

**В. Н. Щедрин, А. В. Колганов,
С. М. Васильев, А. А. Чураев**

**ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ РОССИИ:
ОТ ПОКОЛЕНИЯ К ПОКОЛЕНИЮ**

В двух частях

Часть 2

Новочеркасск

2013

УДК 626.82
ББК 40.6
О 69

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В. Л. Бондаренко – доктор технических наук, профессор;
А. Д. Гумбаров – доктор технических наук, профессор.

Щедрин, В. Н., Колганов, А. В., Васильев, С. М., Чураев, А. А.

О 69 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – В 2 ч. – Ч. 2. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 307 с.

ISBN 5-93542-043-0

В подготовке материалов для отдельных разделов монографии принимали участие: Г. Т. Балакай, Ю. М. Косиченко, Ю. Ф. Снопич, Ю. Е. Домашенко, Д. С. Гузыкин, А. С. Капустян, А. В. Акопян, А. Н. Бабичев, Т. П. Андреева, Е. И. Шкуланов, Н. И. Балакай, С. Г. Балакай, Н. В. Антонова, В. В. Слабунов, П. В. Калинин, А. А. Пахомов, В. В. Бородычев, С. Я. Семененко, М. Н. Лытов, Л. Р. Нозадзе, М. А. Ляшков, Е. В. Павелко, Е. Д. Михайлов, Ю. А. Свистунов, М. Б. Дуэль, В. А. Назаренко, М. П. Якуба, А. А. Кулагин, А. В. Соловьев, В. В. Гордиенко, Ю. А. Петров, Г. В. Шабалин, Ю. В. Некрас, С. М. Тулиглович, Х. О. Мажидов.

В монографии, на основании комплексного ретроспективного анализа, рассмотрены вопросы технического и технологического развития оросительных систем в разрезе поколений. На основании теории развития сложных техногенных объектов дается современная оценка технического уровня элементов отечественных оросительных систем, мелиоративных ГТС и перспективный прогноз их развития. Приведены функциональные подходы реализации оросительных систем с элементами пятого поколения на примере автоматизированной системы динамического управления первой очереди Лево-Егорлыкской ОС.

Монография рассчитана на широкий круг специалистов проектных, строительных, эксплуатационных, учебных, научных организаций: мелиораторов, гидротехников, инженеров, экономистов, проектировщиков, студентов соответствующих профильных ВУЗов.

ISBN 5-93542-043-0

УДК 626.82
ББК 40.6
© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Часть 2

4 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЯ.....	5
4.1 Оценка технического уровня действующих ОС.....	5
4.2 Повышение технического уровня ОС до четвертого поколения.....	11
4.3 Конструктивные решения открытых ОС четвертого поколения.....	15
4.3.1 Оросительная система по патенту РФ № 1743481.....	15
4.3.2 Оросительная система по патенту РФ № 2353088.....	23
4.3.3 Оросительная система по патенту РФ № 2324332.....	26
4.3.4 Оросительная система по авторскому свидетельству СССР № 1249104.....	30
4.3.5 Оросительные системы по авторским свидетельствам СССР № 1249104, № 1481919 и № 1212382.....	31
4.3.6 Оросительная система по авторскому свидетельству СССР № 1356272.....	32
4.3.7 Оросительные системы по авторским свидетельствам СССР № 1287793, № 1319804, № 1478392 и № 1551291.....	33
4.4 Гидравлический расчет каналов для определения числа одновременно работающих ДМ «Кубань» на автоматизированной ОС.....	35
4.5 Гидравлический расчет распределительного канала П-образной формы на пропуск транзитного расхода при равномерном движении.....	37
4.6 Расчет распределительного канала при неустановившемся движении.....	39
4.7 Примеры оценки надежности автоматизированных ОС.....	40
4.8 Подпорно-регулирующие сооружения.....	41
4.8.1 Щитовые (клапанные) регуляторы.....	42
4.8.2 Регуляторы емкостного типа.....	47
4.8.3 Регуляторы для дождевальных машин и затворы-водовыпуски.....	50
4.8.4 Комбинированные регуляторы.....	52
4.8.5 Подпорно-регулирующие сооружения с использованием композитных гибких синтетических материалов.....	53
4.9 Динамическое управление водораспределением на открытых оросительных системах.....	55
4.9.1 Базовая структура системы управления водораспределением.....	56
4.9.2 Звенья объекта управления.....	58
4.9.3 Эквивалентные преобразования схемы динамического регулирования..	61
4.9.4 Алгоритм управления водораспределением.....	64
4.9.5 Алгоритм работы системы управления при технологических возмущающих воздействиях.....	64
4.9.6 Алгоритм отработки случайных возмущающих воздействий.....	65
4.9.7 Алгоритмы работы системы управления в условиях действия ограничений.....	66
4.9.8 Контроль за сбросами и дефицитами.....	71
4.9.9 Общий алгоритм работы системы управления водораспределением.....	72
4.9.10 Согласование графиков водозабора и водопотребления.....	74
4.9.11 Автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера.....	75
4.10 Структура комплекса технических средств (КТС).....	77
4.11 Структура и состав информационного обеспечения.....	78
4.12 Структура программного обеспечения.....	80
4.13 Обеспечение гибкой настройки на реальный объект.....	82
4.14 Пути технического и технологического совершенствования дождевальной техники с элементами пятого поколения.....	84

4.15 Модель расчета сезонной нагрузки на дождевальную машину	86
4.16 Вывод результирующего соотношения модели оптимизации сезонной нагрузки на ДМ	90
4.17 Анализ обеспечения информацией и расчетные формулы	95
4.18 Аппроксимация модели применительно к конкретным типам ДМ	99
5 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ЭЛЕМЕНТАМИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ АСУ I ОЧЕРЕДИ ЛЕОС	105
5.1 Характеристика объекта управления	105
5.2 Назначение АСУ ТП ЛЕОС	108
5.3 Функциональное обеспечение АСУ ТП ЛЕОС	110
5.4 Постановка задач управления орошением по агрометеопараметрам	113
5.5 Постановка задач оперативного планирования водопользования	114
5.6 Постановка задач централизованного управления межхозяйственным водораспределением	115
5.7 Постановка задач внутрихозяйственной подсистемы	115
5.8 Основные технические решения по созданию АСУ ТП «ЛЕОС-I»	116
5.8.1 Локальные системы управления водораспределением	117
5.8.2 Требования к созданию ОС, сформулированные по результатам исследований при разработке АСУ ТП «ЛЕОС-I»	120
5.9 Оснащение ЛЕОС средствами водоучета и водоизмерения	122
5.10 Техническая реализация нового способа измерения расхода и стока воды в открытых каналах по методу «уклон – площадь»	128
5.11 Разработка интенсифицированных технологий и усовершенствование технических средств орошения	132
5.11.1 Гидравлические расчеты водопроводящих элементов дождевальных машин ДКФ	137
5.11.2 Назначение диаметров полиэтиленового трубопровода дождевальных машин серии ДКФ	143
5.11.3 Обоснование расстановки насадок на дождевальных машинах ДКФ	149
5.12 Совершенствование широкозахватной поливной техники	153
5.13 Расстановка дождевальных аппаратов ДД-30 на дождевальной машине «Днепр-1М»	157
5.14 Разработка и исследования технологий работы и конструктивных решений дождевальных машин ДКФ	164
5.15 Эрозионно-безопасная длина бьефа при поливе ДКФ	167
5.16 Показатели качества выполнения технологического процесса дождевальной машиной ДКФ	170
5.17 Техничко-эксплуатационные показатели дождевальной машины ДКФ	172
5.18 Техничко-экономическая оценка использования дождевальной машины на примере Днепр-1М	175
5.19 Оценка экономической эффективности внедрения ДКФ-1ПК	178
5.20 Методика и результаты прогнозирования рынка поливной техники	180
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	183
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	184
ПРИЛОЖЕНИЯ	202
ПРИЛОЖЕНИЕ А Оросительные и оросительно-обводнительные системы Российской Федерации и их основные характеристики	203
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Основные конструкции, элементы, техника и способы полива на оросительных системах, которые характеризуют эволюцию поколений ОС	223

4 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ РЕАЛИЗАЦИИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЯ

При создании оросительных систем, начиная с первого и завершая третьим поколениями, основной задачей всегда было получение максимального количества сельскохозяйственной продукции. При этом проблемы оптимального использования ресурсов (энергетических, водных, технических) считались вторичными при решении основной задачи. Изменение экологической обстановки на орошаемых полях и прилегающих территориях привело к пересмотру целей и задач дальнейшего развития оросительных систем.

В последние два десятилетия в РФ более чем на половине всех орошаемых площадей была построена закрытая оросительная сеть, рассчитанная на использование дождевальной техники типа «Фрегат», «Днепр», «Волжанка», «Кубань» и др. Ориентация на использование закрытой оросительной сети обосновывалась необходимостью снижения непроизводительных потерь воды. При этом имелось в виду, что эксплуатационные организации могли использовать практически неограниченное количество дешевой электроэнергии.

Реализуемые в настоящее время в стране экономические механизмы стимулирования сфер народного хозяйства заставляют во многом пересмотреть взгляды как на сложившуюся стратегию развития мелиорации в стране, так и на пути использования уже имеющегося фонда оросительных систем.

Резкое повышение цен на энергоресурсы, металлы, различные виды техники и, как следствие, неадекватное повышение цен на сельскохозяйственную продукцию поставило проблему рационального использования мелиорируемых земель в разряд важнейших. Весьма актуальными становятся задачи повышения технического уровня оросительных систем, повышение надежности и экологичности их работы. Новые перспективы приобретают вопросы эксплуатации оросительных систем, особенно проблемы управления водоподачей и водораспределением на качественно новом уровне.

Бесспорно, что все перечисленные проблемы должны рассматриваться в обязательной увязке с конечными результатами работы над ними – видами, количеством и качеством производимой сельскохозяйственной продукции. Отсутствие научно обоснованного, взаимно сбалансированного подхода к решению этих проблем в значительной степени создало проблемы сегодняшнего дня.

Учитывая в предыдущих главах, на основе анализа существующих методов управления водораспределением, конструкций оросительных систем и отдельных их элементов с учетом динамических процессов, происходящих в водопроводящей сети и в увязке с развитием техники и технологий, приведены результаты исследований по созданию оросительных систем четвертого поколения, за счет разработки средств гидравлической автоматизации подпорно-регулирующих сооружений, повышению надежности работы как отдельных элементов сети, так и системы в целом. Результаты исследований, приведенные в данной работе, легли в основу ряда нормативно-методических документов, разработанных ФГБНУ «РосНИИПМ» и принятых к использованию широким кругом объединений строителей различных регионов РФ.

4.1 Оценка технического уровня действующих ОС

Как показал анализ, проведенный в предыдущих главах, действующие оросительные системы представляют собой комплекс гидротехнических сооружений, предназначенный для забора воды из источника орошения, транспортирования ее до орошаемого массива, распределения по поливным участкам и полива земель с целью создания оптимального водно-солевого режима почвы. В задачу оросительных систем входит также отвод с орошаемого массива дренажных, сбросных и грунтовых вод.

Исследованиям особенностей оросительных систем, разработке типовых решений технологических процессов водозабора, водораспределения и полива, принципов их автоматизации и телемеханизации с учетом режимов эксплуатации ОС посвящены работы С. Ф. Аверьянова, И. П. Айдарова, Г. И. Афанасика, Х. А. Ахмедова, А. А. Богущевского, Я. В. Бочкарева, Г. В. Воропаева, О. Г. Грамматикати, М. С. Григорова, С. Г. Журавлева, П. И. Коваленко, А. Н. Костикова, Б. С. Маслова, Н. Ф. Натальчука, А. А. Рачинского, Л. М. Рекса, В. А. Сурина, Е. Г. Филиппова, И. А. Шарова, Г. Ю. Шейнкина, Б. Б. Шумакова, Н. Я. Янишевского и других ученых.

Оросительные системы РФ содержат индивидуальную по конфигурации или техническим параметрам оросительную сеть, связанную с природно-хозяйственными условиями района строительства, но во всех системах можно выделить принципиально подобные фрагменты, из набора которых в том или другом сочетании и состоит сеть. Следовательно, из существующего разнообразия оросительных сетей можно выделить и их типовые элементы (фрагменты).

Для обоснования номенклатуры таких элементов (фрагментов) открытой оросительной сети и определения диапазонов изменения технологических параметров А. М. Жарковским был рассмотрен ряд современных ОС, расположенных в разнообразных топографических условиях с поливом дождеванием. Проекты разработаны институтами Волгогипроводхоз, Севкавгипроводхоз, Средволгогипроводхоз и др.

В качестве представительных объектов были выбраны ОС, представленные во второй главе данной работы. При разработке номенклатуры типовых фрагментов ОС в качестве основного ограничения была принята его повторяемость и частота использования на различных объектах. Для такого фрагмента экономически выгодно разработать типовую документацию. В результате анализа были определены 12 типовых фрагментов ОС. В анализ также были включены и расчетные диапазоны изменения технологических параметров.

По конструктивным особенностям и принятой технике полива оросительные системы делятся на четыре основных типа [153] (рисунок 4.1).

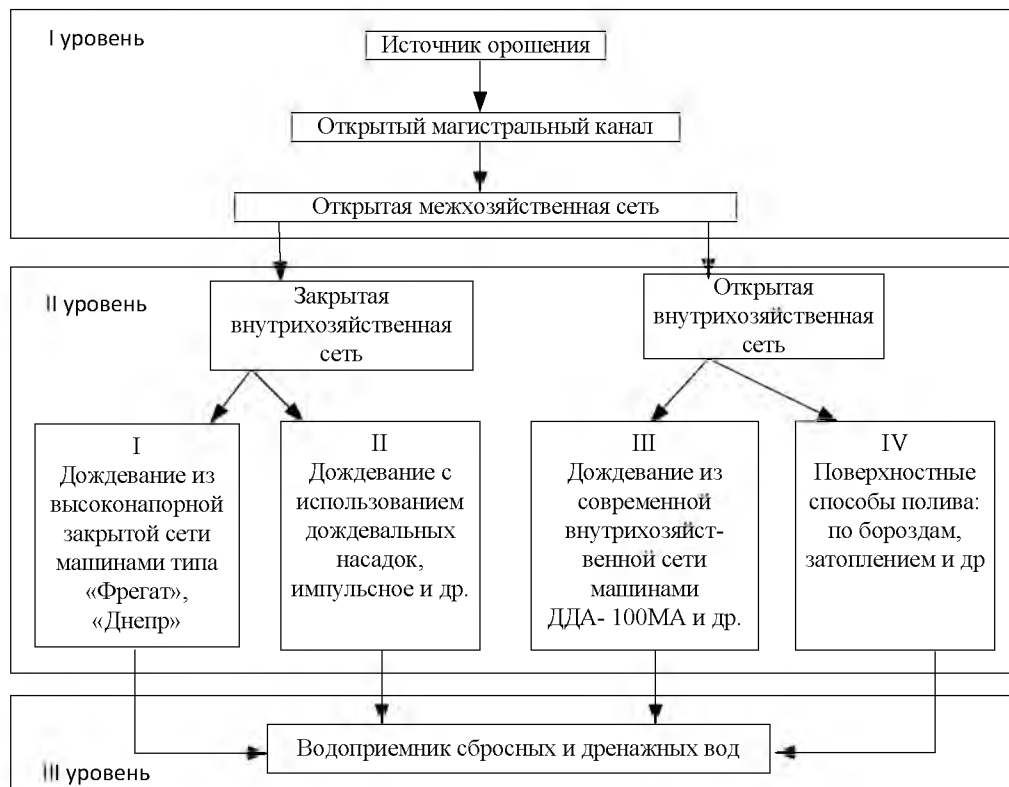


Рисунок 4.1 – Структурная схема многоуровневой системы

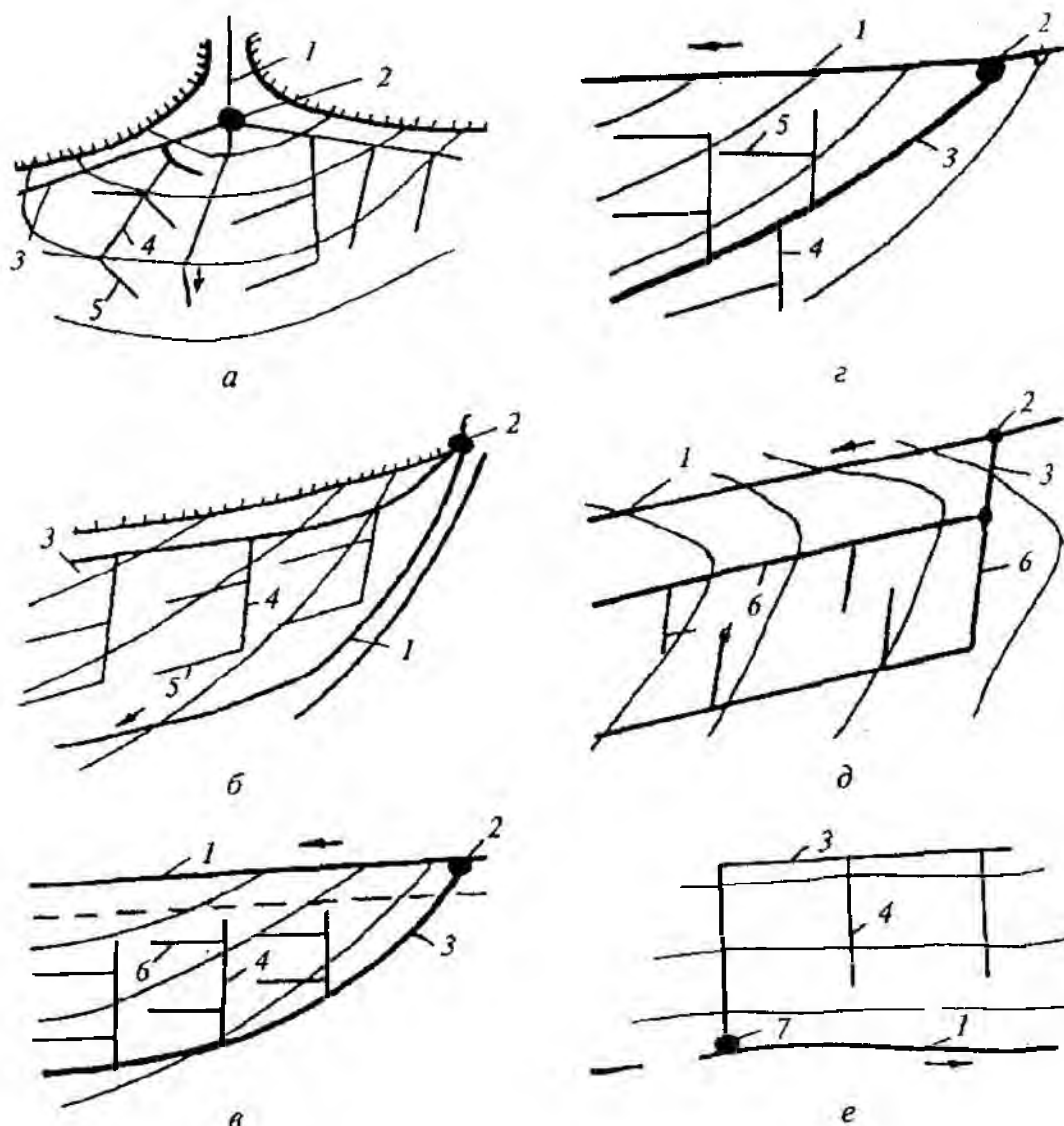
Структурная схема ОС включает три уровня. К I уровню ОС относится источник орошения, магистральный канал и межхозяйственная сеть каналов. Границей между I и II уровнями служит гидрометрическое сооружение, установленное на водовыпуске во внутрихозяйственную сеть. К III уровню относится сбросная и коллекторно-дренажная сеть открытых каналов, которая в работе учитывается как вспомогательная подсистема ОС.

В практике проектирования ОС классифицируются по различным признакам. Наиболее полная классификация приведена в справочнике [154], которая и использована как базовая для анализа ОС (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Классификация оросительных систем по типовым признакам

Признак	Тип	Конструктивные элементы
Геоморфологическое расположение	Предгорные	Водозабор бесплотинного типа. Главные каналы расположены вдоль или под острым углом к направлению уклона местности
	Долинные	Водозабор – бесплотинный или с механическим подъемом. Магистральный канал отходит с уклоном, меньшим уклона реки
	Водораздельных равнин и плато	Водозабор с механическим водоподъемом. Магистральный канал проходит по водоразделу с двухсторонним командованием
Конструкция оросительной сети	Открытые	Все элементы оросительной сети выполнены в виде открытых каналов или лотков
	Закрытые	Все элементы оросительной сети выполнены из напорных или безнапорных трубопроводов
	Комбинированные	Сочетание открытых каналов и закрытых трубопроводов
Способ водоподачи	Самотечные	Вода поступает из источника орошения самотеком (самотечное орошение)
	С механическим водоподъемом	Источник орошения расположен ниже орошаемой площади, и подача воды осуществляется насосной станцией (машинное орошение)
	Самотечно-напорные	Вода самотеком транспортируется по закрытым трубопроводам за счет напора, создаваемого естественным уклоном местности
Степень капитальности	Стационарные	Водозаборные сооружения, насосные станции, оросительная сеть и поливная техника занимают постоянное положение
	Полустационарные	Водозаборные сооружения, насосные станции, оросительная сеть занимают постоянное положение, а поливная техника перемещается по полю в процессе полива
	Передвижные	Все элементы системы – насосные станции, оросительная сеть (разборная) и поливная техника – в процессе полива перемещается с позиции на позицию

Исходя из геоморфологических условий местности, с учетом работ в этой области С. Г. Журавлева [154] можно определить наиболее распространенные (типовые) конфигурации ОС первого уровня для равнинной зоны (рисунок 4.2).



а – на конусе выноса; б – в предгорных долинах; в – в речных долинах при одностороннем питании; г – в речных долинах при двухстороннем командовании; д – в дельтовой части реки; е – с машинным водоподъемом при одной ступени подъема; 1 – река; 2 – водозаборное сооружение; 3 – магистральный канал; 4 – распределитель I порядка; 5 – распределитель II порядка; 6 – ветви магистрального канала; 7 – головная насосная станция

Рисунок 4.2 – Схема ОС в зависимости от геоморфологических условий местности

Эффективность работы ОС определяется оптимальным согласованием технологических режимов водозабора (водоподачи) и водопотребления. Особенность наиболее распространенных ОС с машинным водоподъемом состоит в сочетании ступенчатой водоподачи с плавно изменяющимся, а в некоторых случаях прерывистым водопотреблением. Это является следствием невысокого технического уровня оборудования насосных станций (НС) и существующей технологии орошения на основе дождевальных машин (ДМ) различных типов.

Вследствие большой пространственной рассредоточенности объектов ОС, значительной инерционности и запаздывания протекания гидравлических процессов оперативное управление водораспределением даже с применением традиционных методов автоматизации не обеспечивает в полной мере согласование режимов водоподачи и водопотребления, что приводит к образованию непроизводительных сбросов воды и снижению качества поливов.

Отдельно существующие ОС, оснащенные средствами телемеханики локальной автоматизации и информационно-советующих систем, технический уровень большинства действующих ОС не определяют.

По оснащенности средствами управления водораспределением действующие и запроектированные ОС можно разделить на четыре группы.

Первая группа (60-70 % действующих систем) характеризуется наличием телефонной или радиосвязи между диспетчерским пунктом и узлами вододеления. Управляют работой ГТС вручную по указаниям диспетчера. Забор воды в систему и подача ее потребителям осуществляются по согласованному с хозяйствами графику водопользования. К этой группе относятся ОС типа Терско-Кумской обводнительно-оросительной системы в Ставропольском крае или Сарпинской в Калмыкии.

Во второй группе ОС (15-20 % действующих систем) регулирующие сооружения оборудованы электрифицированными подъемниками и водомерными устройствами. Ко второй группе относятся ОС типа Энгельсской в Саратовской области.

В третьей группе ОС (5-10 % действующих систем) узлы вододеления и регулирующие сооружения оборудованы средствами телемеханики, обеспечивающими централизованный контроль и управление регулируемыми сооружениями. К третьей группе относятся ОС типа Кубанской и Петровско-Анастасиевской в Краснодарском крае.

Принципы управления технологическими процессами водораспределения «по плану» на ОС всех трех групп аналогичны.

В четвертой группе ОС (0,5-1 % действующих систем) применяется качественно иной принцип управления водораспределением – «по требованию». Системы автоматизированного управления оснащаются средствами телемеханики. В состав ОС вводятся резервные емкости, наполнение и сработка которых выполняются автономными системами регулирования при включении или отключении водопотребителей. К четвертой группе можно отнести Саратовский канал и отдельные участки распределительной сети на некоторых ОС.

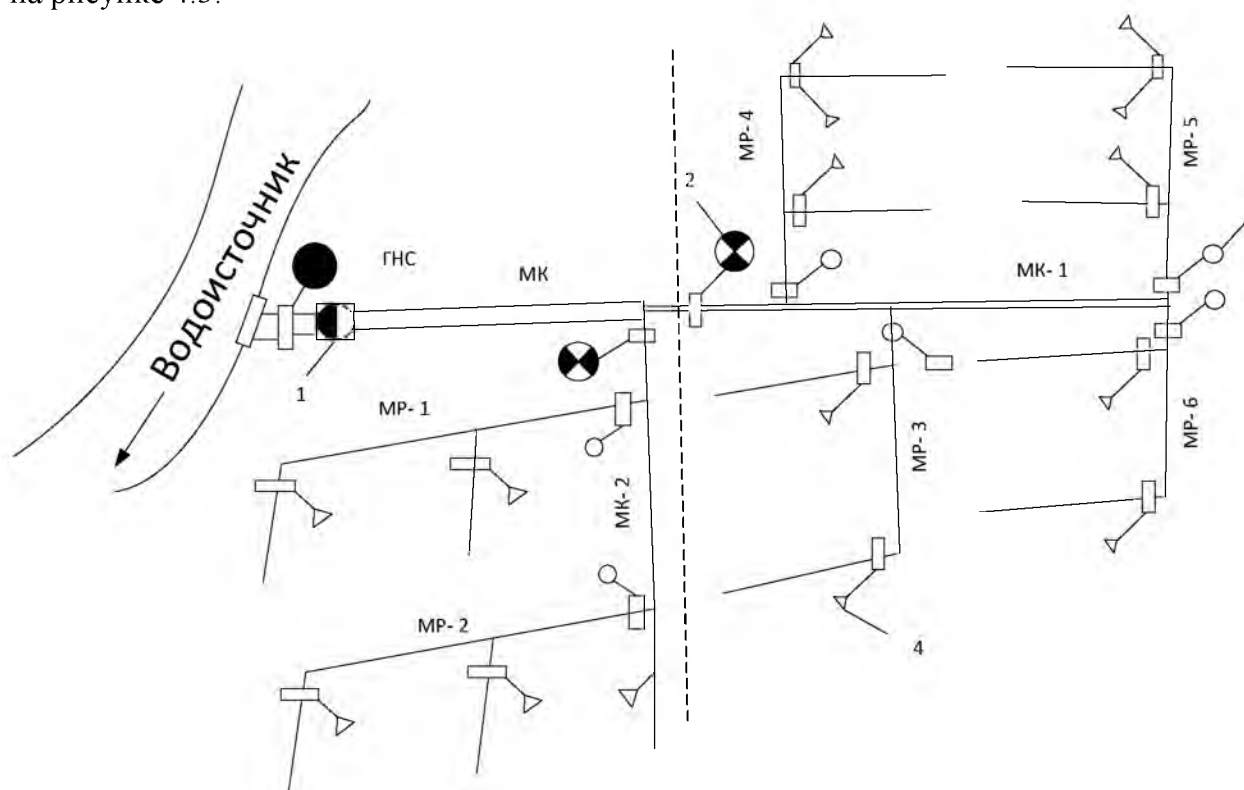
Полученные данные свидетельствуют о том, что существующие оросительные системы не вполне соответствуют требованиям, которые можно предъявить к оросительным системам четвертого поколения. Опыт их эксплуатации показывает, что без применения автоматизации водозабора и водораспределения и в особенности без повышения оперативности управления водораспределением невозможно существенно снизить сбросы и потери воды на ОС. Вместе с тем применение даже локальной автоматизации во многих случаях требует существенной реконструкции ГТС на оросительных системах.

Ввиду дефицита средств и материальных ресурсов в ближайшем будущем оптимальный путь совершенствования ОС заключается в поиске иных решений АСУ водораспределения на основе имеющихся типовых конструкций ГТС. При этом необходимо рационально продолжить работу по разработке типовых технических решений ОС, технологических звеньев оросительной сети на основе выявленных типовых фрагментов.

Что касается средств водоучета, то, судя по анализируемым системам, можно отметить следующее, что в состав гидрометрической сети на ОС, как правило, входят следующие гидрометрические посты:

- опорные на источниках орошения, располагаемые выше водозабора из источника и предназначенные для учета его водных запасов. Их устраивают, если на данном источнике нет поста Государственной метрологической сети, предоставляющего необходимую информацию;
- головные для учета водозабора, устраиваемые в головах или на головных участках магистральных каналов, внутрисистемных источников орошения и на каналах соседней ОС в местах сброса воды на территорию данной ОС;
- учета распределения воды по сети магистральных каналов ОС, в головах распределителей всех порядков;
- учета выдела воды ее потребителям (хозяйствам, предприятиям и др.), расположение которых определяется границами водопотребителей и расположением внутриводхозяйственной сети;
- на внутриводхозяйственной оросительной сети (гидропосты внутриводхозяйственного водовыдела) для учета распределения и контроля использования воды пользователями данного хозяйства;
- на участках сброса неиспользованной воды и дренажных вод.

Примерная схема размещения гидрометрических постов на ОС приведена на рисунке 4.3.



- 1 – опорный водомерный пост; 2 – посты водоучета на межхозяйственной сети;
3 – датчик расхода воды; 4 – посты водоучета на внутриводхозяйственной сети

Рисунок 4.3 – Схема размещения гидрометрических постов на существующих ОС

Водоучет в эксплуатационных водохозяйственных организациях обеспечивает гидрометрическая служба, в состав которой входит специальный штат гидрометров. Наличие ее обязательно на неавтоматизированных ОС.

При автоматизации ОС функции гидрометрической службы существенно меняются. На автоматизированных ОС необходима служба для проведения ревизий, контрольных замеров, настройки и контроля средств автоматики (в том числе и водоучета). Водоучет в данном случае осуществляет система информационного обеспечения,

что приводит к необходимости автоматизации водоучета и созданию специализированных технических средств и методов измерения параметров водного потока.

К сожалению, разработка новых современных приборов и оборудования велась бессистемно, имела во многих случаях конъюнктурный характер и не получила завершения в виде серийного выпуска и массового внедрения технических средств водоучета и водоизмерения на ОС. Одной из основных причин такого положения явилось то, что до настоящего времени так и не была разработана научно обоснованная концепция организации системного водоучета и водоизмерения для ОС с многоуровневой структурой технической оснащенности средствами автоматизации, не определена рациональная номенклатура средств измерения и их технических параметров.

