системы следовало знать

оптимальную скорость перемещения затвора и установить аналитическую зависимость переходного процесса водотока при изменении положения затвора. Знание зависимости позволит при получении возмущающего сигнала использовать его как входной сигнал на входе блока БРЗ. Решение задачи в блоке БРЗ обеспечит появление выходного сигнала с предварением. Однако, для решения поставленной задачи первоначально необходимо определить особенность действия всех элементов, составляющих систему с целью влияния особенности прохождения сигнала возмущения через все элементы системы.

3.5 Исследование динамических процессов в элементах систем управления.

Как указывалось выше для нормального сифонного полива хлопчатника необходимо иметь средства автоматизации для управления затвором, которые обеспечивали бы выполнение условий, связанных с регулированием командным уровнем. Сам электрифицированный затвор устанавливается в “голове” оросителя на ГТС и состоит из щита затвора, перемещаемого по направляющим, и привода, представляющего собой комплект электродвигателя и редуктора. При автоматизированном управлении для регулирования используется датчик, который устанавливается в 10...15 м от затвора. Расстояние определяется из условий обеспечения спокойного тока воды и возможности сооружения заданного фиксированного профиля (тарированный створ). При работе затвора щит его поднимается и опускается и это вызывает изменение расхода воды. Изменение от одного состояния до второго протекает по определенному закону, описываемому переходным процессом.

Если знать закономерность, по которой протекает переходной процесс, то можно решить задачу по исходным данным, полученным в начале процесса. Причем, переходной процесс должен отражать изменение уровня по времени, при определенных условиях открытия или закрытия затвора в плоскости

измерения уровня. Таким образом, если в начале переходного процесса измерить за определенный промежуток времени параметр, характеризующий изменение уровня, то по известной зависимости переходного процесса можно установить величину выходного сигнала, который покажет уровень после завершения переходного процесса. Но все это возможно в том случае, если входное воздействие (подъем или опускание затвора) будет происходить скачкообразно, а вся система управления будет протекать безинерционно. Но практически этого нет. Вследствие этого необходимо изучить переходные процессы, протекающие во всех элементах системы управления, а также установить закономерность переходного процесса изменения показателя уровня воды.

3.5.1 Переходной процесс привода затвора

Регулируемый затвор является элементом локальных средств автоматизации на водовыпуске и может рассматриваться как исполнительный механизм в системе управления водотоком на каналах любого назначения. Он состоит из: щита вертикально перемещаемого по направляющим, редуктора с большим передаточным числом и электродвигателя для привода щита. Изменение расхода воды достигается перемещением щита, управляемого магнитными пускателями. При изменении положения затвора возникают переходные процессы. Систему привода затвора можно представить в виде двух звеньев электродвигателя и редуктора, которые преобразуют сигналы: напряжение U - скорость привода Ω - перемещение щита затвора (рис.3.4.б).

В первом звене преобразуется напряжение, подаваемое на клеммы двигателя U в угловую скорость Ω (или скольжение) по закономерности, характеризуемой его механической характеристикой, т.е. $\Omega = f_1(S)$, $S = f_2(M)$ и $M = f_3(S_H)$. Пусковой режим характеризуется изменением скорости Ω до величины $\Omega_{уст}$, что соответствует M_H . Таким образом, в первом

приближении передаточная функция в период разгона электродвигателя до установившегося значения может быть записана уравнением

$$W_{(p)1} = \frac{K_1}{T_1 p + 1} \quad (3.8.)$$

Постоянная времени T определяется моментом инерции ротора и вращающим моментом (рис.3.4а)

В процессе разгона идет запаздывание нарастания скорости по времени, пока не наступит установившийся режим, характеризуемый $\Omega_{уст.}$

Что касается второго звена редуктора, то преобразование угловой скорости в линейное перемещение щита затвора протекает с использованием жесткой шестеренчатой передачи, имеющей коэффициент усиления, характеризуемый передаточным числом редуктора. Передаточная функция этого элемента может быть представлена (рис.2.4б) в виде идеального интегрирующего звена

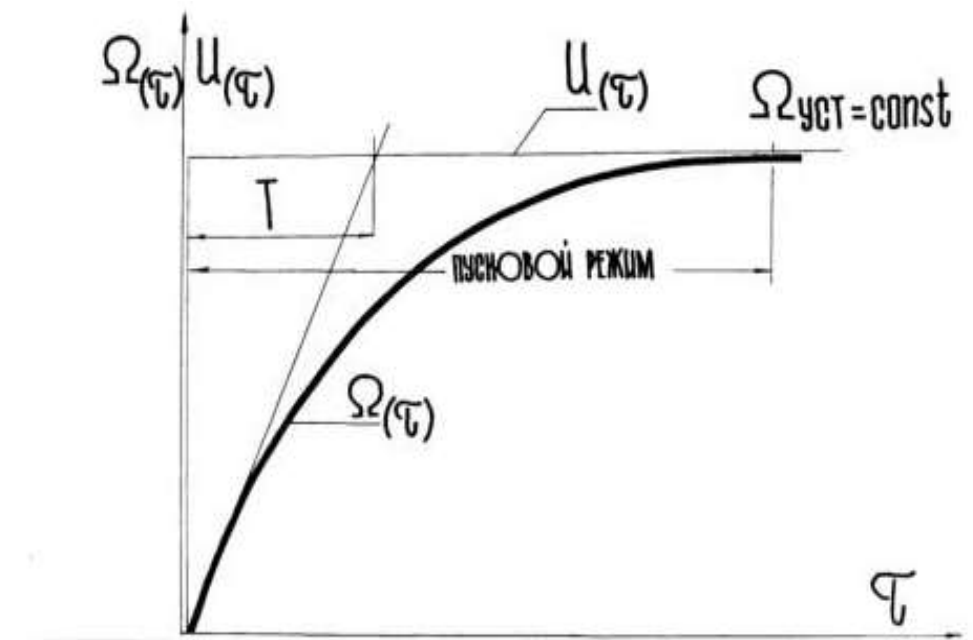


Рис.3.4.а. К переходному процессу привода затвора

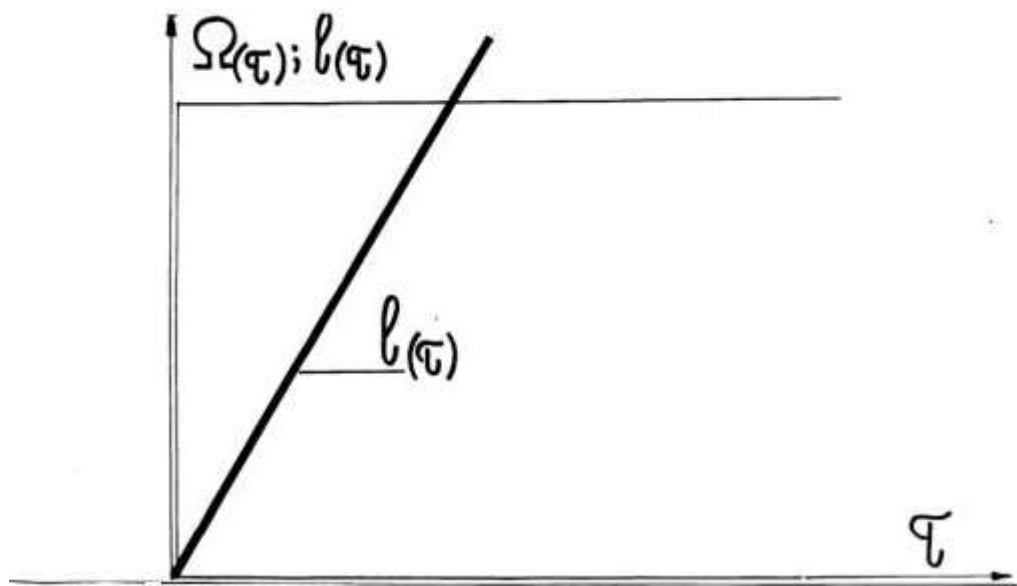


Рис.3.4.б. К переходному процессу привода затвора

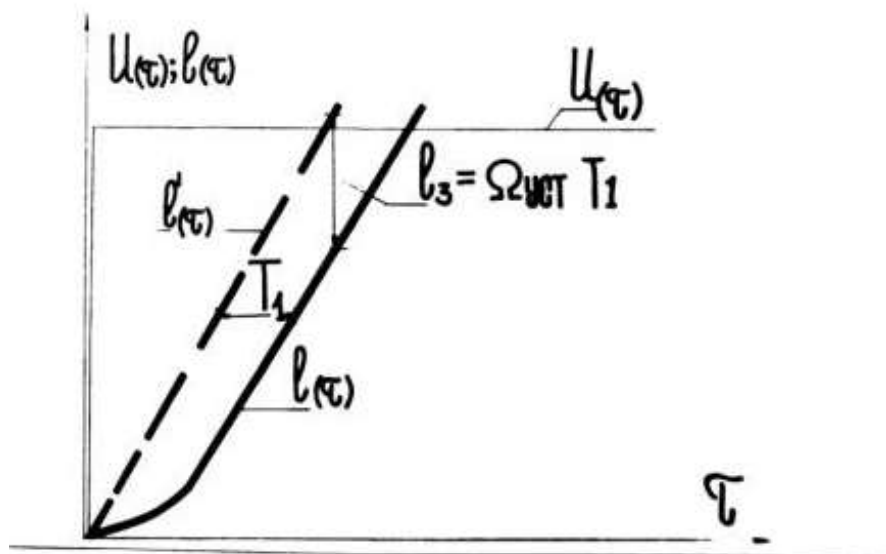


Рис.3.4. в. К переходному процессу привода затвора

$$W_{(p)2} = \frac{K_2}{p} \quad (3.9.)$$

Таким образом, рассматриваемый привод затвора может быть представлен как произведение двух звеньев, передаточную функцию которых можно

записать в виде:

$$W_{(p)1} = \frac{K_1 K_2}{(T_1 p + 1)p} \quad (3.10.)$$

Уравнение (3.10) дает возможность переходной процесс представлять, как интегрирующее звено с замедлением (рис.3.4в)

Замедление возникает в результате пускового режима электродвигателя, который сдвигает интегральную зависимость $\ell(\tau)$ на величину T_1 . При этом следует учесть, что между кривыми идеального интегрального звена и звеном с замедлением возникает величина $\ell_3 = \Omega_{ycm} T_1$, которую следует учитывать при подъеме затвора либо при определении возможных погрешностей действия системы управления.

В рассматриваемом процессе переходную функцию можно записать в виде:

-при открытом затворе

$$\ell_{(\tau)_o} = K_1 K_2 \left[\tau_1 - T_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}} \right) \right] \cdot 1(t) \quad (3.11)$$

-при закрытом затворе

$$\ell_{(\tau)_3} = K_1 K_2 \left[\tau_2 - T_2 - e^{-\frac{t}{T_2}} \right] \cdot 1(t) \quad (3.12)$$

По этим формулам можно вычислить величину перемещения затвора (вверх или вниз) при условии анализа постоянных времени T_1 и T_2 , которые характеризуются электромеханической постоянной электродвигателя.

3.5.2 Переходной процесс в объекте

Переходной процесс в объекте начинается с перемещения затвора вверх или вниз и заканчивается при достижении заданного уровня воды в канале. При этом, изменение уровня воды в точке установки датчика h , что характеризует переходной процесс в объекте, протекает по определенной зависимости. В этой зависимости участвует как неизменные, так и переменные параметры. К первым следует отнести сечение канала в створе измерения

уровня и ширину b затвора, как условия захода воды в проем затвора через верхний бьеф (последний принимается неизменной величиной учитывая, что при регулировании проема, изменения уровня имеют незначительные величины).

Вторые, переменные параметры, связаны с изменением скорости открытия затвора V_3 и изменением скорости воды в канале V_b , которые характеризуются временем переходного процесса.

Таким образом, переходная функция будет отражать изменение уровня воды в канале в зависимости от ряда параметров, которую можно в общем виде записать:

$$h = f_1(V_3, V_b) = K_1 f_2(t_{n.m.}) \quad (3.13)$$

Входной сигнал в этом функциональном элементе – объекте возникает от изменения высоты подъема затвора ℓ , а выходной от изменения уровня воды в створе измерения ее датчиком. Аналитическое описание переходных процессов изменения уровня в литературных источниках приводится недостаточно полно. Однако, судить о них вполне возможно, поскольку они представляют динамическое звено с запаздыванием. При этом, представляется возможность представить его в виде двух последовательно соединенных звеньев – элемент звена с запаздыванием и обыкновенное линейное безинерционное звено (рис.2.4в)

Элемент чистого запаздывания с передаточной функцией

$$W_{(p)3} = e^{-\tau p} \quad (3.14)$$

будет характеризоваться временем действия всех звеньев после появления сигнала рассогласования в органе сравнения, обеспечивающего через ряд аппаратов подъем затвора, т.е. изменение величины ℓ (рис.2.1.а). Оно (время) будет складываться из времени τ_1 , определяемого условиями преобразования сигнала датчиком ПП, временем действия релейных аппаратов системы управления τ_2 и временем переходного процесса электродвигателя при пуске

τ_3 , которое может с определенными допущениями протекать при весьма малых изменениях ℓ , т.е.

$$\tau_{\text{зап}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 \quad (3.15)$$

Величины τ_1 и τ_2 могут быть определены инженерными расчетами, что касается величины $\tau_{\text{зап}}$, то ее наиболее целесообразно определять экспериментально, путем снятия временной характеристики. В этом случае будет уточнена величина τ_3 и те погрешности, которые возникают при принятых допущениях.

Поскольку переходной процесс изменения уровня по аналогии с переходными процессами в открытых каналах и трубопроводах будет проходить по временной характеристике аperiodического звена второго порядка, то характеристику его можно будет описать с данными постоянных времени T_1 и T_2 или T_3 и T_4 , т.е.

$$(T_2^2 p + T_1 p + 1)\ell = (T_3 p + 1)(T_4 p + 1)\ell = Kh_1 \quad (3.16)$$

При этом величину запаздывания $\tau_{\text{зап}}$ можно также определить по данным экспериментов, путем построения графика переходного процесса.

Как видно из рис.3.5а наличие $\tau_{\text{зап}}$ допускает погрешность в определении уровня на величину Δh , при малых значениях переходной процесс водотока в створе измерения может рассматриваться как аperiodическое звено первого порядка.

Описание выходного сигнала рассмотренного переходного процесса справедливо при скачкообразном появлении входного сигнала, при котором

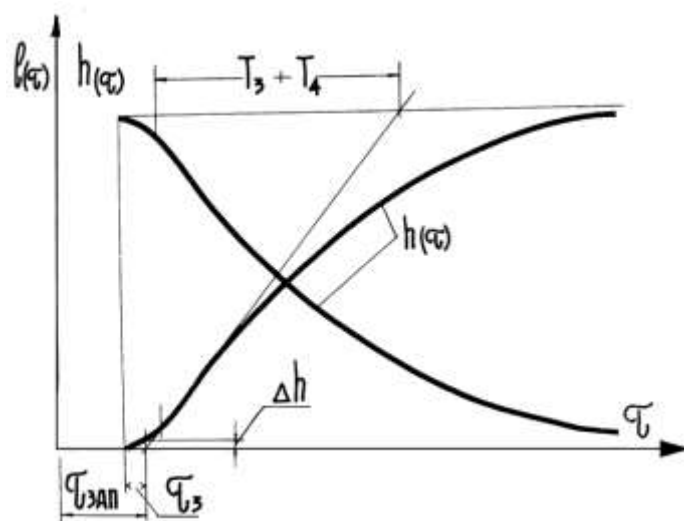


Рис.3.5.а. К переходному процессу в объект

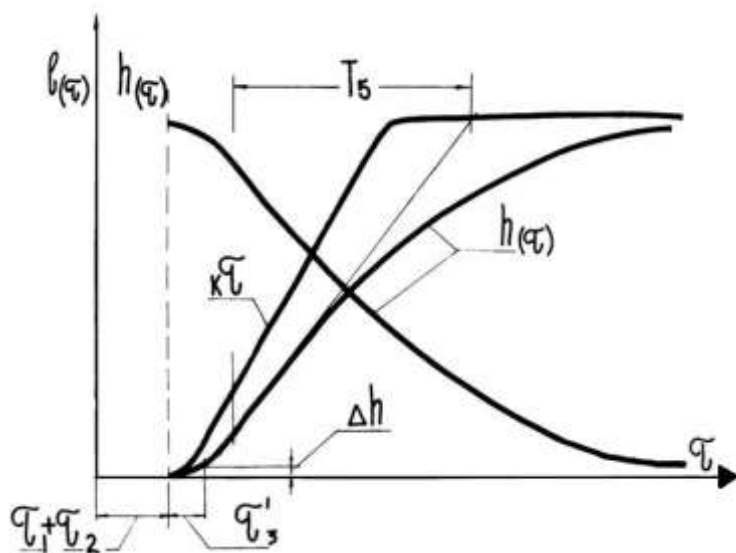


Рис.3.5.б. К переходному процессу в объекте

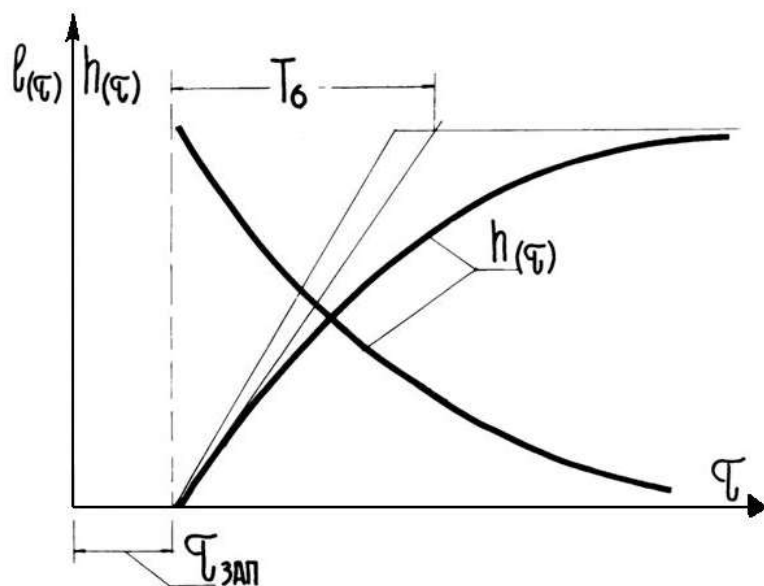


Рис.3.5.в. К переходному процессу в объекте

по истечении времени $\tau_{\text{зап}}$, появится выходной сигнал, равный значению Δh . Но по абсолютной величине он будет незначительный.

Учитывая, что входной сигнал будет меняться пропорционально времени перемещения затвора $k\tau$, то динамическая характеристика изменится, и время нарастания или снижения удлинится (рис.3.5б)

Учитывая также и время $\tau_{\text{зап}}$ были проведены специальные допущения, которые показали, что $\tau_{\text{зап}}$ может изменяться практически от 0,1 до 0,25 с по сравнению с длительностью переходного процесса, который может составить 10...15 с, при этом, величина $\tau_{\text{зап}}$ составит $\approx 0,5\%$. Это дает возможность принять допущение замены апериодического звена второго порядка звеном первого порядка и для этого случая разработать методику определения рабочих параметров затвора водовыпуска (рис.2.5в) для инженерных расчетов.

Таким образом, переходную функцию рассматриваемого переходного процесса (апериодического звена первого порядка рис.2.5.в), изменение уровня воды в створе датчика можно записать:

- при открытии затвора

$$h_{(t)o} = kt - kT \left(1 - \ell^{-\frac{t}{60T5}} \right) \quad (3.17)$$

- при закрытии затвора

$$h_{(t)з} = kt - kT \ell^{-\frac{t}{63T6}} \quad (3.18)$$

Иными словами, при подаче напряжения на клеммы двигателя, затвор начинает подниматься (или опускаться) и, тем самым, в канале начнет изменяться расход уровень воды. Однако, это изменение расхода воды в створе датчика произойдет по истечении некоторого времени.

Переходя к определению времени переходного процесса следует задаться величиной, которая достигнет значения $\approx 0,95 h_{уст}$, т.к. полное время переходного процесса будет составлять $0,95 t_{п.п.}$.

В этом случае:

- при повышении уровня

$$0,95 h_{уст} = h_{уст} \left(1 - \ell \frac{t_{0,05}}{T} \right) \quad (3.19)$$

- при понижении уровня

$$0,05 h_{уст} = \frac{1}{\ell \frac{t_{0,05}}{T}} \quad (3.20)$$

В данном случае время переходного процесса будет составлять величину $0,95 t_{п.п.}$, что для практических целей вполне достаточно. Если, например, будет $T=10$ с, то $t_{п.п.} \approx 25$ с.