4.2 Повышение технического уровня ОС до четвертого поколения

Накопленный опыт проектирования и эксплуатации ОС позволяет сделать вывод о том, что для межхозяйственной сети каналов превалирующими факторами являются уклоны, способы транспортирования воды и водозабора из них, используемый вид обратной связи (гидравлический или электрический). Исходя из этого, все схемы автоматического регулирования водораспределения на ОС предлагается разделить на три класса (рисунок 4.4).

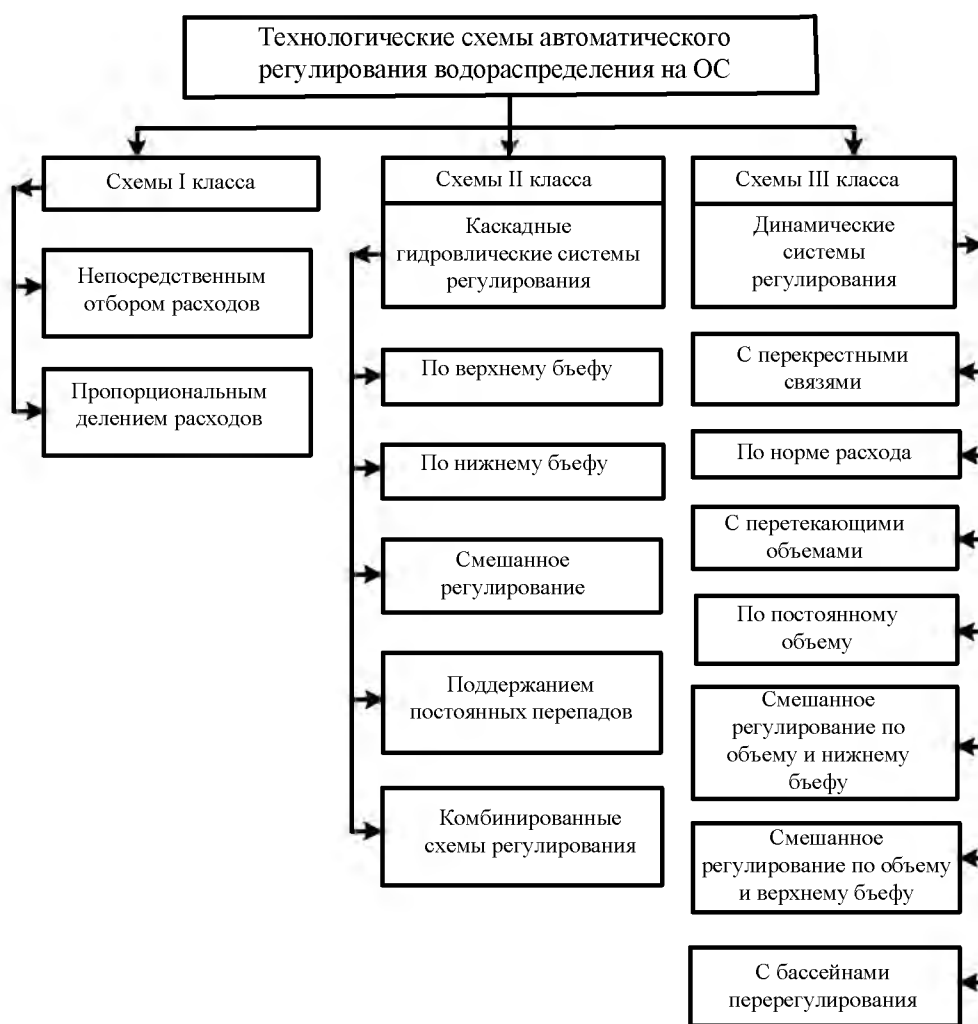


Рисунок 4.4 – Классификация схем автоматического регулирования на оросительных системах

К I классу отнесены схемы регулирования для каналов с уклонами больше критических, отсутствием обратной гидравлической связи (используется электрическая

обратная связь) и нормированным водораспределением сверху вниз (от головного водозабора к потребителям).

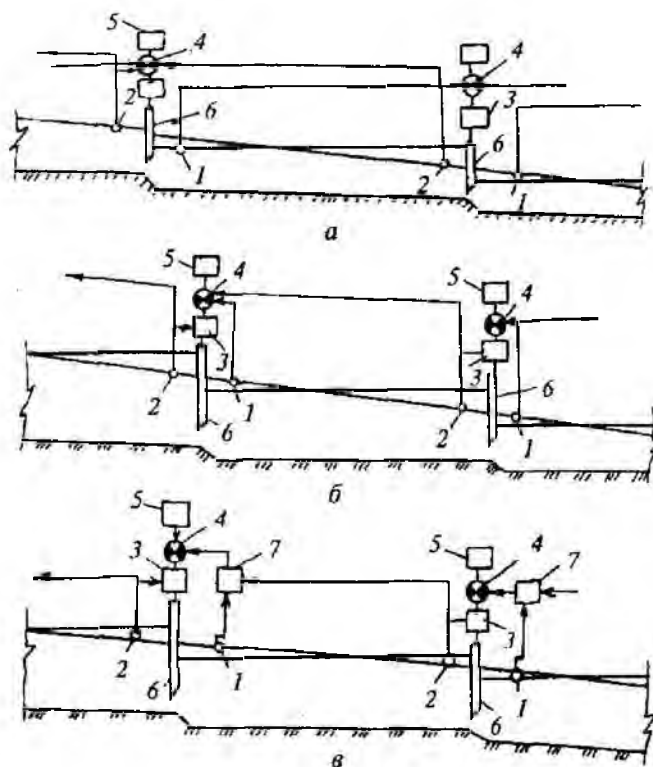
Ко II классу отнесены схемы регулирования для каналов со средними уклонами, короткими бьефами и эффективной обратной гидравлической связью, при полном или частичном отсутствии обратной гидравлической связи (например, внутрихозяйственная сеть каналов), с ненормированным или смешанным водораспределением «снизу-вверх».

К III классу отнесены схемы регулирования для каналов с малыми уклонами, нефиксированными длинными бьефами, наличием электрической обратной связи и малоэффективной обратной гидравлической связью (например, межхозяйственная сеть каналов равнинной зоны), с ненормированным водораспределением «снизу-вверх» от потребителя к головному водозабору.

Наиболее совершенны в техническом отношении и перспективны для применения на ОС равнинной зоны схемы регулирования III класса.

В основе всех существующих систем динамического регулирования водораспределения лежит регулирование расходов или объемов водоподачи. Необходимое аккумулялирование объемов воды обеспечивается за счет резервной емкости каналов или дополнительных бассейнов перерегулирования.

К системам динамического регулирования по объемам воды относятся схема с перекрестными связями (Я. В. Бочкарев и А. И. Михайленко) [156], схема с перетекающими объемами (П. И. Коваленко) [157] и схема регулирования по постоянному объему (ElFlo, США) [157]. Принципиальные схемы систем представлены на рисунке 4.5.



а – с перекрестными связями; б – с перетекающими объемами; в – по постоянному объему; 1, 2 – датчики уровня; 3 – регулятор; 4 – элемент сравнения; 5 – задатчик; 6 – затвор; 7 – сумматор

Рисунок 4.5 – Схемы динамического регулирования водораспределения по объемам воды

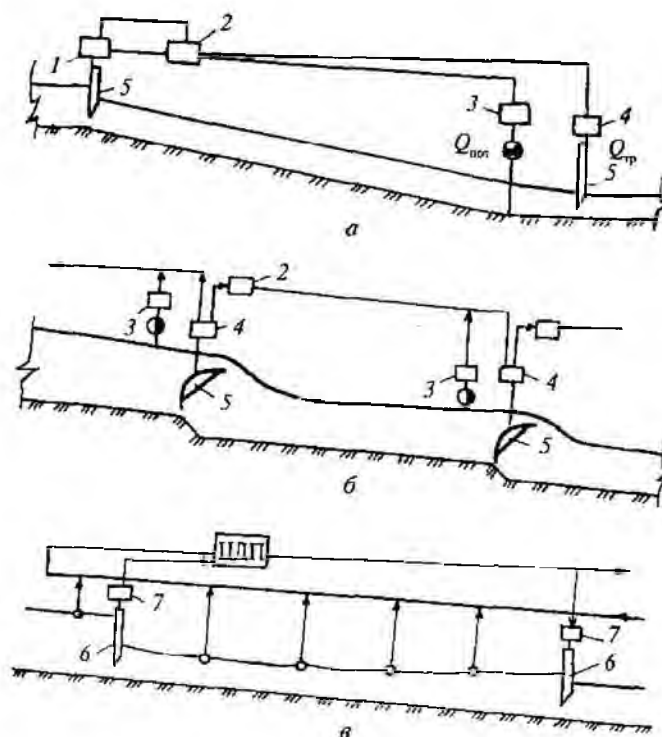
Отличительной особенностью приведенных схем регулирования водораспределения является использование в качестве контролируемых параметров уровней воды

в бьефах с помощью разнесенных датчиков и последовательное (покасадное) изменение режима работы канала. Оперативное управление ОС обеспечивается дополнительной системой централизованного контроля и управлением (ЦКУ), воздействующей на задатчики локальных авторегуляторов.

Необходимо отметить относительно быстрые процессы отработки возмущающих или управляющих воздействий. Поскольку сигнал передается от датчика, расположенного в конце канала, к затвору вышерасположенного сооружения по электрическим линиям связи, ответная реакция может последовать практически мгновенно от любой точки вдоль канала до его головной части. Переходные же процессы регулирования более длительные вследствие последовательного изменения гидравлического режима работы канала.

Общий недостаток всех схем регулирования по объемам воды – неполный учет всех возможных режимов канала. В результате функции изменения планового задания на водоподачу потребителям, выявления и ликвидации аварийных ситуаций, первичного заполнения и опорожнения каналов отводятся ЦКУ, что приводит, как правило, к большим отклонениям.

К системам динамического регулирования по расходам относятся схема регулирования по норме расхода (П. И. Коваленко, Л. Д. Кузьмичева) [158] и аналогичная по принципу кулисообразных петель (Румыния) [157], схемы регулирования с бассейнами перерегулирования (Франция, «Канал де Прованс» А. М. Жарковский, М. Ш. Марголин) [159], смешанного регулирования по объему и верхнему бьефу (Я. В. Бочкарев) [160, 161] и др. Принципиальные схемы некоторых систем регулирования по расходам воды представлены на рисунке 4.6.



- а – по норме расхода воды; б – по принципу кулисообразных петель; в – смешанного регулирования по объему и верхнему бьефу; 1 – исполнительный механизм; 2 – электрический регулятор; 3 – датчик расхода воды; 4 – датчик положения затвора; 5 – затвор; 6 – авторегулятор уровня нижнего бьефа (АРУНБ); 7 – задатчик АРУНБ

Рисунок 4.6 – Схемы динамического регулирования

Идеология построения систем регулирования водораспределения с бассейнами перерегулирования основана на резервировании значительных объемов воды в допол-

нительных бассейнах, использовании каналов с высокой транспортирующей способностью, оснащенных комплексом регулирующих сооружений и системой ЦКУ на основе крупной ЭВМ с соответствующим информационным обеспечением. Структурная схема системы регулирования для каждой ОС индивидуальна и может включать в себя всю номенклатуру типовых элементов существующих систем регулирования водораспределения.

Применение в системах динамического регулирования информационного обеспечения с основным контролируемым параметром – расходом воды, разветвленной сети телемеханики для дискретного опроса каналов-потребителей (КП), электрорегуляторов для отработки управляющих воздействий, ЭВМ на центральном диспетчерском пункте (ЦДП) с многорежимным математическим обеспечением позволяют создать весьма совершенную систему управления и регулирования технологических процессов на ОС, обладающих свойствами самоадаптирующихся систем управления.

Условия сельскохозяйственного производства с учетом экологических требований предопределяют разработку новых инновационных технологий и создание эффективных ресурсосберегающих экологически безопасных оросительных систем нового поколения, обеспечивающих расширенное воспроизводство плодородия почв и сокращение затрат воды до 50 % на единицу продукции.

В предложенных конструктивных решениях открытая оросительная система состоит из распределительных каналов мобильного исполнения, прудов-накопителей, поливных каналов с дождевальными машинами, сбросных каналов в конце поливных каналов, подпорно-регулирующих сооружений, регуляторов уровня по нижнему бьефу, регуляторов расхода и диспетчерских пунктов.

Технически совершенные оросительные системы нового поколения должны создаваться как при осуществлении нового строительства, так и при проведении реконструкции физически и морально устаревших оросительных систем. Конструкции оросительных систем нового поколения должны обеспечивать своевременное проведение поливов и внесение агрохимикатов в соответствии с заданными оптимальными водным, солевым и пищевым режимами почв, гарантирующими получение экономически обоснованных урожаев при любых погодных условиях, минимум всех видов непроизводительных потерь воды и земли, минимум затрат труда обслуживающего персонала, соответствующих правилам труда и санитарным требованиям.

Недостатками большинства оросительных систем являются угнетение возделываемых сельскохозяйственных культур за счет полива холодной водой, стрессовых ситуаций при высоких перепадах температур воды при поливе и высокая доля непроизводительного расхода поливной воды при заполнении и сбросе из поливных каналов.

Таким образом, очевидна целесообразность блочно-модульной компоновки сети при организации орошения, которая заключается в экономически и экологически выгодном использовании таких массивов, которые обладают естественной или антропогенной неоднородностью.

Предъявляются следующие требования к конструкциям оросительных систем:

1 Оросительные каналы 1-2-го уровней иерархии (магистральные и межхозяйственные) – стационарные с латексной или полимерной облицовкой ($KPD > 0,95$).

2 Оросительные каналы 3-4-го уровней иерархии (внутрихозяйственная сеть и распределители на полях) – блочно-модульного исполнения (сборно-разборные). Оросительная сеть, НС – полустационарного и мобильного исполнения. Материал облицовки оросительной сети – термоустойчивый латекс, полимерная противотфильтрационная защита.

3 Поливная техника должна быть оборудована приборами GPS-навигации и удовлетворять требованиям системы точного земледелия.

4.3 Конструктивные решения открытых ОС четвертого поколения

Ниже рассматриваются конструктивные схемы открытых оросительных систем, разработанные ФГБНУ «РосНИИПМ» и защищенные патентами и авторскими свидетельствами на изобретения.

4.3.1 Оросительная система по патенту РФ № 1743481

Способ мелиорации черноземов (патент РФ № 1743481 [162]), включающий циклическое чередование орошаемого и неорошаемого земледелия, отличается тем, что с целью повышения эффективности технологии при использовании системы севооборота для влаголюбивых и засухоустойчивых сельскохозяйственных культур каждое поле севооборота, занимаемое под влаголюбивую культуру, орошают в течение 30-50 % продолжительности ротации принятого севооборота, причем ежегодно проводят корректировку половинного режима с учетом оголенностей текущего гидрологического состояния и метеорологического прогноза предстоящего года.

При использовании этого способа обеспечиваются при орошении наиболее благоприятные условия для сохранения и восстановления природного плодородия черноземов, предотвращения анаэробных процессов и процессов вторичного засоления при минимальных удельных капитальных и эксплуатационных затратах оросительной сети за счет мобильности оборудования и его более продолжительного использования во времени.

Цель изобретения – повышение эффективности технологии при использовании системы севооборота для влаголюбивых и засухоустойчивых сельскохозяйственных культур. На рисунке 4.7 показана схема восьмипольного севооборота и схема полустационарной оросительной системы.

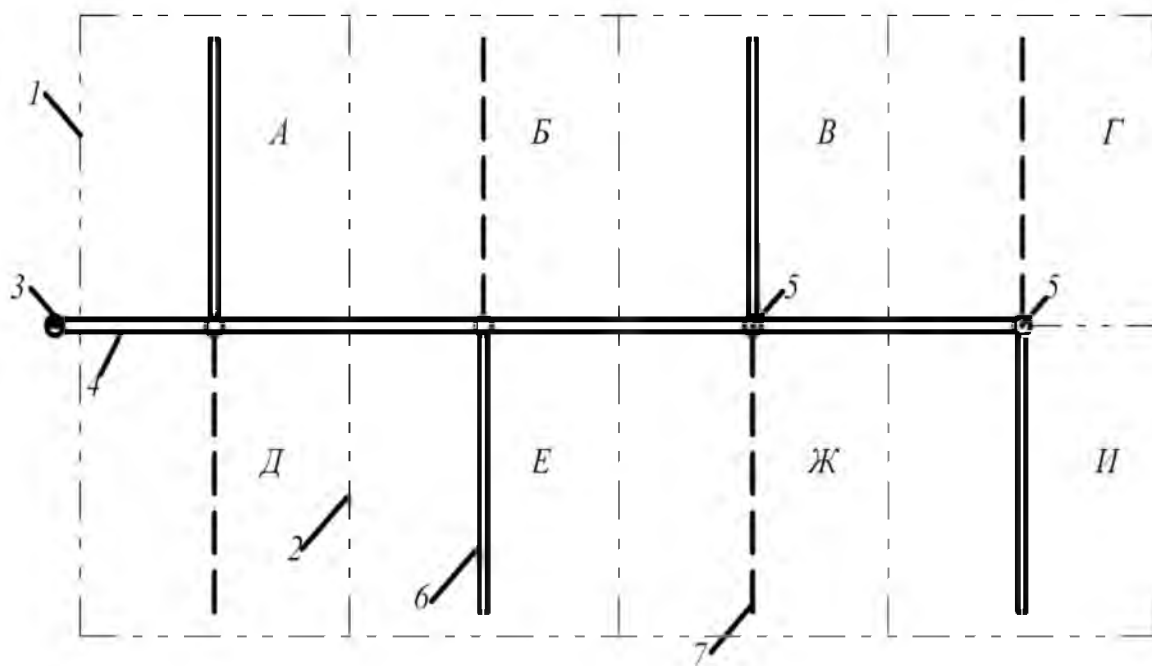


Рисунок 4.7 – Схема размещения полустационарной оросительной системы на восьмипольном орошаемом севообороте

Восьмипольный севооборот (рисунок 4.7) и его полустационарная оросительная сеть имеет участок прямоугольной формы, ограниченный сторонами 1. Внутри севооборота разбит на прямоугольные участки А, Б, В, Г, Д, Е, Ж и границами полей 2. От насосной станции 3 по продольной оси севооборота проложен магистральный трубопровод 4, к которому при помощи гидрантов 5 подсоединяются расположенные по-

Как видно из схемы, магистральный канал (трубопровод) должен быть рассчитан на пропуск 50 % расхода, необходимого для орошения восьмипольного севооборота при общепринятом существующем способе орошения: на участке работают только четыре распределительных трубопровода 6, одновременно орошающие только четыре поля из восьми, поэтому магистральный трубопровод может быть уложен из труб меньшего диаметра (или из лотков, меньших размеров) и т. д. Распределительные же трубопроводы 6 должны обеспечить 100 %-ю подачу воды для возможности осуществления оптимального режима орошения самой влаголюбивой культуры и принятого севооборота при ее размещении на любом поле.

Устройство открытой оросительной сети поля севооборота и дождевальная агрегат ДДА-100МА представлено на рисунке 4.9. Здесь приводится пример, когда при помощи водоприемных колодцев 9 и открытых оросителей 10 применяется агрегат ДДА-100МА (позиция 11). При выборе дождевальной (или поливной) техники для полустационарной сети необходимо исходить из того, чтобы техника была мобильной, легко и без особых эксплуатационных трудностей могла бы перемещаться, перевозиться (с разборкой или без разборки) с одного поля на другое.

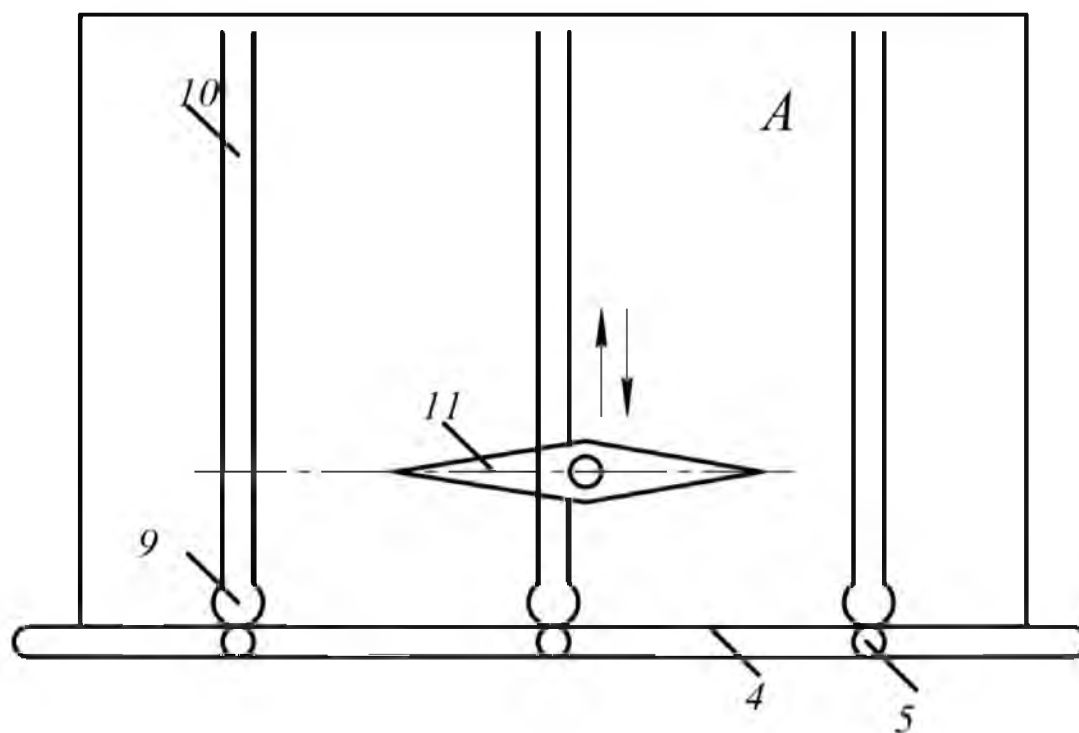


Рисунок 4.9 – Вариант орошения поля севооборота широкозахватной дождевальная машиной

Один из вариантов чередования орошаемых культур на восьмипольном севообороте за восемь лет ротации показан на рисунке 4.10.

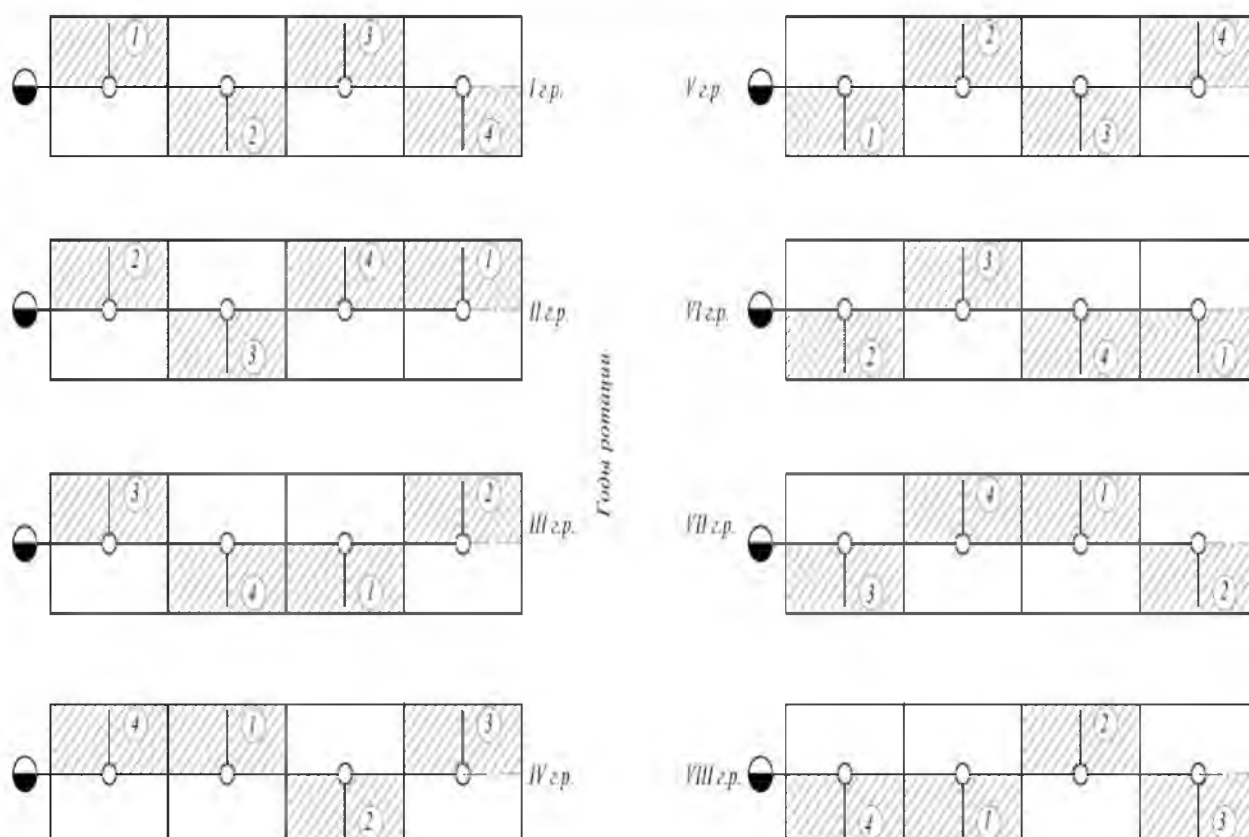


Рисунок 4.10 – Схема восьмипольного орошаемого севооборота, (вариант 1)

Здесь арабскими цифрами условно показаны годы жизни орошаемой многолетней культуры, например, люцерны на том поле, на котором она возделывается с оптимальным сроком 4 года. Римские цифры показывают годы ротации. На этом примере рассмотрен вариант, когда на севообороте ежегодно размещаются на четыре срока жизни люцерны: 1, 2, 3, 4. При этом ежегодно орошаются только 4 поля, а другие четыре поля эксплуатируются в условиях неорошаемого земледелия. Таким образом, из 8 лет ротации, каждое поле 4-го года (50 % срока ротации) «отдыхает» от орошения, восстанавливает природные свойства чернозема. По рассматриваемой схеме ежегодно под орошение вводится одно поле севооборота и одно поле выводится из орошения. Аналогичным образом могут быть представлены и рассмотрены другие схемы орошения этого восьмипольного севооборота при 50 %-ном орошении полей за ротацию (рисунк 4.11).

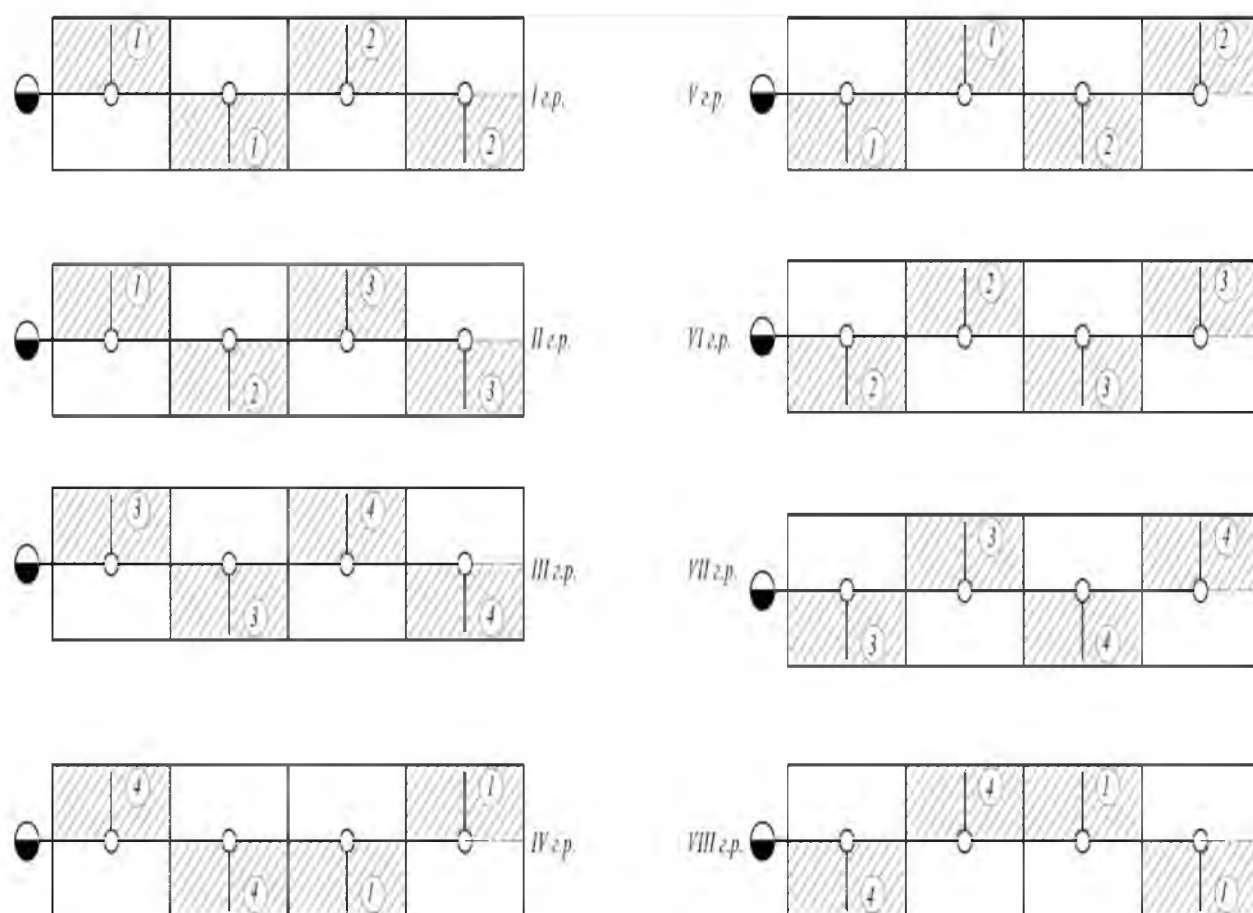


Рисунок 4.11 – Схема восьмипольного орошаемого севооборота, (вариант 2)

Несколько иначе происходит чередование орошаемых культур в схеме, представленной на рисунке 4.12: ежегодно в севообороте имеются по два поля одинакового года жизни люцерны (одинакового года орошения). Через каждые два года вводятся в орошение два новых поля вместо двух выбывших. На данном рисунке показана схема при наличии магистрального трубопровода 4 и двух распределительных трубопроводов 4. Причем один трубопровод («нижний» на схеме) имеет одинарную длину, достаточную для орошения одного примыкающего к магистральному трубопроводу поля. Второй трубопровод («верхний» по схеме) имеет двойную длину для обеспечения орошения крайних полей севооборота с наиболее удаленных от магистрального трубопровода. Технология орошения осуществляется следующим образом: первоначально орошаются четыре года поля (заштрихованные на схеме) – ближайший и дальний. После этого орошаются два поля 5-8 лет жизни после соответствующих перемещений

распределительных трубопроводов. На следующем этапе половина двойного («верхнего») распределительного трубопровода перемещается и подсоединяется к короткому («нижнему») трубопроводу и он становится «двойной длины». Осуществляется орошение двух полей 9-12 срока ротации. И в заключение орошаются два поля 13-16 лет ротации. Таким образом все поля севооборота орошены за два срока ротации (за каждый срок ротации орошается половина полей севооборота).

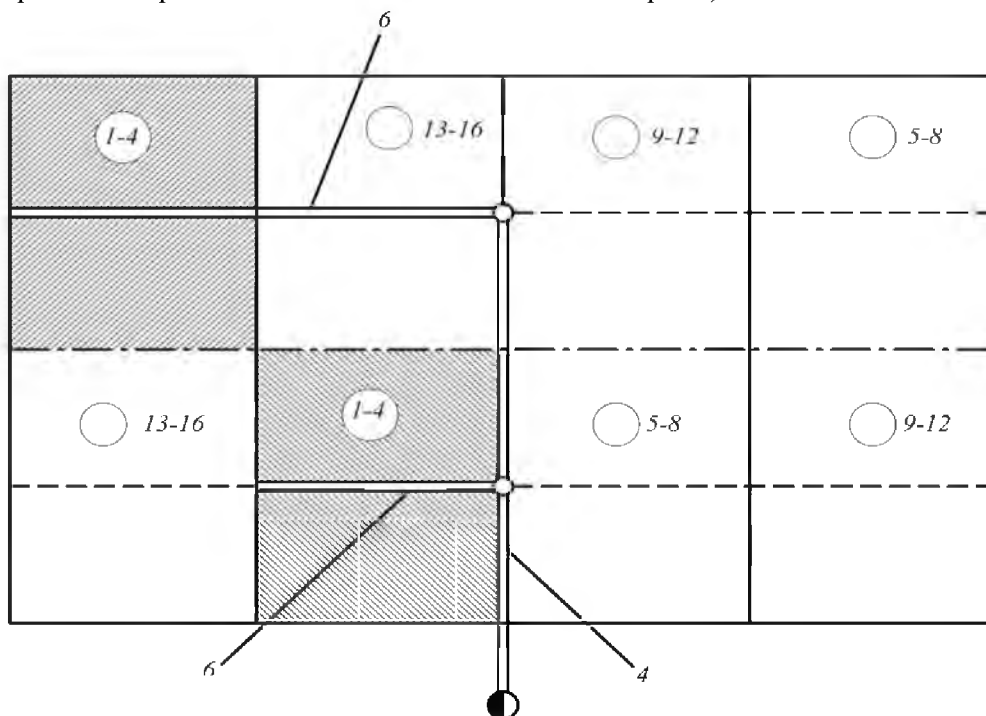


Рисунок 4.12 – Схема восьмипольного орошаемого севооборота, (вариант 3)

На рисунке 4.13 представлена несколько иная схема восьмипольного севооборота: за 8 лет орошение осуществляют только на двух полях, т. е. за ротацию севооборота орошается только 25 % площади. Для осуществления этого режима необходимо, чтобы магистральный трубопровод 4 был транзитным, чтобы к нему была подведена дополнительная площадь. В этом случае участок трубопровода, расположенный на шести остальных полях севооборота, не будет «лежать мертвым капиталом» в земле, а будет работать. Распределительный же трубопровод 6 все годы работает (вместо закрытой сети может быть рассмотрен вариант открытых каналов).

Возможна более рациональная схема, представленная на рисунке 4.14. Рассматриваемая схема позволяет оросить все поля севооборота либо за 24 года, либо за 32 года, т. е. ежегодно орошается 33 и 25 % всей площади севооборота. В первом случае (годы орошения соответствующих полей взяты в кружок, обозначены сплошной линией) вначале орошается поле 1-4 «верхней» половины севооборота. Затем распределительный трубопровод перемещается на вторую половину поля. Орошается поле 5-8. После этого половина распределительного трубопровода перемещается на «нижнюю» половину севооборотного участка и подсоединяется к магистральному трубопроводу. Орошаются два поля 9-12, ближайшие к магистральному трубопроводу. После этого орошаются два поля 13-16, затем вторая половина распределительного трубопровода с «верхней» половины севооборота перемещается на «нижнюю» и подсоединяется к первой половине. Орошается одно поле 17-20. Распределительный трубопровод (весь целиком) перемещается на противоположную сторону магистрального трубопровода и орошается поле 21-24.

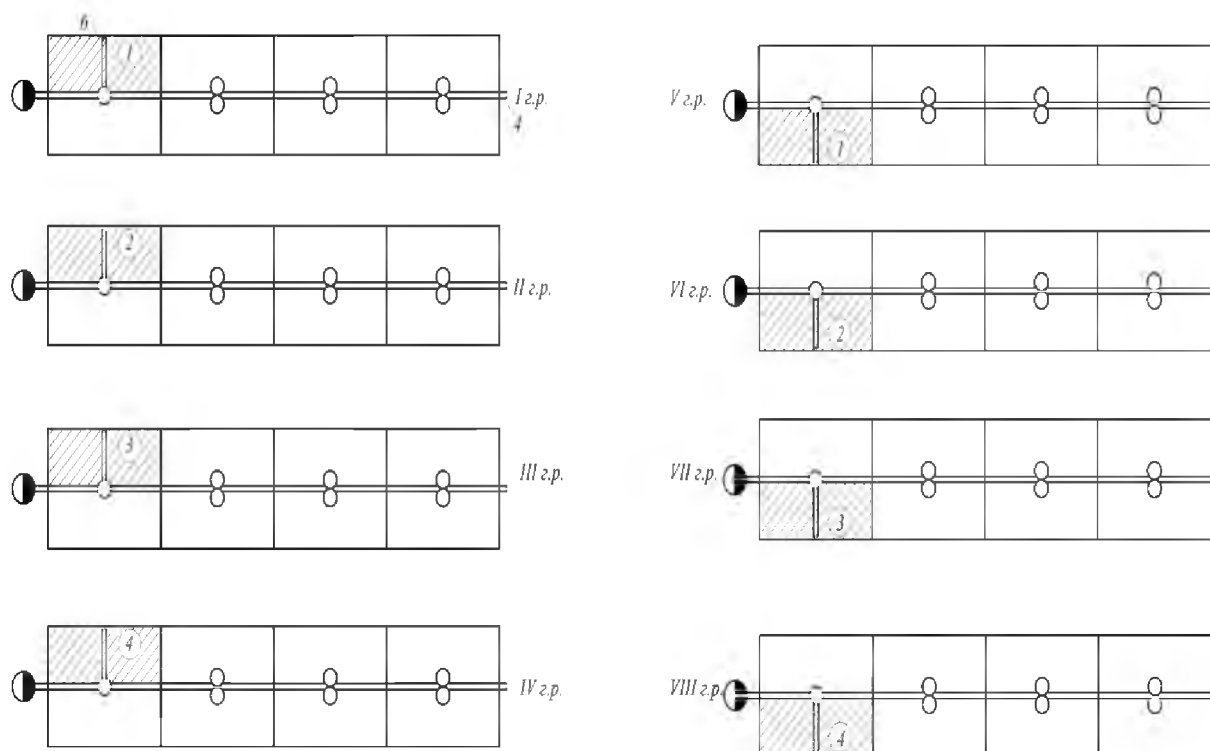


Рисунок 4.13 – Схема восьмипольного орошаемого севооборота, (вариант 4)

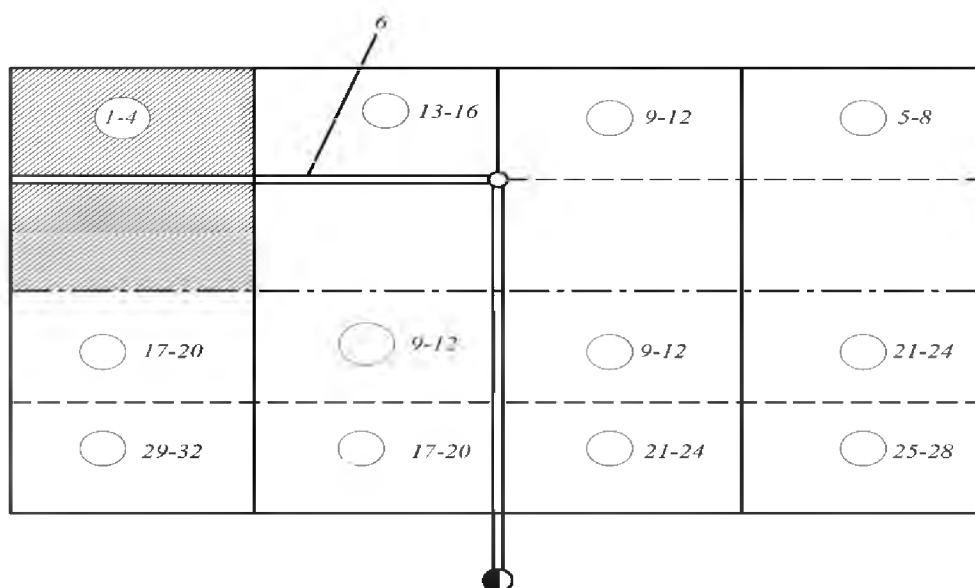


Рисунок 4.14 – Схема восьмипольного орошаемого севооборота, (вариант 5)

Во втором случае технология орошения несколько иная. После орошения «верхней» половины севооборота (поля 1-4, 5-8, 9-12, 13-16) распределительный трубопровод за два приема (можно за один) перемещается на нижнюю трассу и орошаются вначале поля 17-20 и 21-24, а потом 25-28 и 29-32.

На рисунках 4.15 и 4.16 рассмотрены схемы полустационарных оросительных систем для девятипольного севооборота.

В первом случае (рисунок 4.15) ежегодно из 9 полей орошаются четыре поля. Ежегодно вводится в орошение одно поле и одно поле выводится из севооборота. Каждое поле орошается за период севооборота четыре года, а пять лет используется как неорошаемое. Таким образом, процент орошаемой площади в процессе севооборота составляет 44 %.

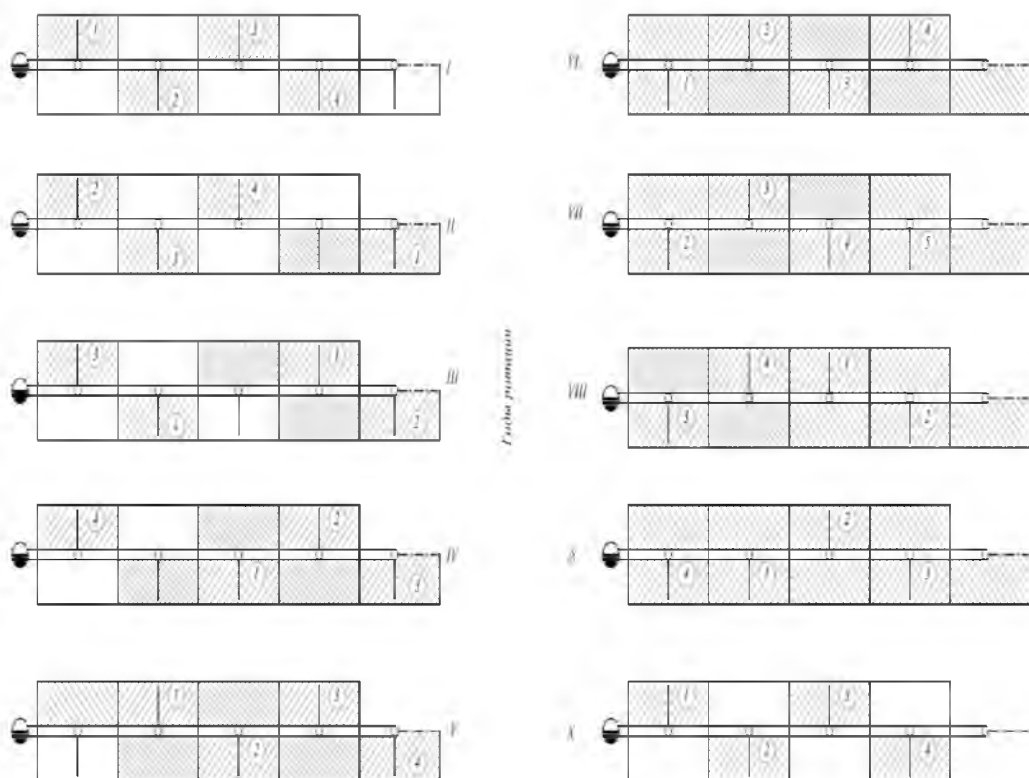


Рисунок 4.15 – Схема девятипольного севооборота, находящегося в режиме циклического орошения (вариант 1)

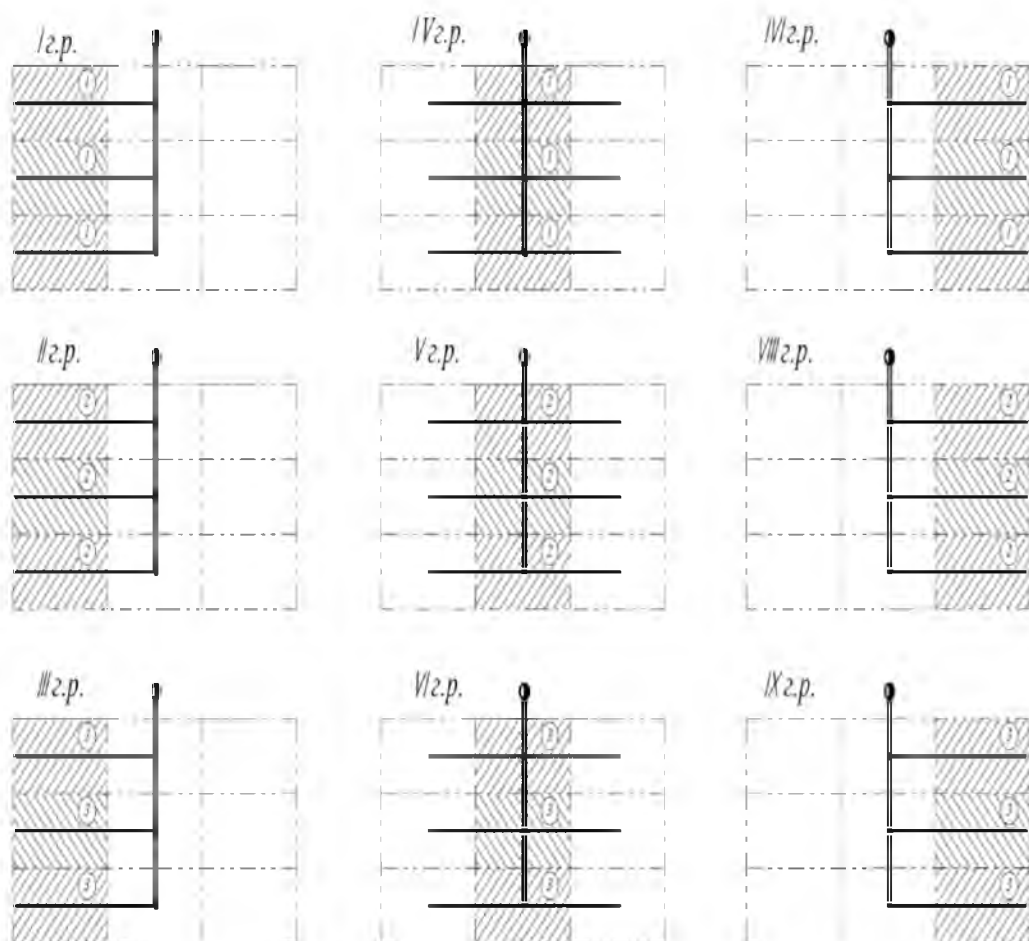


Рисунок 4.16 – Схема девятипольного орошаемого севооборота, (вариант 2)

Во втором случае (рисунок 4.16) предлагается иной план расположения полей севооборота. На одном магистральном трубопроводе постоянно работают три распределительных трубопровода, одновременно орошающие три поля. Всего за график севооборота каждое поле орошается только один раз при продолжительности орошения три года. Таким образом, ежегодно орошается 33 % площади, а остальная используется под неорошаемое земледелие. В процессе орошения полей каждый распределительный трубопровод трижды перемещается по севооборотному участку по направлению своей продольной оси (по одной и той же трассе как шлейф без разборки) методом буксировки (возможен и вариант сборки-разборки).

На схемах рисунков 4.17-4.18 показаны возможные схемы полустационарных оросительных систем при групповом расположении двух восьмипольных и девятипольных севооборотов в одном массиве.

На рисунке 4.17 применена закрытая сеть с двумя магистральными трубопроводами 4, к которым подсоединяются 8 закрытых распределительных трубопроводов 6.

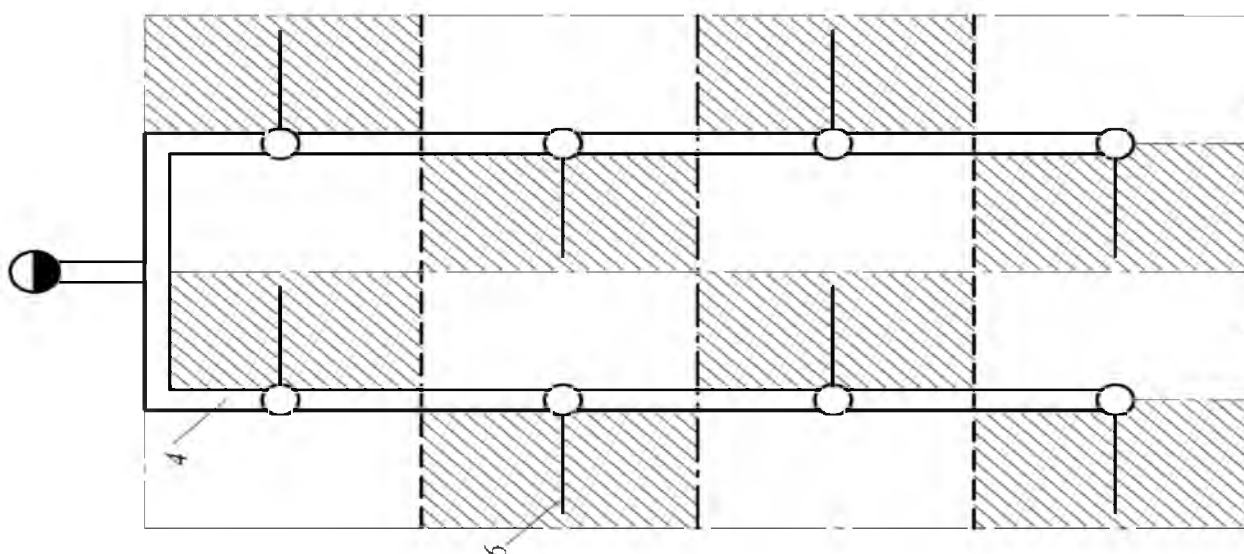


Рисунок 4.17 – Схема севооборота, находящегося в режиме орошения

На той же закрытой оросительной сети (рисунок 4.18) магистральные трубопроводы 4 подают воду в открытые оросители 10, например, для агрегата ДДА-100МА.

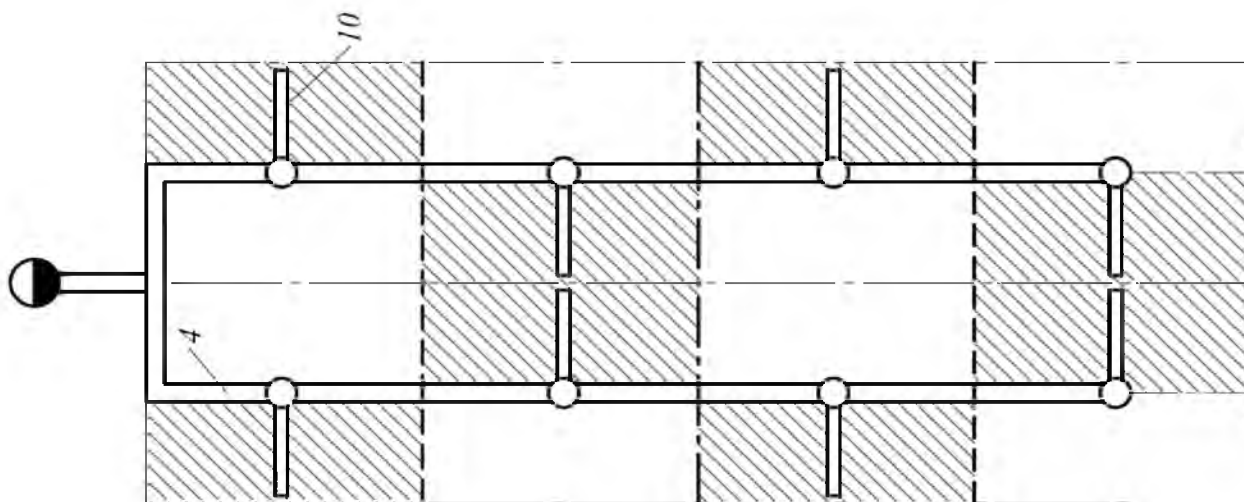


Рисунок 4.18 – Схема севооборота, находящегося в режиме орошения

4.3.2 Оросительная система по патенту РФ № 2353088

В ходе практической апробации с учетом пожеланий местных специалистов и рекомендаций сотрудников ФГБУ «Ростовмелиоводхоз» нами был разработан модернизированный вариант оросительной системы и получен патент РФ № 2353088 [163] на изобретение. В предложенном изобретении открытая оросительная система состоит из распределительных каналов, прудов-накопителей, поливных каналов с дождевальными машинами, сбросных каналов в конце поливных каналов, подпорно-регулирующих сооружений, регуляторов уровня по нижнему бьефу, регуляторов расхода и двух диспетчерских пунктов. Изобретение поясняется рисунках 4.19 и 4.20, на рисунке 4.19 схематично в плане показана оросительная система, а на рисунке 4.20 – план размещения орошаемых полей севооборота.

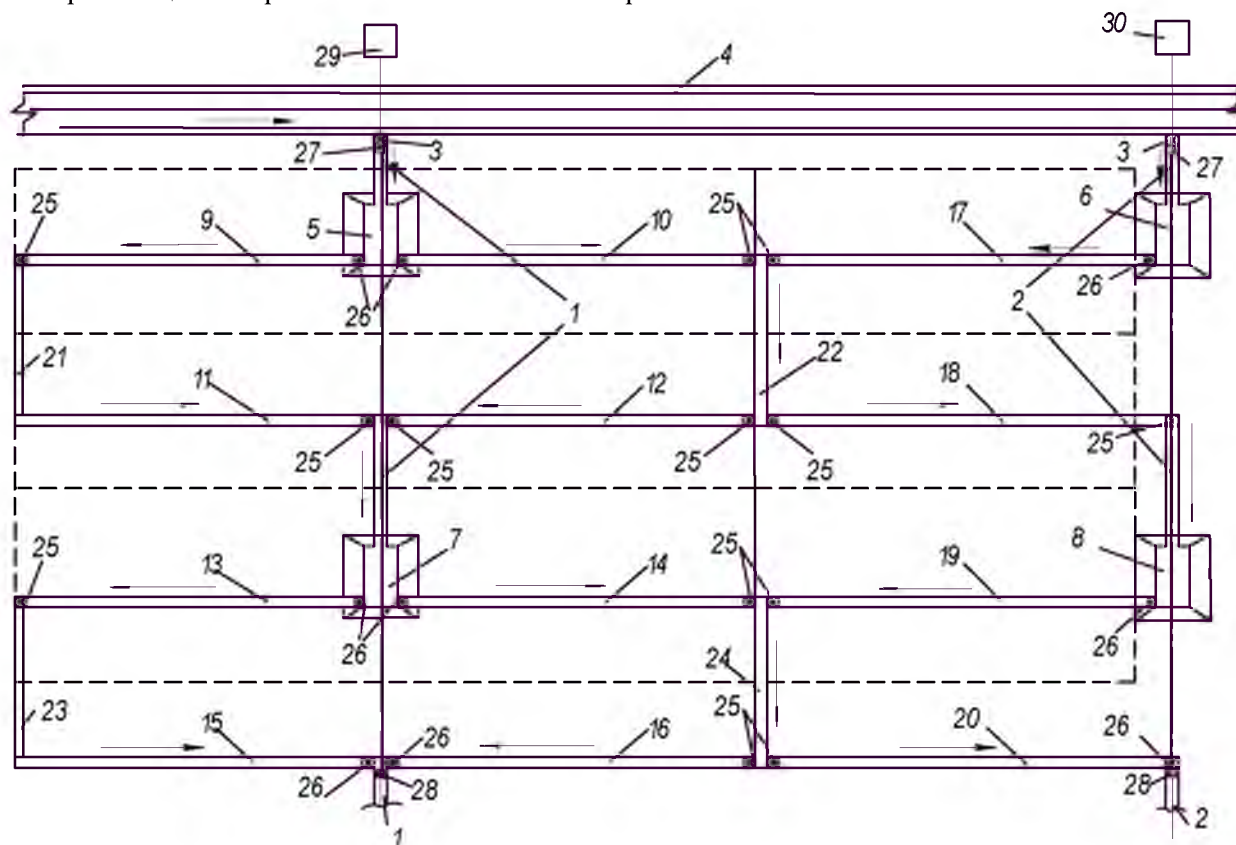


Рисунок 4.19 – Конструктивное решение оросительной системы для орошения дополнительных площадей (патент РФ № 2353088, заявка № 2007124078/12(026213))

Конструкция оросительной системы (рисунок 4.19) включает распределительные каналы 1 и 2, в головной части соединенные регуляторами расхода 3 с межхозяйственным транзитным каналом 4 и пруды-накопители 5-8, поливные каналы 9-20, расположенные на местности горизонтально с взаимным удалением, равным ширине захвата фронтально перемещаемой дождевальной машины. Поливные каналы 9 и 11, 10 и 12, 13 и 15, 14 и 16, 17 и 18, 19 и 20 соединены в концевой части сбросными каналами 21-24. Поливные каналы 10 и 17 сбрасывают воду через сбросной канал 21, а каналы 14 и 19 – через сбросной канал 22, что уменьшает протяженность открытой оросительной сети. В каждой паре каналов 9 и 11, 10 и 12, 13 и 15, 14 и 16 вышерасположенные каналы 9, 10, 13, 14 снабжены в концевой части подпорно-регулирующими сооружениями 25, а нижерасположенные каналы 11, 12, 15, 16 выполнены с уклоном к распределительному каналу 1 и также имеют в концевой части подпорно-регулирующие сооружения 25. В парах поливных каналов 17 и 18, 19 и 20 вышерасположенные поливные каналы 17, 19 и 20 снабжены в концевой части подпорно-регулирующими сооружениями 25, а нижерасположенные каналы 18, 20 выполнены с уклоном к сбросному каналу 22.

19 имеют в конце подпорно-регулирующее сооружение 25, а нижерасположенные поливные каналы 18 и 20 выполнены с уклоном к распределительному каналу 2. Распределительные каналы 1 и 2 снабжены датчиками расхода 27 и 28. Датчики расхода 27 установлены в головной части распределительных каналов 1 и 2, а датчики расхода 28 – непосредственно на регуляторе уровня нижнего бьефа 26. Диспетчерские пункты 29 и 30 позволяют оперативно управлять подачей воды.

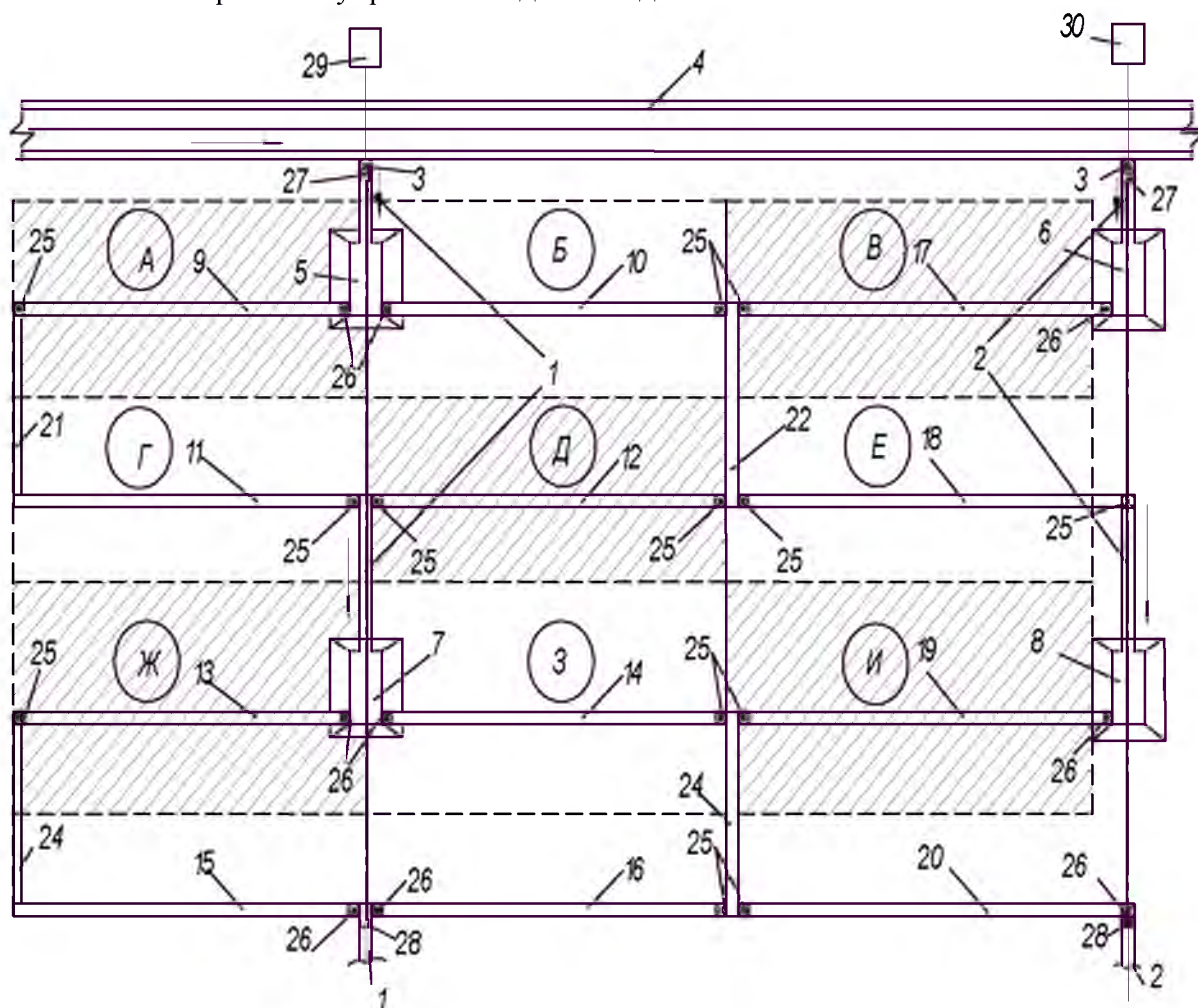


Рисунок 4.20 – План размещения периодически орошаемых полей севооборота

Оросительная система снабжена прудами-накопителями 5-8, расположенными так, что вся вода, поступившая в систему из межхозяйственного транзитного канала 4 или другого источника, попадает в них и резервируется для полива. Пруды-накопители 5-8 на отводах в поливные каналы 9, 10, 13, 14, 17, 19 имеют регуляторы уровня по нижнему бьефу 26.