Таким образом, для определения времени переходного процесса необходимо знать величину постоянной времени и тогда по табличным материалам ℓ^x можно установить искомую величину.

3.5.3 Орган сравнения

Исходя из условий, описанного выше технологического процесса, действие средств Автоматизации должно обеспечить поддержание заданного уровня, исходя из необходимости выдерживания командного уровня воды. Заданный уровень поддерживается изменением положения затвора. При этом сигнал на это изменение подается от датчика уровня, установленного на расстоянии 10...15 м и более от затвора, где обеспечиваются минимальные колебания уровня воды и создается заданное сечение канала.

В связи с этим при изменении водного режима возникает переходной процесс в водотоке, т.е. переход от начального состояния к установившемуся при открытии или закрытии затвора.

В этом случае задача действия средств автоматизации заключается в

таким изменением положения затвора, при котором его конечное положение будет обеспечивать восстановление заданного уровня при установившемся режиме. Иными словами, если заданный уровень характеризуется сигналом X_2 , сигнал X_1 поступает от датчика, то затвор должен работать до момента, когда $X_1 \approx X_2$, т.е. сигнал рассогласования $\Delta X = 0$.

Поскольку при изменении уровня воды в канале протекает переходной процесс, то появляется сигнал рассогласования ΔX , который может быть использован в качестве параметра регулирования. Причем входной сигнал, вызывающий переходной процесс может изменяться как скачкообразно, так и по времени. При этом, под скачкообразным изменением в нашей работе подразумевается такое единичное возмущение, которое протекает в течение до 1 с. ($X < 1$). Превышающее же это значение изменение входного сигнала, которое может быть описано уравнение

$$Z = kt_c$$

где: k - коэффициент пропорциональности, характеризующий скорость нарастания единичного входного сигнала. Коэффициент k действует только в пределах до определенного установившегося значения (точка А рис.3.2.), после которого режим водотока устанавливается. В обоих случаях задача управления не изменяется, изменяются лишь параметры исходных данных для инженерных расчетов. Решение этой задачи возлагается на орган сравнения сигналов.

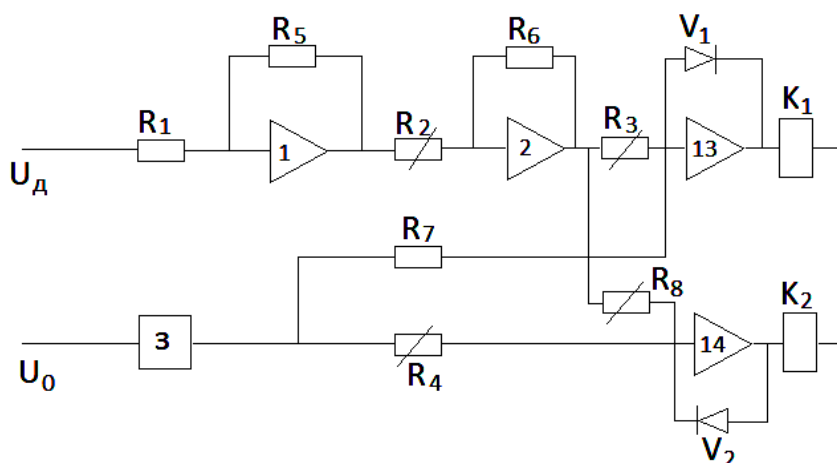


Рис.3.6. Схема органа управления

3.5.4 Орган управления приводом затвора

Современные технические решения органа управления (сравнения) может осуществляться на аналоговых и цифровых устройствах. Например на операционных усилителях с диодными ограничителями или компараторах. Мы излагаем данный материал на основе первых, имея ввиду понимание динамики процесса.

Схема устройства органа управления включает в себя (рис.3.6):

Д- делитель напряжения для измерения установок- задания;

U_1, U_{13}, U_{14} - усилители постоянного тока из: U_1 -инвертирующий усилитель;

U_{13}, U_{14} - усилители для получения нелинейностей типа “релейная характеристика” с регулируемой зоной нечувствительности;

$D_1 \dots D_4$ -диоды для образования нелинейностей;

+100В,-100В-источники напряжения, применяемые для фиксации полученных нелинейностей;

$U_{вх}, U_{зад}$ - напряжение входное (датчик) и задатчик.

В схему включен ряд сопротивлений различных величин, необходимых для получения соответствующих коэффициентов передач.

Основное назначение органа управления – это фиксация трех соотношений напряжений на входе $U_{вх}$ и задающего $U_{зад}$:

$$1 \quad U_{вх} = U_{зад}$$

$$2 \quad U_{вх} > U_{зад}$$

$$3 \quad U_{вх} < U_{зад}$$

Все три соотношения напряжений $U_{вх}$ и $U_{зад}$ вытекают из действия органа сравнения, на который они подаются. Регулирующий сигнал воздействует на реле Р-1 и Р-2, которые, в свою очередь, включают реле пуска блока БДУ:Р-3.

1. При $U_{вх} = U_{зад}$ практически результирующий сигнал отсутствует, так как $x_1 - x_2 = 0$. В этом случае реле Р-1 и Р-2 отключены. Это состояние характеризует установившийся режим действия объекта.

II. При $U_{\text{вх}} > U_{\text{зад}}$ появляется результирующий сигнал $X_1 - X_2 = -X$, который имеет отрицательное напряжение. Это напряжение с выхода усилителя У-1 поступает на вход усилителя блока нелинейности.

При суммировании этих напряжений $-U_{\text{вх}} + U_{\text{зад}} = -\Delta U$, напряжение рассогласования $-\Delta U$ будет приложено к усилителю, охваченному обратными связями-диодами D_1 и D_2 . Диод D_1 для этого напряжения включен в проводимом направлении, но он запирается отрицательным напряжением, снимаемым с потенциометра, подключенного к источнику -100В .

Поэтому обратная связь будет представлять большое сопротивление, то есть коэффициент передачи будет велик и достаточен для резкого усиления напряжения ΔU и срабатывания реле Р1.

Диод D_2 для напряжения ΔU включен в непроводимом направлении и, следовательно, также будет представлять достаточно большое сопротивление.

III. При $U_{\text{вх}} < U_{\text{зад}}$. В этом случае появляется результирующий сигнал положительной полярности

$$x_1 - x_2 = x$$

Сигнал в виде положительного напряжения ΔU поступает на вход усилителя У₁₄ блока нелинейности и благодаря обратной связи D_3 и D_4 , возникает достаточный коэффициент передачи и реле Р-2 срабатывает.. Работа блока нелинейности с усилителем аналогична описанному выше с усилителем У₁₄.

Только в этом случае запирающим напряжением будет источник $+100\text{В}$.

Полученные от блоков нелинейности характеристики являются релейными характеристиками с коэффициентом возврата, равным единице.

Рассматриваемое действие органа управления, имеющего в своем составе электронный усилитель и релейный аппарат, может быть представлено двумя последовательно соединенными звеньями – усилитель как безинерционное, а релейный аппарат как нелинейное звено. Это нелинейное звено характеризуется с одной стороны временем запаздывания и с другой стороны коэффициентом возврата. Время запаздывания определяется

временем действия реле, которое для электронных реле практически равно 0. Что касается коэффициента возврата, то оно велико для малогабаритных реле 0,4...0,95 и приближается к единице для электронных.

Таким образом, передаточная функция рассматриваемого звена может быть записана в общем виде как:

$$W_{(\rho)} = K_{об} \frac{k}{P} \quad (3.21)$$

3.5.5 Орган включения привода затвора.

Орган включения привода затвора начинает действовать после включения одного из реле Р-1 и Р-2.

При появлении сигнала от органа сравнения в виде $-\Delta X$ включается реле Р-1, при $+\Delta X$ – реле Р-2.

Переходя к определению передаточной функции, рассматриваемого органа из нелинейного звена была выделена, как это рекомендуется теорией управления, линейная часть.

Тогда, характеристика данного нелинейного звена может быть представлена симметричными отклонениями ΔX от средней величины X_0 между параметрами срабатывания $X_{срб}$ и отпускания $X_{отп}$, т.е.

$$x_0 = \frac{x_{срб} + x_{отп}}{2} = x_{отп} + \Delta x = x_{срб} - \Delta x$$

В связи с этим уравнение нелинейности звена может быть записано:

$$\Delta y = y \text{Sign}(x_{срб} - \Delta x)$$

$$\Delta y = y \text{Sign}(x_{отп} + \Delta x)$$

При весьма малых величинах $-\Delta X$ в пускателях передаточная функция может быть охарактеризована звеном запаздывания с безинерционным изменением сигнала, т.е. последовательно соединенными соответствующими звеньями:

$$W_{(p)} = k \ell^{-p\tau} \quad (3.22)$$

3.5.6 Орган упреждения

Орган упреждения предусматривает выдачу сигнала, который достигает своего установившегося значения, в результате пересчета его по данным параметра начального переходного процесса, т.е. если возникает сигнал, показывающий отклонение от начальной величины, то через заданное время начинает действовать блок БРЗ, который решает задачу:

-при повышении уровня

$$U_{\phi.n.} = \frac{U(\tau)}{1 - \ell^{\frac{\tau}{T}}} \quad (3.23)$$

-при понижении уровня

$$U_{\phi.o.} = \frac{U(\tau)}{\ell^{\frac{\tau}{T}}} \quad (3.24)$$

В приведенных уравнениях величина $U(\tau)$ фиксируется датчиком уровня после преобразования входного сигнала в электрический выходной и его переработке в задание для решения описанного выше уравнения.

3.6 Автоматизированный поливной модуль, как метод АСУ ТП полива.

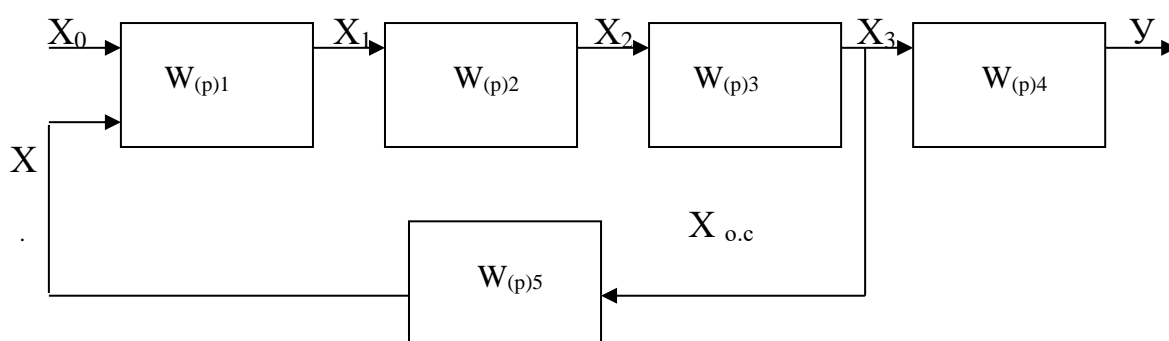
Проведенный анализ состояния возможности автоматизации поверхностного полива хлопчатника из оросителя с повышенным расходом, с помощью электрифицированного затвора ГТС в голове оросителя, а так же исследования динамических характеристик САУ, как теоретической основы формирования метода автоматизации, позволили выйти с практическими предложениями создания технико-технологической модульной поливной структуры на внутрихозяйственной оросительной сети.

3.6.1 Структуризация поливного участка и моделирование элементов САУ

Для формирования технологического процесса на поливном участке, как модульной структуры автоматизированной системы управления, в качестве примера, можно рассмотреть фермерский поливной участок площадью 15-20 га. При формировании его как технологического объекта, как уже отмечалось выше, следует отказаться от традиционной схематики поливного участка с продольной или поперечной “нарезкой” временных оросителей. При этом, на участке оборудуется канал, как постоянный ороситель с повышенной пропускной способностью 1,0-1,5 м³/с.

В качестве технических средств автоматизации и управления поливом привлекаются: гидротехническое сооружение в голове оросителя, оборудованный створ измерения, электрифицированный плоский затвор на ГТС, станция автоматического управления, средства автоматизации контроля уровня в створе измерения, средства автоматического регулирования уровня в оросителе, средства учета воды, трубы сифоны. Технологический процесс полива строится по известному принципу “сифонов”, но из оборудованного канала с повышенным расходом и двухсторонним отбором воды сразу в поливную борозду. При длине канала и борозды по обе его стороны 250-300 м формируется участок до 18 га.

Формализация, таким образом, построенного технологического объекта в виде структурного изображения имеет вид:



где: x - информационный сигнал устройства контролирующего уровень в оросителе;

x_o - задающий информационный сигнал;

$W_{(p)1}$ - передаточная функция компьютеризированного органа управления;

$W_{(p)2}$ - передаточная функция затвора подающего воду в оросителе;

$W_{(p)3}$ - передаточная функция поливного оросителя;

$W_{(p)4}$ - передаточная функция трубки-сифона;

x_1, x_2, x_3 - межэлементные информативные воздействия;

$x_{o.c}$ - сигнал обратной связи по каналу регулирования.

Моделируя объект управления в виде обобщенной передаточной $W_{(p)0}$ функции и пользуясь установленными правилами математического описания систем автоматического управления можно записать:

$$W_{(p)0} = \frac{W_{(p)1} \cdot W_{(p)2} \cdot W_{(p)3}}{1 + W_{(p)5} \cdot W_{(p)1} \cdot W_{(p)2} \cdot W_{(p)3}} \cdot W_{(p)4} \quad \text{или} \quad W_{(p)0} = \frac{W_{(p)13} \cdot W_{(p)4}}{1 + W_{(p)} \cdot W_{(p)13}}.$$

Такая структуризация системы автоматического управления поливом позволяет, с одной стороны иметь научную основу для исследования и оптимизации САУ, как модульной структуры сбора и обработки данных, с другой стороны открывает возможность привлечения методов совместимости и интеграции с АСУТП более высокого порядка (например, с хозяйственными и межхозяйственными каналами).

Выделим из этой структуры поливной канал - $W_{(p)3}$. Раскроем его передаточную функцию, как апериодическое звено 1-го порядка с чистым запаздыванием, запишем:

$$W_{(p)3} = \frac{K}{T_1 p + 1} \cdot e^{-p\tau}$$

или в виде:

$$\left(T_1 \frac{dy}{dt} + Y \right) \cdot e^{-\frac{d}{dt}\tau} = KX$$

где коэффициенты:

T_1 - емкостный информационный параметр канала (постоянная времени);

τ - чистое запаздывание САУ;

K - передаточный коэффициент объекта.

Указанные коэффициенты являются определяющими для характеристики данного звена САУ- $W_{(p)3}$ в переходном процессе и установившемся режиме (K). Универсальным технологическим приведенным параметром, от этих коэффициентов, является уровень (расход) воды, проходящей через звено (ороситель) $W_{(p)3}$. Имея возможность, на этапе построения системы автоматического управления и далее в процессе эксплуатации, варьировать этими коэффициентами, можно добиваться устойчивой работы САУ, а значит в технологическом процессе - поддерживать или регулировать командный уровень воды в оросителе. Совершенно очевидно, что аналогичный анализ можно построить в отношении элементарных звеньев – «сифон», «поливная борозда», «почвенная влага», «влагосодержание растения». Охватывая в такой структуризации новые элементы обратной связью, через соответствующие датчики, можно формировать регулирование не только по командному уровню, но и по влагосодержанию в элементах новой структуры – почве, растениях, для условий поверхностного бороздкового полива. А это очевидная экономия воды.

3.6.2. Технические решения автоматического регулирования при создании автоматизированного поливного модуля.

В основу предлагаемого модуля легли теоретические обоснования устойчивого функционирования САУ поливом и изложенные выше материалы по структуризации и моделированию ее элементов, часть которых составила схему автоматического регулирования.

В состав разработанной системы автоматического регулирования входят описанные органы (элементы), имеющие определенную связь между собой, как это показано на рис.3.1. Установившийся режим работы затвора характеризуется положением затвора с выходным сечением для воды в проеме

и уровнем воды в нижнем бьефе h . Таким образом, сигнал, снимаемый с датчика, контролирующего уровень h воды в нижнем бьефе, характеризует расход в оросителе.

После преобразования этого сигнала в различных описанных выше органах он подается на орган сравнения в виде U_{ϕ} .

Поскольку в оросителе протекает установившийся режим, то $U_{\phi} = U_{\text{зад}}$ и система регулирования бездействует. Появление возмущающего действия, например, снижение командного уровня воды в оросителе на величину Δh в датчике изменяется емкостное сопротивление на величину $\Delta \frac{1}{\omega C}$ и на его

выходе появляется сигнал $\Delta U_{\text{из}}$. Этот сигнал подается на потенциометр, с которого уже снимается сигнал $U_{\text{п}}$ и по цепи через н.з. контакт Р-3 (по шунтирующей цепи) подается на орган сравнения. Протекает сравнение сигналов и рассогласование между ними ($U_{\phi} \neq U_{\text{зад}}$) усиливается и приводит в действие реле Р-1, а затем включается пускатель П-1. Одновременно с

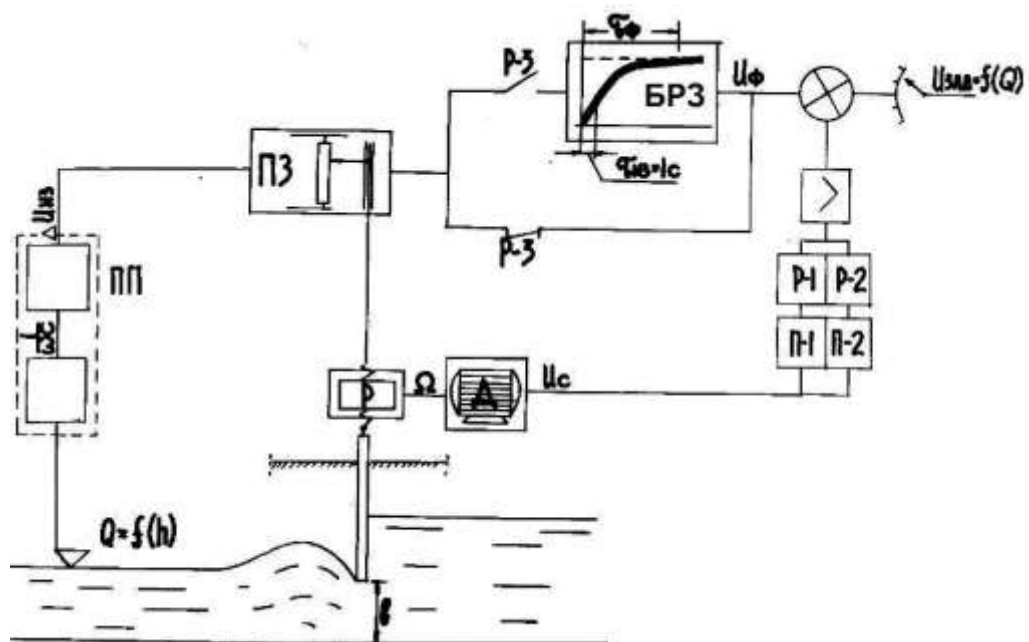


Рис. 3.1. Комплексные решения по автоматическому регулированию командным уровнем

включением Р-1, включается реле Р-3, которое одним из своих н.з. контактов включает блок БРЗ и отключает обходную (шунтирующую) цепь.

Включение пускателя обеспечивает подъем затвора, который жестко связан с ползунком потенциометра. Подъем затвора фиксируется изменением сопротивления потенциометра и в результате сигнал $U_{\text{п}}$ изменяется. Это изменение говорит о том, каким будет величина уровня воды в канале при установившемся режиме, т.е. когда увеличенная подача воды достигает датчика. Но для того, чтобы установить эту величину блок БРЗ дает решение задачи и выдает сигнал с предварением на орган сравнения. Если этот сигнал будет равен задающему сигналу, то рассогласование исчезнет и система регулирования отключается. Это означает, что для данного положения затвора расход воды через некоторое время принимает установленное значение.

Если после решения задачи рассогласование не исчезнет, так значение $U_{\text{ф}} < U_{\text{зад}}$, то результирующий сигнал от органа сравнения обеспечит поддержание работы привода затвора. Привод затвора будет работать до тех пор, пока после решения задачи БРЗ не будет выдавать сигнал.