Поливные каналы 9-16 электрически связаны с диспетчерским пунктом 29, а поливные каналы 17-20 – с диспетчерским пунктом 30. Орошаемые участки между поливными каналами снабжены датчиками влажности почвы.

На рисунке 4.20 показан план размещения полей севооборота, которые обозначены буквами А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И.

Оросительная система работает следующим образом. Вода из межхозяйственного транзитного канала 4 попадает в распределительные каналы 1 и 2 при открытом положении регуляторов расхода 3. По распределительным каналам 1 и 2 вода, предназначенная для полива, заполняет пруды-накопители 5 и 6 соответственно, где приобретает необходимые для полива характеристики. После чего из пруда-накопителя 5 вода подается в поливные каналы 9 и 10, а из пруда-накопителя 6 – в поливной ка-

нал 17. При этом расположенные на концах поливных каналов 9 и 17 подпорно-регулирующие сооружения 25 находятся в закрытом положении, происходит наполнение поливных каналов водой и осуществляется полив сельскохозяйственных растений дождевальными машинами. Поливной канал 10 при открытом положении подпорно-регулирующего сооружения 25 осуществляет транзитный пропуск воды далее в сбросной канал 22, из которого вода попадает в нижерасположенный поливной канал 12, происходит его заполнение водой при закрытом положении подпорно-регулирующего сооружения 25 и осуществляется полив сельскохозяйственных растений.

Для орошения нижерасположенных полей производится транзитный пропуск воды и заполнение прудов-накопителей 7 и 8, в которых за световой день температура воды поднимается с 10-13 до 18-22 °С. Эта вода используется в дальнейшем для полива орошаемых полей, не приводя растения в стрессовое состояние.

На орошаемом массиве поле А поливается дождевальной машиной (типа ДДА-100МА, ДДА-100ВХ, ДКДФ, «Кубань», «Днепр» и др.), забирающей воду при движении из поливного канала 9 (рисунок 4.21).



Рисунок 4.21 – Поливная машина Zimatic при поливе посевов кукурузы на зеленый корм по предлагаемому способу

Поле Д обслуживается поливным каналом 12, поле В орошается водой из поливного канала 17. Полив участка Д и др., которые с двух сторон примыкают к поливному каналу (рисунок 4.22), возможен при проходе одной дождевальной машины блочно-модульного типа.

Для данной конструкции оросительной системы можно предложить севооборот с чередованием влаголюбивых и засухоустойчивых сельскохозяйственных культур. На заштрихованных полях А, В, Д, Ж, И следует располагать ценные кормовые культуры, а на не заштрихованных полях Б, Г, Е, З – засухоустойчивые культуры. В предложенном изобретении будут поливаться поля А, В, Д, Ж, И. Поля с засухоустойчивыми культурами будут находиться в неорошаемом режиме. Это позволяет не допустить процессов деградации почвы при выбранной схеме орошения.

Таким образом за счет прудов-накопителей производится улучшение характеристик поливной воды, создаются комфортные условия для роста и плодоношения сельскохозяйственных культур, происходит накопление неиспользованных лимитов оросительной воды и уменьшение непроизводительных сбросов.



Рисунок 4.22 – Забор воды из канала 12 для полива сельскохозяйственных культур на поле Д (по патенту РФ № 2353088)

Накопленные неиспользованные лимиты воды в прудах-накопителях могут использоваться для полива периодически орошаемых дополнительных площадей в более влажные годы, когда оросительные нормы регулярно орошаемого севооборота снижаются. В этот период пруды-накопители играют роль бассейнов суточного регулирования. А благодаря конструкции оросительной системы возможна автоматизация ее работы и экономия оросительной воды при поливе.

Эффективность полива циклически орошаемых полей достигается включением в оросительную систему прудов-накопителей, расположенных на распределительных каналах, где поливная вода приобретает необходимые для полива характеристики, а также отходящих от прудов-накопителей поливных каналов, расположенных по горизонталям местности и соединенных в концевой части попарно сбросными каналами со следующей парой поливных каналов.

В каждой паре вышерасположенный канал снабжен подпорно-регулирующим сооружением, расположенным в его концевой части, а нижерасположенный канал выполнен с уклоном к распределительному каналу. Вода из распределительного канала попадает в следующий пруд-накопитель.

4.3.3 Оросительная система по патенту РФ № 2324332

Оросительная система патент РФ № 2324332 [164] (рисунок 4.23) работает следующим образом. Распределительный канал 1 посредством регулятора расхода 12 в головной части соединен с межхозяйственным транзитным каналом 13. Поливные каналы 2, 4, 6, 8, 10 и 3, 5, 7, 9, 11 расположены на местности горизонтально с взаимным удалением, равным ширине захвата фронтально перемещаемой дождевальная машины (ДДА-100 ВХ, «Кубань», «Днепр» и др.). Поливные каналы 2 и 4, 3 и 5, 6 и 8, 7 и 9 соединены в концевой части попарно сбросными каналами 14, 15, 16, 17, 18 и 19.

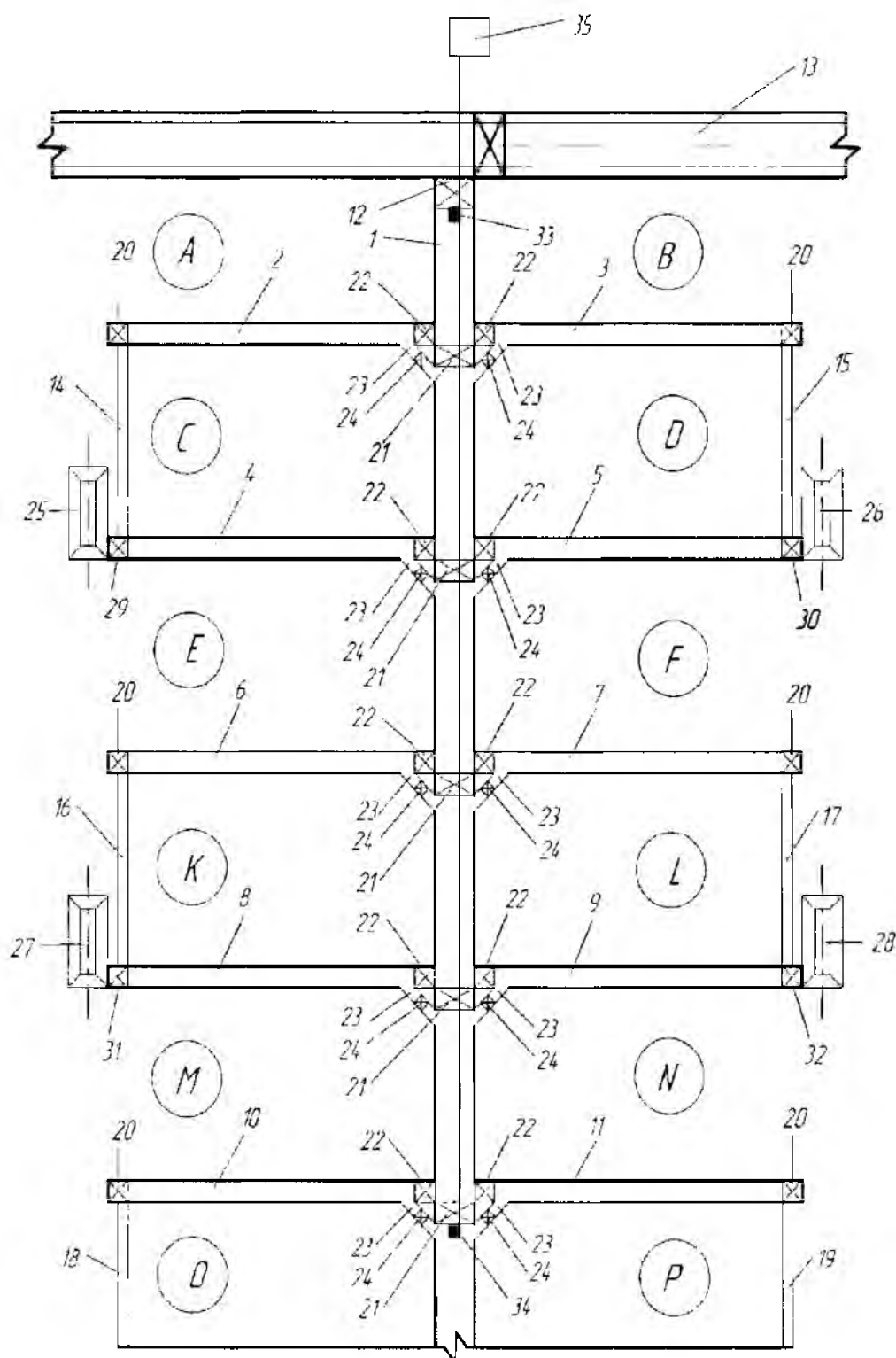


Рисунок 4.23 – Конструктивное решение ОС для орошения сельскохозяйственных культур (патент РФ № 2324332)

В каждой паре поливных каналов 2 и 4, 6 и 8, 3 и 5, 6 и 7 вышерасположенный канал 2, 6, 10 или 3, 7, 11 снабжен подпорно-регулирующим сооружением 20, расположенным в его концевой части. Нижерасположенный канал 4 (5, 8, 9) выполнен с уклоном к распределительному каналу 1.

Распределительный канал 1 оборудован у каждой пары поливных каналов 2 и 3, 4 и 5, 6 и 7, 8 и 9, 10 и 11 регуляторами уровня 21. На входах поливных каналов 8-11 установлены регуляторы уровней 22 нижнего бьефа.

Концевые части поливных каналов 2-11 соединены попарно (2 и 4, 6 и 8, 3 и 5, 7 и 9 и т. д.) сбросными каналами 14, 15, 16, 17, 18 и 19 соответственно. В каждой паре каналов 2 и 4, 3 и 5, 6 и 8, 7 и 9 вышерасположенный канал 2 (6 и 10, 3, 7 и 11) снабжен в концевой части подпорно-регулирующим сооружением 20, а нижерасположенный канал 4 (5, 8, 9 и др.) выполнен с уклоном к распределительному каналу 1 и обору́дован сбросными каналами 23 с подпорно-регулирующими сбросными сооружениями 24.

Оросительная система снабжена прудами-накопителями 25, 26, 27, 28 и др. Каждый из прудов-накопителей 25 (26-28) размещен на концевой части нижерасположенного канала 4 (5, 8, 9). Пруд-накопитель 25 (26-28) соединен подпорным сооружением 29 (30, 31 и 32), сбросным каналом 15 и подпорно-регулирующим сооружением 20 с концевой частью вышерасположенного поливного канала 2 (3, 6, 7, 10, 11 и т. д.).

Распределительный канал 1 снабжен датчиками расхода 33 и 34. Датчик расхода 33 установлен в головной части распределительного канала 1, а датчик расхода 34 – непосредственно на регуляторе уровня 21 нижнего бьефа. Поливные каналы 2-11 снабжены датчиками температуры воды и электрически связаны с диспетчерским пунктом 35. Орошаемые участки между поливными каналами 2-11 снабжены датчиками влажности почвы.

Предлагаемая оросительная система работает следующим образом.

На орошаемом массиве, который обслуживается описанной оросительной системой, поле А орошается фронтальной дождевальнóй машиной, забирающей при движении оросительную воду из поливного канала 2. Поле В обслуживается поливным каналом 3, орошаемые участки С и D пользуются водой, подаваемой каналами 4 и 5. Массивы Е и F обслуживаются поливными каналами 6 и 7. Таким образом, в направлении тока воды в распределительном канале 1, в каждой паре поливных каналов, например 6 и 8, может быть подвергнут орошению участок К.

Несмотря на ротацию сельскохозяйственных культур на орошаемых участках А и В желательно размещать многолетние травы, тогда как на поливных участках С и D – кукурузу на зерно, а на массивах Е и F – овощные культуры: лук и корнеплоды, на участках К и L – томаты, на участках М и N – баклажаны и огурцы. Это связано с тем, что в указанной последовательности кормовые и овощные культуры менее подвержены стрессовым ситуациям при больших перепадах температуры окружающего воздуха, почвы и оросительной воды.

Для полива кормовых растений в ранневесенний период на орошаемом массиве А и В при открытом регуляторе расхода 12 в головной части осуществляют пропуск воды из межхозяйственного транзитного канала 13 в распределительный канал 1.

Подпорно-регулирующие сооружения 20 на концевых участках поливных каналов 2 и 3 приведены в закрытые положения. Регуляторы уровней 21 в линейных парах поливных каналов 2 и 3, 4 и 5, 6 и 7, 8 и 9, 10 и 11 и т. д. приведены в крайние верхние уровни.

Регуляторы уровней 22 в поливных каналах 2 и 3 приведены на уровни отметок нижнего бьефа.

При заполнении поливных каналов 2 и 3 до заданного уровня фронтальными дождевальными машинами осуществляется забор оросительной воды и полив кормовых культур на орошаемых участках.

При завершении полива оставшаяся вода с поливного канала 2 через подпорно-регулирующее сооружение 20 по сбросному каналу 14 направляется в пруд-накопитель 25. Аналогичным образом производится наполнение емкости пруда-

накопителя 26. Температура воды в прудах-накопителях 25 и 26 за световой день поднимается с 10-13 до 18-22 °С. Эта вода используется как резерв и может быть сброшена в распределительный канал 1 для полива других массивов.

При поливе многолетних кормовых культур и кукурузы на орошаемых участках А и В и С и D в поливные каналы 4 и 5 поступают излишки воды через сбросные каналы 14 и 15 с поливных каналов 2 и 3 и прогретой воды из прудов-накопителей 25 и 26.

В каналах 4 и 5 вода перемешивается и при заборе воды дождевальными машинами она наносится на листостебельную массу теплолюбивых сельскохозяйственных культур, не приводя их к стрессовому состоянию.

Неиспользованная вода с поливных каналов 4 и 5 по сбросным каналам 23 подается в распределительный канал 1, заполняя его объем между регуляторами уровней 21 на орошаемых участках Е и F.

Выполняя вышеописанные операции, из поливных каналов 6 и 7 производится полив дождеванием овощных культур (лук, корнеплоды и т. д.) на участках Е и F.

Полив томатов на участках К и L производится преимущественно водой, подаваемой из прудов-накопителей 27 и 28.

Вышеописанным приемом фронтальными дождевальными машинами производится полив томатов, огурцов и баклажанов на орошаемом массиве М (N).

Таким образом за счет прудов-накопителей 25-28 производится резервирование неиспользованной воды в вышерасположенных каналах 2 (3, 6, 7, 10, 11), ее прогрев и повторное использование в нижерасположенных каналах 4 (5, 8, 9).

Этим достигается повышение степени использования оросительной воды с межхозяйственного распределительного канала 13 и создание комфортных условий для роста и плодоношения сельскохозяйственных культур.

Наличие датчиков влажности на орошаемых массивах А-Р, датчиков температуры воды в каналах 2-11 и в прудах-накопителях 25-28, датчиков расхода воды 33 и 34 в головной части распределительного канала 1 и на нижнем бьефе, регуляторов расхода воды 12 и регуляторов уровней 21 позволяет с диспетчерского пункта 35 оперативно изменять режимы орошения и автоматизировать процесс водораспределения в описанной оросительной системе.

Климатические условия определяют ресурсы местного стока и таким образом существенно влияют на размеры орошаемых площадей. Цикличность поливных и неполивных сезонов рассчитывается на основе климатических условий. Так, в степной зоне это соотношение составляет 1:1. В более южных районах оно может быть 1:2; 1:3. Однако необходимо помнить, что поливные сезоны не могут следовать один за другим подряд более 3-5 лет. Многолетний опыт показывает, что максимальная величина сбросов из магистральных и межхозяйственных каналов бывает обычно весной и осенью, а минимальная – в середине лета. Максимальный сброс оросительных вод с севооборотных участков происходит в период интенсивных поливов в середине лета.

Длительность орошаемого периода контролируют уровнем подъема грунтовых вод (до критического) и соблюдением ПДК (по внесению в почву с водой солей и других загрязняющих веществ).

Для циклического орошения, орошения на местном стоке, как правило, применяют быстросборные оросительные трубопроводы, которые транспортируют в комплекте с передвижными насосными станциями, шланговую поливную и другую мобильную или полустационарную технику.

Полустационарные оросительные системы – системы, у которых водозаборное сооружение, насосная станция, оросительная сеть занимают постоянное положение, а поливная техника перемещается с участка на участок.

Мобильные оросительные системы – системы, у которых все элементы оросительной сети (водозаборное сооружение, насосные станции, оросительная сеть, поливная техника) перемещаются в процессе полива непрерывно или работают позиционно. При использовании мобильной техники экономия воды может составлять до 30-50 %, объема воды, затрачиваемой на традиционные способы полива. Устройство автоматической поливочной системы орошения дополнительных площадей за счет ресурсов местного стока, предусматривает следующую технологию работ: подбор видов мобильных или полустационарных дождевателей и гидравлический расчет; подбор зон; ручное или автоматическое управление поливом; трассировка местности; монтаж блоков автоматики и напорного узла; прокладка траншей; монтаж трубопроводов; пусконаладочные работы и др.

Решение о необходимости сложного или простого управления полустационарной или мобильной оросительной системой зависит от многих факторов. Например, при сложном управлении система автоматики включает в себя автономные микропроцессоры, контроллеры, станцию управления, выполненную на базе персональной ЭВМ, куда поступают данные от датчиков температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, солнечной радиации, состава удобрительных растворов, влажности почвы. Обработка этих данных на ЭВМ приводит в действие контроллеры для управления процессами орошения и внесения удобрений вместе с поливной водой, для приготовления растворов удобрений и средств защиты растений, а также для управления стационарными и мобильными оросительными системами и установками.

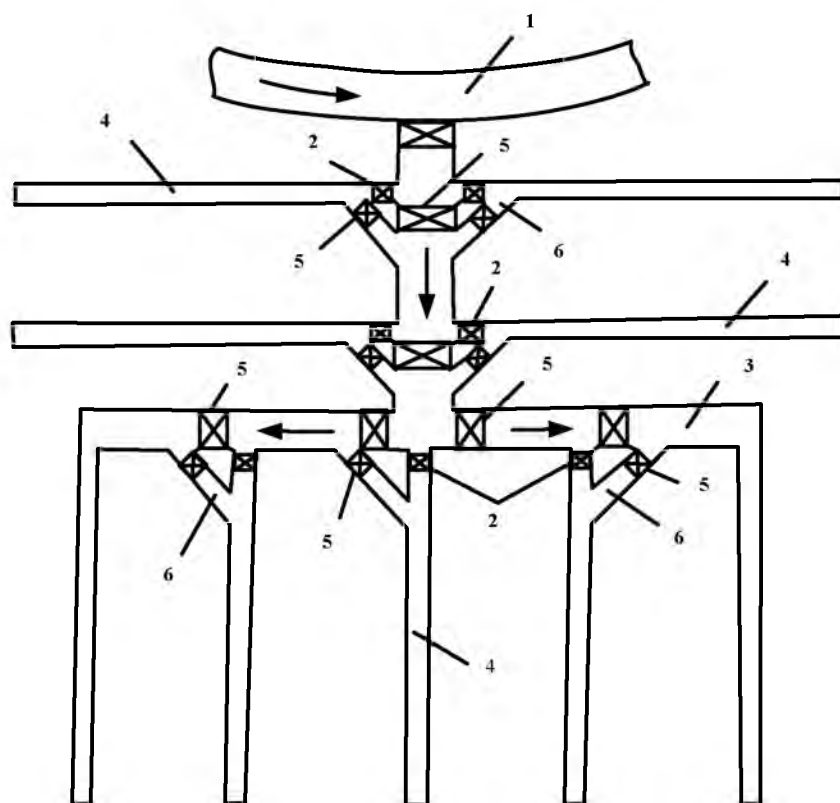
Наиболее простые экспресс-методы контроля качества поливов основаны на использовании датчиков влажности почвы (тензиометры), по показаниям которых назначается время начала и окончания поливов. При опускании влаги в почве на определенной глубине до принятой влажности почвы, равной 0,7 НВ, передается команда на электроклапаны и пускатели на начало полива. При достижении влажности почвы в этом слое величины НВ подается обратная команда, и полив автоматически прекращается.

Одна из основных стадий проектирования – профессионально выполненный гидравлический расчет. От него напрямую зависит правильное и оптимальное функционирование всей полустационарной или мобильной системы полива. Эта стадия взаимосвязана с выбором типа напорного узла. От входных данных питающей магистрали, длины, диаметра и материала трубопровода, сложности рельефа, зависит расчетное количество дождевателей каждого типа, способных работать одновременно. На данной стадии проектирования учитывается и тот фактор, что каждый тип дождевателя, и даже дождеватели одного типа, но установленные на разный сектор орошения имеют различную интенсивность полива. Это очень важно для равномерного полива.

Магистральный трубопровод должен быть рассчитан на пропуск 50 % расхода, необходимого для орошения севооборота на дополнительных площадях орошения, распределительные трубопроводы должны обеспечить 100 %-ную подачу воды для возможности осуществления орошения самой влаголюбивой культуры при ее размещении на любом поле.

4.3.4 Оросительная система по авторскому свидетельству СССР № 1249104

На рисунке 4.24 приведена схема оросительной системы (А. с. № 1249104. – Б. И. – 1986. – № 29 [165]), предназначенной для орошения земель при групповой работе широкозахватных дождевальных машин «Кубань».



1 – источник орошения; 2, 5 – регуляторы расхода и уровня;
3, 6 – распределительные и перепускные каналы; 4 – оросители

Рисунок 4.24 – Оросительная система с регуляторами уровня и расхода

Оросительная система состоит из распределительного и поливных каналов, на которых установлены регуляторы уровня верхнего бьефа двустороннего действия. Кроме того, в головной части поливных каналов имеются регуляторы расхода. При включении в работу дождевальной машины вода поступает по распределительному каналу транзитом через регуляторы уровня верхнего бьефа. В случае отключения дождевальной машины начинает переполняться соответствующая ветвь распределительного канала, при этом посредством регуляторов двустороннего действия обеспечивается регулирование расхода. Предлагаемая схема оросительной системы позволяет улучшить ее эксплуатационные характеристики благодаря повышению надежности и обеспечению рационального использования оросительной воды.

4.3.5 Оросительные системы по авторским свидетельствам СССР № 1249104, № 1481919 и № 1212382

Аналогичная конструкция открытой оросительной системы с усовершенствованными элементами регулирования водораспределения зарегистрирована А. с. № 1356272, 1985 г. [166].

Для повышения надежности работы оросительных систем на участках со значительными уклонами предложена конструкция (А. с. № 1481919, 1987 г. [167]), включающая хозяйственные распределители, поливные каналы, которые выполнены сквозными и снабжены регуляторами в точках сопряжения с хозяйственными распределителями.

Разработана также конструкция открытой оросительной системы с гидравлическим способом водораспределения (рисунок 4.25, а; А. с. № 1212382. – Б. И. – 1986. – № 7 [168]), включающая распределительный канал с регулятором уровня верхнего бьефа за выделами в поливные каналы (с фронтальными поливными машинами) и

сбросной канал в конце распределительного канала. Для повышения надежности водораспределения (путем обеспечения обратной связи с малым запаздыванием) система снабжена каналом связи между началом и концом распределительного канала, в начале которого установлен регулятор расхода, а в конце – регулятор уровня нижнего бьефа с датчиком расхода сброса воды. В начале распределительного канала также установлен регулятор уровня, датчик которого расположен за регулятором расхода канала связи. Распределительный канал выполнен П-образной формы, причем длина каждой стороны его кратна ширине захвата фронтальных поливных машин.

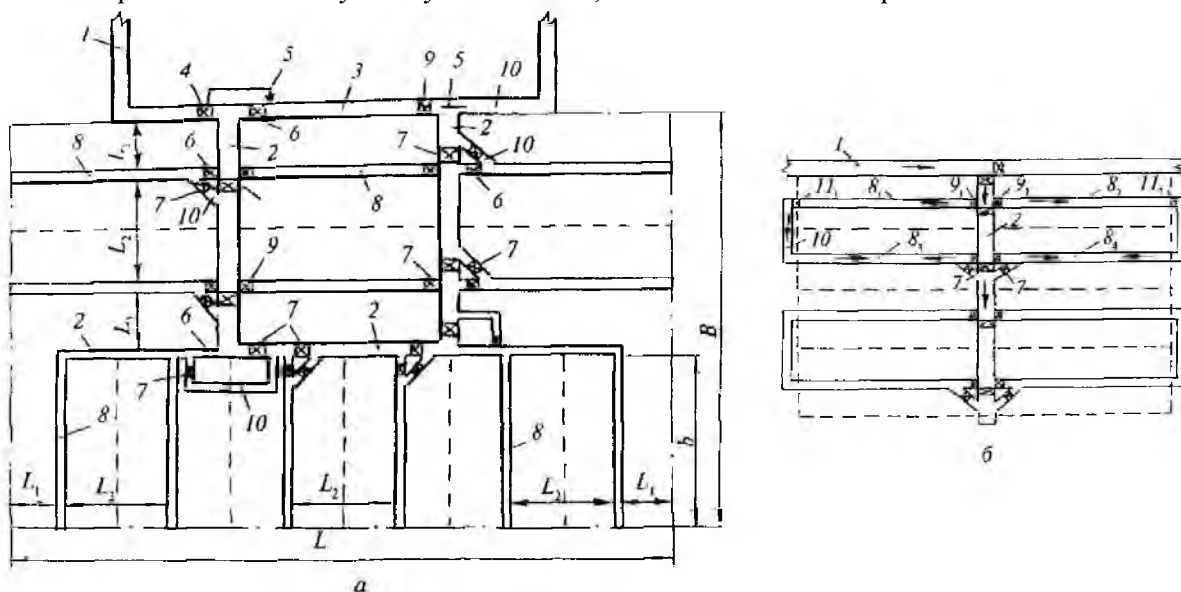
Чтобы исключить возможность переполнения поливных каналов, в их начале установлены регуляторы расхода, выход от которых соединен с выходом от регуляторов уровня на распределительном канале в местах отвода в поливные каналы через регуляторы уровня нижнего бьефа.

Для увеличения коэффициента использования орошаемой площади к углам распределительного канала могут быть подключены дополнительные поливные каналы, длина каждого из которых кратна 0,5 захвата фронтальных поливных машин.

С применением П-образного распределительного канала орошаемый массив получает оптимальную форму и легко стыкуется с другими подобными орошаемыми участками. Кроме того, канал такой формы позволяет получить устойчивую обратную связь с минимальным временем поступления сигнала из конца канала в его начало. При этом сокращается протяженность внутрихозяйственной сети, а наличие надежной обратной связи позволяет сократить эксплуатационные расходы.

4.3.6 Оросительная система по авторскому свидетельству СССР № 1356272

Для автоматизации водораспределения предложена оросительная система с использованием дождевальных машин (рисунок 4.25,б; а. с. № 1356272), содержащая распределительный и поливные каналы, снабженные подпорно-регулирующими сооружениями. Поливные каналы соединены в концевой части, а нижерасположенный канал выполнен с уклоном к распределительному каналу. При этом распределительный канал расположен по уклону местности, а поливные – по горизонтали.



- 1 – магистральный канал; 2 – распределительные каналы; 3 – канал связи;
4 – регулятор уровня; 5 – датчик; 6 – регулятор расхода; 7 – регулятор уровня
верхнего бьефа; 8 – оросители; 9 – регулятор уровня нижнего бьефа;
10 – сбросные каналы; 11 – подпорные сооружения

Рисунок 4.25 – Открытые оросительные системы с гидравлической автоматизацией

До начала работы дождевальных машин система заполняется водой. Для этого в голове распределительного канала открывается регулятор расхода. Вода, поступая в распределительный канал, создаст необходимый уровень перед регулятором 5. Одновременно открываются регуляторы 9₁, 9₂ и вода заполняет поливные каналы 8₁ и 8₂. Излишки ее через подпорные сооружения 11₁ и 11₂ сбрасываются в поливные каналы 8₃ и 8₄ и т. д.

При включении в работу дождевальной машины на поливном канале 8₁ уровень воды в нем понижается, открывается регулятор 9₁ и вода поступает в канал. Излишки ее через подпорное сооружение 11₁ по сбросному каналу 10 сбрасываются в поливной канал 8₃, а затем по сбросному каналу 7₁ – в распределительный канал 2. При отключении машины уровень воды в поливном канале 8₁ поднимается, регулятор 11₁ закрывается и поступление воды в него прекращается.

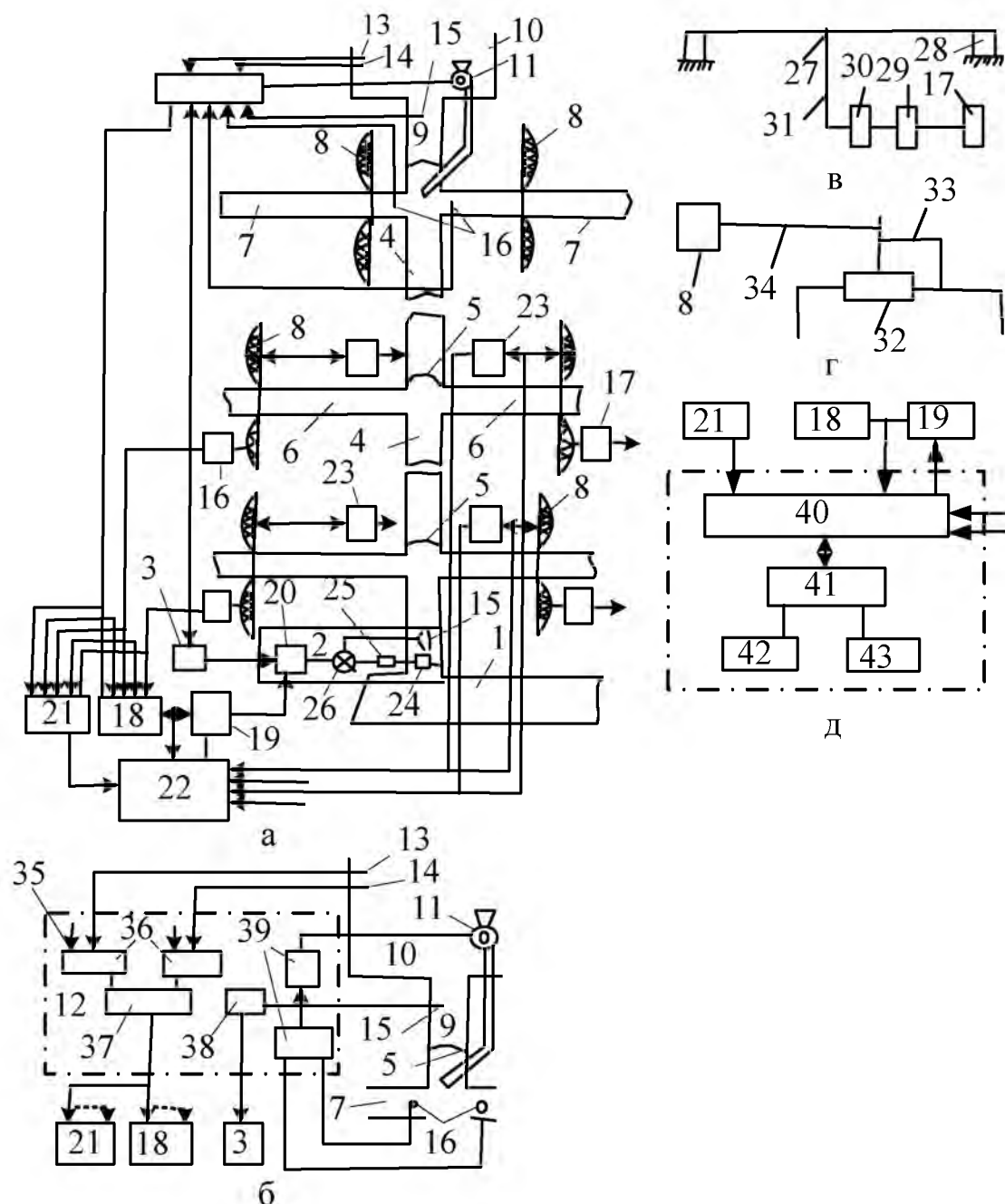
4.3.7 Оросительные системы по авторским свидетельствам СССР № 1287793, № 1319804, № 1478392 и № 1551291

Для автоматизации технологических процессов водораспределения в оросительных системах с открытыми каналами при поливе широкозахватными дождевальными машинами могут быть использованы системы, включающие комплекс управляющих устройств (А. с. № 1287793, № 1319804. – Б.И. – 1987. – № 5, № 24, № 1478392, 1987 г., № 1551291. – Б.И. – 1990. – № 11) [169-172].

Автоматизированная оросительная система (рисунок 4.26, а; А. с. № 1319804) снабжена датчиками положения машин и сигнализаторами их работы, дешифратором, счетно-логическим устройством и устройством задержки. Причем блок управления насосной установкой и сигнализаторы работы машин подключены линиями связи (в виде тросов систем стабилизации машин, изолированных от земли) к дешифратору и сумматору, датчики положения машин, дешифратор и сумматор – к счетно-логическому устройству, а выходом – к регулятору водоподдачи. При этом сигнализаторы работы машин выполнены в виде датчиков технологического процесса полива, преобразователя и шифратора, связанного через пантограф с направляющим тросом, а датчики положения машин – в виде переменного резистора. На рисунках 4.26, б-д приведены схемы передачи информации и структурные схемы управления.

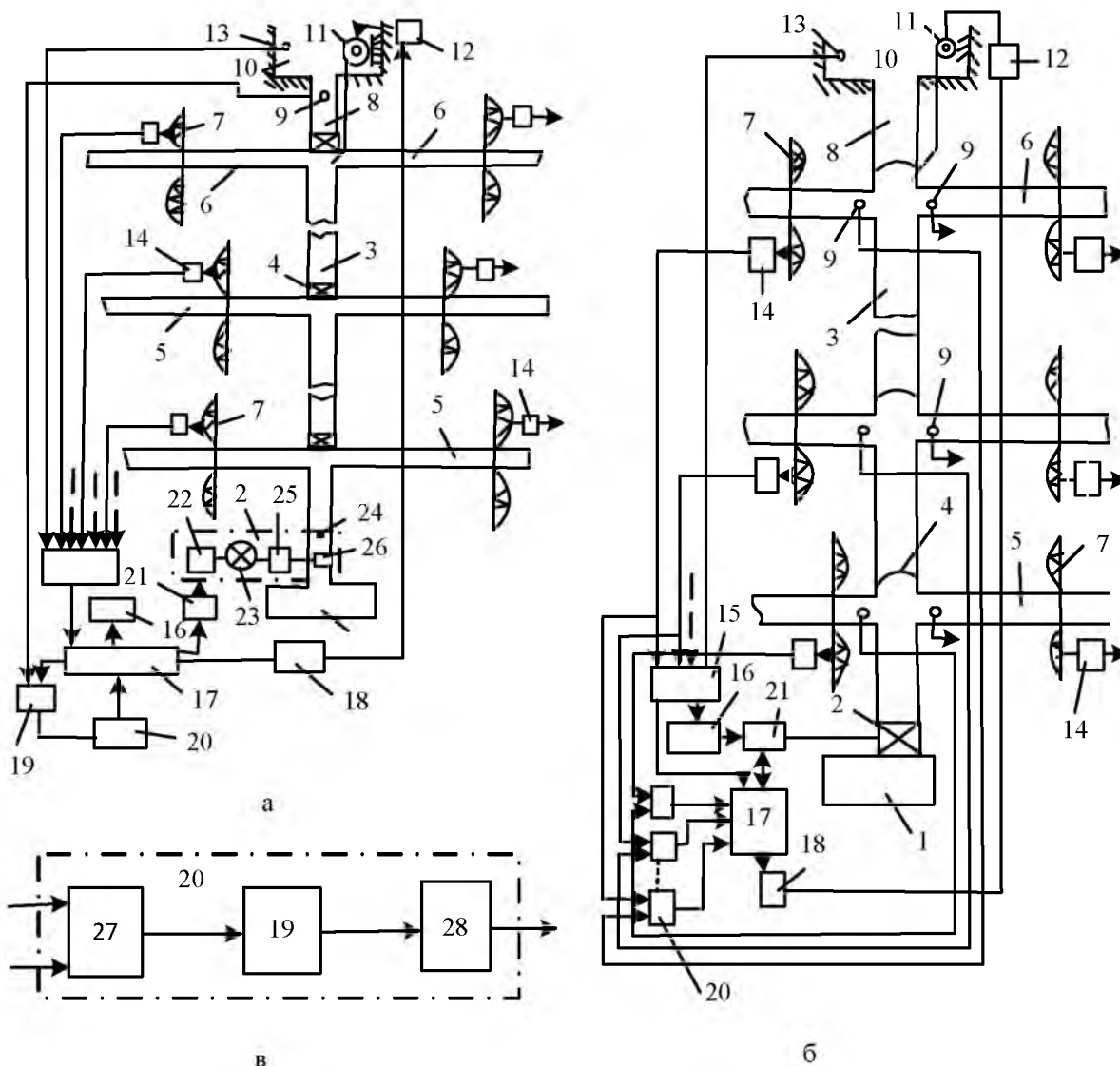
Применение данной конструктивной схемы оросительной системы обеспечивает повышение быстродействия системы управления водоподачей с одновременным снижением объемов транзитной и повторно используемой воды, а также уменьшение объемов регулирования в распределительных каналах, оросительных и резервных бассейнах. Экономия воды составляет 15-20 % общего поступления, что позволяет оросить дополнительно 250-300 га при использовании 10 машин.

На рисунках 4.27, а, б представлены схемы автоматизированных оросительных систем (А. с. № 1478392 и № 1551291), снабженных сигнализаторами расхода и блоком измерения времени добегания воды в оросителе (рисунок 4.27, в), что позволяет повысить точность определения времени добегания измененных расходов и снизить объемы сбрасываемых вод.



а – общая схема; б – структурная схема управления неполной установки; в – схема передачи информации от сигнализаторов работы ДМ; г – схема датчика положения ДМ; д – структурная схема счетно-логического устройства; 1 – источник орошения; 2 – регулятор расхода; 3 – логический блок; 4 – распределительный канал; 5 – стабилизаторы уровня; 6, 7 – оросители; 8 – ДМ; 9 – водосброс; 10 – резервный бассейн; 11 – насосная установка (НУ), 12 – блок управления; 13, 14 – датчики верхнего и нижнего уровней; 15 – датчик расхода; 16, 17 – сигнализаторы работы последних оросителей и ДМ; 18 – сумматор; 19 – блок задержки; 20 – задатчик; 21 – дешифратор; 22 – счетно-логическое устройство; 23 – датчик положения ДМ; 24 – затвор; 25 – привод; 26 – устройство сравнения; 27 – направляющий трос; 28 – изолятор; 29 – преобразователь; 30 – шифратор; 31 – пантограф; 32 – резистор; 33 – движок; 34 – тросик; 35, 36 – задатчики и компараторы min и max уровней воды; 37 – триггерное устройство; 38 – устройство сопряжения; 39 – блок управления НУ; 40 – интерфейсный блок; 41 – процессор; 42, 43 – оперативное и постоянное запоминающие устройства

Рисунок 4.26 – Автоматизированная оросительная система



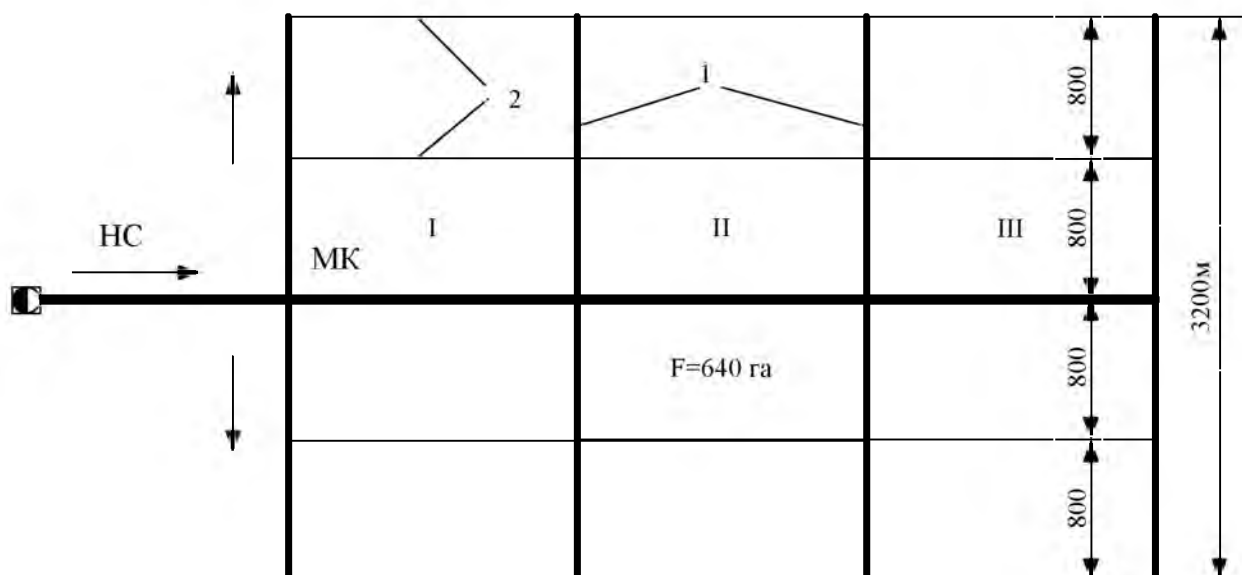
1 – источник орошения; 2 – регулятор водоподачи; 3 – распределительный канал; 4 – стабилизатор уровня; 5, 6 – оросители; 7 – ДМ; 8 – водосброс; 9, 13 – сигнализаторы расхода и уровня; 10 – резервный бассейн; 11 – насосная установка (НУ); 12 – блок управления; 14 – сигнализаторы работы ДМ; 15 – дешифратор; 16 – сумматор; 17 – счетно-логическое устройство; 18 – устройство задержки включения НУ; 19 – секундомер; 20 – блок памяти; 21 – устройство задержки регулятора; 22 – блок установки заданного расхода; 23 – устройство сравнения расходов; 24 – датчик; 25 – привод; 26 – затвор; 27 – узел управления; 28 – ячейка памяти

Рисунок 4.27 – Автоматизированные оросительные системы, снабженные блоком измерения времени добега воды в оросители

Ниже даны расчеты по обоснованию некоторых параметров ряда разработанных конструкций оросительных систем четвертого поколения.

4.4 Гидравлический расчет каналов для определения числа одновременно работающих ДМ «Кубань» на автоматизированной ОС

Расчет числа одновременно работающих дождевальных машин «Кубань» на автоматизированной оросительной системе (по А. с. № 1481919, 1987 г.) выполним для поливных каналов-оросителей стандартного трапецидального сечения ($b = 0,6$ м, $h_{\min} = 0,7$ м, $m = 1,5$), которые одновременно используются для транспортирования воды на последующие участки (рисунок 4.28).



1 – распределительные каналы; 2 – оросители

Рисунок 4.28 – Расчетная схема автоматизированной оросительной системы с ДМ «Кубань»

Уклон дна каналов примем от 0,0001 до 0,001, коэффициент шероховатости $n = 0,017$.

Определим гидравлические параметры каналов-оросителей:

$$\omega = (b + m \cdot h) \cdot h = (0,6 + 1,5 \cdot 0,7) \cdot 0,7 = 1,155 \text{ м}^2;$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 0,6 + 2 \cdot 0,7\sqrt{1 + 1,5^2} = 3,12 \text{ м};$$

$$R = \omega / \chi = 1,155 : 3,12 = 0,369 \text{ м};$$

$$C = R^{1/6} / n = 0,369^{1/6} : 0,017 = 49,80 \text{ м}^{0,5} / \text{с}.$$

Вычислим теперь значения средней скорости течения v и расхода в каналах-оросителях $Q_{\text{ор}}$:

а) при $i = 0,0001$:

$$V = C \sqrt{R \cdot i} = 49,8 \sqrt{0,369 \cdot 0,0001} = 0,303 \text{ м/с};$$

$$Q_{\text{ор}} = \omega \cdot V = 1,155 \cdot 0,303 = 0,350 \text{ м}^3/\text{с};$$

б) при $i = 0,0001$:

$$V = 49,8 \sqrt{0,369 \cdot 0,001} = 0,956 \text{ м/с};$$

$$Q_{\text{ор}} = 0,956 \cdot 1,155 = 1,105 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Общее число одновременно работающих ДМ «Кубань» для оросительной системы из четырех оросителей (при требуемом расходе для каждой ДМ $Q_{\text{ДМ}} = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$) будет равно:

а) при $i = 0,0001$:

$$Q_{\text{ос}} = Q_{\text{ор}} \cdot 4 = 0,350 \cdot 4 = 1,4 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$N = Q_{\text{ос}} / Q_{\text{ДМ}} = 1,4 : 0,2 = 7;$$

$$F_{\text{ос}} = 640 \cdot 2 = 1280 \text{ га};$$

б) при $i = 0,001$:

$$Q_{\text{ос}} = Q_{\text{ор}} \cdot 4 = 1,105 \cdot 4 = 4,42 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$N = Q_{\text{ос}} / Q_{\text{ДМ}} = 4,42 : 0,2 = 22,1;$$

$$F_{oc} = 640 \cdot 6 = 3840 \text{ га},$$

где Q_{oc} , F_{oc} – соответственно расход и общая площадь оросительной системы.

Таким образом, согласно выполненному гидравлическому расчету при минимальном уклоне поливных каналов $i = 0,0001$ обеспечивается одновременная работа семи ДМ «Кубань», что соответствует двум участкам общей площадью $F_{oc} = 1280$ га, а при максимальном уклоне $i = 0,001$ обеспечивается работа 22 ДМ, что соответствует шести участкам суммарной площадью $F_{oc} = 3840$ га.

4.5 Гидравлический расчет распределительного канала П-образной формы на пропуск транзитного расхода при равномерном движении

Расчетная схема распределительного канала оросительной системы (по А. с. № 1356272; рисунок 4.25, б) приведена на рисунке 4.29.

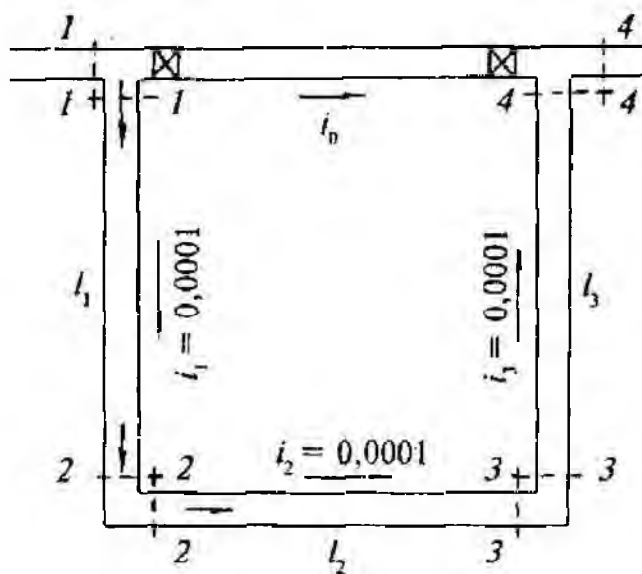


Рисунок 4.29 – Фрагмент оросительной системы с распределительным каналом П-образной формы

В случае транзитного пропускa расхода по распределительному каналу 1-2-3-4 движение на трех его прямолинейных участках 1-2, 2-3 и 3-4 при постоянном расходе можно рассматривать как близким к равномерному. Нарушение равномерного движения будет наблюдаться на участках поворота потока 1-1, 2-2, 3-3.

Задачей гидравлического расчета распределительного П-образного канала на равномерное движение является определение потерь напора, глубины потока в канале и необходимого уклона соединительного канала 1-4.

Общие потери напора в распределительном канале будут складываться из потерь напора по длине на трех участках и местных потерь на четырех поворотах, то есть:

$$h'_w = \sum h_l + \sum h_{пов} = h_{l_1} + h_{l_2} + h_{l_3} + h_{пов_1} + h_{пов_2} + h_{пов_3} + h_{пов_4}. \quad (4.1)$$

При равных длинах участков распределительного канала и условиях поворота потока

$$h'_w = 3h_l + 4h_{пов}. \quad (4.2)$$

В общем случае потери напора по длине канала l можно найти по формуле:

$$h_l = \lambda l V^2 / 8Rg, \quad (4.3)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения;

R – гидравлический радиус;
 V – средняя скорость потока.

Средняя скорость потока вычисляется по формуле Шези:

$$V = C / \sqrt{Ri},$$

где C – коэффициент Шези;

i – уклон дна канала.

Для определения коэффициента Шези для бетонных русел каналов, которые применяются при поливе дождевальными машинами «Кубань», целесообразно использовать формулу А. Д. Альтшуля, справедливую как для переходной, так и квадратичной областей сопротивления:

$$C = 24 \lg [2R / (k_s + 0,036 \sqrt{Ri})], \quad (4.4)$$

где k_s – эквивалентная абсолютная шероховатость бетонной поверхности каналов, определяемая по таблицам А. Д. Альтшуля или приближенно по формуле $k_s = (80n)^6$.

Для малых скоростей потока и русел малой шероховатости (при гладких поверхностях) формула (4.4) имеет следующий вид:

$$C = 24 \lg 2R \sqrt{Ri} + 19,25; \quad (4.5)$$

для больших скоростей и русел большой шероховатости (квадратичного сопротивления):

$$C = 24 \lg (2R / k_s). \quad (4.6)$$

Область сопротивления можно установить из условия Прандтля-Никурадзе:

$$\lg(V_\gamma \Delta / V) > 1,83, \quad (4.7)$$

которое означает наличие квадратичных сопротивлений. Здесь $V_\gamma = (gRI)^{0,5}$ – динамическая скорость; $\Delta = k_s$ – абсолютная шероховатость.

Коэффициент гидравлического трения λ можно найти по зависимостям Ю. М. Косиченко для бетонного русла каналов, полученным на основании обработки натуральных данных [173]:

- при спокойном состоянии потока (число Фруда $F_r < 1$):

$$\lambda = 0,245 / Re^{0,158}; \quad (4.8)$$

- при бурном состоянии потока (число Фруда $F_r > 1$):

$$\lambda = 0,0187 / Re^{0,0364}, \quad (4.9)$$

где $Re = 4VR/\nu$ – число Рейнольдса;

$\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – динамический коэффициент вязкости воды.

Местные потери напора на поворот открытого канала найдем по формуле Вейсбаха:

$$h_{\text{пов}} = \xi_{\text{пов}} V^2 / 2g, \quad (4.10)$$

где $\xi_{\text{пов}}$ – коэффициент сопротивления поворота открытого канала, определяемый по опытными данным Шакри [174]. Ориентировочно значения $\xi_{\text{пов}}$ при $h/b = 0,7-1,2$ и $r/b = 0,5$ (согласно графикам Шакри) будут равны 0,8-1,1.

Необходимый уклон соединительного канала 1-4 находим из условия:

$$h_{1-4} = h_{w_{1-2-3-4}}.$$

Тогда возможно следующее соотношение:

$$Q^2 / K^2 = h_i / l,$$

где $K = f(h)$.

Откуда необходимый уклон соединительного канала 1-4 будет равен:

$$i = Q / K^2 = h_i / l. \quad (4.11)$$

Пример расчета. Выполним гидравлический расчет распределительного канала П-образной формы при следующих исходных данных: $l_1=l_2=l_3=1000$ м; $i=0,0001$; $b=0,6$ м; $h=1$ м; $m=1,5$; $n=0,017$.

Определяем параметры канала:

$$\begin{aligned}\omega &= (b + m \cdot h) \cdot h = (0,6 + 1,5 \cdot 1,0) \cdot 1,0 = 2,1 \text{ м}^2; \\ \chi &= b + 2h\sqrt{1+m^2} = 0,6 + 2 \cdot 1,0 \sqrt{1+1,5^2} = 4,2 \text{ м}; \\ R &= \omega / \chi = 2,1 : 4,2 = 0,5 \text{ м}.\end{aligned}$$

Вычисляем коэффициент Шези:

$$\begin{aligned}C &= 241 \lg \left[2500 / (6,33 + 0,036 \sqrt{500 \cdot 0,0001}) \right] = 52,5 \text{ м}^{0,5} / \text{с}; \\ k_s &= (80n)^6 = (80 \cdot 0,017)^6 = 6,33 \text{ мм}.\end{aligned}$$

Проверяем условие Прандтля-Никурадзе:

$$\lg(V_\gamma \Delta / V) = \lg(0,022 \cdot 0,00633 : 10^{-6}) = 2,14 > 1,83$$

(область квадратичных сопротивлений).

Вычисляем среднюю скорость и расход воды в канале:

$$\begin{aligned}V &= C / \sqrt{Ri} = 52,5 \sqrt{0,5 \cdot 0,0001} = 0,37 \text{ м/с}; \\ Q &= \omega \cdot V = 2,1 \cdot 0,37 = 0,777 \text{ м}^3 / \text{с}.\end{aligned}$$

Определяем коэффициент гидравлического трения при спокойном состоянии потока (состояние потока спокойное):

$$\begin{aligned}\text{Re} &= 4VR / \nu = 4 \cdot 0,37 \cdot 0,5 : 1 \cdot 10^{-6} = 0,74 \cdot 10^{-6}; \\ \lambda &= 0,245 / \text{Re}^{0,158} = 0,245 : (0,74 \cdot 10^{-6})^{0,158} = 0,0289; \\ F_r &= \alpha V^2 / gh = 1,1 \cdot 0,37^2 : 9,81 \cdot 1,0 = 0,015 < 1,0.\end{aligned}$$

Вычислим общие потери напора:

$$h'_w = (\lambda 3l / 4R + 4\xi_{\text{пов}}) V^2 / 2g = (0,0289 \cdot 3 \cdot 1000 : 4 \cdot 0,5 + 4 \cdot 1) \cdot 0,37^2 : 2 \cdot 9,81 = 0,33 \text{ м}.$$

Для отсутствия подпора в распределительном канале при работе основного канала подпитки его уклон найдем из условия (4.11) при значении h'_w равном 0,33 м;

$$i_o = h'_w / l = 0,33 \cdot 10^{-3}.$$

Глубину в канале можно найти путем подбора по зависимости $K = F(h)$.

4.6 Расчет распределительного канала при неустановившемся движении

Для расчета одномерного медленно изменяющегося течения обычно применяют систему уравнений Сен-Венана [175]:

- уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + v \frac{\partial S}{\partial l} + S \frac{\partial V}{\partial l} = 0, \quad (4.12)$$

где S – площадь живого сечения;

- динамическое уравнение:

$$i - \frac{\partial h}{\partial l} = \frac{\alpha V}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial l} + \frac{\alpha'}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V^2}{C^2 R}. \quad (4.13)$$

Решение их выполняют численными методами с использованием ЭВМ.

При автоматическом регулировании расходов воды в каналах важно знать границу распространения влияния возмущения на наибольшие отклонения глубины наполнения каналов. В результате совместного решения уравнений получим [176]:

$$\left(h - \frac{V^2}{g} \cdot \frac{Bh}{\omega} \right) - \left(2 \frac{Bh}{g\omega} P + Jx \right) \frac{\partial Z}{\partial S} - \left(\frac{V}{g} P + 2J \right) \frac{Bh}{\omega V} (Z - \xi_0) = 0. \quad (4.14)$$

Неустановившееся движение в каналах ОС будет возникать вследствие автоматического регулирования степени открытия или закрытия регуляторов на каналах. Общая зависимость расхода, проходящего через подпорно-регулирующее сооружение, определяется следующей формулой:

$$Q = m'_0 b \sqrt{2g} [h^{3/2} + H^{3/2} - (H-a)^{3/2}], \quad (4.15)$$

то есть функциональная связь между расходом и величиной открытия щита и глубины над гребнем щита будет иметь такой вид:

$$Q = f(H, a, h, m'_0), \quad (4.15 \text{ а})$$

где H – глубина потока перед щитом;

a – высота открытия щита;

h – глубина над гребнем щита;

m'_0 – общий коэффициент расхода подпорно-регулирующего сооружения.

Для численного решения уравнения (4.15) линеаризуем зависимость (4.15, а). Для этого найдем полный дифференциал расхода:

$$\partial Q = \frac{\partial Q}{\partial H} dH + \frac{\partial Q}{\partial a} da + \frac{\partial Q}{\partial h} dh + \frac{\partial Q}{\partial m'_0} dm'_0. \quad (4.16)$$

Заменим полные дифференциалы конечными разностями в виде:

$$Q - Q_0 = \left[\frac{\partial Q}{\partial H} \right]_{H=H_0} (H - H_0) + \left[\frac{\partial Q}{\partial a} \right]_{a=a_0} (a - a_0) + \left[\frac{\partial Q}{\partial h} \right]_{h=h_0} (h - h_0) + \left[\frac{\partial Q}{\partial m'_0} \right]_{m'_0=m''_0} (m'_0 - m''_0),$$

где $Q_0, H_0, a_0, h_0, m''_0$ – значения параметров при стационарном режиме движения.

Таким образом, получаем:

$$Q = a_1 H + b_1 a + c_1 h + d_1 m'_0 + e_1. \quad (4.17)$$

Найдя частные производные $\left[\frac{\partial Q}{\partial H} \right]_{H=H_0}, \left[\frac{\partial Q}{\partial a} \right]_{a=a_0}, \left[\frac{\partial Q}{\partial h} \right]_{h=h_0}, \left[\frac{\partial Q}{\partial m'_0} \right]_{m'_0=m''_0}$ и подста-

вив их в уравнение (4.17), получим формулу расхода воды через сооружения при нестационарном режиме.

4.7 Примеры оценки надежности автоматизированных ОС

Согласно теории надежности [156] вероятность безотказной работы системы определяются по зависимостям:

- при последовательном (основном) соединении:

$$P_c(t) = P_1(t) P_2(t) \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t); \quad (4.18)$$

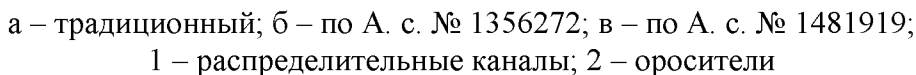
- при параллельном соединении:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)]. \quad (4.19)$$

Рассмотрим расчет вероятности безотказной работы оросительной системы для традиционной схемы полива с помощью ДМ «Кубань» и схем (рисунок 4.30), предложенных автором (А. с. № 1356272 и № 1481919 [166, 167]).

Для традиционной схемы (рисунок 4.30, а) характерно последовательное соединение всех оросителей. Тогда, принимая вероятность безотказной работы распределителя $P_p = 0,99$ и оросителей $P_o = 0,95$, по формуле (4.18) получим надежность всей системы:

$$P = P_p P_{o1} P_{o2} P_{o3} P_{o4} = 0,99 \cdot 0,95^4 = 0,806.$$



Для схемы, включающей параллельное соединение замкнутых оросителей (рисунк 4.30, б), вероятность безотказной работы найдем с учетом зависимостей (4.18) и (4.19):

Для схемы ОС, представленной на рисунке 4.30, в, вероятность безотказной работы будет равна:

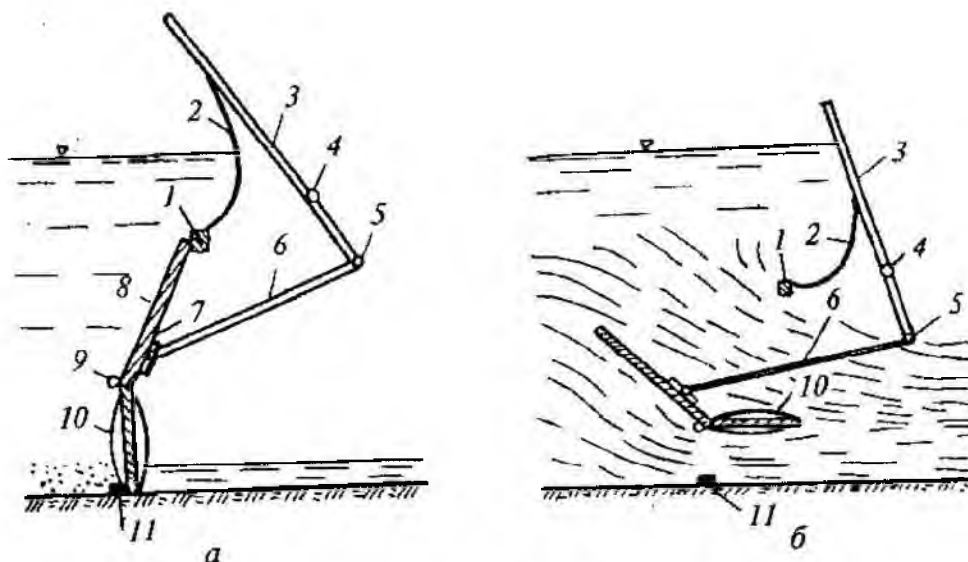
Анализ полученных результатов показывает, что надежность предложенных автором оросительных систем (А. с. № 1356272 и № 1481919 [166, 167]) по сравнению с традиционной схемой повышается на 16-18 % в результате параллельного соединения оросителей, то есть их резервирования.