Так как изменение положения затвора протекает практически безинерционно с весьма малым временем запаздывания, то привод затвора отключится в таком положении, при котором будет обеспечен заданный расход воды в оросителе.

Аналогичным образом система регулирования будет действовать при повышении уровня против заданной его величины. Повышение уровня приведет к действию реле Р-2, затем пускателя П-2 и привод затвора будет опускаться, что приведет к уменьшению подачи воды в ороситель. В этом случае блок БРЗ будет решать задачу, описанную уравнениями (3.23) и (3.24).

При работе БРЗ используется стандартный отметчик времени, в задачу которого входит подготавливать цепь для подачи сигнала с предварением к решающим блокам т.е. через определенное наперед заданное время. В нашем случае принято $\tau_{\text{из}} = 1$ с. Это связано с тем, что на время регулирования положения затвора, возможны изменения расхода воды в контролируемом

оросителе. Поэтому начальные исходные данные для решения задач, которые поступают в блок БРЗ, подаются в виде $U_{(\tau)}$, которые входят в числитель решаемого уравнения (3.23,3.24)

В этом случае задача сводится к делению числителя $U_{(\tau)}=U_{\text{вх}}$ на знаменатель, который представлен в виде постоянной величины

$$1 - \ell \frac{\tau}{T} = U_{\text{вх}}$$

В этих уравнениях величина T принята неизменной, так как при незначительных отклонениях фактора возмущения от заданного режима работы водотока, возникающие при автоматическом регулировании погрешности не вызовут больших динамических ошибок и уровень воды будет находиться в пределах допустимых норм отклонения, т.е. ± 1 см.

В то же время, если возникает необходимость в использовании постоянной времени при $T=\text{var}$, то решение задачи несколько усложнится за счет подключения к потенциометру еще одного сопротивления. Изменение напряжения $\Delta U_{\text{п}}$ будет вызывать не только появление Uu_1 , которое подается на БРЗ и служит в задаче числителем, но и величину $Uu(\tau)$, которое будет скорректировано постоянными коэффициентами, входящими в знаменатель. Таким образом, при появлении такой необходимости задача может решаться путем установления связи между напряжениями, снимаемыми с сопротивлений органа первичного датчика ПЗ. В объем работы данных научных исследований решение этой задачи не входило.

Описанная выше автоматическая система управления имеет в основе непрерывное регулирование с ПИ – законом регулирования. Вместе с тем с точки зрения практической ценности были рекомендованы схематические решения на основе позиционного управления от технологических датчиков (реле). Такая схема была разработана на основе проведенных исследований и технических рекомендаций. С учетом эксплуатационных возможностей, она предложена на релейно-контактной основе, а также может быть выполнена на

микропроцессоре (как с ПИ – законом, так и позиционным законами регулирования) с устройством сопряжения с объектом. Схема приведена на рис.3.2.

Работа этой схемы заключается в следующем. При замыкании одного из контактов «В» (верх) технологического реле питание поступает на реле импульса РВ1 и на катушку промежуточного РП1. Следует импульс необходимой установки времени, в течение которого контакт РП1-1 замкнут. По истечении времени импульса в работу включается реле паузы РВ-2 и промежуточное реле РП3, которое своими размыкающими контактами РП3-2 прекращает импульс. По истечении времени паузы, через замыкающий контакт РВ-2, в работу включается реле РП4, которое снимает питание с РВ2 и РП3. Затем вновь повторяется импульс и т.д., до восстановления заданного параметра (уровня) в объекте, после чего управляющий орган технологического реле размыкает контакты «В», что приводит к остановке управляющего воздействия. Действие от контакта технологического реле «Н» (вниз) происходит аналогично.

3.6.3. Автоматизированный поливной модуль и его технические характеристики.

Как уже отмечалось выше, новые технические и технологические решения в сфере становления фермерских хозяйств затрагивают и такое направление как совершенствование сложившейся техники полива, путем разработок и создания высокотехнологичных методов и устройств автоматизации поливных работ. Такой подход позволяет представить поливной участок, как техническое устройство, составляющие которого взаимодействуют в комплексе: гидротехническое сооружение в голове оросителя, оборудованный створ измерения, электрифицированный плоский затвор на ГТС, станция автоматического управления, средства автоматизации контроля уровня в створе измерения, средства автоматического регулирования уровня в оросителе, средства учета воды, трубы сифоны, рис. 3.3.

Данный комплект, или модуль, может видоизменяться в зависимости от площади поливного участка, например от 2 га до 20 га. Он может быть заказан фермером для поставки, в соответствующей условленной комплектации. Предприятие – производитель поставить, а группа инженеров наладчиков может произвести монтаж, наладку и пуск автоматизированного поливного модуля в эксплуатацию. Внедрение в практическую работу автоматизированного поливного модуля (АПМ) позволит обеспечивать нормированный полив, вести ночные поливы, вести учет воды и на полив и на



Рис. 3.3. Автоматизированный поливной модуль.

сброс, экономить земельные ресурсы и ГСМ, повысить урожайность хлопчатника до 3-5 ц/га

Технические характеристики АПМ – 1:

- поливная площадь 2 – 20 гектаров.

- длина поливного оросителя: до 300 м.
- расход оросителя: 200 – 1500 л/с.
- тип ГТС – водозаборное с прямоугольным затвором.
- тип затвора: В – 83.
- тип подъемника: электрифицированный ЭВ – 0.5; ЭВ – 1.
- мощность электродвигателя 0.4 кВт.
- станция автоматического управления типа ЯАА5401-74VI.
- автоматический регулятор *ПИ* на базе *микропроцессора* AT43USB35.M ATMEL.
- автоматический регулятор *ПОЗИЦИОННЫЙ* на базе ЭРСУ-2.
- датчик уровня типа РУС. 0 – 5 мА.
- датчик положения исполнительного механизма ДПМ – 1.
- счетчик расхода, приставка к ДПМ – 1 типа СЧ.
- трубки сифоны СФ 50. 200 – 600 шт.

В Ы В О Д Ы

В результате проведенных исследований по созданию автоматизированного поливного модуля можно сделать следующие выводы:

1. Формирование в аграрном секторе страны значительного количества фермерских хозяйств требует инновационных решений в сфере сложившейся техники поверхностного полива хлопчатника. Направленность этих решений связана с внедрением на внутрихозяйственной оросительной сети методов полива, характеризующих поливной участок, как автоматизированный технологический объект управления.
2. Исследование полива с точки зрения технологического процесса перемещения материала (воды) из свободного состояния во влажное состояние почвы, позволило структурировать систему автоматического управления поливом по основным элементам:
 - орган управления или блок решающий поставленную задачу;

- блок управления исполнительного механизма или станция автоматического управления;
- исполнительный механизм или затвор с электрическим приводом;
- техническое устройство перемещения воды или поливной ороситель;
- автоматические средства контроля за уровнем (расходом) воды или датчики;
- технические средства отбора воды в поливную борозду или сифоны.
- блок управления исполнительного механизма или станция автоматического управления;
- блок управления исполнительного механизма или станция автоматического управления;

3. Составлена функциональная схема автоматического регулирования затвором на основе контроллера с ПИ-законом, с использованием микропроцессорных средств, а так же предложена схема АР на основе позиционного закона с использованием релейно-контактных устройств.

4. Разработан автоматизированный поливной модуль АПМ-1, в комплекте: гидротехническое сооружение в голове оросителя, оборудованный створ измерения, электрифицированный плоский затвор на ГТС, станция автоматического управления, средства автоматизации контроля уровня в створе измерения, средства автоматического регулирования уровня в оросителе, средства учета воды, трубки сифоны. Сформулированы его основные технические характеристики.

5. Учитывая возможно допустимые, в пределах командных величин, отклонения уровня в оросителе с повышенным расходом, динамическая характеристика элементарных звеньев системы управления затвором ГТС может быть упрощена и приближенно описана, как апериодическое звено первого порядка с запаздыванием. Определение величин запаздывания, постоянной времени и передаточных коэффициентов, способные отражать условия действия системы автоматического управления, определяются с учетом местных условий.

6. Для принятой системы управления водотоком, с учетом исследованных теоретических зависимостей, следует использовать упреждающий сигнал, который формируется после решения задачи, характеризующий переходной процесс водотока при перемещении затвора.

7. Проявление переходных процессов водотока в оросителе с повышенным расходом имеет особенности при изменении расхода воды в них, путем перемещения затвора ГТС, которые вызваны скоростью движения щита затвора, волновыми явлениями с затухающими амплитудными колебаниями, что требует проведения дополнительных исследований, в том числе экспериментальных. Что касается места расположения створа уровнемера, то он, на основании проведенных теоретических исследований, может быть отнесен на 10 - 70м. от затвора ГТС, что было проверено на моделях MatLab в главе 6.

8. Изучение функционирования элементов, составляющих систему управления, обеспечивающую автоматизированный полив показывает, что они могут быть разработаны или выбраны инженерными методами (органы сравнения, управления, измерения, включения, блок решения задачи, и др.) и составить техническую основу автоматизированного поливного модуля.

9. Автоматическое поддержание командного уровня с помощью электрифицированного затвора ГТС и использованием средств автоматизации, применяемых на межхозяйственной оросительной сети возможно, на основе теоретических исследований и соблюдения определенных условий.

10. Действие системы регулирования должно учитывать особенности динамических характеристик переходных процессов, вызываемых изменением водотока при перемещении затвора:

11. При непрерывном регулировании перемещением затвора из существующих рекомендаций по компенсированию инерционности в объекте системы, наиболее целесообразным следует считать использование схем автоматического управления с дроблением апериодического звена первого

порядка на два элементарных – безынерционного и звена с запаздыванием. Последнее – применяется комплексно с решающими блоками.

12. Анализ существующего положения дел с обеспечением условий для автоматизированного полива из оросителя с повышенным расходом показал, что совершенствование средств автоматизации на гидротехническом сооружении может проводиться при условии:

12.1 Знания аналитического описания моделей и динамических процессов в элементах – межхозяйственный канал МОС - поливной ороситель ВОС.

12.2 Функционирования системы регулирования потока, обеспечивающего заранее заданные показатели возможных колебаний командного уровня.

12.3 Организации приборного измерения уровня (расхода) воды в поливном оросителе как параметра регулирования водотока, необходимого также для работы сифонов.

ГЛАВА 4. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОЛИВНОЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ СМЕШИВАНИЯ ПОЛЕВЫХ ВОД.

В нашей стране подземные воды составляют существенную часть водных ресурсов страны и играют важную роль в питьевом и сельскохозяйственном водоснабжении, в том числе орошении и обводнении пастбищ. Естественные ресурсы подземных вод в целом по Узбекистану составляют 24,35 км³ и 7-8 км³ разрешенных к использованию. Общий объем возвратных вод от различных водопотребителей и водопользователей составляет 28,3 км³/год. При этом уровень средней минерализации коллекторно-дренажных вод (КДВ) варьирует от 1,5-2,5 г/л до 5-6 г/л., аналогично подземных источников - дренажных вод. Использование такого потенциала ресурсов для полива, связано со смешиванием указанных вод с водой нормальной (до 1,0 г/л.) засоленности. Однако функционирование того смешивания на основе структурированных технологий и тем более автоматизированных, сегодня в Узбекистане не существует. Прогнозы специалистов ИУВР по запасам воды и ее использования, имеют скептический характер на среднюю – 12-15 лет, а тем более на дальнюю – 20-30 лет перспективы. Поэтому вопросы построения и создания автоматизированных технологий по подготовке поливной воды, (растворов поливной воды) на основе смешивания, в том числе и для капельного орошения несомненно является актуальной.

4.1 Изучение технологических решений смешивания и условий автоматизации

Разработка и совершенствование автоматизации водоподготовки или смешивания для полива сельскохозяйственных культур с использованием скважин вертикального дренажа требует выполнения определенных требований предъявляемых к технологии формирования процесса. Указанный процесс смешивания, при этом, может иметь порционный и непрерывный характер.

Порционное и непрерывное смешивание. При этом в составе структуры автоматизированной системы управления, в качестве технических средств автоматизации и управления водоподготовкой привлекаются со стороны засоленной воды: скважина с погружным насосом, канал засоленной воды, микроГТС с электрифицированным плоским затвором, оборудованный створ измерения, сооружение смесителя, станция автоматического управления, средства автоматизации контроля уровня в створе измерения, средства контроля засоленности воды, средства автоматического регулирования уровня в оросителе, средства учета воды. Аналогичный состав устройств и технических средств со стороны «чистой воды». Оба потока перемещаются в гидротехническое сооружение под названием смеситель, где также установлен датчик контроля засоленности.

Функциональная-технологическая схема смешивания рис.1. Вода, , и скважины 1 поступает в сборный канал (лоток) т.е. в устройство канал-смеситель 2. Сюда же из источника воды 3, через канал (лоток), поступает обычная «чистая» вода. Здесь в канале-смесителе вода обычная и минерализованная перемешиваются естественным образом и продукт смешивания поступает через затвор 4 в накопитель и поливной ороситель и далее может использоваться для полива том числе на основе различных водосберегающих технологий.

Приведённые выше условия позволили разработать обобщенную блок-схему технологического процесса рис.4.1. Вода, например, из трех скважин 1 поступает в сборный канал (лоток) и в устройство смеситель 2. Сюда же из источника воды 3, через канал (лоток), поступает обычная «чистая» вода. Здесь в смесителе вода обычная и минерализованная перемешиваются естественным образом и продукт водоподготовки поступает в накопители -5, рис.4.2. 4.3 и далее может использоваться для полива на основе различных водосберегающих технологий.

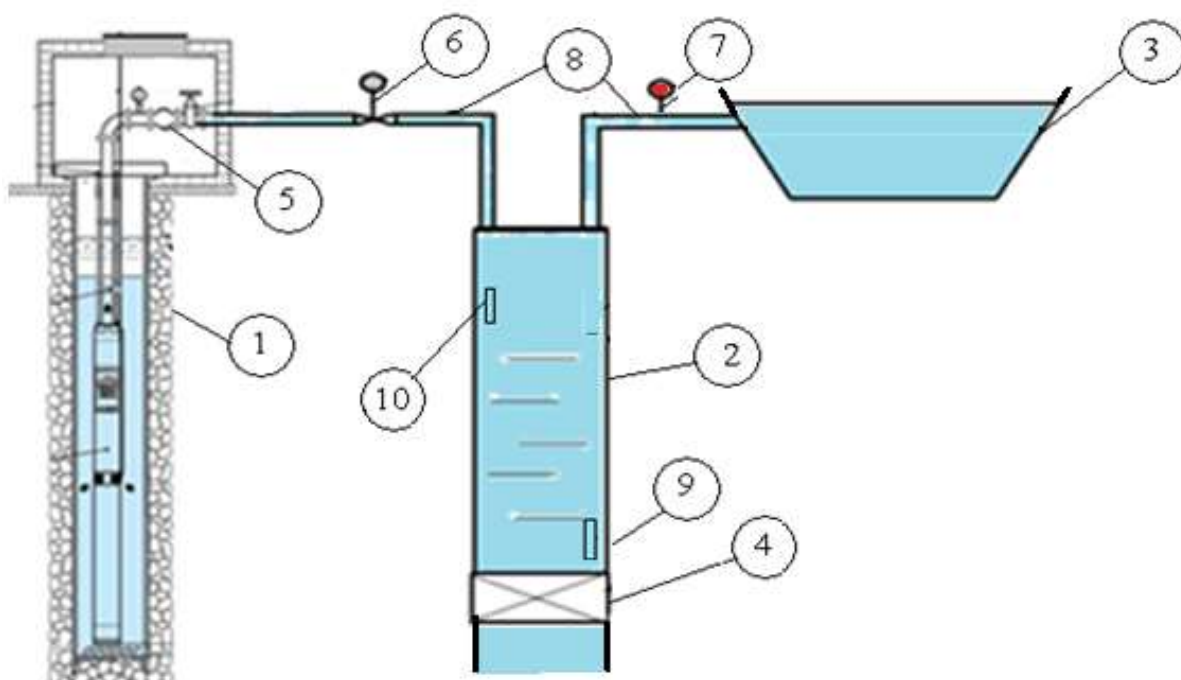


Рис.4.1 Функционально-технологическая схема смешивания
 1-скважина вертикального дренажа; 2- гидравлический канал-смеситель; 3-
 внутрихозяйственный оросительный канал с «чистой водой»; 4-затвор; 5, 6,7-
 автоматизированные задвижки; 8-подводящие каналы (трубы); 9-
 кондуктометрический датчик, 10- датчик уровня

Приведенная обобщенная блок-схема послужила основанием для разработки функциональной и структурной схем процесса с указанием основных средств контроля и управления. Это в свою очередь позволило изучить вопросы принципов построения смешивания, а именно порционного принципа и непрерывного.

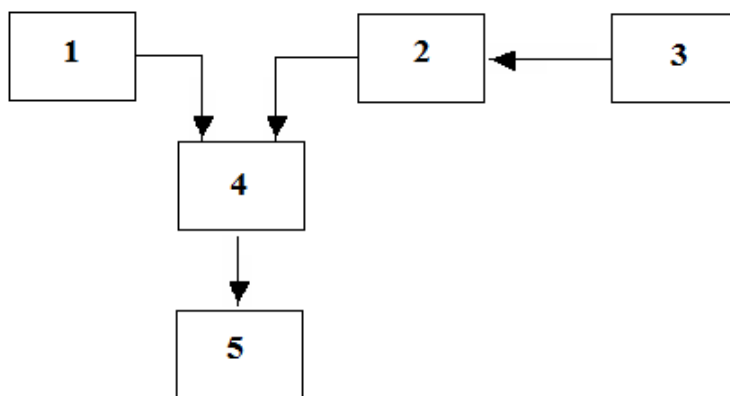


Рис. 4.2 Блок-схема технологического процесса смешивания

Как известно порционное смешивание является очень удобным. Оно хорошо согласуется с программными методами управления, построенными на алгоритмизации процесса. В настоящей работе при формировании непрерывного смешивания следует определяться с алгоритмами функционирования водозаборных устройств из реки (канала), затвором из сборного канала от дренажных скважин, с режимами работы погружных насосов. На рис. 4.2 представлена схема участка смешивания воды, включающей подводящие лотки с «чистой водой», засоленной водой, смеситель, а также необходимые устройства контроля, управления и исполнения операции смешивания. Например, при порционном смешивании возникла ситуация смешивания в пропорции 4:1, а именно 80% воды «чистой» и 20% засоленной. При этом конечный продукт приготовленной воды по засоленности, например, должен составлять допустимую концентрацию 1,8 мг\л. Условия возникновения такой ситуации мотивировано параметрическими данными датчиков (датчик 10.) засоленности воды от скважины – 4мг\л, и от источника чистой воды – 0,9 мг\л. В системе управления (микропроцессор) решается задача и соответственно этому средства автоматического управления выставляют затворы для исполнения искомой пропорции. Для коррекции возникающих несоответствий используются датчики расхода, устанавливаемые после затворов и по каналам обратной связи, воздействующие на исполнительные механизмы.

При использовании схемы непрерывного смешивания контроль концентрации раствора производится в смесителе. Управление процессом производится по заданному показателю засоленности в смесителе, от соответствующего датчика на основе принципов автоматической стабилизации.

Следует отметить, что формирование сигналов датчиков по данной схеме рис. 4.2 производится непосредственно из каналов (лотков), и этот факт их расположения имеет рекомендательный характер для обеих схем смешивания.

4.2 Функциональная и структурная схемы непрерывного смешивания

В предыдущем разделе была представлена разработанная технологическая схема смешивания. Однако для формирования теоретических и экспериментальных аспектов решения поставленных задач, а так же применения технических средств автоматизации необходимо составить функциональную и структурную схемы автоматизации.

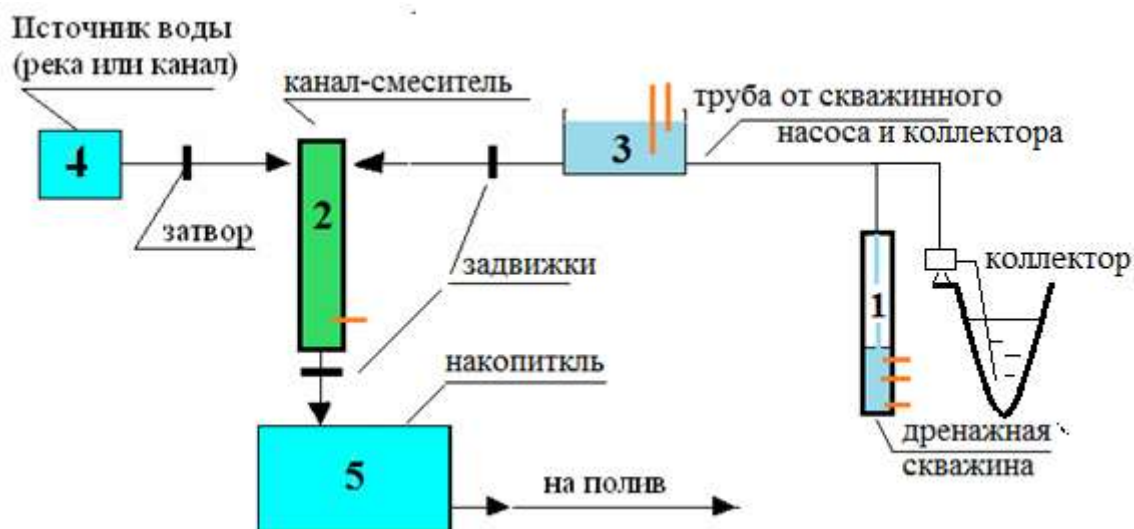


Рис. 4.3 Функциональная схема контроля и управления технологическим процессом смешивания

1 – дренажная скважина; 4 – источник «чистой» воды; 2 – лоток-смеситель; 5 – накопитель.

На рис 4.3 представлена разработанная функциональная схема контроля и управления технологическим процессом смешивания, которая в достаточной степени отражает необходимое последовательное, функциональное взаимодействие составляющих элементов, блоков, узлов автоматики.

Структурная схема участка смешивания таким образом представленного технологического объекта, имеет вид для участка перемещения, например, воды засоленной рис. 4.4

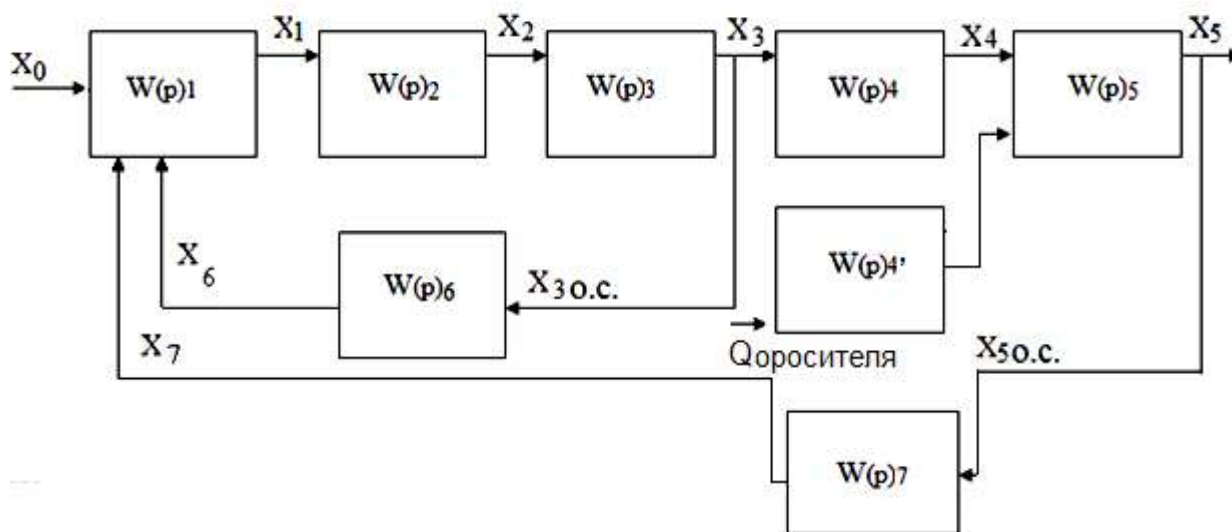


Рис.4.4 Структурная схема САУ непрерывного смешивания процесса.

где:

X_0 - задающий информационный сигнал соленности;

$W_{(p)1}$ - передаточная функция компьютеризированного органа управления;

$W_{(p)2}$ - передаточная функция скважинного насоса подающего воду в канал трубу соленой воды

$W_{(p)3}$ - передаточная функция канала соленой воды;

$W_{(p)4}$ - передаточная функция задвижки

$W_{(p)4'}$ - передаточная функция оросителя

$W_{(p)5}$ - передаточная функция канала-смесителя;

$W_{(p)6}$ - передаточная функция кондуктометрического датчика соленой воды;

$W_{(p)7}$ - передаточная функция кондуктометрического датчика в канале-смесителе;

X_1 - X_7 - межэлементные информативные воздействия;

$X_{o.c.}$ - сигнал обратной связи по каналам регулирования X_3 и X_5

Выше приведенная структурная схема участка системы контроля и автоматического управления процессом перемещения и смешивания соленой

воды позволяет, иметь основу для исследования САУ со стороны подачи соленой воды, и в последующем в целом для всего процесса смешивания.

Аналогичные рассуждения приемлемы и для той части системы управления смешиванием, которая отражает количественный показатель поступающей в смеситель воды. Этот показатель характеризуется датчиком уровня (расхода) воды, но эти материалы исследований в настоящей работе не отражены.

При разработке технологического процесса водоподготовки были взяты за основу следующие вопросы:

- автоматизированный технологический процесс должен обеспечивать необходимый уровень засоленности смешанной, подготовленной воды для полива.
- средства автоматики должны обеспечивать контроль и управление, а также необходимые режимы технологического процесса и устойчивую работу систем автоматического регулирования параметрами.
- автоматизированный технологический процесс должен содержать, по возможности, минимум операций.
- энергопотребление технологического процесса должно быть рационально минимальным.

Приведённые условия, а также материалы исследований изложенных выше, послужили основанием для формирования теоретических и экспериментальных исследований и в этой связи были установлены направления искомых исследований как то:

- теоретические аспекты методов смешивания
- возможные технологические схемы
- стратегии управления
- модель управления

4.3 Формирование технических средств и теоретические исследования автоматизируемого процесса смешивания

В состав технических средств, кроме привычных средств автоматизации входят, как составная часть объекта САУ скважина, лоток-смеситель,

водовыпуск из реки или канала, накопитель со своим назначением в структуре водоподготовки для использования воды из него как для смешивания так и для в капельного полива. Ниже рассмотрены некоторые вопросы указанных средств в том числе на объекте Сырдарьинской области.

4.3.1. Технические средства автоматизации, машины и оборудование

Нами были акцентировано внимание на схему подвода воды к участку, который находится под капельным орошением. Как известно вода для капельного полива может подаваться из разных источников.

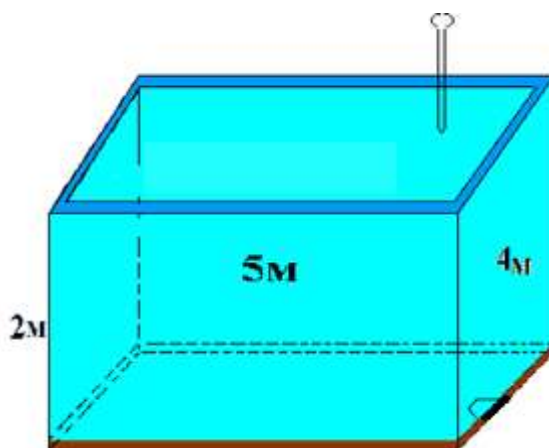


Рис. 4.5 Накопитель подготовленной воды для полива

Использование оборудования для капельного полива не исключает внутрихозяйственных водораспределителей и участковых оросителей меньшего порядка, задача которых - подвод воды к машинам и оборудованию смешивания и далее капельного орошения. При этом возникают дополнительные ирригационные устройства, без которых указанное оборудование работать не в состоянии. Эти соображения основываются на фактическом материале и примерах фермерских хозяйств Сырдарьинской области. Указанный пример отражен на рисунке производственного объекта Сайхунабадского района использующего технологию капельного орошения.



Рис. 4.6 Накопитель и одновременно источник для капельного полива

На рисунке 4.6 показано фото для накопления воды. В накопителе процесс подготовки воды завершен, и конечная концентрация орошаемой воды контролируется.

При разработке технологического процесса водоподготовки были взяты основу как мы уже говорили вопрос обеспечения необходимого уровня минерализации подготовленной воды для полива 3 г/л. При этом средства автоматики должны обеспечивать необходимые режимы технологического процесса.

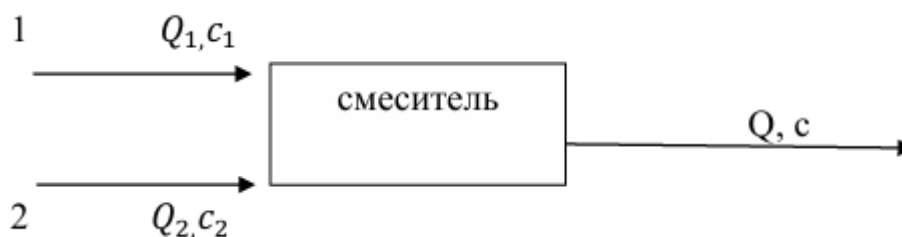
Приведённые выше условия позволили разработать блок и функциональную схему технологического процесса. Этот технологический процесс был изложен выше. При этом возникла операция смешивания «чистой» воды, с засолённой в режиме непрерывности. Поэтому было необходимо выявить технические средства, составляющие автоматическое

управляющее устройство для выполнения операции смешивания, как то затвор, датчики положения затвора, уровня, расхода, концентрации и др.

При этом, важное значение приобретает правильное определение расхода воды путем установления положения затвора. В связи с этим, одной из задач, возложенных на действие технических средств автоматизации является правильное установление расхода воды, как со стороны «чистой» воды так и со стороны засоленной. Это налагает на технические средства необходимость наличия прибора, по которому возможно было бы определить мгновенный и суммарный расход воды на каждом участке, а также уровень засоленности воды до смешивания и после него.

4.4 Теоретические аспекты смешивания.

Постановка задачи: В практике орошения возникает необходимость получение воды с некоторым содержанием минералов. Обычно это достигается путем смешивания воды с низким количеством минералов с некоторым количеством воды высокой минерализации. Такой процесс схематически представлен на рисунках ниже, при этом по тексту рисунки не обозначались для удобства изложения, являясь органично вписанными в текст. На данном рисунке каналы



поступления воды пронумерованы; через Q, C с соответствующими индексами обозначены расход воды и концентрация минералов. Для конкретности $C_1 < C_2$. Очевидно, что концентрация минералов в результирующей смеси удовлетворяет условию $C_1 \leq C \leq C_2$ (4.1). Требуется построить систему управления, которое обеспечивает и поддерживает некоторые требуемые

значения концентрации минералов $C=C_m$ на выходе смесителя. Требуемое значение концентрации минералов также удовлетворяет неравенству

$$C_1 \leq C_m \leq C_2 \quad (4.2).$$

Основные соотношения: Для расходов массы по каналам 1 и 2 имеем

$$\begin{cases} m_1 = m_{1B} + \mu_1 \\ m_2 = m_{2B} + \mu_2 \end{cases}, \quad (4.3)$$

Здесь m_{1B}, m_{2B} - массы чистой воды; μ_1, μ_2 - массы минералов, содержащихся в воде. Единица измерения этих величин – $[MT^{-1}]$. Для расхода массы на выходе смесителя, в установившемся режиме, можно записать:

$$m = m_1 + m_2 = m_{1B} + \mu_1 + m_{2B} + \mu_2 = m_B + \mu \quad (4.4)$$

Степень минерализации в первом канале:

$$x_1 = \frac{\mu_1}{m_1} = \frac{\mu_1}{m_{1B} + \mu_1} = \frac{1}{\frac{m_{1B}}{\mu_1}} \quad (4.5)$$

Во втором канале:

$$x_2 = \frac{\mu_2}{m_2} = \frac{\mu_2}{m_{2B} + \mu_2} = \frac{1}{\frac{m_{2B}}{\mu_2}} \quad (4.6)$$

Для степени минерализации подготовленной воды имеют место соотношения:

$$x = \frac{\mu}{m} = \frac{\mu}{m_B + \mu} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{m_1 + m_2} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{m_{1B} + m_{2B} + \mu_1 + \mu_2} \quad (4.7)$$

Преобразуя выражение (4.7) можно получить:

$$x = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1}{m} x_1 + \frac{m_2}{m} x_2$$

Таким образом, степень минерализации выходной воды определяется как средневзвешенная сумма степеней минерализацию входных потоков. Между массой и объёмом имеет место соотношение:

$$m = \rho Q \quad (4.9)$$

где ρ - плотность, её размерность – $[ML^{-3}]$; Q -объемный расход, единица измерения – $[L^3T^{-1}]$.

Очевидно, что $Q = Q_1 + Q_2$ (4.10). С учетом двух последних выражений нетрудно получить из выражения (4.8):

$$x = \frac{x_1 \rho_1 Q_1 + x_2 \rho_2 Q_2}{\rho_1 Q_1 + \rho_2 Q_2} = \frac{x_1 \rho_1 Q_1 + x_2 \rho_2 Q_2}{Q_1 + Q_2} \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{x_1 \rho_1 Q_1 + x_2 \rho_2 Q_2}{\rho Q} \quad (4.11)$$

Плотность выходного потока определяет через плотность входных потоков из выражения:

$$\rho = \frac{\rho_1 Q_1 + \rho_2 Q_2}{Q} \quad (4.12)$$

Тогда

$$x = \frac{\rho_1 Q_1}{\rho_1 Q_1 + \rho_2 Q_2} x_1 + \frac{\rho_2 Q_2}{\rho_1 Q_1 + \rho_2 Q_2} x_2 \quad (4.13)$$

Концентрация минералов определяется как отношение их массы к объему раствора, то есть

$$c = \frac{\mu}{Q}, \quad [M h^{-3}]. \quad (4.14)$$

Поэтому для выходного потока получаем

$$c = \frac{\mu_1 + \mu_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{\frac{\mu_1}{Q_1} Q_1 + \frac{\mu_2}{Q_2} Q_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{c_1 Q_1 + c_2 Q_2}{Q_1 + Q_2}. \quad (4.15)$$

С другой стороны

$$c = \frac{\mu_1 + \mu_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{x_1 \rho_1 Q_1 + x_2 \rho_2 Q_2}{Q_1 + Q_2}. \quad (4.16)$$

Из сравнения выражений (15) и (16) получается соотношения $c = xp$. Выражения (15),(16) показывают, что концентрация минералов результирующего потока равна взвешенной сумме концентраций минералов ВХОДНЫХ ПОТОКОВ.

4.4.1 Возможные технологические схемы

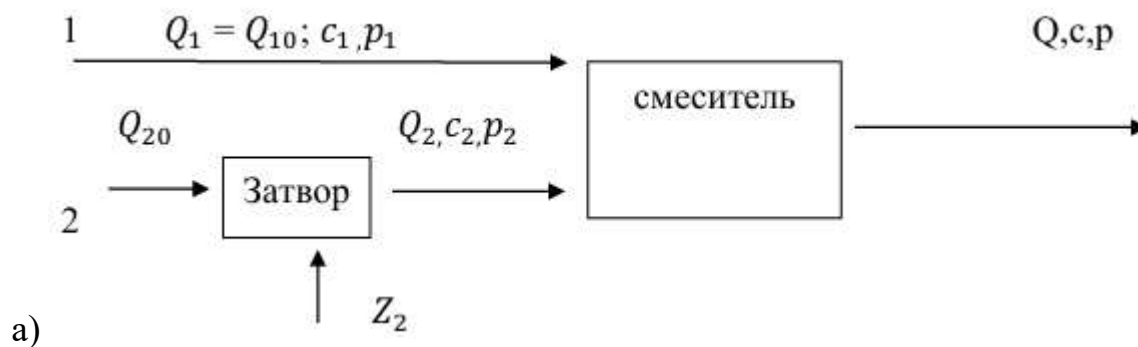
В зависимости от концентрации условий возможны следующие варианты схем формирования воды с требуемой концентрацией минералов:

- а) регулированием потока высокоминерализованной воды Q_2 (рис. 2 а)
- б) регулированием потока низкоминерализованной воды Q_1 (рис. 2 б)
- в) регулированием обоих потоков (рис. 2 в).

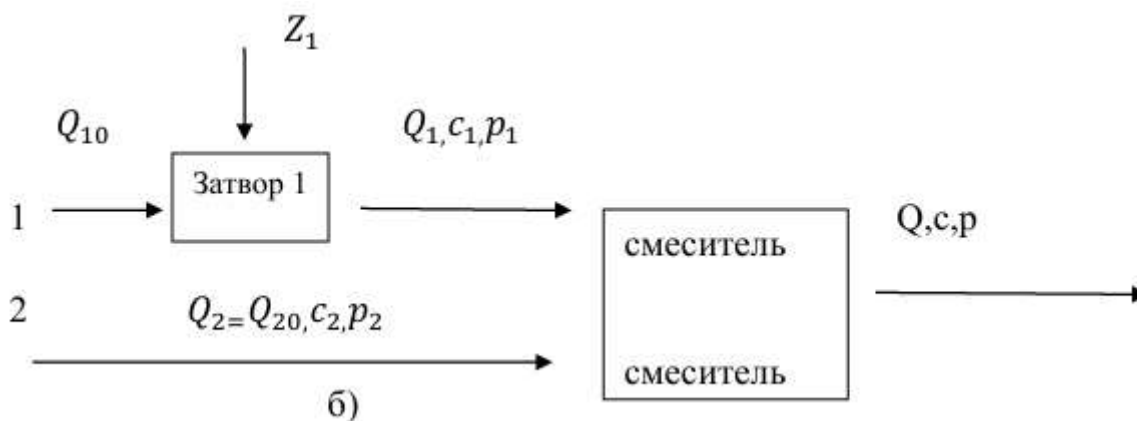
Технологические схемы, соответствующие перечисленным вариантам, представлены на рис. 2. Здесь Q_{10} , Q_{20} - предельно возможные расходы воды соответственно, по каналам 1 и 2; Z_1 , Z_2 - задающие сигналы автоматизированных затворов для соответствующих каналов.