Подпорно-регулирующие сооружения применяются при водораспределении для регулирования уровня воды по верхнему или нижнему бьефам. В РосНИИПМ разработано свыше 50 конструкций подпорно-регулирующих сооружений, которые защищены авторскими свидетельствами. Все предложенные сооружения можно классифицировать по конструктивным признакам на пять групп:

- При формировании групп за основной признак выбирался тип рабочего органа, однако такое разграничение условно, так как в ряде случаев выявить тип основного рабочего органа достаточно сложно.

4.8.1 Щитовые (клапанные) регуляторы

Регуляторы представляют наиболее обширную группу. Характерным элементом для данной группы регуляторов является напорный щит. Регулятор уровня верхнего бьефа (рисунок 4.31, а, б; А. с. № 805265. – Б.И. – 1981. – № 6 [177]) состоит из установленных на осях вращения рамы и щита, а также гибкой оболочки, соединенной с рамой и балкой, установленной поперек канала. В его конструкцию включен рычаг, один конец которого шарнирно соединен с рамой, а другой установлен в направляющих, закрепленных на щите, выполненном с V-образным поперечным сечением.



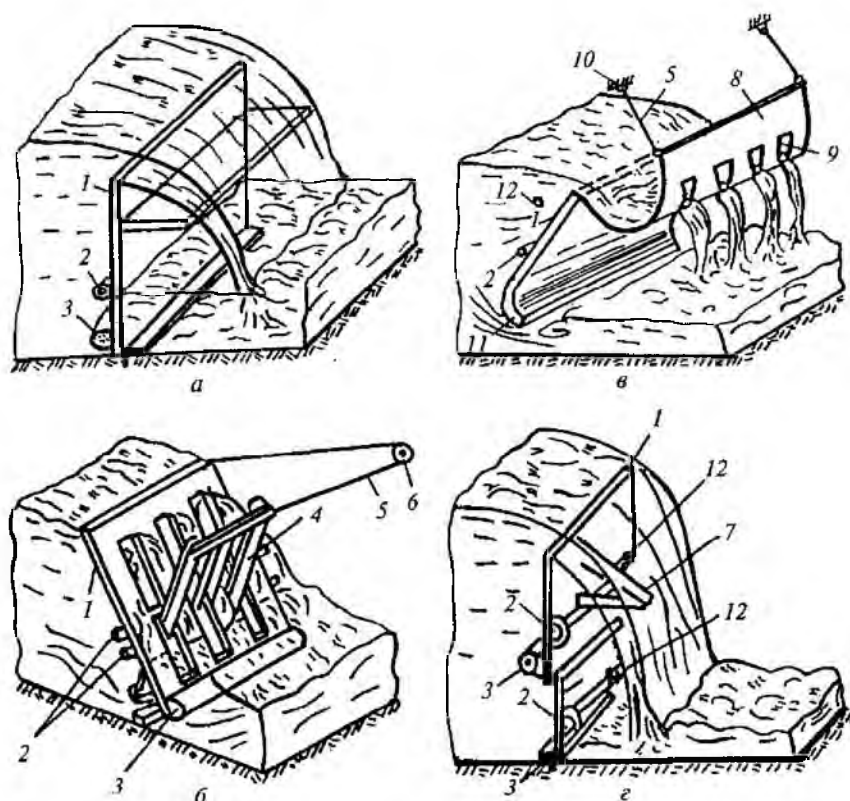
а – закрытое положение, б – открытое положение; 1 – горизонтальная балка;
2 – гибкая оболочка; 3 – рама; 4, 9 – оси, 5 – шарнир, 6 – рычаги; 7 – направляющие;
8 – щит; 10 – обтекатель; 11 – упор

Рисунок 4.31 – Регулятор уровня верхнего бьефа

При нормальном уровне воды в канале щит закрывает сбросное отверстие (рисунок 4.31, а). С увеличением уровня в верхнем бьефе гибкая оболочка поднимает раму. При этом усилие через рычаги передается на щит, который открывает донное отверстие и отверстие между верхом щита и балкой. Нижняя часть щита при этом поворачивается в сторону нижнего бьефа и наносы беспрепятственно смываются током воды. Подступающий из верхнего отверстия поток соударяется с донным, что способствует их взаимному гашению. С увеличением расхода донное и верхнее отверстия открываются еще сильнее (рисунок 4.31, б) и сбрасывают излишний расход в нижний бьеф, после чего конструкция возвращается в первоначальное положение.

Применение предлагаемого устройства позволяет увеличивать пропускную способность регулятора и наиболее эффективно при наличии в потоке донных наносов. Конструкция надежна в работе и может быть использована для регулирования расходов в большом диапазоне.

Наибольшее применение на практике нашел щитовой регулятор уровня верхнего бьефа (рисунок 4.32, а), состоящий из жесткого напорного щита, закрепленного на оси вращения. В нижней части щита имеется груз – противовес, предназначенный для возвращения затвора в первоначальное положение. Принцип работы конструкции основан на законе изменения эпюры гидростатического давления при изменении уровня воды в верхнем бьефе, действующей на щит с осью вращения, расположенной ниже $1/2$ высоты затвора.



1 – жесткий напорный щит; 2 – оси вращения; 3 – груз-противовес; 4 – активная решетка; 5 – трос; 6 – блок; 7 – рычаги; 8 – гибкая перегородка; 9 – отверстия; 10 – неподвижная опора; 11 – криволинейный козырек; 12 – упор

Рисунок 4.32 – Щитовые регуляторы уровня верхнего бьефа

На рисунке 4.32, б представлена конструкция регулятора расхода воды (А. с. № 808583. – Б.И. – 1981. – № 8 [178]), затвор которого выполнен в виде совмещаемых жестких пассивной и активной решеток, соединенных гибкой связью через блоки и закрепленных на смещенных относительно друг друга горизонтальных осях вращения, причем пассивная решетка выполнена длиннее активной и снабжена противовесом.

При небольших расходах, проходящих по каналу, конструкция работает в качестве глухого жесткого щита без перелива и весь расход поступает в боковые водовыпуски, установленные на вышерасположенных каналах меньшего порядка.

С увеличением расхода возрастает и уровень воды в верхнем бьефе. Точка приложения равнодействующей давления воды перемещается вверх, что приводит к повороту активной решетки, при этом натяжение троса уменьшается и тогда поворачивается пассивная решетка. Чем больше пропускаемый расход, тем больше отклонение пассивной и активной решеток. При уменьшении расхода решетки возвращаются в исходное положение. Предлагаемая конструкция проста в изготовлении, надежна в эксплуатации и позволяет автоматизировать пропуск повышенных расходов в каналах.

Следующая конструкция регулятора уровня верхнего бьефа (рисунок 4.32, в; А. с. № 808585. – Б.И. – 1981. – № 8 [179]) состоит из шарнирно закрепленного на неподвижной стенке щита и гибкой перегородки с отверстиями, закрепленной верхней кромкой с неподвижными опорами. Нижняя кромка перегородки прикреплена к верхнему основанию щита, а нижнее основание щита отогнуто в сторону движения потока, образуя козырек.

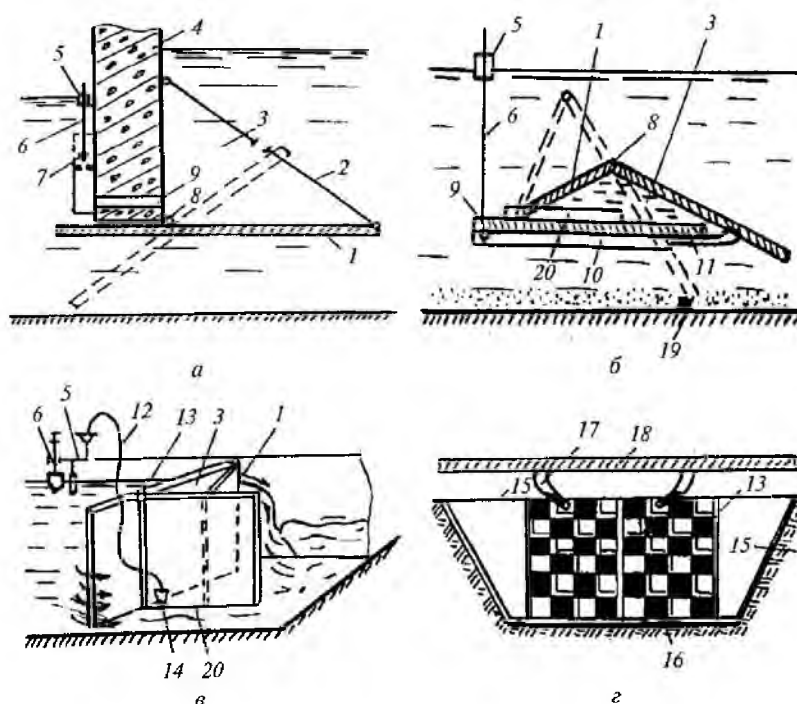
При поддержании небольших глубин в канале жесткий щит находится в вертикальном положении. При этом сила гидростатического давления, действующая на нижнее основание щита, больше силы, действующей на верхнюю половину. При

увеличении подаваемого в канал расхода воды уровень в нем устанавливается выше гребня щита. При этом часть воды переливается через щит на гибкую перегородку, которая образует емкость, выполняющую роль противовеса. Усилие от массы противовеса передается на верхнее основание подвижного щита и поворачивает его относительно оси. Между козырьком щита и дном канала образуется водовыпускное отверстие, через которое избыточный расход сбрасывается в нижний бьеф.

Регулятор уровня верхнего бьефа, представленный на рисунке 4.32, г; (А. с. № 822154. – Б.И. – 1981. – № 14 [180]), состоит из запорного щита на горизонтальной оси и дополнительного, установленного также на горизонтальной оси над запорным щитом и кинематически связанным с ним. Причем дополнительный щит соединен с запорным посредством рычага гибкой связи.

Данный регулятор благодаря наличию двух жестких щитов, вращающихся в противоположные стороны, позволяет беспрепятственно сбрасывать в нижний бьеф как плавник, так и наносы. Соединение щитов между собой с помощью рычага и гибкой связи позволяет автоматизировать процесс возврата конструкции в рабочее положение.

На рисунке 4.33, а показана схема регулятора уровня нижнего бьефа (А. с. № 885980. – Б.И. – 1981. – № 44 [181]), который состоит из щита, гибкой оболочки и датчика уровня. Кроме того, он содержит вертикально установленную в устоях перегораживающего сооружения стенку с отверстием. На стенке со стороны нижнего бьефа закреплена камера, разделенная на две полости перегородкой, на которой установлен клапан, связанный с датчиком уровня. Кромка гибкой оболочки и щит шарнирно связаны со стенкой, щит поворачивается в сторону нижнего бьефа.



- а – нижнего бьефа; б, в, г – верхнего бьефа; 1 – щит; 2 – оболочка; 3 – емкость;
 4 – стенка; 5 – датчик уровня; 6 – шток; 7 – клапан; 8 – шарнир; 9 – отверстия;
 10 – трубопровод; 11 – пластина; 12 – гидравлическая связь; 13 – вертикальные оси;
 14 – мембранный датчик; 15 – сплошная трапециевидальная часть щита;
 16 – перфорированная часть щита; 17 – телескопический упор; 18 – балка,
 19 – уплотнение; 20 – направляющие

Рисунок 4.33 – Щитовые регуляторы уровня

При понижении уровня воды в нижнем бьефе датчик уровня всплывает и открывает отверстие в перегородке камеры. Емкость, образованная щитом и гибкой

оболочкой, опорожняется через отверстие 9. При этом появляется разность давления между емкостью и верхним бьефом. Оболочка начинает прогибаться и щит поворачивается, перекрывая донное отверстие. Чем выше всплывает датчик уровня, тем сильнее открывается отверстие и больше опорожняется емкость. При больших уровнях воды в нижнем бьефе щит может полностью перекрывать донное отверстие.

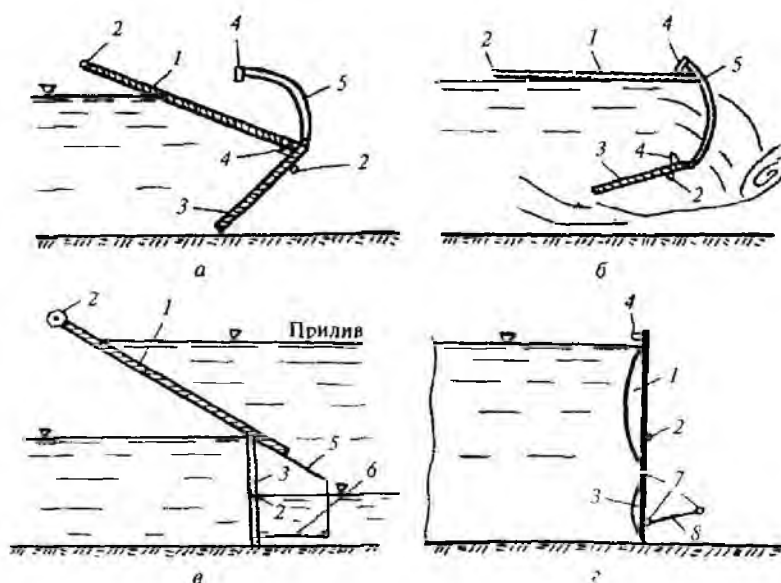
На рисунке 4.33, б представлен регулятор уровня верхнего бьефа (А. с. № 911478. – Б.И. – 1982. – № 9 [182]), который содержит шарнирно соединенные водосливной и напорный щиты, датчик уровня верхнего бьефа и горизонтально установленную в устоях сооружения пластину; с ней шарнирно связаны напорный щит и водосливной, снабженный консолью.

Регулятор надежен в работе и прост в эксплуатации.

В отличие от ранее рассмотренных регуляторов верхнего бьефа, представленный на рисунке 4.33, в (А. с. № 918937. – Б.И. – 1982. – № 13 [183]), имеет напорный щит, закрепленный на вертикальной оси вращения, и щит противодействия, причем вертикальная ось вращения смещена относительно продольной оси канала. Напорный щит в закрытом виде расположен под острым углом к стенкам канала. Щит противодействия шарнирно соединен одной из кромок с кромкой напорного щита, а другая его кромка установлена с возможностью перемещения по направляющей, параллельной оси канала и в плоскости вертикальной оси вращения.

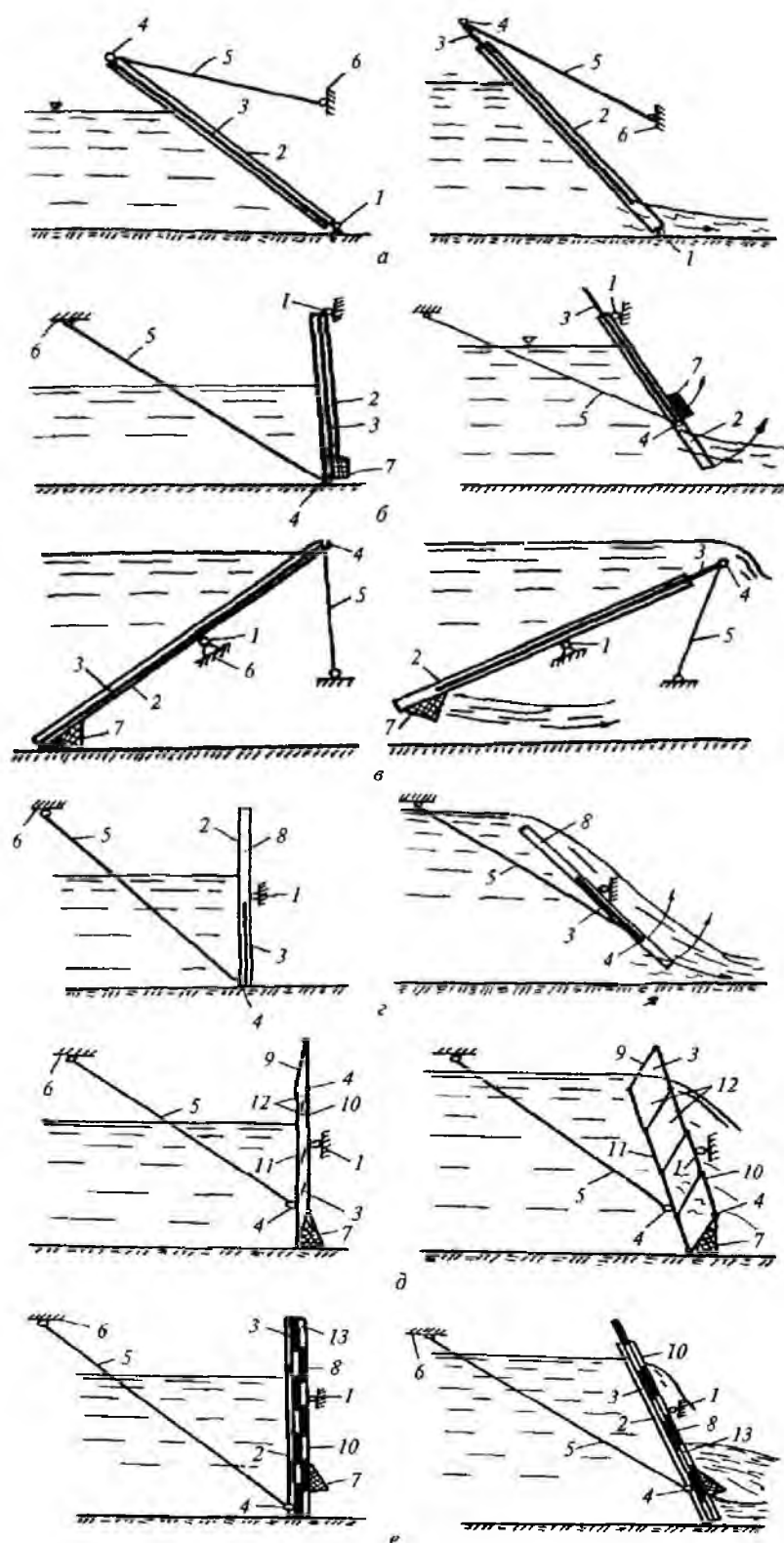
Устройство для регулирования уровня воды в открытом канале с откосами (рисунке 4.33, г; А. с. № 1063920. – Б.И. – 1983. – № 48 [184]) включает два щита, установленные на вертикальных осях, делящих их на две части, и ограничители. Кроме того. Оно снабжено горизонтальной балкой с упорами, установленной поперек канала. Часть щита, обращенная к оси канала, имеет перфорацию и снабжена перфорированным щитом, закрепленным на горизонтальной оси.

Конструкции регуляторов, включающих два щита, шарнирно соединенных между собой, и различные дополнительные элементы, приведены на рисунке 4.34 (а, б – А. с. № 1071617. – Б.И. – 1984. – № 5 [185]; в – А. с. № 1161923. – Б.И. – 1985. – № 22 [186]; г – А. с. № 1313947. – Б.И. – 1987. – № 20 [187]), а на рисунках 4.35 (А. с. № 1102839. – Б.И. – 1984. – № 26 [188]) и 4.36 (А. с. № 1179282. – Б.И. – 1985. – № 34 [189]) – регуляторы в виде напорного щита и опорного рычага или рычага-корректора.



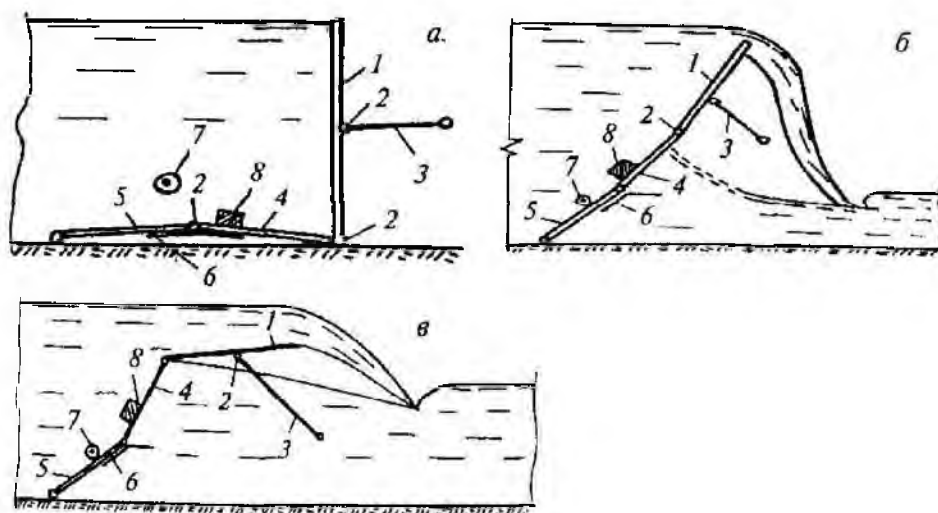
1 – верхний щит; 2 – ось; 3 – нижний щит; 4 – ограничители; 5 – консоль;
б – шарнирно-рычажный механизм; 7 – шарниры; 8 – рычаг-корректор

Рисунок 4.34 – Щитовые регуляторы уровня верхнего бьефа



а, б – с осью на верхней и нижней кромке рамы; в – с осью на середине рамы;
 г – со сплошной перегородкой в верхней части рамы; д – с рамой в виде шарнирного
 параллелограмма, е – с направляющей рамой и шитом; 1 – ось; 2 – направляющая рама;
 3 – плоский щит; 4 – шарнир; 5 – опорный рычаг; 6 – береговой устой; 7 – противовесы;
 8 – перегородки; 9 – шарнирный параллелограмм; 10, 11 – низовая и верховая стенки;
 12 – части щита; 13 – промежутки между перегородками

**Рисунок 4.35 – Варианты плоского регулятора уровня с направляющей рамой
 (в закрытом и открытом положениях)**



а – в закрытом положении; б, в – при разных степенях открытия;
 1 – напорный щит; 2 – шарниры; 3 – качающаяся рама; 4, 5 – рычаг-корректор;
 6, 7 – ограничитель хода; 8 – противовес

Рисунок 4.36 – Регулятор уровня верхнего бьефа с рычагами-корректорами

Такое выполнение регуляторов уровня обеспечивает их надежную работу при наличии в потоке, как донных наносов, так и плавающего мусора, а также льда и шуги. Они могут работать при малых и больших расходах, не требуют дополнительных приспособлений для возврата в исходное положение, обладают высокой чувствительностью и повышенной пропускной способностью.

4.8.2 Регуляторы емкостного типа

Основным рабочим органом в конструкциях данного типа является емкость, проекция которой может иметь вид сектора; ось вращения ее расположена в центре окружности.

Кроме того, используются также емкости типа параллелепипеда или цилиндра. Предложено более 10 конструкций регуляторов емкостного типа, которые защищены авторскими свидетельствами.

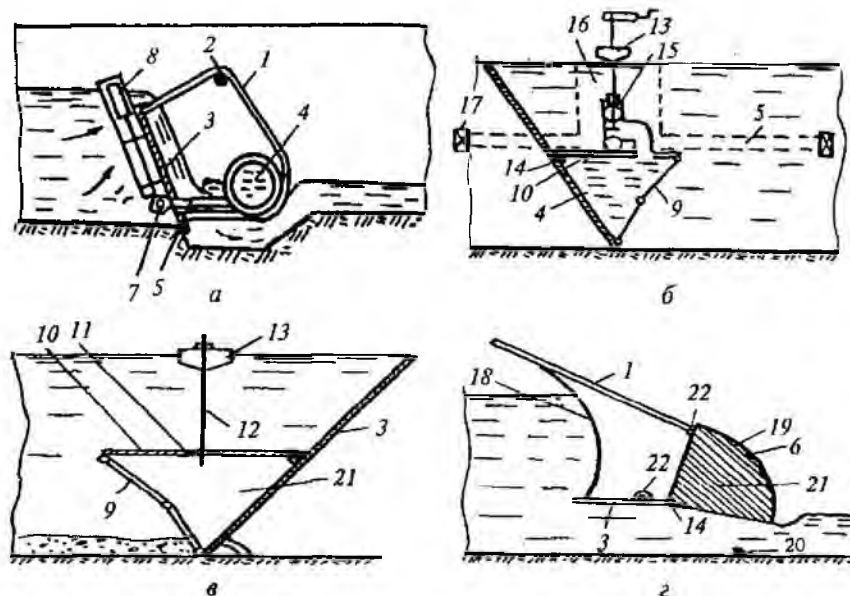
На рисунке 4.37, а приведен затвор-регулятор (А. с. № 643582. – Б.И. – 1979. – № 3 [190]), состоящий из рамы, напорного щита и жидкостного противовеса в виде емкости. Рама снабжена горизонтальной осью вращения, к которой прикреплен напорный щит, причем ось смещена в сторону нижнего бьефа, а противовес закреплен в нижней части рамы.

Установка емкости противовеса в нижней части рамы позволяет автоматизировать работу сооружения, а применение пространственной рамы увеличивает его пропускную способность, что в совокупности повышает надежность работы затвора в аварийных ситуациях.

Регуляторы уровня в виде напорных щитов с емкостью, образованной подвижно связанными между собой створками, представлены на рисунках 4.37, б, в (А. с. № 809087, № 809089. – Б.И. – 1981. – № 8). Емкость соединена с поплавковым датчиком уровня.

Применение в рассматриваемых конструкциях подвижных створок меньшей ширины и без уплотнения позволяет увеличить надежность работы регулятора, исключить его заклинивание и выход из строя. Гибкие боковые стенки способствуют увеличению быстроты сработки конструкции. Второй регулятор (рисунок 4.37, в) может полностью освободить живое сечение канала, работая с истечением воды через водослив и из-под него.

Регулятор уровня смешанного типа показан на рисунке 4.37, г (А. с. № 901997. – Б.И. – 1982. – № 4 [191]). Он имеет секторный затвор, закрепленный на горизонтальной оси вращения, раму, щит и мягкую оболочку, одна кромка которой закреплена на щите, а другая – на раме.



- 1 – рама; 2 – шарниры-подвески; 3 – плоский щит; 4 – емкость-противовес;
 5 – трубопроводы; 6 – отверстия; 7 – клапан; 8 – поплавковый датчик;
 9 – подвижные створки; 10 – горизонтальная полка; 11 – гибкая мембрана;
 12 – шток; 13 – поплавок; 14 – ось; 15 – золотниковый распределитель;
 16 – поплавковая камера; 17 – обратный клапан; 18 – мягкая оболочка;
 19 – секторный затвор; 20 – порог; 21 – камеры; 22 – шарниры

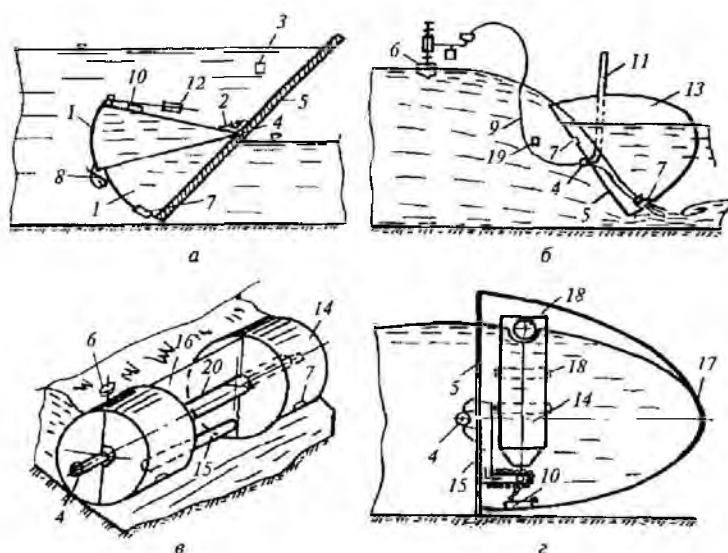
Рисунок 4.37 – Регуляторы емкостного типа

После установки регулятора в русле канала секторный затвор под действием силы тяжести опускается на дно и прижимается к порогу. При этом рама и оболочка находятся в крайнем нижнем положении. При поступлении воды в канал под действием гидродинамического давления секторный затвор вместе с установленной на нем рамой и оболочкой поворачивается вокруг горизонтальной оси. При этом между порогом и секторным затвором образуется щель, через которую поток проходит в нижний бьеф.

С увеличением расхода растет уровень воды в бьефе. При этом создается удерживающий момент, под действием которого секторный затвор поворачивается против течения и водопропускная щель уменьшается. Это обеспечивает поддержание расчетного расхода при увеличении скорости потока.

Применение регулятора смешанного типа позволяет поддерживать уровень воды верхнего бьефа и пропуск постоянного расхода в нижний бьеф на магистральных хозяйственных и внутрихозяйственных каналах оросительных систем.

Еще один регулятор уровня в бьефах представлен на рисунке 4.38, а (А. с. № 1001021. – Б.И. – 1983. – № 8 [192]). Он содержит напорный щит на горизонтальной оси вращения и емкость, которая образована напорным щитом и двумя установленными на горизонтальной оси вращения секторами, первый из которых закреплен неподвижно.

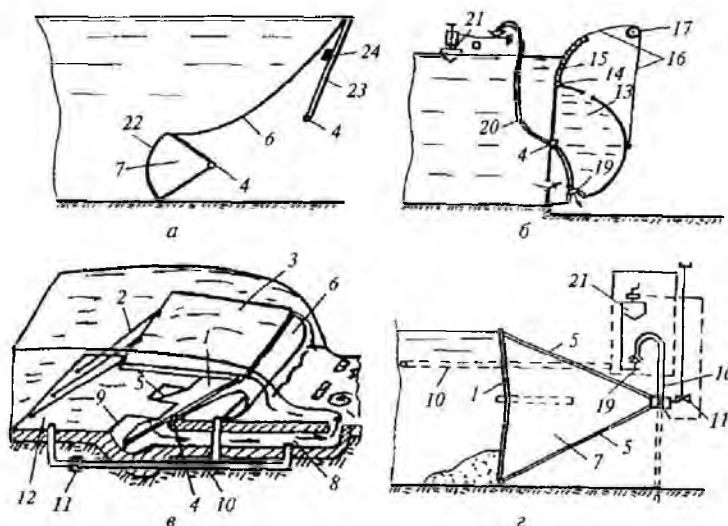


- 1 – секторные емкости; 2 – балки; 3 – устои; 4 – ось; 5 – напорный щит;
 б – поплавковый датчик; 7 – отверстия; 8 – уплотнение с прижимами; 9 – гидравлическая
 связь; 10 – клапан; 11 – воздушная трубка; 12 – противовес; 13 – секция короба;
 14 – цилиндрические емкости; 15 – труба; 16 – перегородка; 17 – секторный затвор;
 18 – поплавок; 19 – ограничитель поворота щита; 20 – втулка

Рисунок 4.38 – Регуляторы емкостного типа

Для повышения эффективности работы регуляторов уровня воды верхнего бьефа емкости выполняются в виде нескольких секций с цилиндрической поверхностью (рисунок 4.38, б, в; А. с. № 875351. – Б.И. – 1981. – № 39; А. с. № 1012211. – Б.И. – 1983. – № 14 [193, 194]) или в виде секторного затвора (рисунок 4.38, г; А. с. № 1068902. – Б.И. – 1984. – № 3 [195]), где размещаются поплавки.