Изменение технологических переменных во времени описывается через некоторую совокупность операторных соотношений. Кроме того, для варианта:

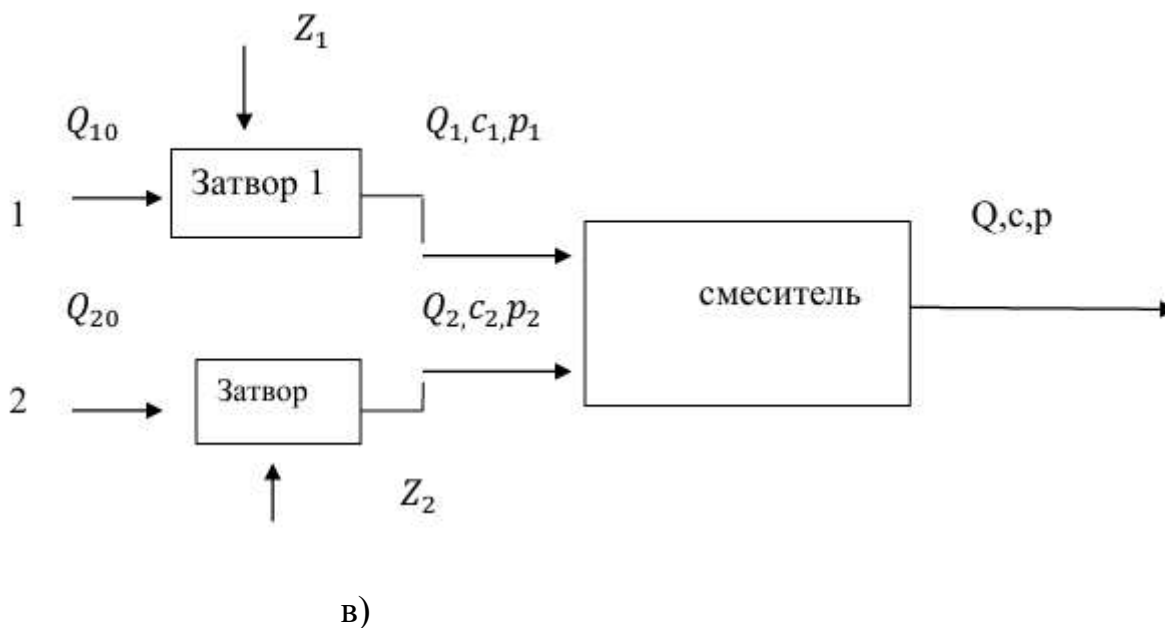
- а) имеем $Q_1(t) = Q_{10}(t)$,



а для варианта б) $Q_2(t) = Q_{20}(t)$



В этом случае выходной поток будет равен $Q_{\max} = Q_{10} + Q_{20}$



Таким образом, при использовании варианта а) технологической схемы требуемого конденсацию возможно задавать лишь в соответствии со следующим неравенством: $C_1 \leq C_0 \leq \frac{C_1 Q_{10} + C_2 Q_{20}}{Q_{10} + Q_{20}} < C_2$ (4.23)

$$Q_{10} + Q_{20}$$

Вариант б) также не обеспечивает возможности управления объемом выходного потока. В этом случае управляемым является входной поток Q_2 . Для него всегда выполняется равенство:

$$Q_2(t) = Q_{20}(t) \quad (4.24)$$

Входной поток Q_1 удовлетворяет неравенству

$$0 \leq Q_1(t) \leq Q_{10}(t) \quad (4.25)$$

Рассуждая аналогично предыдущему случаю будем иметь

$$\tilde{N}_\partial = \frac{\tilde{N}_1 Q_1 + C_2 Q_{20}}{Q_1 + Q_{20}} \quad (4.26)$$

$$Q_1 + Q_{20}$$

Откуда
$$Q_1 = \frac{\tilde{N}_2 - \tilde{N}_\partial}{\tilde{N}_\partial - \tilde{N}_1} \quad (4.27)$$

При $Q_1 = 0$ имеем $C_{\partial \max} = C_2$

При $Q_1 = Q_{10}$
$$C_{\partial \min} = \frac{\tilde{N}_1 Q_{10} + C_2 Q_{20}}{Q_{10} + Q_{20}}$$

Таким образом возможные пределы изменения концентрации минералов в выходном потоке, для данного варианта, определяется неравенством

$$C_1 < \frac{C_1 Q_{10} + C_2 Q_{20}}{Q_{10} + Q_{20}} \leq \tilde{N}_\partial \leq \tilde{N}_2 \quad (28)$$

Объем выходного потока будет лежать в пределах

$$Q_{20} \leq Q \leq Q_{10} + Q_{20} \quad (29)$$

В случае использования варианта в) возникает возможность и необходимость управления не только концентрации минералов, но и выходного потока Q_1 . В этом случае требуемая концентрация C_∂ может задаваться в пределах неравенства (4.2). Выясним допустимую область задания выходного объемного расхода Q_∂ . Из соотношения (4.10) и (4.15) можно записать

$$\begin{cases} Q_1 + Q_2 = Q_{\partial} \\ (C_{\partial} - \tilde{N}_1)Q_1 - (C_2 - C_{\partial})Q_2 = 0 \end{cases} \quad (4.30)$$

Решая систему относительно Q_1 и Q_2 , получим

$$\begin{cases} Q_1 = \frac{C_2 - C_{\partial}}{C_2 - C_1} Q_{\partial}; \\ Q_2 = \frac{\tilde{N}_{\partial} - \tilde{N}_1}{\tilde{N}_2 - \tilde{N}_1} Q_{\partial}; \end{cases} \quad (4.31)$$

Откуда имеем :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_2 - C_{\partial}}{\tilde{N}_2 - \tilde{N}_1} \quad (4.32)$$

Учитывая, что должны выполняться неравенства: $Q_1 \leq Q_{10}$, $Q_2 \leq Q_{20}$,

Из (4.31) и получаем:

$$\begin{cases} Q_{\partial} \leq \frac{\tilde{N}_2 - \tilde{N}_1}{\tilde{N}_2 - \tilde{N}_{\partial}} Q_{10} \\ Q_{\partial} \leq \frac{\tilde{N}_2 - \tilde{N}_1}{\tilde{N}_{\partial} - \tilde{N}_1} Q_{20} \end{cases}$$

Откуда окончательно имеем

$$0 \leq Q_{\partial} \leq \min \left\{ \frac{C_2 - C_1}{C_2 - C_{\partial}} Q_{10} > \frac{C_2 - C_1}{C_{\partial} - \tilde{N}_1} Q_{20} \right\} \quad (4.33)$$

Таким образом, возможный объем выходного потока, в случае принятия варианта в), зависит от значения требуемой концентрации.

4.4.2 Стратегии управления

В рассматриваемой задаче цель управления может заключаться в том, чтобы

а) стабилизировать концентрацию на выходе

б) обеспечить концентрацию на выходе, не превышенную некоторой заданной величины

В зависимости от цели, соответственно, могут быть высланы различные стратегии управления.

Следует отметить следующее. Преследование цели б) подразумевает некоторую неоднозначность и допускает некоторое множество решений. Цель а) обеспечивается единственным решением в пределах реализованной структуры. Однако практическая реализация обеспечивает достижение цели с некоторой ошибкой. Поэтому на кранике имеет смысл выбрать цель а) и задать небольшую допустимую область концентраций, значения в которой не превышает заданного значения. Это означает, что фактически выбирается цель б) с малой области допустимых концентраций, задача решается как для цели а).

Для объемного расхода цели могут быть так и те, однако они имеют смысл только лишь для технологической схемы в) В технологических схемах а) и б) объемный расход является неуправляемым.

Стратегия управления, для технологических схем а) и б) оказываются простыми.

Технологическая схема

а) Стратегия α : Если концентрация на выходе больше заданной, то затвор 2 прикрывается и уменьшается расход Q_2 ; Если концентрация ниже заданной, то затвор 2 прикрывается, увеличивая расход Q_2 (Стратегия стабилизации).

Стратегия β : При достижении концентрации некоторой величины C_0 (или величины $C_0 - \varepsilon$, $\varepsilon > 0$) расход Q_2 уменьшается, чтобы обеспечить неравенство $C \leq C_0 - \varepsilon$. При уменьшении концентрации, ничего не предпринимается (стратегия поддержания концентрации ниже заданной).

Технологическая схема б) Стратегия α : Если концентрация на выходе больше требуемой, то затвор 1

приоткрывается и увеличивается расход Q_1 ; если концентрация ниже заданной, то затвор 1 прикрывается и уменьшается расход Q_1 .

Стратегия β : При достижении концентрации некоторой величины C_0 (или величины $C_0 - \varepsilon, \varepsilon > 0$) расход Q_1 увеличивается, чтобы обеспечить неравенство $C \leq C_0 - \varepsilon$. При уменьшении концентрации минералов на выходе, ничего не предпринимается.

Технологическая схема в)

Данная технологическая схема, в зависимости от вида цели управления, допускает два класса возможных стратегий управления. В качестве цели могут выбраны либо поддержание выходного расхода « Q_1 » и цели могут и выходной концентрации « C » около заданных значений (Q_0, \tilde{N}_0) , либо удержание Q и C в некоторой, достаточно широкой области. Обычно такая область задается неравенствами

$$\left. \begin{array}{l} Q \geq Q_0 \\ \tilde{N} \leq \tilde{N}_0 \end{array} \right\} \quad (4.34)$$

Для каждого из этих случаев существует возможность возникновения различных ситуаций требующих управляющих воздействий. Например когда требуется обеспечение системой равенств.

$$\left. \begin{array}{l} Q = Q_0 \\ \tilde{N} = \tilde{N}_0 \end{array} \right\} \quad (4.35)$$

Возможны следующие ситуации:

а) $Q > Q_T$ и $C = C_T$

д) $Q > Q_T$ и $C > C_T$

б) $Q < Q_T$ и $C = C_T$

е) $Q < Q_T$ и $C > C_T$

в) $Q = Q_T$ и $C > C_T$

ж) $Q > Q_T$ и $C < C_T$

г) $Q = Q_T$ и $C < C_T$

з) $Q < Q_T$ и $C < C_T$

Стратегия управления должна предусматривать возможность приведения системы, попавшей в любую из перечисленных ситуаций, к ситуации (4.35). Аналогичные ситуации возникают и в для цели вида (4.34). Отклонением от цели в этом случае является ситуации б), в), е), з).

4.4.3 Модель объекта управления

Рассматриваются модели динамики объекта в линейном приближении.

Динамические связи между входами

(Q, C) смесителя в сильной мере определяется его конструкцией. В линейном приближении сосредоточенная модель смесителя в изображении можно представить в следующем виде.

$$\left. \begin{aligned} Q(p) &= W_{q1}(p)Q_1(p) + W_{q2}(p)Q_2(p) \\ C(p) &= -W_{c1}(p)Q_1(p) + W_{c2}(p)Q_2(p) \end{aligned} \right\} \quad (4.36)$$

Здесь знак минус во второй строчке указывает на то, что увеличение расхода $Q_1(t)$ приводит к уменьшению выходной концентрации. К приведенным уравнениям следует добавить уравнения систем «привод – затвор» по каналам управления низкоминерализованной и высокоминерализованной воды

$$Q_i(p) = W_i(p)U_i(p) \quad (4.37)$$

Тогда для вышеприведенных технологических схем модели объектов управления будут иметь следующий вид.

Технологическая схема

а)

$$\left. \begin{aligned} Q(p) &= W_{q1}(p)Q_{10}(p) + W_{q2}(p)W_2(p)U_2(p) \\ C(p) &= -W_{c1}(p)Q_{10}(p) + W_{c2}(p)W_2(p)U_2(p) \end{aligned} \right\} \quad (4.38)$$

Технологическая схема б)

$$\left. \begin{aligned} Q(p) &= W_{q1}(p)W_1(p)U_1(p) + W_{q2}(p)Q_{20}(p) \\ C(p) &= -W_{c1}(p)W_1(p)U_1(p) + W_{c2}(p)Q_{20}(p) \end{aligned} \right\} \quad (4.39)$$

Технологическая карта в)

$$\left. \begin{aligned} Q(p) &= W_{q1}(p)W_1(p)U_1(p) + W_{q2}(p)W_2(p)U_2(p) \\ C(p) &= -W_{c1}(p)W_1(p)U_1(p) + W_{c2}(p)W_2(p)U_2(p) \end{aligned} \right\} \quad (4.40)$$

Заметим, что $Q_{10}(t)$ и $Q_{20}(t)$ являются неуправляемыми возмущениями. В простейшем случае они принимают состояние исходное значение.

Схемы управления. В технологической схеме а) управляющим воздействием является сигнал $U_2(t)$. При реализации линейной системы этот сигнал формируется следующим образом

$$\left. \begin{aligned} E_c(p) &= C_\delta(p) - C(p); \\ U_2(p) &= W_{U2}(p)E_c(p); \end{aligned} \right\} \quad (4.41)$$

Формирование управляющего воздействия $U_1(t)$ в технологической схеме б) осуществляется следующим образом

$$\left. \begin{aligned} E_c(p) &= C_\delta(p) - C(p); \\ U_1(p) &= W_{U1}(p)E_c(p); \end{aligned} \right\} \quad (4.42)$$

Если используется технологическая схема в) формируются два управляющих сигнала $U_1(t)$, $U_2(t)$

$$\left. \begin{aligned} E_1(p) &= C_\delta(p) - C(p) \\ E_2(p) &= Q_\delta(p) - Q(p) \\ U_1(p) &= W_{11}(p)E_1(p) + W_{12}(p)E_2(p) \\ U_2(p) &= W_{21}(p)E_1(p) + W_{22}(p)E_2(p) \end{aligned} \right\} \quad (4.43)$$

ВЫВОДЫ

Работа получившая отражение в данном разделе по изучению технологического процесса получения поливной воды на основе смешивания минерализованной воды и воды «чистой», позволила:

1. Установить, что процесс смешивания может представлять высокий интерес с точки зрения создания технологического объекта управления на внутрихозяйственной части оросительной сети.
2. С этой целью, п.1, был предложен состав машин и оборудование, а так же структурирован процесс на основе разработанных различных вариантов схем смешивания.
3. В качестве минерализованной воды использовать воду дренажной системы по откачки грунтовых вод и вод из коллекторно- дренажной сети ВОС.
4. Разработать теоретические аспекты смешивания и основные стратегии управления, и на этой основе создать модель управления смешиванием.
5. Установить, что на структуре внутрихозяйственной оросительной сети формируется автоматизированный модуль, как основы для создания АСУТП (смешиванием), которая функционально способна быть интегрирована в работу МОС. При этом временная часть оросительной системы ВОС не используется.

ГЛАВА 5. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОЛИВНОЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВЕ КАПЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА.

За последние годы в Узбекистане к наиболее разработанным водосберегающим технологиям относят системы капельное орошение. Для рассматриваемого способа полива характерно непрерывное, на протяжении вегетации, снабжение растений водой в соответствии с их водопотреблением. При этом поливная норма или разовая водоподача достигает предельно малого значения, приближаясь по своей величине к текущему водопотреблению растений. Накопленный опыт показывает, что существенно снижается поливная норма и увеличивается урожай. Например, при капельном орошении оросительная норма снижается на 40...60 % по сравнению с традиционными поверхностным орошением и дождеванием, а урожай увеличивается соответственно: хлопчатника на 21 и 18 %, картофеля на 13 и 33, овощей на 117 и 107, винограда на 20 и 17, яблок на 30 и 20 % [7].

На ряду с этими показателями, структура поливного участка и всей внутрихозяйственной площади, отведенной под систему капельного полива подвергается значительным структурным изменениям. Кроме того на ВОС, в т.ч. на поливных участках, появляются оборудование, машины и приборы промышленного назначения, а так же средства автоматизации в виду внедрения капельного орошения. Поэтому настоящие исследования и решение практических вопросов проводились с точки зрения расширения промышленного насыщения ВОС и её интеграции в межхозяйственную структуру на этой основе. .

5.1 Технологические процессы и основное оборудование

Осуществление рассматриваемых технологий возможно лишь при условии механизации и автоматизации. Применяют специальное технологическое оборудование и средства автоматизации, без которых такие способы полива в промышленных масштабах не могут быть реализованы.

Термин «капельное орошение» используется для определения такого способа полива, который характеризуется следующими принципами:

1. Полив осуществляется при низком расходе воды.
2. Полив осуществляется относительно длительный период времени.
3. Полив осуществляется непосредственно в корневую систему растения.
4. Полив может осуществляться в заранее запланированных интервалах.
5. Полив осуществляется при относительно низком давлении воды.

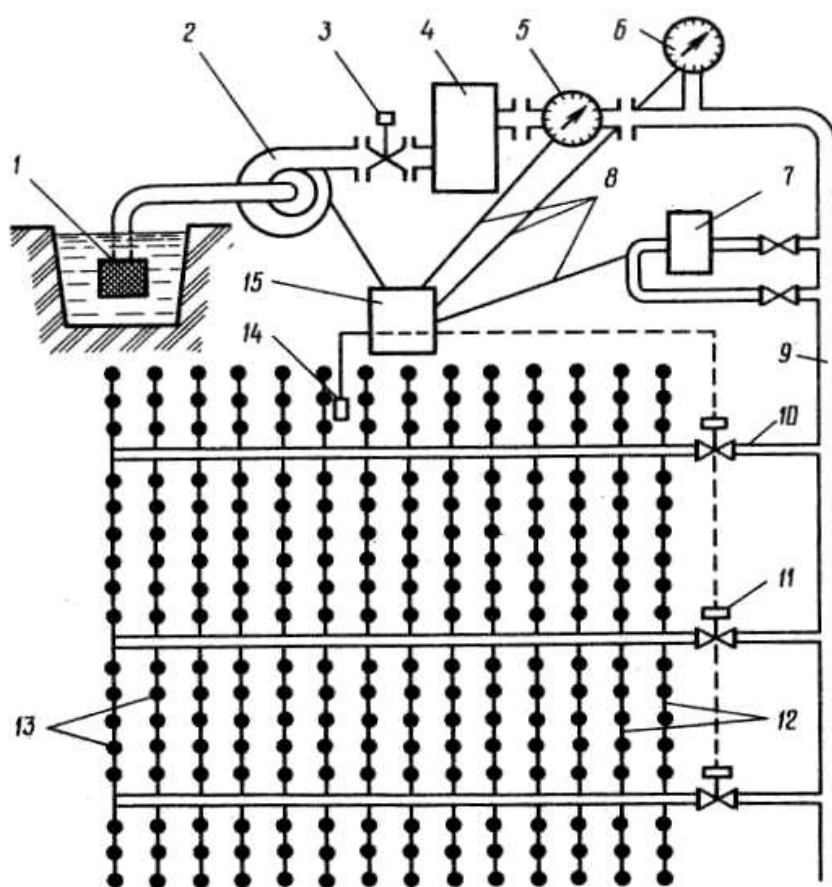


Рис. 5.1 Стандартная схема полива
и оборудование

1- водозаборный узел; 2- насос; 3- центральная задвижка; 4- фильтр; 5-счетчик расхода воды; 6- манометр; 7 – устройство для приготовления и подачи удобрений в трубопроводную сеть; 8- каналы связи; 9- магистральный трубопровод; 11 –дистанционно управляемая задвижка; 10 – распределительный трубопровод; 13 – блок управления задвижки; 12,13 – капельница; 14 – датчик необходимости полива; 15- пульт управления.

При капельном орошении вода подается к растениям при помощи сети магистральных водопроводов, их ответвлений и капельных лент со встроенными капельницами. Каждая капельница подает к корневой системе

растения определенное, точное количество воды и минеральных удобрений. Вода и питательные вещества попадают в землю непосредственно через капельницы.

Далее вода проходит к корневой системе благодаря силе тяжести и капиллярному взаимодействию. Таким образом, подача воды и питательных средств, происходит непрерывно и гарантирует, что растение будет получать их в достаточном количестве. А это, в свою очередь, обеспечит высокий и качественный урожай сельхозкультур. При этом способе полива сельскохозяйственных культур оросительная вода специальными микроводовыпусками (капельницами) подается малыми расходами непосредственно в корнеобитаемую зону растений, поддерживая на протяжении всей вегетации влажность почвы на уровне, близком к оптимальному. Кроме того, вместе с водой при необходимости подают элементы питания и ядохимикаты.

Достоинства капельного орошения — значительная экономия оросительной воды (20...30%), локальное увлажнение почвы, возможность увлажнения крутых склонов. Отпадает необходимость в дренаже.

Основные недостатки — засоряемость отверстий капельниц твердыми примесями и отложениями солей. Пластмассовые трубопроводы могут повреждаться грызунами.

Применять капельное орошение экономически целесообразно при дефиците водных ресурсов и невозможности использования другой техники полива из-за водной эрозии, при возделывании высокодоходных культур (плодовые, виноград, ягодные и другие — в основном многолетние насаждения).

5.1.1 Система подачи воды

Выделяют две системы подачи воды при капельном орошении: ручная и автоматическая. Практика показала, что наиболее эффективно применять напор воды 0,07–0,28 МПа (0,7–2,8 атм.). Ручной способ применяют в основном для маленьких участков. В таком случае системы капельного полива упрощают, периодичность полива определяют на глаз,

исходя из влажности почвы. Для больших участков применяют автоматическую систему капельного полива. Система включает в себя в целом: водозаборный узел, насос, центральная задвижка, фильтр, счетчик расход воды, манометр, устройство для приготовления и подачи удобрений в трубопроводную сеть, каналы связи, магистральный, распределительный и поливной трубопроводы, капельницы, датчик необходимости полива, пульт управления, рис. 5.1

Вода из капельной трубки поступает в капельницу, далее вытекает порционно (каплями) наружу через дроссель. При этом достигается увлажнение почвы на глубину до 1 м, и зона увлажнения образуется шириной до 2,6 м. При этом почва в междурядьях остается сухой, что исключает возможность бурного роста сорняков.

5.2 Технологическая последовательность работы оборудования капельного орошения

Вода для капельного полива может подаваться из разных источников: из колодца, скважины, водопровода, озера, реки, ручья и т. п. В зависимости от чистоты воды нужно определить интенсивность фильтрации, чтобы предотвратить засорения отверстий капельниц, трубок, инжекторов, капельных лент и др. Для первичной очистки воды от крупных механических примесей используют песчано-гравийные, керамзитовые, щебеночные и прочие кассетные фильтры. Для финальной очистки используют открытые гидроциклоны, дисковые фильтры с пенополистирольным компонентом, сетчатые фильтры и т. п. Затраты на организацию фильтрации занимают примерно 10-15% от всех вложений в систему капельного полива.

Магистральные, распределительные и поливные трубопроводы. Для прокладки магистральных и распределительных трубопроводов с диаметром от 38 до 51 мм. используют поливинилхлоридные и полиэтиленовые трубы, а для поливных – полиэтиленовые диаметром 3–10 мм. Магистральные и

распределительные трубопроводы размещают под землей, а для соединения капельниц применяют выводные трубки (рис.3). Поливные трубопроводы размещают обычно над землей, и крепят при помощи подвесных хомутов (рис. 3). Расстояние между поливными трубопроводами определяют в соответствии с шириной междурядий сельхозкультур (обычно от 0,6 до 0,8 м.) или расстоянием между рядами деревьев.



Рис. 5.2. Последовательность функционирования оборудования.

5.3. Подвод воды для функционирования оборудования и условия автоматизации для капельного орошения.

Подача воды в систему капельного орошения. Обычно воду в систему подают при помощи низко или средненапорных водяных насосов (центробежные насосы производительностью 1–6 м³/ч с напором 10–40 м.). На маленьких участках насосы не используют, а вместо них можно применить водонапорные башни или отдельные цистерны, баки, предварительно установив их на высоте от 2 до 5 м. над землей. Для использования капельниц большего диаметра используют низконапорные системы.

Принципиальная схема автономной системы капельного орошения приведена на рисунке 5.3. Эта система механизирована и автоматизирована. Режим работы капельниц определяется агротехническими требованиями и осуществляется автоматически при помощи датчика влажности. Система снабжена устройством очистки оросительной воды во избежание засорения капельниц. Из-за вероятности засорения капельниц окислами железа рекомендуют применять в качестве магистральных и распределительных трубопроводов асбестоцементные трубы, а в качестве участковых и поливных — полиэтиленовые. Возможно управление с одного центрального пульта группой автономных установок.

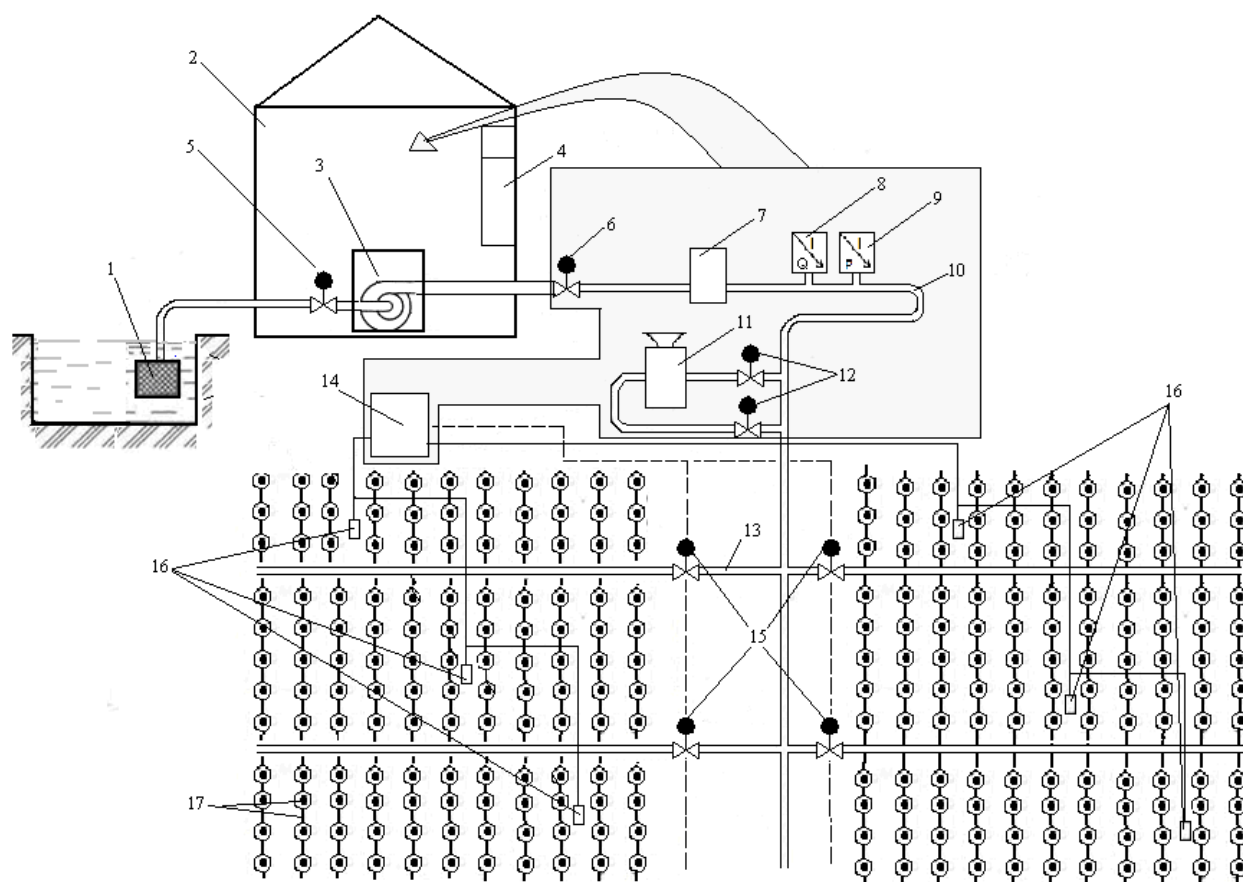


Рис.5.3 Принципиальная схема автономной системы капельного орошения.

1. Водозаборное сооружение
2. Помещение насосной станции
3. Насосная установка

4. Щит управления
5. Задвижки насосов
6. Задвижка на подающем трубопроводе
7. Фильтр
8. Датчик расхода
9. Датчик давления
10. Магистральный трубопровод
11. Устройство приготовления удобрений
12. Задвижки для подачи удобрений
13. Радиальный трубопровод
14. Пульт управления полива
15. Задвижки радиального трубопровода
16. Датчики полива
17. Гидранты капельного полива

Принципиальная схема автономной системы капельного орошения приведена на рисунке 5.3 Эта система также механизирована и автоматизирована. Режим работы капельниц определяется агротехническими требованиями и осуществляется автоматически при помощи датчика влажности. Система снабжена устройством очистки оросительной воды во избежание засорения капельниц. Из-за вероятности засорения капельниц окислами железа рекомендуют применять в качестве магистральных и распределительных трубопроводов асбестоцементные трубы, а в качестве участковых и поливных — полиэтиленовые. Возможно управление с одного центрального пульта группой автономных установок.

Как видим, характерные показатели промышленного наполнения существенно меняют внутрихозяйственную оросительную сеть. Так же выше изложенные материалы послужили основанием для изучения состояния капельного орошения в некоторых хозяйствах республики.

Нами были акцентировано внимание на схему подвода воды к участку, который находится под капельным орошением. Как было отмечено ранее вода для капельного полива может подаваться из разных источников.

Использование оборудования капельного полива совершенно не исключает внутривладельческих водораспределителей и участковых оросителей меньшего порядка, задача которых - подвод воды к машинам и оборудованию капельного орошения. При этом возникают дополнительные ирригационные устройства, без которых указанное оборудование работать не в состоянии. Эти соображения основываются на фактическом материале и примерах фермерских хозяйств Джизакской, Бухарской и Ташкентской областей. Указанные примеры отражены на рисунках производственных объектов использующих технологию капельного орошения.

Данные фото направлены на водозаборные емкости, куда вода поступает из участковых оросителей внутривладельственной оросительной сети. Рисунки 5.4 по объекту фермерского хозяйства Бухарской области.



Рис. 5.4 Водозаборные сооружения для капельного полива



Рис. 5.5 Водозаборные сооружения для капельного полива

Обращает на себя внимание, что в данном примере имеют место два бетонированных водозаборных сооружения, одинаковых размеров: 3,5м. х 5м. х 2м.

Аналогичное построение подвода воды, но уже от постоянного оросителя было отмечено на примере капельной технологии орошения В Ташкентской области.

Здесь следует сказать, что схемы полива на участках и в Бухарской области и в Ташкентской на территории эксплуатации оборудования были продольные и в примере Бухарской области вода подавалась через временный ороситель (шоx-арик), во втором случае из постоянного оросителя.

На рис.5.5 представлено оборудование (элементы подвода воды) на участке Ташкентской области.



Рис. 5.6. Водозаборное ГТС



Рис. 5.7 Подвод (подача воды)
в ГТС из ВОС



Рис.5.8 Разводка магистральных трубопроводов.

Помещение насосной с
оборудованием



Рис. 5.9 Оборудование помещения насосной станции.

Как видим подвод воды к оборудованию капельного полива осуществляется с помощью бетонированных емкостей сдвоенных каждая

площадью по 20 кв. м. и глубиной 2 м, общим объемом по 40 куб. м. в одном случае. Во втором примере гидротехническое сооружение подводящее воду к оборудованию представляет собой емкость площадью 375 кв.м (25 м. х 15 м.) и глубиной 3 м. общим объемом 1125 куб.м. Эти объекты становятся частью технологии полива. Всасывающие трубопроводы насосных установок капельного орошения размещаются в гидротехнических сооружениях - накопителях воды. Это обстоятельство ведет за собой целый ряд дополнительных технологических операций необходимых для осуществления питания водой гидромеханического оборудования технологии капельного орошения. Эти операции связаны с возникающими дополнительными условиями автоматизации:

- подача воды в ГТС, контроль и управление этим.
- заполнение ГТС водой, контроль и управление этим.
- контроль уровня воды в ГТС
- учет воды проходящей через ГТС.
- контроль состояния наносов в ГТС.
- очистка ГТС от наносов.

Кроме того изученные примеры технологических построений капельного полива в различных хозяйствах показали, что в структуре внутрихозяйственной оросительной сети появляется дополнительное устройство в виде гидротехнического сооружения. Забор воды из него может осуществляться не только для капельного орошения, но и для других технологий полива.

На рис. 5.10 представлены изменения в структуре внутрихозяйственной оросительной сети, когда на ней применяется капельное орошение согласно примерам, взятым из производственных условий, имеющих место сегодня.

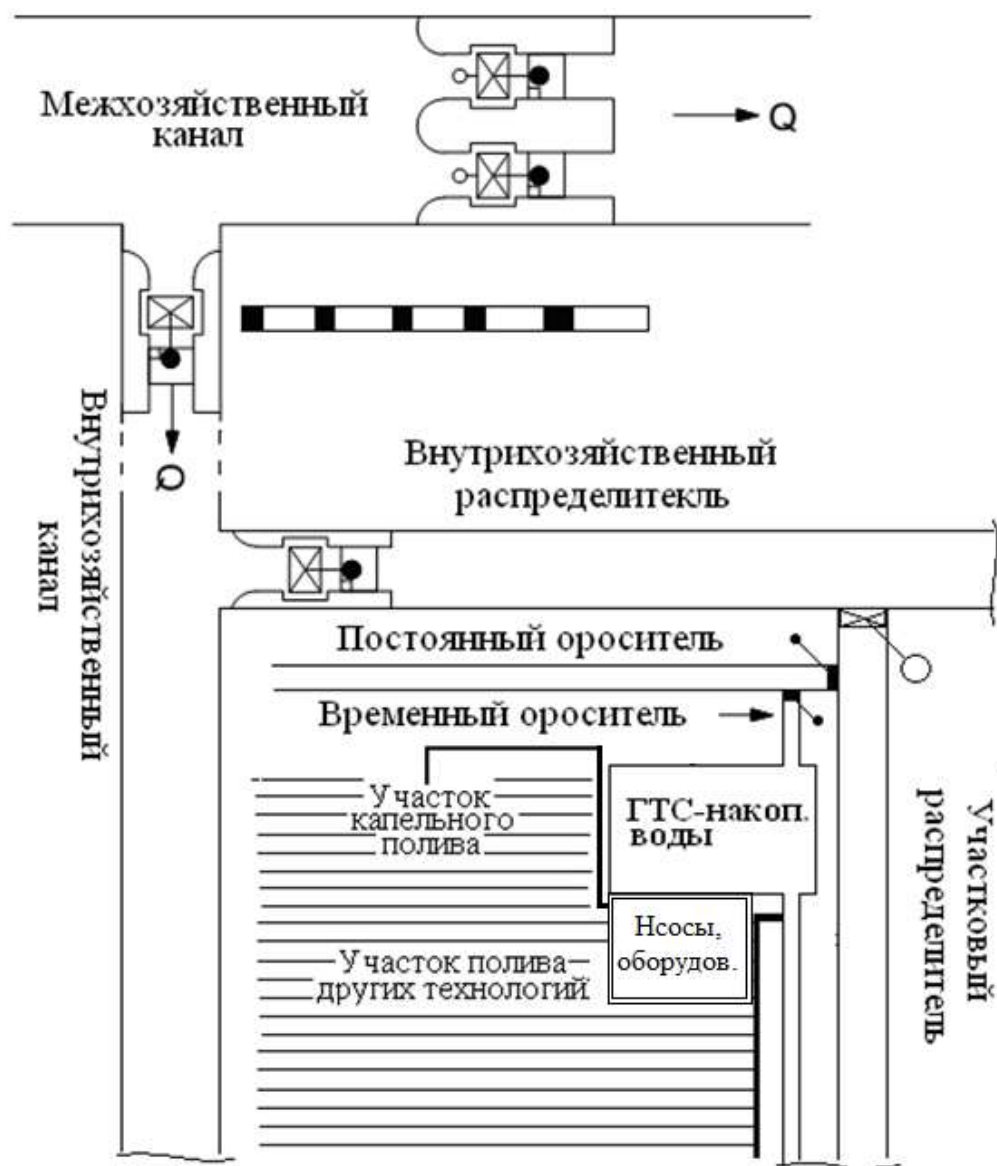


Рис. 5.10. Структурные изменения на внутрихозяйственной оросительной сети при капельном орошении

Указанные выше примеры и возникающие изменения на поливных участках напрямую связаны с учетом воды при капельном орошении. Видимый учет можно производить в трубопроводах и, собственно с оборудованием капельного полива комплектуются соответствующие средства автоматизации. Однако наряду с этим, а именно с непрерывным методом контроля воды в закрытых трубопроводах возникает возможность упростить и удешевить учет воды при капельном поливе, путем перехода к порционному измерению расходуемой воды и соответственно учету. А

именно просто «считать» воду по количеству использованных накопителей в процессе полива. Так же необходимо совершенствовать процессы управления, так как с этим тесно связан учет воды, и кроме того, следует рассмотреть вопросы отображения информации о используемой воде на основе современных средств информационно-коммуникационных технологий. Например иметь возможность оперативно управлять процессом и получать информацию на своем личном смартфоне.

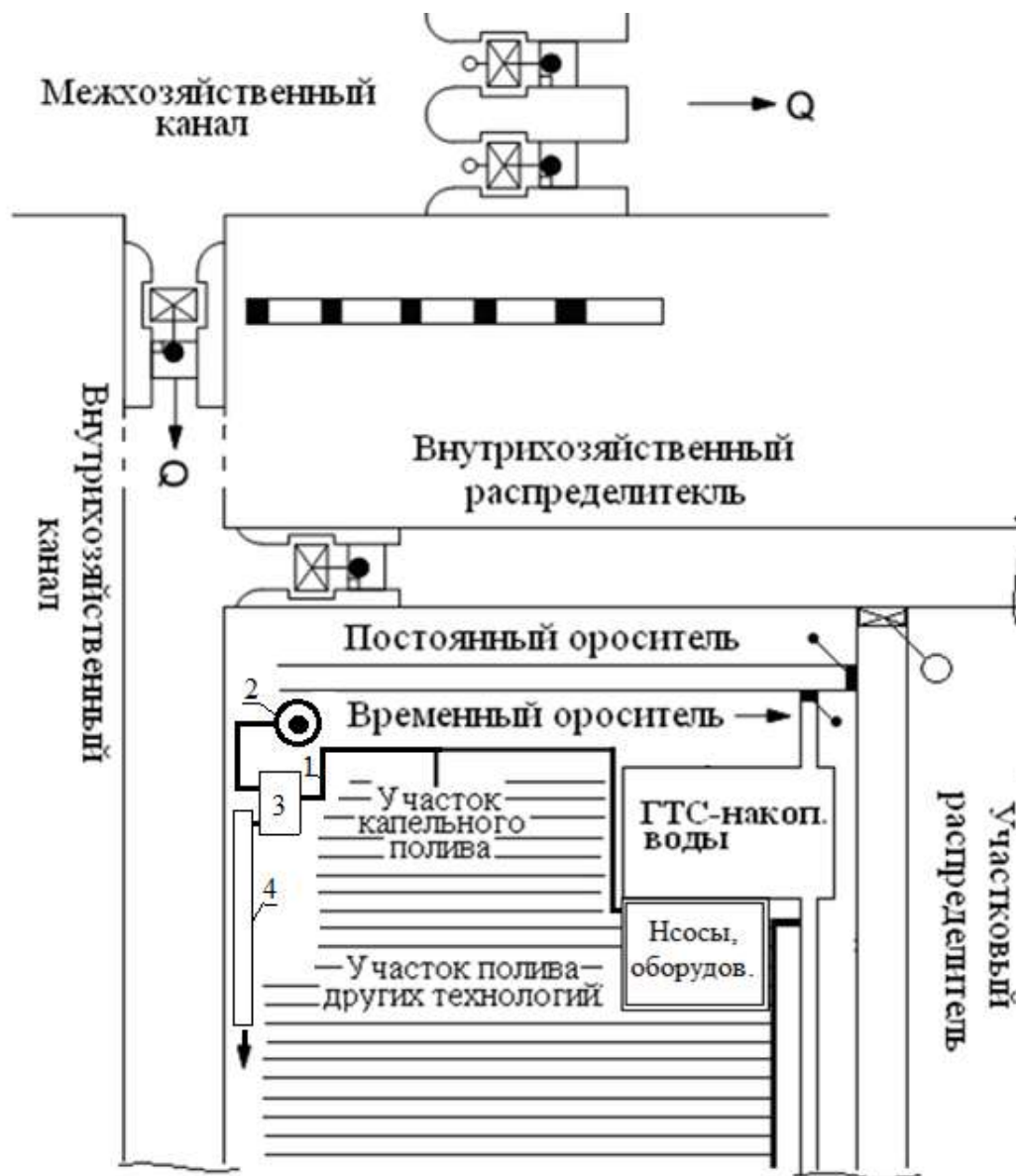


Рис.5.11 Структурные изменения на внутрихозяйственной оросительной сети при смешивании и дозировании.

Основным таким вопросом были структурные изменения на

внутрихозяйственной оросительной сети. Эти изменения как, показано на рис.5.10 касались капельного полива. Однако вопросы смешивания (гл.4) так же, как и капельный полив дополняют своим техническим составом поливной участок, рис. 5.11. Засоленная вода от скважины 2 через лоток поступает в смеситель 3, куда от насосного оборудования капельного полива поступает «чистая» вода оросительной сети. При этом засоленная вода рассматривается как реагент при смешивании. То есть вопросы дозирования применяются именно к этой воде. Смешанная вода может поступать на полив, в том числе и капельный в ГТС-накопитель. В целом, если говорить о водоподготовке на внутрихозяйственной оросительной сети, то речь идет, по большому счету, о подготовке водных растворов для полива капельными методами. Таки растворы (после смесителя) могут разливаться в контейнеры промышленного образца объемом 1 м^3 .

ВЫВОДЫ.

1. Изученные примеры технологических построений капельного полива в различных хозяйствах показали, что в структуре внутрихозяйственной оросительной сети появляется дополнительное устройство в виде гидротехнического сооружения. Забор воды из него может осуществляться не только для капельного орошения, но и для других технологий полива.

2. Указанные подходы получили развитие в виде решения вопросов смешивания и дозирования, которые так же, как и капельный полив дополняют своим техническим составом поливной участок. При этом засоленная вода из дренажной скважины или возвратная вода из коллектора, рассматривается как реагент при смешивании. То есть вопросы дозирования в данной работе применяются именно к этой воде. В целом, если говорить о водоподготовке на внутрихозяйственной оросительной сети, то речь идет, по большому счету, о подготовке водных растворов для полива капельными методами. Таки растворы (после смесителя) могут разливаться в контейнеры промышленного образца объемом 1 м^3 .

3. Указанная в п.1 и 2 причина породила дополнительные условия автоматизации: -подача воды в ГТС, контроль и управление этим;- заполнение ГТС водой, контроль и управление этим; - контроль уровня воды в ГТС; - учет воды проходящей через ГТС; - контроль состояния наносов в ГТС; - очистка ГТС от наносов; смешивание воды дренажной с «чистой», дозирование засоленной воды для смешивания.

4. Необходимо совершенствовать процессы управления капельным поливом и это может быть на одном участке со смешиванием, что говорит о тесной связи этих технологий, а так же учета поливной воды, и постановки на промышленную основу производство поливных растворов.