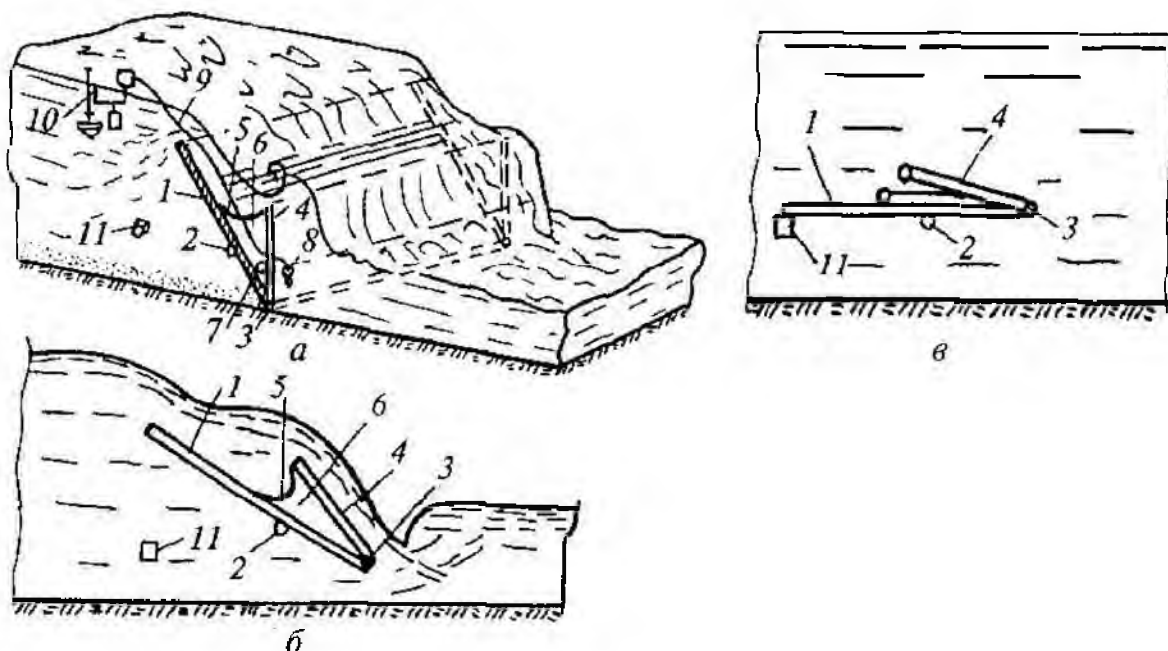
На рисунке 4.39 дана схема затвора, состоящего из напорного щита и соединенной с ним гибкой оболочки, в флютбете устроена нанососборная галерея (рисунок 4.39, в; А. с. № 1156017. – Б.И. – 1987. – № 18 [196]).



- 1 – напорный щит; 2 – гибкая связь; 3 – дополнительный щит; 4 – ось;
 5 – створки; 6 – гибкая оболочка; 7 – емкость; 8 – нанососбросная галерея; 9 – сбросные
 окна; 10 – трубопроводы; 11 – задвижки; 12 – понур; 13 – полуцилиндр-емкость;
 14 – шарнир; 15 – криволинейный напорный щит; 16 – трос; 17 – блок; 18 – отверстия;
 19 – клапан; 20 – гидравлическая связь; 21 – поплавковый датчик;
 22 – секторный затвор; 23 – рама; 24 – фиксатор

Рисунок 4.39 – Регуляторы емкостного типа

Ряд конструкций регуляторов представляет собой секторный затвор, емкость с гибкой оболочкой или дополнительным щитом (рисунок 4.39, а, б; А. с. № 890368, А. с. № 879566 [197, 198]), а конструкции, изображенные на рисунках 4.39, г и 4.40 (А. с. № 809092. – Б.И. – 1981. – № 8; А. с. № 885979. – Б.И. – 1981. – № 44 [199, 200]), щит с шарниром, образующим замкнутую емкость.

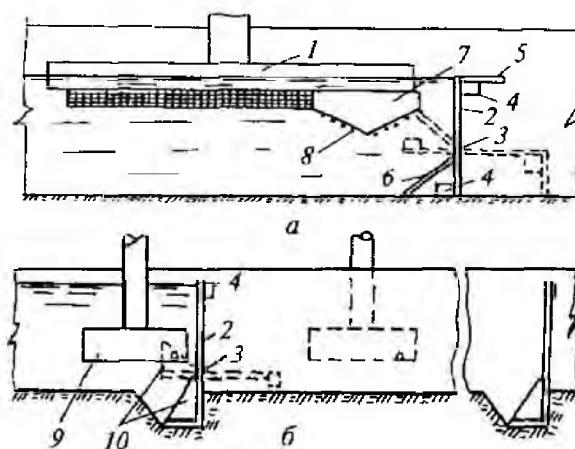


а – с закрытым донным отверстием; б, в – полуоткрытое и выключенное положения;
1 – щит; 2, 3 – шарниры; 4 – рама; 5 – гибкая оболочка; 6 – регулировочная емкость;
7 – отверстие; 8 – клапан; 9 – гидравлическая связь; 10 – датчик УВБ; 11 – ограничитель

Рисунок 4.40 – Регулятор уровня верхнего бьефа

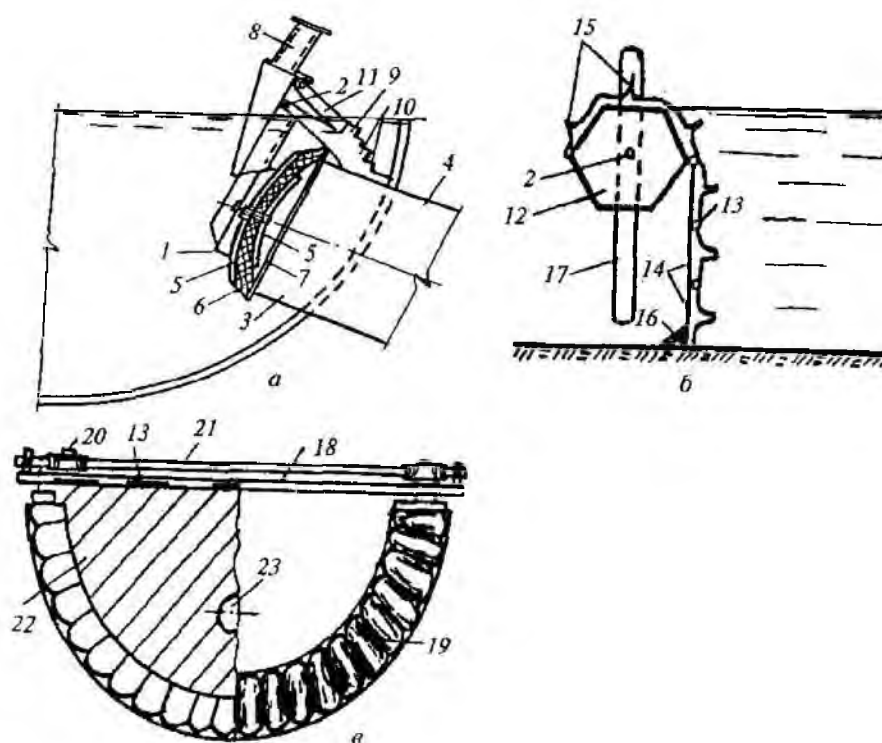
4.8.3 Регуляторы для дождевальных машин и затворы-водовыпуски

Регуляторы уровня воды и затворы-водовыпуски для дождевальных машин составляют особую группу и устанавливаются, как правило, на мелкой оросительной сети. Разработан ряд конструкций регуляторов уровня воды для дождевальных машин (рисунки 4.41, 4.42).



1 – поплавковый водозабор; 2 – плоский щит; 3 – ось; 4 – противовес;
5 – упор; 6 – наклонная полка; 7 – двускатный желоб; 8 – ролики;
9 – всасывающий патрубкок; 10 – направляющие

Рисунок 4.41 – Регулятор уровня для дождевальных машин



1 – крышка; 2 – ось; 3 – оголовок; 4 – трубопровод; 5 – диски сферической формы;
 6 – уплотнение; 7 – фланец; 8 – рукоятка; 9 – кронштейн; 10 – зубцы; 11 – фиксатор;
 12 – граненый вал; 13 – шарниры; 14 – пластины; 15 – ребра жесткости; 16 – груз;
 17 – паз; 18 – рама; 19 – гофрированная труба; 20 – червячный привод;
 21 – вал; 22 – полотнище; 23 – всасывающий патрубок

Рисунок 4.42 – Затвор-водовыпуск (а), регулятор уровня (б) и перемычка (в)

В регуляторе уровня верхнего бьефа (рисунок 4.41, а; А.с. № 1423986. – Б.И. – 1988. – № 34 [201]) затвор выполнен в виде плоского щита, установленного на горизонтальной оси вращения, с закрепленными на нем противовесами. Для повышения эксплуатационной надежности перемещения вдоль бьефов понтона поплавкового водозабора дождевальной машины (без его подъема) в нижней части щита закреплена наклонная полка, а на понтоне – двухскатный желоб с роликами.

При нормальном уровне воды в канале-оросителе регуляторы находятся в вертикальном положении благодаря действию гидростатического давления воды. При приближении потока к одному из регуляторов со стороны верхнего бьефа двухскатный желоб надвигается на щит (выше оси вращения) и он открывается. После прохождения понтона через регулятор плоский щит занимает горизонтальное положение и в таком состоянии удерживается за счет массы противовеса.

Имеется еще две разработки конструкций регулятора уровня (рисунок 4.42, б; А. с. № 1067477. – Б.И. – 1984. – № 2 [202]) и подпорной перемычки (рисунок 4.42, в; А. с. № 1055427. – Б.И. – 1983. – № 43 [203]).

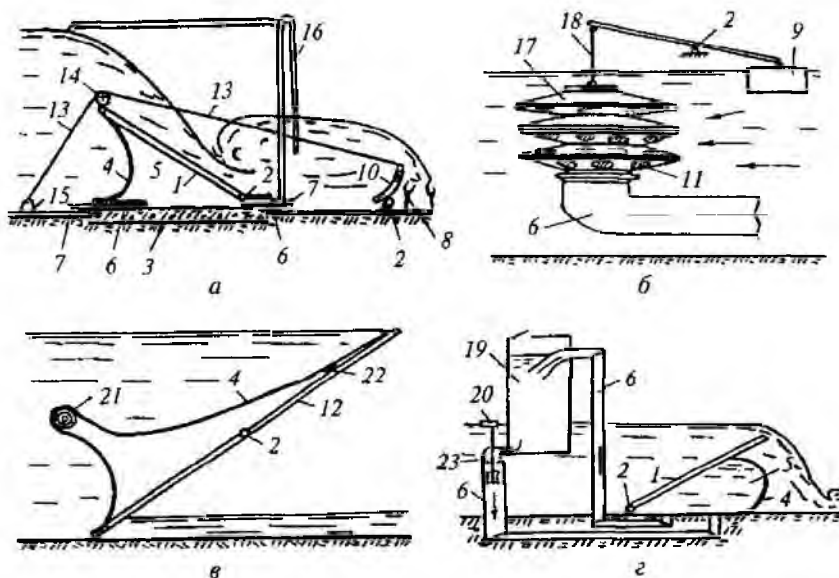
Другой регулятор уровня (рисунок 4.41,б; А. с. № 1153315. – Б.И. – 1985. – № 16 [204]) состоит из затвора в виде плоского щита, установленного на горизонтальной оси вращения с закрепленным на нем противовесом. В нижней части щита имеются наклонные направляющие, а на всасывающем патрубке дождевальной машины установлены с возможностью поворота между наклонными направляющими в горизонтальной плоскости подпружиненные рычаги и упоры для рычагов. Этот регулятор обеспечивает перемещение всасывающего патрубка дождевальной машины без его подъема при работе на полях с уклонами поверхности больше нуля.

В качестве затвора-водовыпуска из канала (лотка) предложен клапанный затвор (рисунок 4.42, а; А. с. № 1523630. – Б.И. – 1989. № 43 [205]), включающий шарнирно прикрепленную к оголовку трубопровода круглую крышку с уплотнением из упругого материала. Крышка выполнена в виде двух жестких дисков сферической формы большого и малого диаметров, скрепленных между собой и обращенных вогнутостью и малым диском к оголовку. Уплотнение из упругого диска закреплено между жесткими дисками. Его диаметр превышает диаметр большого жесткого диска. Оголовок снабжен фланцами.

4.8.4 Комбинированные регуляторы

К этой группе регуляторов относятся конструкции, в которых основной рабочий орган состоит из двух элементов. Например, из подвижного щита и гибкой оболочки, жесткого щита и емкости и т. д. Разработан ряд таких конструкций, защищенных авторскими свидетельствами.

Регулятор, представленный на рисунке 4.43, а (А. с. № 768876. – Б.И. – 1980. – № 37 [206]), состоит из регулирующей емкости, образованной гибкой оболочкой и жестким щитом, а также гасителя энергии в виде шарнирно установленного в нижнем бьефе криволинейного элемента, соединенного посредством тросов с гребнем оболочки.



- 1 – жесткий щит; 2 – шарнир; 3 – флютбет; 4 – гибкая оболочка; 5 – регулирующая емкость; 6 – трубопровод; 7 – задвижки; 8 – упор; 9 – поплавко-противовес; 10 – криволинейный элемент; 11 – отверстия; 12 – рама; 13 – трос; 14 – блок; 15 – опора; 16 – сифонное устройство; 17 – сильфон; 18 – тяга; 19 – напорно-регулирующая емкость; 20 – поплавок; 21 – опорный вал, 22 – ограничитель; 23 – обратный клапан

Рисунок 4.43 – Комбинированные регуляторы уровня воды

При пропуске транзитного расхода щит располагается на дне канала, трос ослаблен и криволинейный элемент гасителя энергии находится в горизонтальном состоянии. Включение регулятора в работу происходит при наполнении гибкой оболочки водой. При этом щит начинает постепенно подниматься. С поднятием щита трос натягивается и приводит в вертикальное положение гаситель энергии потока.

При работе регулятора часть расхода сбрасывается через сбросные и донные отверстия, что улучшает гашение потока за криволинейным элементом. Наличие последнего позволяет создать в нижнем бьефе водобойный колодец переменной высоты и значительно уменьшить длину водобойной части устройства.

Для повышения надежности регулятора его запорный элемент выполнен в виде сильфона с отверстиями на гофрированной поверхности (рисунок 4.43, б; А. с. № 685757. – Б.И. – 1979. – № 34 [207]); уплотнения же расположены на гребнях гофр.

Регулятор уровня верхнего бьефа (рисунок 4.43, в; А. с. № 851343. – Б.И. – 1981. – № 28 [208]) состоит из водонепроницаемого щита и гибкой оболочки, размещенной на опорном вале. Кромки оболочки прикреплены к подвижным кромкам рамы, неподвижные кромки которой соединены шарнирно.

При нормальном уровне воды в верхнем бьефе сила давления на щит и на нижнюю часть оболочки больше, чем на верхнюю часть. Поэтому затвор находится в закрытом положении. С увеличением уровня воды в верхнем бьефе возрастает давление на верхнюю часть оболочки. При этом оболочка перемещается с нижней половины в верхнюю и затвор поворачивается вокруг оси и опоры. Поворот затвора приводит к открытию донного отверстия и сбросу лишней воды в нижний бьеф. С падением уровня воды в верхнем бьефе затвор возвращается в первоначальное положение.

Положение оболочки затвора на вращающемся опорном вале упрощает конструкцию и повышает надежность ее работы.

Регулятор уровня верхнего бьефа, представленный на рисунке 4.43, г (А. с. № 930282. – Б.И. – 1982. – № 19 [209]), состоит из щита, шарнирно связанного с флютбетом, гибкой оболочки, соединенной с ним, и емкости, наполненной водой, уровень которой выше регулируемого уровня верхнего бьефа. Емкость соединена с полостью затвора напорным трубопроводом и сливным, на котором установлен обратный клапан. Выход напорного трубопровода размещен выше максимально допустимого уровня в емкости. Обратный клапан связан со штоком поплавка, расположенным в верхнем бьефе.

Данный регулятор позволяет повысить надежность работы сооружения и избавиться от необходимости установки на затворе устройств для подкачки воды в емкость.

4.8.5 Подпорно-регулирующие сооружения с использованием композитных гибких синтетических материалов

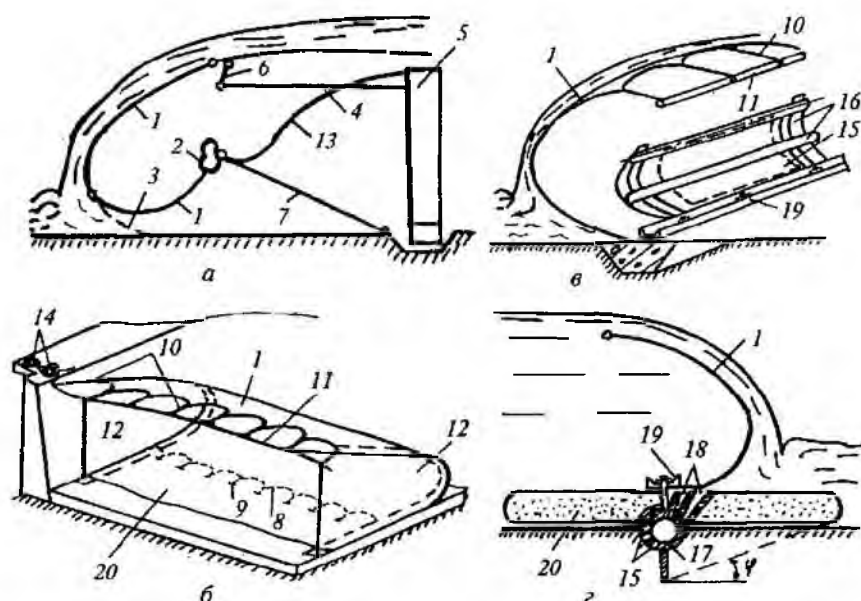
К этой группе подпорно-регулирующих сооружений относятся затворы и плотины, основным элементом которых является незамкнутая или замкнутая эластичная оболочка из полимерных материалов (высокопрочных прорезиненных тканей).

Схема сооружения, представленного на рисунке 4.44, а (А. с. № 574496. – Б.И. – 1977. – № 36 [210]), состоит из эластичной оболочки, закрепленной на дне водовода. Оболочка может перемещаться в вертикальной плоскости с помощью подъемного устройства, которое соединено с нижней кромкой оболочки и дном водовода.

Подъемное устройство выполнено в виде двойной оболочки из жесткого и гибкого материалов.

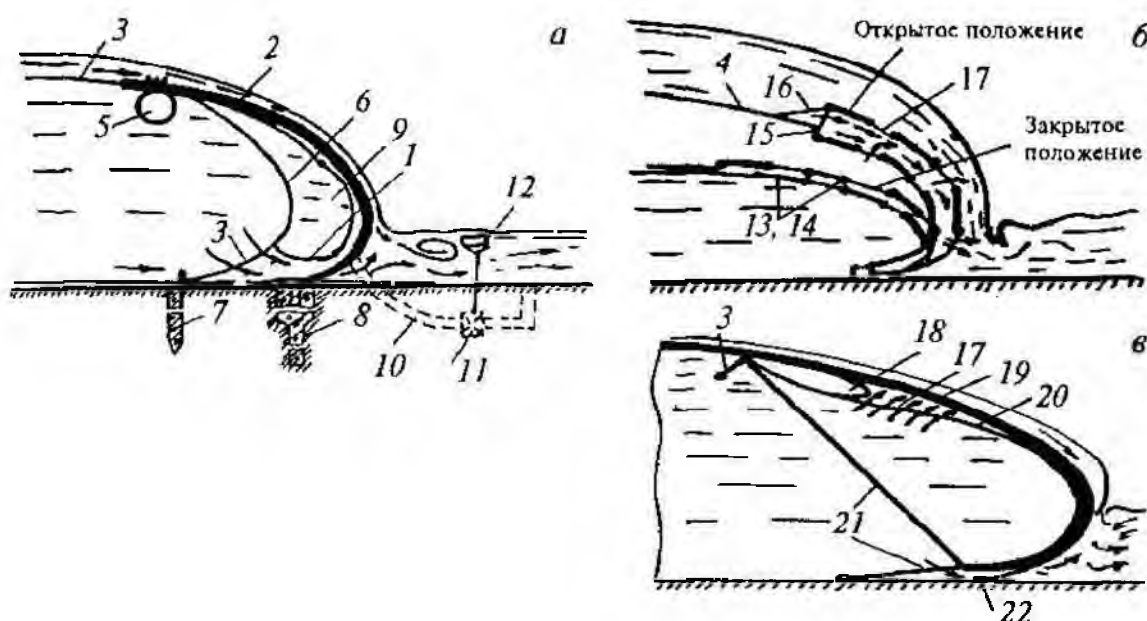
Конструкция сооружения позволяет регулировать уровень верхнего бьефа без дополнительных источников энергии. При этом благодаря наличию донного и поверхностного потоков происходит их соударение и лучшее гашение энергии. В период паводков донные наносы сбрасываются через донное отверстие, не заиливая верхний бьеф.

Мембранная плотина (рисунок 4.44, б; А. с. № 588777, 1975 г. [211]) включает боковые устои и эластичное полотнище, прикрепленное посредством системы тросов к береговым анкерам. Для уменьшения фильтрации в обход сооружения полотнище снабжено боковыми стенками, прикрепленными к его торцам. Различные конструктивные усовершенствования мембранной плотины и ее элементов представлены на рисунках 4.44, в (А. с. № 588285 [212]), 4.44, г (А. с. № 594239 [213]) и 4.45, а (А. с. № 653328 [214]), 4.45, б (А. с. № 763512 [215]), в (А. с. № 943376 [216]).



1 – эластичная оболочка; 2 – подъемное устройство; 3 – тросы; 4 – рычаг; 5 – емкость;
 6 – шарнирная связь; 7 – гибкая связь; 8 – петли; 9 – анкера; 10 – оттяжки; 11 – несущий трос; 12 – боковые стенки; 13 – гибкая труба; 14 – крепление несущего троса;
 15 – отверстия; 16 – ребра жесткости; 17 – трубчатый элемент; 18 – отводные трубы;
 19 – анкерное крепление; 20 – флютбет

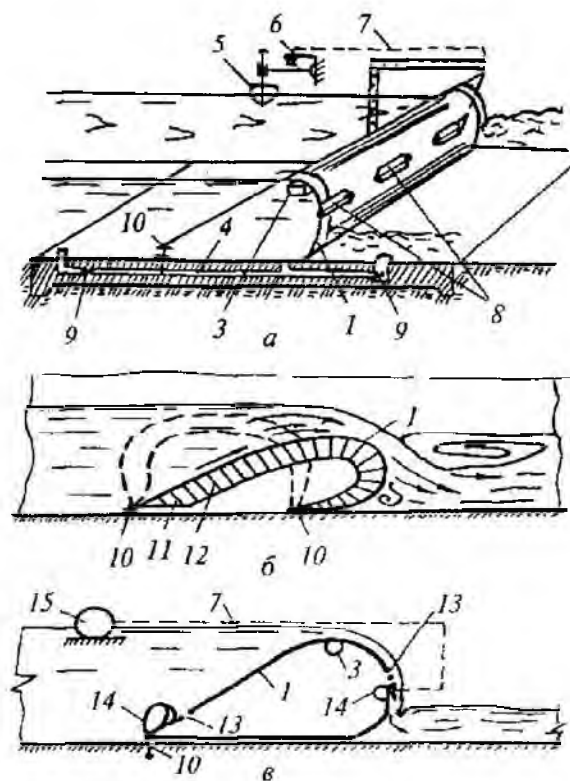
Рисунок 4.44 – Подпорно-регулирующие сооружения и плотины с применением композитных гибких синтетических материалов



1 – эластичная оболочка; 2 – вантовая сетка; 3 – ванты; 4 – ванта-подбор; 5 – поплавок;
 6 – водопроницаемое полотнище; 7 – свайный ряд; 8 – бетонный зуб; 9 – емкость;
 10 – труба; 11 – дроссельная задвижка; 12 – поплавковый датчик; 13, 14 – внешняя и внутренняя оболочки; 15 – жесткие элементы; 16 – упругие ограничители;
 17 – водосбросные отверстия; 18 – ластичный баллон; 19, 20 – четные и нечетные полотнища оболочки; 21 – гибкие крепления четных полотнищ;
 22 – жесткое крепление нечетных полотнищ к флютбету

Рисунок 4.45 – Подпорно-регулирующие сооружения и плотины из композитных гибких синтетических материалов

Гибкая плотина (рисунок 4.46, в; А. с. № 622923 [217]) представляет собой замкнутую эластичную оболочку, на напорной и сливной поверхностях которой имеются отверстия, открываемые при наполнении эластичных баллонов, расположенных у отверстий, а в пределах внутренней полости оболочки в ее гребне размещено плавучее устройство в виде дополнительной герметичной эластичной оболочки.



а, б – наполняемые конструкции; в – из эластичной оболочки; 1 – замкнутая оболочка; 2 – флютбет, 3 – плавучий пояс; 4 – трубопровод; 5 – поплавков; 6 – мембрана; 7 – высоконапорный трубопровод управления водовыпускными отверстиями; 8 – водовыпускные отверстия из гибких цилиндрических элементов; 9 – гибкие цилиндрические элементы; 10 – анкерные устройства; 11 – предварительно-напряженная эластичная лента; 12 – гибкие поперечные элементы; 13 – отверстия; 14 – эластичные баллоны; 15 –герметичная емкость, гидравлически связанная с баллонами 14, закрывающими водовыпускные отверстия

Рисунок 4.46 – Подпорно-регулирующие сооружения и плотины с применением композитных гибких синтетических материалов

Для повышения эксплуатационной надежности плотина снабжена также герметичной мягкой или гибкой оболочкой, установленной в верхнем бьефе и наполненной жидкой или газообразной рабочей средой, и трубопроводом, соединяющим полость указанной оболочки с внутренней полостью баллонов. При этом эластичные баллоны заполнены веществом с температурой кипения при атмосферном давлении в диапазоне 10-20 °С.

Различные усовершенствования наполняемых конструкций представлены на рисунках 4.46, а (А. с. № 844664 [218]), б (А. с. № 905356 [219]).

4.9 Динамическое управление водораспределением на открытых оросительных системах

Современный подход к совершенствованию управления динамическими системами предполагает, что технический уровень оросительной сети и квалификационный уровень персонала позволят обеспечить:

- реализацию математической модели процесса функционирования динамической системы – объекта управления;
- динамический режим использования переменных, описывающих параметры состояния системы и управления;
- достижение критериев качества управления, с помощью которых выражается цель управления;
- ограничения, налагаемые на переменные состояния или управления.

Поэтому прежде чем приступить к совершенствованию системы управления водораспределением, необходимо сформировать ее базовую структуру и провести ее исследование по указанным позициям.

4.9.1 Базовая структура системы управления водораспределением

Выводы, сделанные в предыдущих главах относительно путей совершенствования схем регулирования водораспределения, легли в основу ряда технических решений конструкций оросительных систем, защищенных авторскими свидетельствами (№ 1287793, № 1319804, № 1478392, № 1551291 [169-172]). Их обобщенная структура представлена на рисунке 4.47.

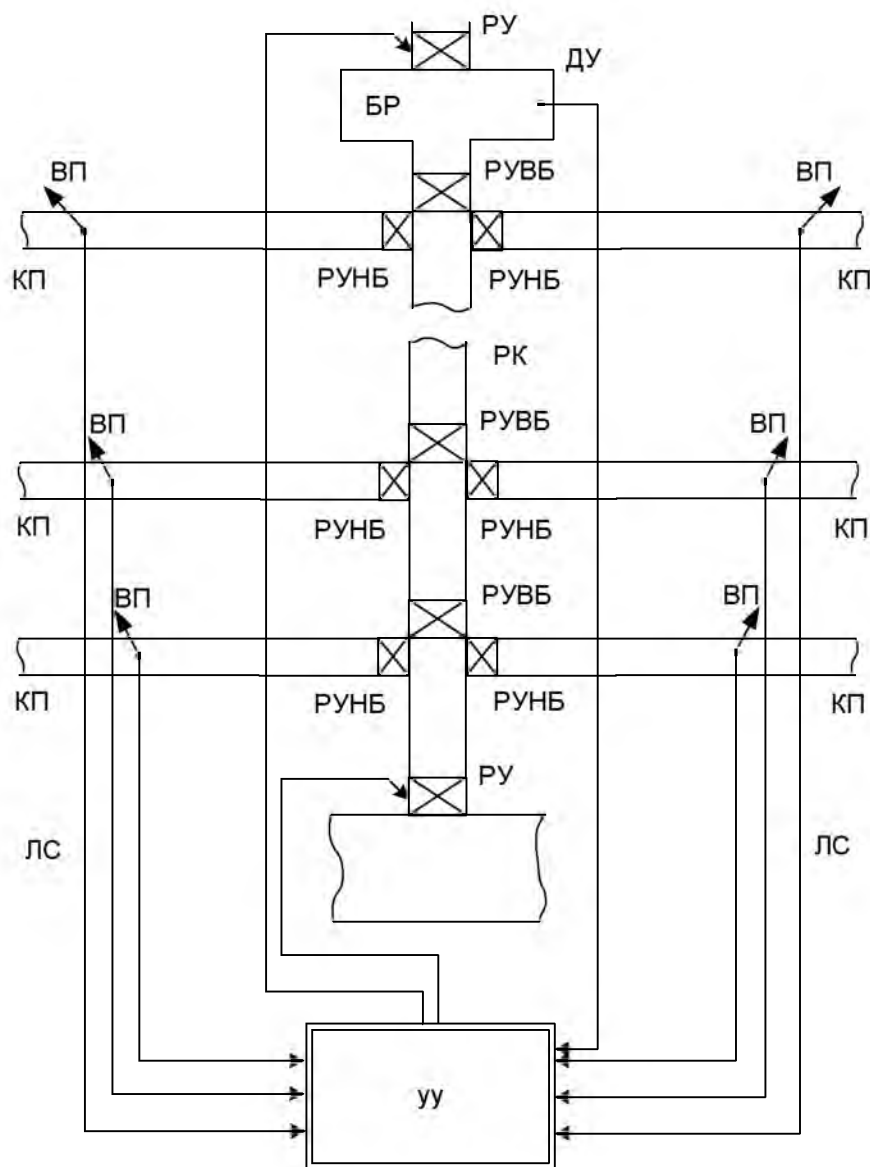


Рисунок 4.47 – Схема базовой структуры системы управления водораспределением

Управление данной системой строится на принципе упреждения изменения подаваемых в нее регулирующих расходов. В тех случаях, когда управление ведется «по плану», то есть в соответствии с принятым на ОС планом водораспределения (как это делается на большинстве реально действующих систем), исходной информацией для определения значений этих упреждений (расходов) являются временные графики водоподачи по каждому водопотребителю. Если же управление ведется «по требованию», то в расчет берутся конструктивные и динамические свойства водопользователей с тем, чтобы можно было определить время запаздывания между началом работы конечного водопотребителя в конкретном канале-потребителе (дождевальной машины, насосной станции, канала-потребителя более низкого уровня и т. п.) и началом возмущения на его входе. Эти интервалы времени и используются для проведения перерегулировок системы.