ГЛАВА 6. ИНТЕГРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ: «МЕЖХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КАНАЛ - ПОЛИВНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ» ДЛЯ АСУ ОРОСИТЕЛЬ НОЙ СЕТИ

В настоящей главе были рассмотрены некоторые условия и базовые допущения для понимания транспортировки воды из межхозяйственного канала к поливному участку, на основе чего строилась интегрированная модель движения воды по указанному маршруту. Здесь не следует проводить аналогии с IWFM (Integrated Water Flow Model), когда необходим инструмент для планирования использования подземных и поверхностных вод. Нами рассматривались физика процессов, законы движения потока, динамические уравнения, блок-схемы управления. Это позволило интегрировать искомый процесс на основе инерционных, апериодических с запаздыванием звеньев для создания системы управления потоком: межхозяйственный канал-внутрихозяйственный канал-хозяйственный канал-поливной распределитель

6.1 Структура водораспределения по маршруту межхозяйственный канал - поливной распределитель

Охватывая изложенный в предыдущих главах материал, следует сказать, что подача воды на внутрихозяйственную оросительную сеть осуществляется по постоянным и временным оросителям. Временные оросители для технологии капельного полива, технологии сифонного без сбросного полива, технологии смешивания, становятся ненужными и могут быть исключены из структуры ВОС. Поэтому, связывая маршрут транспортировки воды из межхозяйственного канала к поливному распределителю, была составлена схема, рис. 6.1. Данная схема составлена с учетом принципов водораспределения, и привязана к бьефу межхозяйственного канала. Как видим схема отражает процесс водораспределения для 8-ми водовыпусков, при этом 8 - й и 9 – й снабжают водой исследуемые нами единичные поливные участки I и II ВОС.

Таким образом формируется структура управления движением воды по маршруту : межхозяйственный канал - внутрихозяйственный канал –

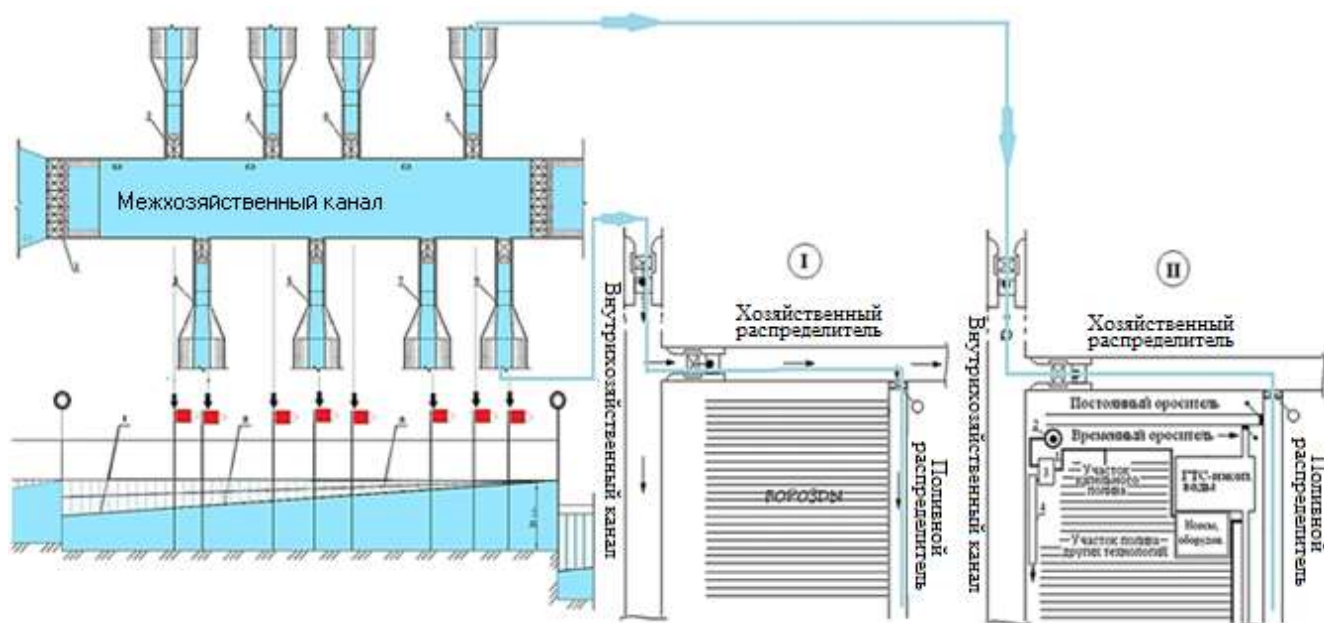


Рис. 6.1 Схема водораспределения для единичных поливных участков I и II

хозяйственный распределитель – поливной распределитель. Такая структура, на этапе исследования, была выделена из общей структуры транспортировки воды по межхозяйственному каналу в поливной распределитель. Для этой структуры строилась модель для n участков в последовательном соединении, с учетом регулирующих затворов.

6.2 Интегрированная модель оросительной сети от МОС к поливному распределителю

Для этого были уточнены базовые допущения, переменные величины и параметры структуры по которой двигается вода. Например канал является открытым с длиной L , направление движения воды к поливному участку; гидравлика потока инерционна, типична для уравнений Сен- Венана; регулирующие затворы размещены у оголовков участков и канал разбит на n ячеек (участков). При этом базовые переменные и параметры:

x - координата вдоль канала,
 L - длина.(м)

t - время. (с.)

$A(x,t)$ — площадь сечения потока. $A = B \cdot h$, B — ширина.(м)

$h(x,t)$ — глубина воды (м).

$Q(x,t)$ — расход ($\text{м}^3/\text{с}$).

$q_l(x,t)$ — удельный приток/поток из каналов ($\text{м}^3/\text{с}/\text{м}$)

n — коэффициент Мэннинга.

S_0 — уклон дна.

P_w — мокрая площадь (поперечный периметр).

$R_h = A/P_w$ — гидравлический радиус.

K_{SEEP} — коэффициент потерь (просачивание) ($\text{м}/\text{с}$ или $\text{м}^3/\text{с}/\text{м}$ в зависимости от модели).

GATE — модель затвора (зависимость $Q_{gate} = f(\text{opening}, h_{upstream}, h_{downstream})$).

Уравнение модели, на основе массы потока

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l(x, t) - q_{seep}(x, t) \quad (6.1)$$

где

q_{seep} — потери на просачивание ($\text{м}^3/\text{с}/\text{м}$).

Динамический процесс в нижнем бьефе при изменении открытия затвора описывается уравнением Сен-Венана с учетом инерционности потока выражением (3.1) в главе 3.1.

$$h(t) = \frac{L_{1p} + K_1}{N_{1p} + 1} \cdot \frac{\gamma}{x_2} (N_H A_H + R_H Z) e^{-\tau'_{1p}}$$

Однако для потока в кинематической волне, с учетом массы потока по уравнению модели (6.1), привязанной к текущему расходу характеризуется гидравлической зависимостью

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (6.2)$$

где: S приблизительно = S_0

$$A = B S_0 h, P_w = B + 2h, R_h = \frac{Bh}{B+2h}$$

Модель q_{seep} просачивания будет иметь вид

$$q_{seep}(x, t) = \alpha_s \cdot P_w(x, t)$$

Разбивая поток (канал) на ячейки (участки) будем иметь n ячеек для каждой I ячейки:

$$A_i^{t+\Delta t} = A_i^t - \frac{\Delta t}{\Delta x} (Q_i^t - Q_{i-1}^t) + \Delta t (q_{l,i}^t - q_{seep,i}^t) \quad (6.3)$$

Где Q_i^t вычисляется через h_i^t по выражению (6.2)

Управление подачей в ячейки (на участки) производится затвором (регулятором). Модель затвора

$$Q_{gate} = C_d \cdot B_{gate} \cdot u(t) \cdot \sqrt{2g \cdot \max(h_{up} - h_{down}, 0)} \quad (6.4)$$

Затворы разделяют отдельные участки потока и поддерживают заданный объём, уровень в участке, а так же расход на полив. Таких затворов по маршруту движения, рис.6.1 - три. Затвор в системе управления воспринимает управляющий сигнал, и отрабатывает свое положение $u(t)$. Так же затвор связан с контроллером PI или PID.

6.2.1 Модель межхозяйственного канала

Моделирование потока в каналах осуществлялось как динамическое гидравлического объекта в линейных звеньях. То есть общее представление модели имело вид передаточной функции :

$$G(s) = \frac{K e^{-\tau s}}{(Ts+1)^n} \quad (6.5)$$

где:

K — коэффициент передачи (m^3/s на m открытия затвора или на изменение расхода),

T — постоянная времени, s

τ — запаздывание, s

n — порядок звена.

Таким образом межхозяйственный канал, рис. 6.1, который транспортирует воду до внутрихозяйственного канала, имеет значительную длину, медленный сильно инерционный процесс, большие запаздывания, характеризуется, как апериодическое звено второго порядка с запаздыванием. []

$$G_1(s) = \frac{K_1 e^{-\tau_1 s}}{(T_{11}s+1)(T_{12}s+1)} \quad (6.5)$$

При этом типичные диапазоны параметров: $T_{11}, T_{12} = 0.5-2$ ч, $\tau_1 = 10-30$ мин, при длинных бьефах до 40 мин. [].

6.2.2 Модель внутрихозяйственного канала

Участок (ячейка) под названием внутрихозяйственный канал через затвор, транспортирует воду от межхозяйственного канала к отдельному (ым) хозяйственному (ым) распределителю (ям). Он характеризуется, как более короткий, быстрее реагирует, меньше запаздывание. Тип модели: апериодическое звено первого порядка с запаздыванием.

$$G_2(s) = \frac{K_2 e^{-\tau_2 s}}{T_2 s + 1} \quad (6.6)$$

Типичные диапазоны параметров $T_2 = 10-30$ мин, $\tau_2 = 5-15$ мин.

6.2.3 Модель хозяйственного распределителя

Последующий канал это хозяйственный распределитель. Он регулирует подачу воды по поливным участкам, с его головы управляется затвором. Основная динамика связана с движением воды в коротком отрезке и работой затвора, при этом небольшие запаздывания.

Типичную модель можно аппроксимировать усилительным звеном с запаздыванием, или инерционным звеном с малой постоянной времени.

$$G_3(s) = K_3 e^{-\tau_3 s} \quad (6.7)$$

или

$$G_3(s) = \frac{K_3 e^{-\tau_3 s}}{T_3 s + 1} \quad (6.8)$$

Типичные диапазоны параметров постоянная времени $T_3 = 3-10$ мин, чистое запаздывание $\tau_3 = 1-5$ мин.

6.2.4 Модель поливного распределителя

Последний канал в рассматриваемом интегрированном потоке поливной распределитель, который по сути является объектом управления из которого через сифоны вода поступает на полив в борозды. Именно этот канал является без сбросным. Он характеризуется малым гидравлическим запаздыванием, динамика его в основном определяется **работой затвора** и локальной с замкнутой ёмкостью.

Модель объекта - апериодическое звено первого порядка, редко без запаздывания

$$G_4(s) = \frac{K_4}{T_4 s + 1} \quad (6.9)$$

Типичные диапазоны параметров , постоянная времени $T_4 = 1-3$ мин, чистое запаздывание $\tau_4 = 0-1$ мин.

Таблица 6.1

№	Участок канала	Тип передаточной функции	Характер динамики
1	Межхозяйственный	$G_1(s) = \frac{K_1 e^{-\tau_1 s}}{(T_{11}s + 1)(T_{12}s + 1)}$	Второй порядок с запаздыванием Медленный, большой объём
2	Внутрихозяйственный	$G_2(s) = \frac{K_2 e^{-\tau_2 s}}{T_2 s + 1}$	Первый порядок с запаздыванием Средняя инерция
3	Хозяйственный распределитель	$G_3(s) = \frac{K_3 e^{-\tau_3 s}}{T_3 s + 1}$	Усилительное звено с запаздыванием Быстрое изменение потока
4	Поливной распределитель	$G_4(s) = \frac{K_4}{T_4 s + 1}$	Апериодическое звено 1-го порядка Быстрое, локальное управление

Передаточная функция всей интегрированной системы рассматривается как последовательное соединение звеньев каналов, транспортирующих воду от межхозяйственного канала к поливному распределителю.

$$G_{int}(s) = G_1(s) \cdot G_2(s) \cdot G_3(s) \cdot G_4(s)$$

То есть мы можем говорить о комбинированном распределённом запаздывании и инерционности, что характерно для всей оросительной сети.

Для проверки был рассмотрен пример в численных параметрах для предполагаемой имитационной модели – таб.6.2. Параметры выбирались с учетом предполагаемого усиления такого как открытие затвора для обеспечения необходимой подачи расхода для 100-120 сифонов в поливном распределителе.

Таблица 6.2

Участок канала	К	T (мин)	τ (мин)	Тип звена
Межхозяйственный	0.8	90, 60	20	2-й порядок
Внутрихозяйственный	1.0	25	10	1-й порядок
Хозяйственный распределитель	0.9	7	3	1-й порядок
Поливной распределитель	1.0	2	0	1-й порядок

Параметры в секундах для интегрированной передаточной функции:

Межхозяйственный: $K_1 = 0.8$, $T_{11} = 5400$ s, $T_{12} = 3600$ s, $\tau_1 = 1200$ s.

Внутрихозяйственный: $K_2 = 1.0$, $T_2 = 1500$ s, $\tau_2 = 600$ s.

Хозяйственный распределитель: $K_3 = 0.9$, $T_3 = 420$ s, $\tau_3 = 180$ s.

Поливной распределитель: $K_4 = 1.0$, $T_4 = 120$ s, $\tau_4 \approx 0$ s.

Интегрированные параметры:

суммарный коэффициент передачи $K_{tot} = K_1 K_2 K_3 K_4 = 0.72$,

суммарное запаздывание $\tau_{tot} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 = 1980$ s (= 33 мин).

Интегрированная передаточная функция (примерная)

$$G_{int}(s) = \frac{0.72 e^{-1980s}}{(T_4s+1)(T_3s+1)(T_2s+1)(T_{12}s+1)(T_{11}s+1)} \quad (6.10)$$

где подставленные T:

$$G_{int}(s) = \frac{0.72 e^{-1980s}}{(120s+1)(420s+1)(1500s+1)(3600s+1)(5400s+1)} \quad (6.11)$$

В зависимости от того как подается вход – единичное управляющее воздействие либо входной импульс при $s \rightarrow 0$ усиление будет равно

$G_{int}(0) = 0.72$ (м³/с). Этот показатель соответствует единовременному расходу через 100 сифонов диаметром 0,055 м с расходом 0,0125 м³/с., с ошибкой 40 литров в поливном распределителе.

Разлагая знаменатель в виде многочлена степени 5 получим для характеристического уравнения выражение:

$$\text{den}(s) = a_5s^5 + a_4s^4 + a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0,$$

где (округлённо, численно):

$$a_5 = 1,469664 \times 10^{15}$$

$$a_4 = 1,7406575 \times 10^{13}$$

$$a_3 = 4,74768 \times 10^{10}$$

$$a_2 = 3,86604 \times 10^7$$

$$a_1 = 11040$$

$$a_0 = 1$$

в числителе - константа 0,72

Такие большие и разнородные коэффициенты для динамических моделей процессов имеющих место при транспортировке воды от межхозяйственного канала к поливному участку - нормальное явление при перемножении множителей с большими временами. При численных расчётах может понадобиться нормализация или работа в форме $\prod(T_i s + 1)$, а не в виде раскрытого полинома, чтобы избежать численных ошибок.

6.3 Имитационная модель управления уровнем в поливном распределителе

Анализируя схему полива и сифонную подачу воды в борозды можно прийти к следующему выводу: 1. Ликвидировать временную оросительную сеть и устанавливать сифоны в поливной распределитель для подачи воды сразу в борозды. 2. Создать систему автоматического поддержания и регулирования уровня в постоянном распределителе. 3. Создать систему без сбросного орошения, то есть такую систему автоматического управления уровнем в поливном распределителе, которая была способна обеспечивать баланс между поступающей воды в постоянный ороситель и отводимой водой в борозды через сифоны. По аналогии водораспределения на межхозяйственных каналах, нами была применена методика поддержания уровня путем, регулирования по нижнему бьефу. Функциональная сема такого регулирования представлена на рис. 6.2.

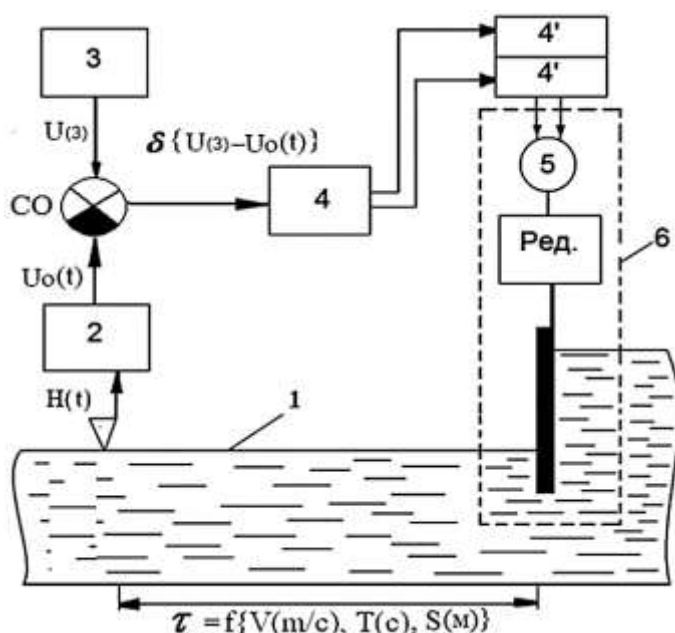


Рис. 6.2 Функциональная сема поддержания уровня в поливном оросителе

Система работает следующим образом. Когда уровень воды соответствует уровню, установленному задатчиком 3 в нижнем бьефе, т.е. датчик 2 фиксирует заданный уровень, на выходе сравнивающего органа СО сигнал рассогласования отсутствует. Электродвигатель 5 исполнительного

механизма 6, не работает. Если вода превышает или опускается ниже заданного (установленного) в нижнем бьефе уровня, датчик 2 измеряет этот изменившийся уровень, преобразует его в сигнал $UO(t)$ и подает на сравнивающий орган СО. Сюда же поступает заданный сигнал $U(3)$ от задатчика. Эти два сигнала сравниваются и вырабатывается сигнал рассогласования дельта: $\delta = U(3) - UO(t)$. Знаки «плюс» и «минус» говорят о превышении заданного значения уровня или наоборот его понижении. Этот сигнал δ воздействует на блок 4. Блок 4 это усилитель с управляющим органом. Блок 4 (конкретно управляющий органа) формирует управляющие сигналы, которые включают магнитные пускатели 4'.

В зависимости от того какой пускатель включен, двигатель ИМ (затвора) вращается в ту или иную сторону, поднимая или опуская рабочий орган ИМ (шит затвора), что в свою очередь приводит к повышению или понижению уровня воды в нижнем бьефе, где устанавливаются сифоны.

Выше изложенная методика управления уровнем воды предполагала установку по длине поливного распределителя ста сифонов, с их выводом в борозды. Модели приведенной выше методики были опробованы в среде программы Matlab на основе постановки задачи и математической одномерной лианеризованной модели Сен-Венана. Это позволяет учесть запаздывание потока по длине участкового распределителя и более точно определить место установки датчика и параметры регулятора:

$$\frac{dh}{dt} + \frac{A_0}{B_0} \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad \frac{dv}{dt} + g \frac{dh}{dx} + \frac{v}{T_f} = 0 \quad (6.12)$$

Где

$h/(x,t)$ — уровень воды (переменная состояния),

$v/(x,t)$ — скорость потока,

A_0 — среднее сечение канала,

B_0 — ширина поверхности потока,

T_f — постоянная трения,

g — ускорение свободного падения

Соответственно, для работы в Matlab, канал можно аппроксимировать линейной системой первого порядка:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{T}(K u(t) - h(t)) \quad (6.13)$$

где

$h(t)$ — уровень в нижнем бьефе,

$u(t)$ — управляющий сигнал (положение затвора),

K — коэффициент передачи канала,

T — постоянная времени объекта.

Выражения (6.12) и (6.13) позволяют сформулировать в MATLAB задачу для осуществления регулирования уровня воды в участковом распределителе по нижнему бьефу и рассчитать параметры ПИД-регулятора для поддержания командного уровня и подачи воды в борозды. Для чего были определены исходные данные:

Длина участкового распределителя $L = 100$ м.

Длина борозды $L_b = 100$ м.

Диаметр сифонов $d = 0.055$ м.

Количество сифонов $N = 100$

Условия для работы автоматического регулятора были выбраны по следующим показателям и исходя из:

1. Скачкообразного воздействия на входе, то есть воздействие регулирующего органа, щита затвора.
2. Первоначальных принятых значений $K = 1$, $T = 50$ с.
3. Места установки датчика 10 м., 70 м., 90 м., с учетом, что для распределённых систем оптимальная точка измерения уровня определяется минимумом функции запаздывания между входом и выходом.
4. Способности программы оптимизировать место установки датчика с учетом п. 3, а так же принимая во внимание, что для распределённых систем оптимальная точка измерения уровня определяется минимумом функции запаздывания между входом и выходом. Для нашего случая установка датчика предполагала расстояние 10 м., 70 м., 90 м.

Таким образом в среде MATLAB производилась дискретизация участкового распределителя по его длине методом конечных разностей,

моделирования участкового распределителя по процессу (распространения) уровня, применение ПИД-регулятора по нижнему бьефу распределителя.

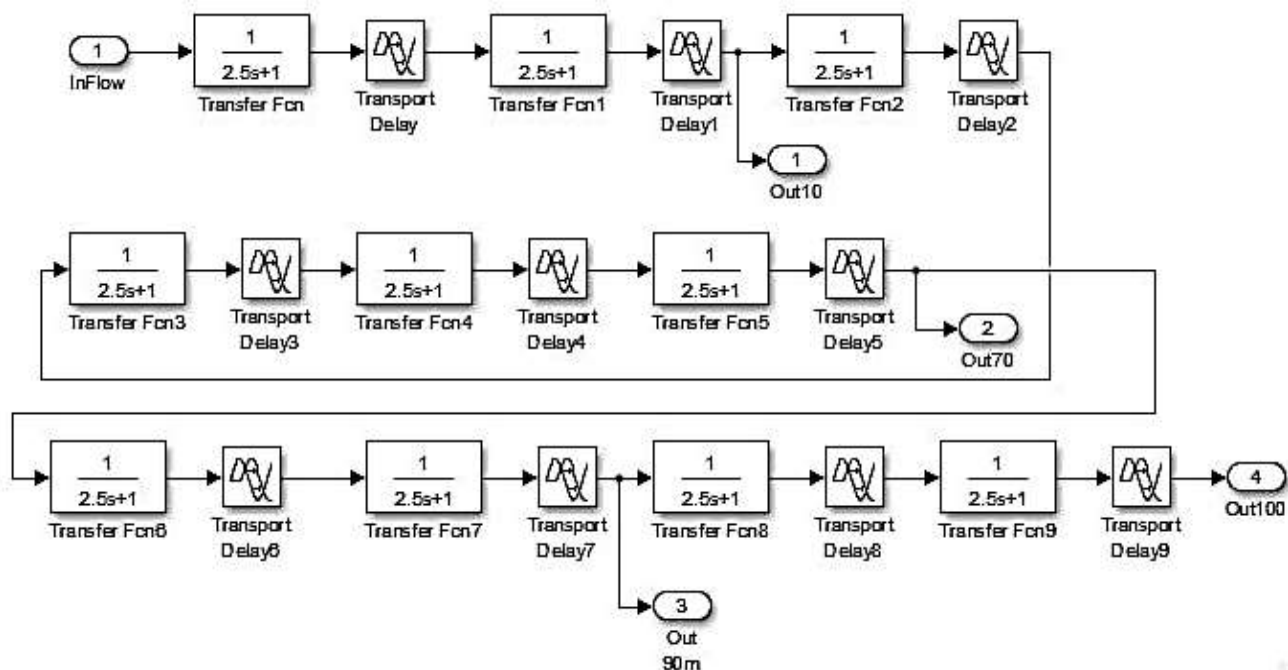


Рис. 6. 3 Имитационная модель процесса управления

На рис. представлена имитационная модель процесса управления, разбитая на 10 подучастков, для характеристики и оценки правильности установки датчика и устойчивости регулятора.

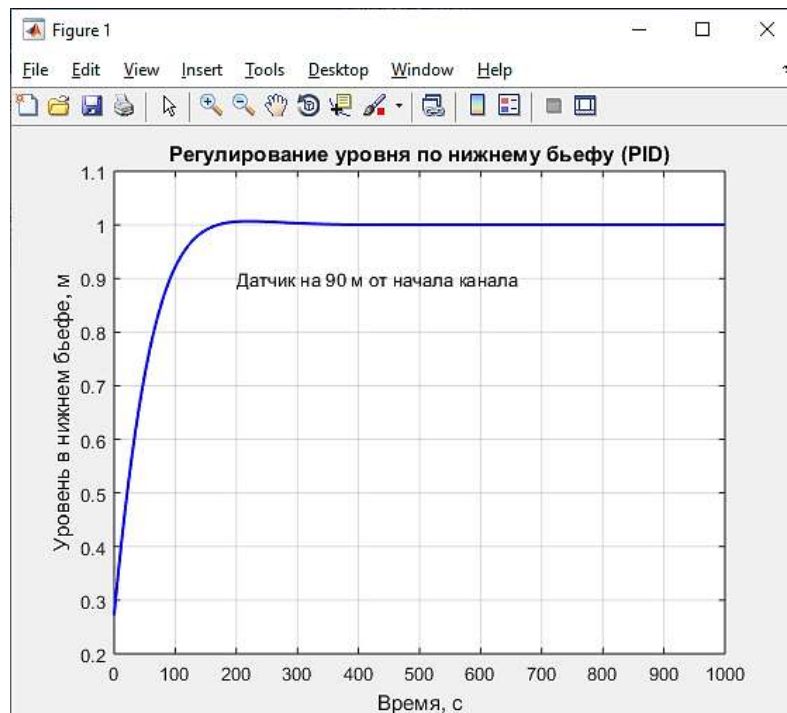


Рис. 6.4 Переходной процесс в поливном оросителе.

Переходной процесс, рис.6. 4., по испытанию поддержания уровня в среде MATLAB отражает соответствие основных параметров регулирования и объекта управления. Так например оптимальное расстояние датчика от затвора - ~ 90 м; тип использованного регулятора – ПИД; параметры регулирования (по Ziegler–Nichols) : $K_p = 1.5$, $T_i = 50$ с.), $T_d = 12.5$ с.

Если обратиться к структуре оросительной сети, рис. 6.1, то можем видеть не одну «ветвь» для которой решались настоящие задачи управления. Как видим только водовыпусков – 8 во внутривозвратные оросители для данного бьефа. И каждый бьеф с многочисленными разветвлениями. Мы же проводили исследовали только одного маршрута (контура) управления. Очевидно, что решение поставленной целостной задачи не может обойтись без современных методов теории нечетких множеств, разработки нейросети и соответствующих интеллектуальных решений привязанных к многочисленным объектам ВОС и к их большим параметрическим данным.

Настоящая монография является первой частью работы по созданию в будущем целостной системы управления, направленной на интегрирование внутривозвратных технологических объектов управления орошением в межхозяйственную сеть.

ВЫВОДЫ

В настоящей главе рассматривались физика процессов, законы движения потока, динамические уравнения, блок-схемы управления. некоторые условия и базовые допущения для понимания транспортировки воды из межхозяйственного канала к поливному участку, на основе чего строилась интегрированная модель движения воды по указанному маршруту.

Были построены математические модели отдельных элементов этого маршрута: межхозяйственного, внутривозвратного, хозяйственного, поливного оросителя, и в целом модель всего интегрированного участка.

Для проверки решаемой задачи поливного оросителя в программе MatLab, была построена идентификационная модель и переходной процесс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенной работы следует сказать:

1. Материалы и исследования изложенные в монографии были направлены на создание водосберегающих автоматизированных технологий среди которых выделяются автоматизированные поливные модули на основе без сбросных поливов и технологии связанные с водоподготовкой на основе смешивания и подготовки поливных растворов. Учитывая, что обозначенные выше водосберегающие автоматизированные технологии в перспективе могут занять свою нишу на ВОС на ряду с капельным орошением и дождеванием, нельзя не констатировать, что поливной участок и в целом внутрихозяйственная оросительная сеть приобретает сегодня устойчивые свойства структурированного объекта с технологическим оборудованием и может рассматриваться как технологический объект автоматизации – ТОУ.

2. При этом важным фактором такого позиционирования ВОС является средства и сеть транспортировки воды внутри ВОС. Эта сеть, от забора воды из межхозяйственного канала до временного оросителя ВОС, снабжается аналогичными с МОС электрифицированными затворами и стандартными промышленными шкафами управления, датчикам положения исполнительного механизма, датчиками конечных положений рабочего органа и пр.

3. При этом единство первого и второго обстоятельств предполагают концепцию интеграции внутрихозяйственной оросительной сети в межхозяйственную вплоть до источника орошения.

4. На указанной выше основе были введены понятия «автоматизированных модульных технологий» для формирования технологических объектов управления на внутрихозяйственной оросительной сети: рекомендуемого сифонного полива из оросителя с повышенным расходом, рекомендуемой технологии смешивания полевых вод, существующего капельного полива.

5. Были изучены физика процессов, законы движения потока, динамические уравнения, блок-схемы управления. некоторые условия и базовые допущения

для понимания транспортировки воды из межхозяйственного канала к поливному участку, на основе чего строилась интегрированная модель движения воды по указанному маршруту.

Были построены математические модели отдельных элементов этого маршрута: межхозяйственного, внутривоспользовательского, хозяйственного, поливного оросителя. Это позволило интегрировать искомый процесс на основе инерционных, апериодических с запаздыванием звеньев для создания системы управления потоком: межхозяйственный канал-внутривоспользовательский канал-хозяйственный канал-поливной распределитель

Настоящая монография является первой частью работы по созданию интегрированной модели управления с применением математических методов, современных средств управления водными ресурсами - цифровых, информационно-коммуникационных, компьютерных технологий, обладающих большим быстродействием, гибкостью логики, значительным объемом памяти, способностью обработки большого количества информации (Big Data), реализации сложных законов управления на основе искусственного интеллекта.

Содержание

	Стр.
	3
ГЛАВА I	
ВВЕДЕНИЕ.....	3
СТРУКТУРА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ И УСЛОВИЯ ИНТЕГ- РАЦИИ АСУ МЕЖХОЗЯЙСТВЕННОЙ И ВНУТРИХОЗЯЙСТ- ВЕННОЙ СЕТЕЙ.....	6
1.1. Характеристика ВОС, как технологического объекта управ- ления и схемы орошения при водосберегающем поверхнос- тном поливе (хлопчатника)	7
1.1.1. Поливной участок, структура и водосбережение при поверх- ностном поливе.....	8
1.2. Сбор хлопка в 2025 г. и перспективы без сбросного полива (хлопчатника) с помощью сифонов.....	11
1.3. Схемы и структурные условия для автоматического без сбросного полива через сифоны.....	12
1.3.1. Технология полива сифонами и условия его автоматизации.	14
Выводы.....	16
ГЛАВА 2	
СРЕДСТВА И МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ВОС, КАК УСЛОВИЯ ИНТЕГРАЦИИ С МЕЖХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРОСИ- ТЕЛЬНОЙ СЕТЬЮ.....	18
2.1. Методы и средства для получения параметрической инфор- мации по расходу и уровню.....	18
2.2. Средства электрической автоматизации.....	23
2.3. Электрифицированный затвор гидротехнического сооруже- ния.....	24
2.4. Существующие системы регулирования автоматизации водораспределения.....	25
2.5. Динамические процессы в системах автоматического под- держания уровня нижнего бьефа на ВОС.....	29
2.6. Вопросы инерционности действия систем при непрерыв- ном регулировании.....	31
Выводы.....	34
ГЛАВА 3	
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОЛИВНОЙ МОДУЛЬ НА ОСНО- ВЕ БЕЗСБРОСНОГО СИФОННОГО ПОЛИВА ИЗ ОРОСИТЕЛЯ С ПОВЫШЕННЫМ РАСХОДОМ.....	35
3.1. Исследование динамических процессов водотока при перемещении затвора ГТС и условий автоматизации полива из оросителя с повышенным расходом.....	37
3.2. Проявление особенностей водотока поливного распредели- теля при перемещении затвора.....	47
3.3. Разработка параметров и анализ САУ водотоком для совер- шенствования метода автоматизации полива.....	48
3.4. Схема регулирования водотока.....	50
3.5. Исследование динамических процессов в элементах	

	систем управления.....	52
3.5.1	Переходной процесс привода затвора.....	53
3.5.2	Переходной процесс в объекте.....	56
3.5.3	Орган сравнения.....	61
3.5.4	Орган управления приводом затвора.....	63
3.5.5	Орган включения привода затвора.....	65
3.5.6	Орган упреждения.....	66
3.6	Автоматизированный поливной модуль, как метод АСУ ТП полива.....	66
3.6.1	Структуризация поливного участка и моделирование элементов САУ.....	67
3.6.2	Технические решения автоматического регулирования при создании автоматизированного поливного модуля.....	69
3.6.3	Автоматизированный поливной модуль и его технические характеристики.....	73
	Выводы	75
ГЛАВА 4	АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОЛИВНОЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ СМЕШИВАНИЯ ПОЛЕВЫХ ВОД	79
4.1	Изучение технологических решений смешивания и условий автоматизации.....	79
4.2	Функциональная и структурная схемы непрерывного смешивания.....	83
4.3	Формирование технических средств и теоретические исследования автоматизируемого процесса смешивания.....	85
4.3.1	Технические средства автоматизации, машины и оборудование.....	86
4.4	Теоретические аспекты смешивания.....	88
4.4.1	Возможные технологические схемы.....	91
4.4.2	Стратегии управления.....	94
4.4.3	Модель объекта управления.....	97
	Выводы	99
ГЛАВА 5	АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОЛИВНОЙ МОДУЛЬ НА ОСНОВЕ КАПЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА	100
5.1	Технологические процессы и основное оборудование.....	100
5.1.1	Система подачи воды.....	102
5.2	Технологическая последовательность работы оборудования капельного орошения	103
5.3	Подвод воды для функционирования оборудования и условия автоматизации для капельного орошения.....	104
	Выводы	114
ГЛАВА 6	ИНТЕГРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ: «МЕЖХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КАНАЛ - ПОЛИВНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ» ДЛЯ АСУ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ	116
6.1	Структура водораспределения по маршруту межхозяйственный канал - поливной распределитель.....	116

6.2	Интегрированная модель оросительной сети от МОС к поливному распределителю.....	117
6.2.1	Модель межхозяйственного канала.....	119
6.2.2	Модель внутрихозяйственного канала.....	120
6.2.3	Модель хозяйственного распределителя.....	120
6.2.4	Модель поливного распределителя.....	121
6.3	Имитационная модель управления уровнем в поливном распределителе.....	124
	Выводы.....	128
	Заключение.....	129
	Содержание.....	131
	Использованная литература.....	134

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Мирзиёев Ш.М. «Об утверждении концепции развития водного хозяйства республики Узбекистан на 2020-2030 годы» Указ Президента РУ от 10.07.20. №У6024. г. Ташкент.
2. Хамидов М.Х. ва бошқалар. Кишлоқ хўжалиги гидротехник мелиорацияси. ТИМИ. Тошкент. 2008.
3. Begmatov I.A. ва бошқалар Water resources management in rice irrigation systems and improvement of ecological situation in rice growing river basins IOP Conference Series: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020
4. Бегматов И.А., Пулатова М.М. К вопросу совершенствования научного обоснования мелиоративных работ в Узбекистане в условиях изменения климата. Журнал «Агро процессинг» Том 3 № 2 2021.
5. Begmatov I.A., и другие. Анализ засоленности земель и определение уровня засоленности орошаемых земель с использованием технологий геоинформационных систем. ИнтерКарто. ИнтерГИС Том 26 №3.2020.
6. Бараев Ф.А. ва б. Мелиорация қилинадиган ерларда қишлоқ хўжалик экинларининг ҳосилдорлигини башорати. ТИМИ. Тошкент.2008
7. Икрамов М.Р. и др. Мониторинг использования водных ресурсов на уровне АВП Труды НИИИВП при ТИИМ. Т 2012
8. Усманов А.М., Х.Б.Кузиев Хўжалиқлар ичидаги каналардаги сувни ҳисобга олиш масалалари. Гидротехника иншоотларининг самарадорлигини, ишончилиги ва хавфсизлигини ошириш Республика илмий-амалий конфенция материаллари. Тошкент 2013 .
9. Ахмежходжаева И.А., Икрамов Н. Повышение эффективности водопотребления на уровне АВП и фермерских хозяйств. Труды НИИИВП при ТИИМ. Т 2012 г.
10. Usmanov A.M, Yadgarova D.B Automation of water metering based on differential flow sensors for on-farm irrigation channels (Scopus), Web of Conferences. Environmental technologies and engineering for sustainable development ETESD-2024 Tashkent, October 24, 2024. Cod. 8006
11. Usmanov A.M, Yadgarova D.B, Nig'matov A.M Hydrostatic method in an adapted device level control for on-farm channels E3S Web of Conferences 452,2023
12. Usmanov A.M, Yadgarova D.B Organization of automated technology of mixing water for preparation of irrigation water in field conditions Journal of agriculture and life sciences volume 7, Issue-10, October, 2024. Philippines.
13. Ikramov M.R. i dr. Monitoring of water use at FAs level Works NIIP melioration. Tashkent. 2012. 4p.
14. Usmanov A.M. Improvement of water metering automation tools and methods for on-farm irrigation network. Research report. TIIM. Tashkent. 2014. 71p.
15. Karimov A.H., Mirzazhanov K.M., Isaev S.H.Increased productivity of water resources at the farm level. Water conservation: technologies and socio-economic aspects. Taraz, 2002.
16. Тематический каталог Метран . Уравнемеры. Расходомеры. Счетчики.

Челябинск. 2007.

17. Ключев А.С. Настройка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами. Справочное пособие. М. Энергия. 1996
18. Мартыненко И.И. «Проектирование систем автоматики». Агропромиздат, М, 1990.
19. Розанов Н.П. «Гидротехнические сооружения» М. Агропромиздат, 1985.
20. Фрайден Дж. Современные датчики. Техносфера. М. 2005
21. Динесенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. Телеком. М. 2009
22. Бегимов И. Автоматизация каналов ферганской долины. НИЦ МКВК. Т. 2010.
23. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации. Академия. М. 2007.
24. Тюрин В.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. СГЛА. С-Петербург 2006
25. Аракелов. П.Б. Совершенствование бороздкового полива. Мехнат. Т. 1989.
26. Бородин И.Ф., Кирилин Н.И. «Основы автоматики и автоматизации производственных процессов». М.. Колос, 2006.
27. Ганкин М. 3. Комплексная автоматизация и АСУТП водохозяйственных систем». М. Агропромиздат. 1991.
28. Бегимов И. Автоматизация каналов ферганской долины. Итоги работы по проекту. Ташкент. НИЦ МКВК. 2010.
29. Проект АСУТП ПК 1520 Аму-Бухарского МК . Промстой проект. Т 2005
30. Бегимов И. Опыт внедрения автоматизированного управления сооружениями (SCADA) на трансграничных водотоках Центральной Азии. Т. 2010.
31. Duhovnyj V. A., Shutter Yu. Voda v Centralnoi Azii_ proshloe_ nastoyashee_ budushee. Almati. «Kazah universiteti» 2012. 468 p. (in Kazahstan)
- Eremenko V.E. Rezhim. Irrigation regime and irrigation technique cotton. Tashkent, 1967. Pp. 49-64.
32. Bochkarev YA.V New technologies and measuring instruments, methods of organization of water accounting on irrigation systems. Monograph. Russian research Institute of land reclamation problems. Novocherkassk. 2012. 273 p.
33. Dospexov B.A. Methodology of field experience. М, "Kolos", 1985.

Усманов Азиз Магдалиевич

Ядгарова Дилноза Бахтияровна

«АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МОДУЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИВА В
ИНТЕГРАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ»

Монография

(часть 1)

Редактор:

Ташходжаева Н.

Подписано в печать _____ 20 _____ г.

Размер бумаги 60x84 1/16

Объем 8,5 п.л Тираж 10 экз. Заказ №

Отпечатано в типографии НИУ ТИИИМСХ

Ташкент - 100000, улица Кори-Ниязи, 39.