Работа системы сводится к следующему. Регулирование в распределительном канале (РК) осуществляется по ВБ с помощью регуляторов уровня верхнего бьефа (РУВБ), а в каналах-потребителях (КП) – по НБ с помощью регуляторов уровня нижнего бьефа (РУНБ). Устройство управления (УУ) при этом следит за режимом водопотребления на объекте. Для управления «по требованию» устанавливается физическая линия связи (ЛС) от конечных водопользователей (ВП) к устройству управления (УУ). Регулирование подачи воды в систему ведется с помощью регулирующего устройства (РУ) на входе в ОС. В конце системы расположен бассейн регулирования (БР), уровень воды в котором контролируется датчиком уровня (ДУ) и передается устройством управления.

Отметим, что в зависимости от особенностей каждой конкретной оросительной сети (размеры, топология и т. п.) система управления может быть составлена из нескольких подобных структур, разделенных БР, роль которого при достаточных резервных объемах регулирования может выполнять один из бьефов РК. При этом управление на каждом участке ОС может проводиться автономно одним и тем же УУ с помощью расположенных в их голове РУ.

Тем не менее, поскольку даже в этих случаях возникают сбросы, связанные с действием случайных возмущающих воздействий и реально существующих ограничений на системе (речь о которых пойдет ниже), на ОС предусмотрены БР. Они позволяют значительным образом их демпфировать и использовать при организации водораспределения в нижележащих бьефах. Контроль за наполнением БР с помощью ДУ позволяет оперативно корректировать подачу рабочих и транзитных расходов в ОС.

В установившемся режиме работы системы выполняется условие баланса подаваемого и потребляемого расходов:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (4.20)$$

где Q – расход, забираемый в ОС;

n – общее число водопотребителей;

i – номер водопотребителя;

Q_i – расход, забираемый i -м водопотребителем.

Изменение режима работы какого-либо потребителя фиксируется УУ. Затем по информации о динамических и других свойствах этого источника возмущений (рассчитанной или априорно заложенной в УУ), а также объекта в целом УУ принимает решение на управление в виде изменения подаваемого на вход системы расхода. Это решение реализуется через исполнительный механизм РУ.

Отметим, что поскольку УУ, как правило, представляет собой управляющую ЭВМ, то, помимо решения задач управления, параллельно им могут решаться задачи

водоучета, контроля за работоспособностью объектов ОС, прогноза аварийных ситуаций, ведения протокола хода технологического процесса и т. п.

Очевидно, что реализация такого вида работы системы управления требует:

- учета динамических свойств объекта;
 - оценки управляемости объекта в различных режимах;
 - знания (или расчета) времени транспортных запаздываний;
 - учета ограничений, действующих на системе;
 - синтеза алгоритма управления, обеспечивающего максимальное приближение к критерию управления в условиях действия технологических и других ограничений;
 - разработки способов и средств реализации вышеуказанных задач как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации системы управления;
 - разработки информационного, программного, технического и других видов обеспечения для конкретного комплекса технических средств;
 - определения путей адаптации разработанных средств к реальному объекту.
- Решение этих вопросов и послужило предметом нижеследующих исследований.

4.9.2 Звенья объекта управления

Зависимость отдельных звеньев объекта управления один от другого, как известно, определяется их отношением к изменению основных технологических параметров на входе и выходе [220]. Поскольку основными параметрами управления на оросительной сети являются расходы и уровни, то анализ целесообразно вести путем исследования их поведения на ее входах и выходах. Звеньями будем считать участки ОС, разделенные между собой перегораживающими сооружениями. При этом следует принимать во внимание влияние как прямых, так и обратных гидравлических связей.

Анализ проведем путем исследования зависимостей на перегораживающих сооружениях:

а) для прямой гидравлической связи:

$$\begin{cases} H_{НБ} = h(Q_{ВБ}, H_{ВБ}) \end{cases} \quad (4.21)$$

$$\begin{cases} Q_{НБ} = q(Q_{ВБ}, H_{ВБ}) \end{cases}, \quad (4.22)$$

где $H_{ВБ}$, $H_{НБ}$ – уровни в ВБ и НБ перегораживающего сооружения;

$Q_{ВБ}$, $Q_{НБ}$ – расходы в ВБ и НБ перегораживающего сооружения. Заметим, что под $Q_{ВБ}$ понимается суммарный расход, приходящий в ВБ и включающий в себя не только расход рассматриваемого НБ, но и всех других потребителей;

б) для обратной гидравлической связи:

$$\begin{cases} H_{ВБ} = h(Q_{НБ}, H_{НБ}) \end{cases} \quad (4.23)$$

$$\begin{cases} Q_{ВБ} = q(Q_{НБ}, H_{НБ}) \end{cases}. \quad (4.24)$$

Признаком отсутствия прямой гидравлической связи будем считать условие:

$$\begin{cases} H_{НБ} = \text{const} \\ Q_{НБ} = \text{const}; H_{ВБ} = V_{ар} \text{ и } Q_{ВБ} = V_{ар} \end{cases}, \quad (4.25)$$

а признаком отсутствия обратной гидравлической связи – условие:

$$\begin{cases} H_{ВБ} = \text{const} \\ Q_{ВБ} = \text{const}; H_{НБ} = V_{ар} \text{ и } Q_{НБ} = V_{ар} \end{cases}. \quad (4.26)$$

Будем также пользоваться соотношением для расхода на сооружении:

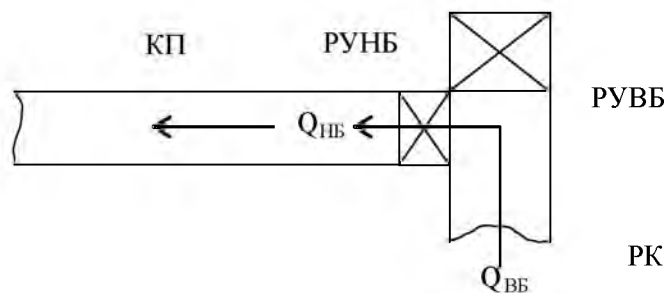
$$Q_{соор} = f(H_{НБ}, H_{ВБ}, a), \quad (4.27)$$

где a – открытие щита на перегораживающем сооружении.

Отметим, что для РУНБ $Q_{соор} = Q_{НБ}$. Тогда при $H_{НБ} = \text{const}$

$$a = \varphi(Q_{НБ}, H_{ВБ}). \quad (4.28)$$

Звено «распределительный канал – РУНБ – канал-потребитель»



Для данного звена $H_{НБ} = \text{const}$ и $H_{ВБ} = \text{const}$, то есть налицо выполнение одного из условий отсутствия прямой (4.25) и обратной (4.26) гидравлических связей. Поэтому анализ сводится к исследованию зависимостей (4.22) и (4.24).

Примем $Q_{НБ} = Q_{соор} = Q_{ВБ}$. Учитывая (4.28) и то, что $H_{НБ} = \text{const}$ и $H_{ВБ} = \text{const}$, можем записать:

$$Q_{НБ} = Q_{соор} = f(a) = f[\varphi(Q_{НБ})], \quad (4.29)$$

то есть $Q_{НБ}$ никак не зависит от расхода в ВБ, а это означает отсутствие прямой гидравлической связи (не только по уровням, но и расходам) и выполнение условия (4.25).

Для равенства (4.25) имеем:

$$Q_{ВБ} = Q_{соор} = f[\varphi(Q_{НБ})], \quad (4.30)$$

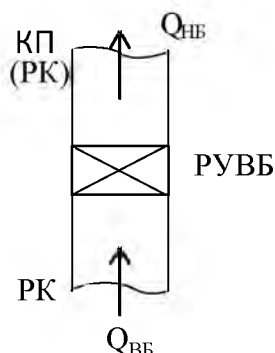
что означает наличие обратной гидравлической связи по расходу.

Отсутствие прямой и наличие обратной гидравлической связи по расходу для данного звена свидетельствует о том, что процессы, происходящие в РК, никак не влияют на процессы в КП, в то время как процессы в КП сказываются на динамике РК в виде возмущающих воздействий по расходу.

Вышесказанное позволяет сделать следующие важные для последующих исследований выводы:

- исследования в РК должны вестись с учетом процессов, происходящих в КП в виде возмущений по расходу;
- исследования в КП можно проводить в автономном режиме без учета процессов, происходящих в РК;
- прямое управление КП со стороны РК невозможно, оно в них автономно;
- КП можно рассматривать как изолированный объект управления с одним входом и одним выходом.

Звено «распределительный канал – РУВБ – канал-потребитель»



В этом звене, как известно, отсутствует обратная гидравлическая связь, то есть выполняется условие (4.26), но имеется прямая связь. Здесь следует заметить, что поскольку $H_{ВБ} = \text{const}$, то она фактически является связью по расходу.

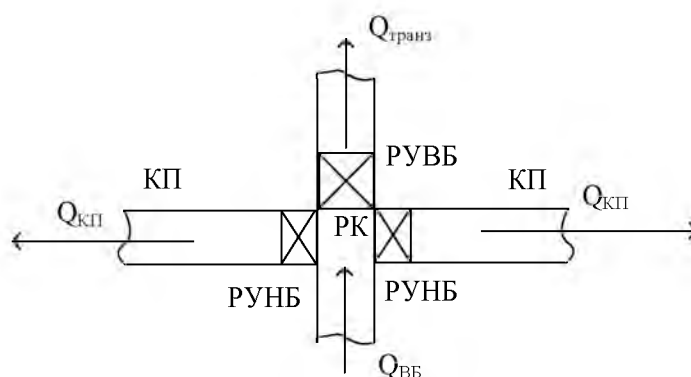
Для этого звена можно сформулировать следующие выводы:

- возмущения, наносимые на РК, оказывают влияние лишь на процессы, происходящие в данном и нижележащих бьефах этого канала и не затрагивают вышележащие;
- при описании динамики РК достаточно ее описания до ближайшего вышележащего РУВБ;
- возмущения, наносимые на РК, полностью определяются описанием процессов на этом РК;
- управление на участках системы от РУВБ и ниже может рассматриваться автономно при условии выполнения вышележащим РУВБ функций РУ.

Звено «распределительный канал – водосброс»

Водосбросные сооружения на системах, как правило, выполнены в виде переливных стенок и фактически представляют простейшие РУВБ, то есть данное звено обладает теми же особенностями, что и звено «РК – РУВБ – КП (РК)».

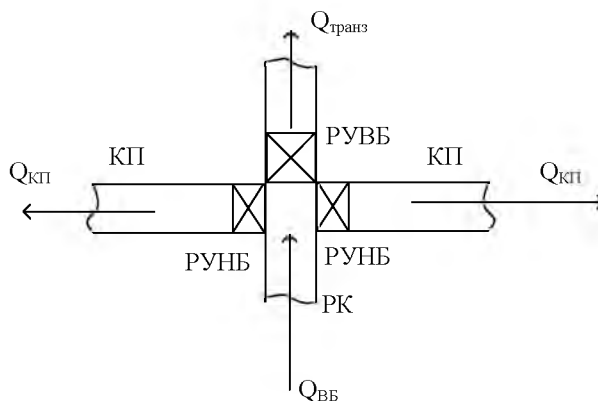
Звено «канал-потребитель – РУНБ – распределительный канал – РУНБ – канал-потребитель»



Связь КП через РК и отсутствие прямой гидравлической связи между РК и КП позволяют сделать следующие выводы для данного звена:

- КП не оказывают никакого гидравлического влияния друг на друга;
- процессы, происходящие в КП, могут рассматриваться без учета процессов в других КП системы;
- возмущения, наносимые КП на РК в виде расходов, некоррелированы между собой и могут быть приведены к одному путем простого суммирования.

Звено «канал-потребитель – РУНБ – распределительный канал – РУНБ – канал-потребитель»



Данное звено является комбинацией звеньев «КП – РУНБ – РК» и «РК – РУВБ – КП», поэтому наличие обратной гидравлической связи между КП и РК и прямой в РК определяют зависимость:

$$Q_{\text{транз}} = f(Q_{\text{КП}}), \quad (4.31)$$

а с учетом вывода в [221] можем записать:

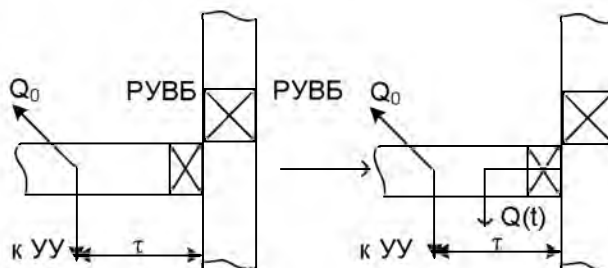
$$Q_{\text{транз}} = Q_{\text{ВБ}} - \sum_{i=1}^n Q_{\text{КП}}, \quad (4.32)$$

где n – число КП перед РУВБ.

4.9.3 Эквивалентные преобразования схемы динамического регулирования

Особенности звеньев системы управления, отмеченные в п. 4.9.2, а также сформулированная в [221] связь ее входных и выходных параметров позволяют провести эквивалентные преобразования базовой структуры системы управления, представленной на рисунке 4.47.

Приведение расходов, забираемых ВП из КП, к их входу, то есть к бьефам РК, позволяет сделать следующее преобразование:



Расход на входе в КП в этом случае описывается следующим выражением [221]:

$$Q_0(t) = \begin{cases} Q_0', & \text{при } t < \tau \\ Q_0(t)(1 - C_1 e^{p_1(t-\tau)} + C_2 e^{p_2(t-\tau)}), & \text{при } t \geq \tau \end{cases} \quad (4.33)$$

Если в качестве источника возмущения выступает дождевальная машина или насосная установка, то такое возмущение можно считать ступенчатым:

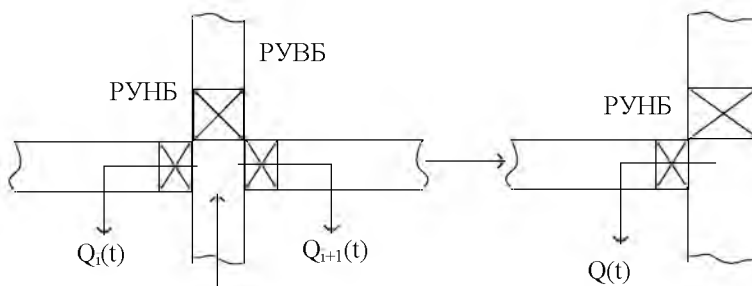
$$Q_0(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < \tau \\ Q_0, & \text{при } t \geq \tau \end{cases} \quad (4.34)$$

и тогда можно записать:

$$Q(t) = \begin{cases} Q_0', & \text{при } t < \tau \\ Q_0(1 - C_1 e^{p_1(t-\tau)} + C_2 e^{p_2(t-\tau)}), & \text{при } t \geq \tau \end{cases} \quad (4.35)$$

При источнике возмущения в виде другого КП более низкой иерархии его $Q_0(t)$ может быть определен так же, как и для рассматриваемого КП.

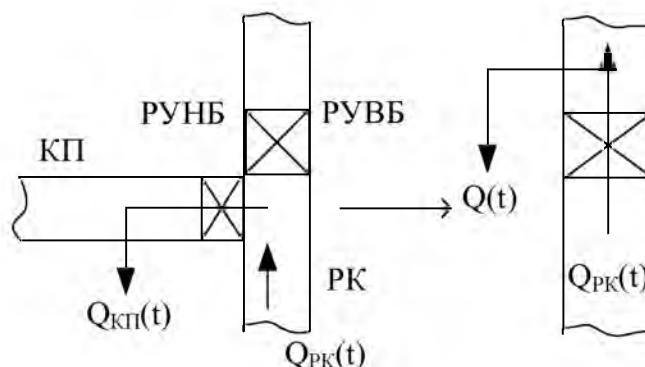
При наличии КП, расположенных перед данным РУВБ, их влияние друг на друга исключено и поэтому справедливо такое преобразование.



Здесь:

$$Q(t) = \sum_{i=1}^l Q_i(t). \quad (4.36)$$

И, наконец, исходя из особенностей звена «КП – РУНБ – РК – РУВБ – РК» можем провести такое преобразование:



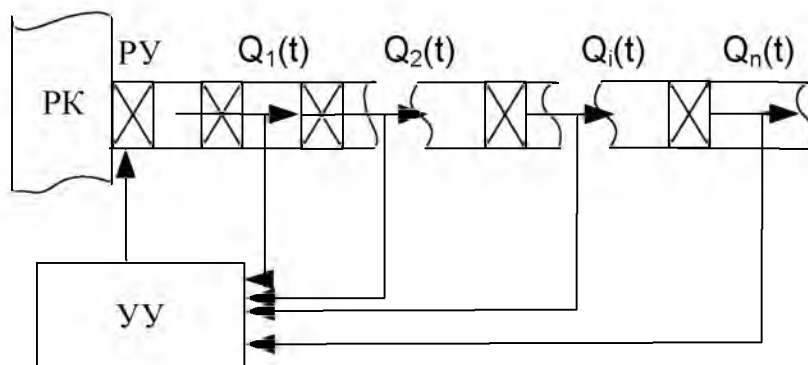
Здесь:

$$Q(t) = Q_{\text{РК}}(t) - Q_{\text{КП}}(t), \quad (4.37)$$

а с учетом (4.32):

$$Q(t) = Q_{\text{РК}}(t) - i=1 \sum_{i=1}^I Q_{\text{КП}_i}(t). \quad (4.38)$$

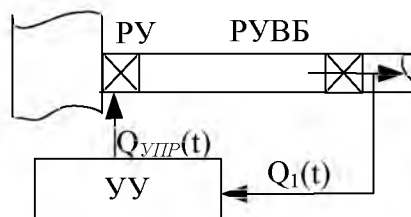
Таким образом, структура системы управления, представленная на рисунке 4.47, может быть приведена к линейной многоконтурной схеме регулирования РК по возмущению:



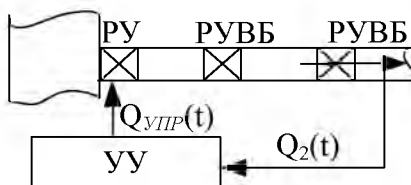
Регулируемыми параметрами в такой системе являются расходы через РУВБ, определяемые, как видно из (4.32), динамикой выше расположенных КП и РК. Причем процесс регулирования сводится к стабилизации расхода через тот РУВБ, перед которым произошло возмущение. Действительно, изменение расходов, забираемых КП, обуславливает такое же, но противоположное по знаку, его изменение через РУВБ, то есть приводит к дисбалансу расходов у нижележащих водопотребителей. При этом, поскольку управление КП со стороны РК невозможно, то процесс регулирования в идеальном случае заключается в изменении $Q_{\text{РК}}(t)$ по закону $Q_{\text{КП}}(t)$, взятому с обратным знаком.

Условие разрыва обратной гидравлической связи и связанная с ним независимость вышележащих бьефов позволяют представить объект как конечный набор подьектов, каждый из которых есть участок РК, ограниченный с одной стороны регулирующим водозаборным сооружением, а с другой – РУВБ.

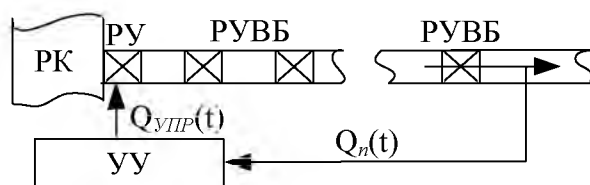
Для 1-го подобъекта структура управления будет такой:



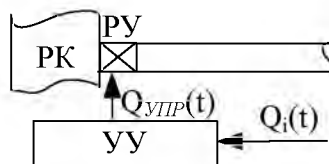
Для 2-го подобъекта:



Для n -го подобъекта:



А общую схему для каждого подобъекта можно свести к следующему виду:



Здесь $Q_{упр}(t)$ – закон изменения задания регулятору водоподачи в систему. Его можно определить, зная прогнозируемый расход через i -й РУВБ, с последующим приведением этого расхода к головному регулирующему устройству (РУ) в системе.

В соответствии со структурой системы управления, полученной в результате ее эквивалентных преобразований, параметрами, определяющими состояние системы управления, являются расходы через РУВБ. Каждый из выделенных в предыдущем подразделе подобъектов можно рассматривать как объект с одним входом и одним выходом при условии, если возмущения, наносимые внутри КП, будут приведены к его входу или выходу. Это позволит определить прогнозируемые расходы через РУВБ при воздействии на него управляющих и возмущающих воздействий и тем самым создать предпосылки к выработке решения на управление и провести управление системой.

Для упрощения дальнейших выкладок введем понятие передаточной функции звена W , используемой в теории автоматического управления для построения систем регулирования [222]. Согласно исследований М. Ю. Красовского [223] и способу описания входных и выходных параметров, представленного В. Н. Щедриным и В. И. Коржовым [221] передаточная функция для участка канала может быть выражена соотношением:

$$W = 1 / (1 + \sum_{i=1}^n C_i e^{p_i t}). \quad (4.39)$$

Строго говоря, в передаточную функцию помимо этого должны включаться влияния граничных условий начала и конца рассматриваемых участков, а также ряд

других факторов, влияющих на поведение системы. Теория их построения подробно изложена в статье Э. Э. Маковского [224]. Однако в данной работе они исключены из рассмотрения, поскольку ставится цель найти общий подход к определению параметров, характеризующих состояние исследуемой системы. Поэтому под передаточной функцией W будем понимать ее общее определение, характеризующее отношение изображения выходной величины для объекта или устройства системы к изображению функции входной величины, полученных при нулевых начальных условиях [225].

Найдем закон изменения расходов на РУВБ при наличии в системе управляющих воздействий $Q_{\text{упр}}(t)$, нанесенных на входе системы путем изменения подаваемого в нее расхода, и возмущающих $Q_{\text{КП}_i}(t)$ в виде забираемых из бьефов РК расходов КП.

Источники возмущения в виде КП для 1-го бьефа располагаются непосредственно у РУВБ, поэтому его динамические свойства никак не сказываются на форме этих возмущений. С учетом уравнения (4.39) имеем:

$$Q_{\text{РУВБ}_1}(t) = Q_{\text{упр}}(t)W_1 - Q_{\text{КП}_1}(t). \quad (4.40)$$

Для 2-го подобъекта $Q_{\text{РУВБ}_1}(t)$ является входным воздействием для 2-го бьефа с передаточной функцией W_2 , поэтому:

$$Q_{\text{РУВБ}_2}(t) = Q_{\text{РУВБ}_1}(t)W_2 - Q_{\text{КП}_2}(t) = Q_{\text{упр}}(t)W_1W_2 - Q_{\text{КП}_1}(t)W_2 - Q_{\text{КП}_2}(t), \quad (4.41)$$

а для i -го подобъекта с передаточной функцией W_i :

$$Q_{\text{РУВБ}_i}(t) = Q_{\text{РУВБ}_{i-1}}(t)W_i - Q_{\text{КП}_i}(t). \quad (4.42)$$

Приводя зависимость (4.42) к $Q_{\text{упр}}(t)$, для i -го подобъекта имеем:

$$Q_{\text{РУВБ}_i}(t) = Q_{\text{упр}}(t) \prod_{j=1}^i W_j - \sum_{j=1}^i \left(\prod_{jj=1}^i W_{jj} / \prod_{k=1}^j W_k \right) Q_{\text{КП}_j}(t). \quad (4.43)$$

Поскольку каждый из подобъектов состоит из цепи последовательно соединенных бьефов-звеньев РК, то его общая передаточная функция определяется произведением передаточных функций этих звеньев, то есть:

$$W_{0i} = \prod_{i=1}^l W_i. \quad (4.44)$$

Тогда для i -го РУВБ можем записать:

$$Q_{\text{РУВБ}_i}(t) = Q_{\text{упр}}(t)W_{0i} - \sum_{j=1}^i (W_{0i}/W_{0j})Q_{\text{КП}_j}(t). \quad (4.45)$$

4.9.4 Алгоритм управления водораспределением

Постановка задачи синтеза алгоритма управления любой системой, как известно [226], состоит в обеспечении заданного критерия качества управления в условиях действия технологических и случайных возмущающих воздействий при существующих ограничениях на управление. Это означает, что с математической точки зрения задача может считаться решенной, если установлен вид функции:

$$Q_{\text{упр}}(t) = \Psi[Q(t), Y(t), X(t)], \quad (4.46)$$

где $Q(t), Y(t)$ – соответственно технологические и случайные возмущающие воздействия;

$X(t)$ – действия ограничений.

4.9.5 Алгоритм работы системы управления при технологических возмущающих воздействиях

Технологическими возмущающими воздействиями при выбранной (в качестве базисной) системе управления по ВБ являются расходы из бьефов каналов. Их забор

осуществляется в соответствии с существующим планом водораспределения, то есть детерминированно. Параметром, определяющим действие системы управления, является расход, подаваемый на вход в систему или в ее звено вышележащим регулирующим сооружением, то есть регулирование в ней осуществляется «по управлению». Закон, определяющий изменение управляющего действия при детерминированном возмущающем воздействии в виде забираемого расхода для одного бьефа, рассмотрен в работе В. И. Коржова [227]. Для системы последовательно соединенных бьефов для i -го потребителя он может быть определен из уравнения (4.45).

Поскольку регулирование на всей системе при возмущающем воздействии в i -м бьефе сводится к стабилизации расхода на i -м РУВБ, то должно выполняться условие:

$$Q_{\text{РУВБ}_i} = \text{const} = Q_{\text{транз}}. \quad (4.47)$$

Учитывая, что передаточная функция для установившегося (неизменяющегося) режима равна единице [228], то можем записать:

$$Q_{\text{упр}_i}(t) = Q_{\text{транз}} + \sum_{j=1}^i (1/W_{0j}) Q_{\text{КП}_j}(t). \quad (4.48)$$

Очевидно, что алгоритм требует знания динамических характеристик вышележащих бьефов оросительной системы.

4.9.6 Алгоритм отработки случайных возмущающих воздействий

Случайные возмущающие воздействия $Y(t)$ в системе управления водораспределением определяются ее особенностями как объекта управления. Они могут быть вызваны и климатическими воздействиями, и выходом из строя линий связи и их отдельных элементов, и погрешностями в определении расходов, уровней, открытий щитов и т. п. К случайным возмущениям следует отнести также нарушения дисциплины водопользования в ОС, связанные с несанкционированными заборами воды из нее отдельными водопользователями. Учесть эти возмущения и обеспечить их оперативную отработку с помощью приведенного выше алгоритма не представляется возможным.

Вместе с тем выбранная система управления, базирующаяся на схеме управления по ВБ, наряду с ее недостатками в своей основе является саморегулирующейся. В этой связи представляется целесообразным использовать ее для отработки случайных возмущающих воздействий. Но поскольку принцип действия большинства РУВБ сводится к варьированию расходом для поддержания заданного уровня ВБ, то управление на i -м регуляторе также может быть осуществлено путем управления по расходу:

$$Q_{\text{РУВБ}_i} = f[H_{\text{НБ}_i}(t), a_i(t)] \text{ при } H_{\text{ВБ}_i}(t) = \text{const}, \quad (4.49)$$

где $H_{\text{НБ}_i}(t)$ – уровень в НБ РУВБ;

$a_i(t)$ – открытие щита на РУВБ;

$H_{\text{ВБ}_i}(t)$ – уровень в ВБ РУВБ.

Очевидно, что это обуславливает появление недостатков, присущих схеме регулирования по ВБ. Однако фон случайных возмущений в номинальном режиме ее работы, как правило, значительно ниже фона технологических возмущений. Поэтому такой подход к синтезу алгоритма управления, когда отработка технологических возмущений проводится по расходу с учетом динамических свойств объекта, а случайных – путем регулирования по ВБ, делает систему управления более гибкой и устойчивой. Кроме того, это позволяет нивелировать несовершенство и погрешности средств измерения и контроля, а также свести к минимуму экономические затраты на реконструкцию или переоборудование оросительной системы.

4.9.7 Алгоритмы работы системы управления в условиях действия ограничений

На оросительной системе, как правило, существуют условия, накладывающие ряд ограничений на управление. Поэтому математическая формулировка алгоритма работы системы управления должна быть увязана с ее практической реализацией, обусловленной действиями последних. Строгий подход к разработке такого алгоритма требует не только учета ограничений, но и знания индивидуальных особенностей конкретной оросительной системы [229]. Эти особенности могут определяться топологией ОС, составом гидротехнических сооружений и средств управления и контроля, требованиями экологии и т. п. Очевидно, что при разработке общего алгоритма учесть их практически невозможно. Поэтому дальнейшую разработку алгоритма будем вести с учетом наиболее явно выраженных для открытых ОС ограничений, связанных с емкостными свойствами объекта управления и временами транспортных запаздываний.

При выполнении определенных условий возможно достижение полной стабилизации расходов. Однако существующие в системе ограничения на управление не позволяют обеспечить соответствующую отработку возмущающих воздействий на всей плоскости ее состояний. Поскольку при синтезе алгоритма управления необходимо будет их учитывать, проведем анализ возможных вариантов поведения системы в условиях действия вышеупомянутых ограничений.

Анализ выполним графическим способом путем совмещения и графического сложения идеализированных графиков изменения управляющего и возмущающего расходов на входе i -го РУВБ.

Введем следующие обозначения: $Q_{упр}$ – закон изменения на входе i -го РУВБ управляющего расхода, поданного на вход системы; $Q_{КП}$ – закон изменения на входе в i -й КП возмущающего расхода, забираемого ВП; $Q_{взм}$ – закон изменения на входе i -го РУВБ возмущающего расхода, забираемого i -м КП; $Q_{РУВБ}$ – закон изменения на выходе i -го РУВБ суммарного расхода; $t_{доб.упр}$ – время добегания $Q_{упр}$ от входа в систему до i -го РУВБ; $t_{доб.взм}$ – то же, $Q_{взм}$ от ВП в i -м КП до i -го РУВБ; $t_{н.упр}$, $t_{к.упр}$ – время начала и конца изменения $Q_{упр}$ на входе i -го РУВБ; $t_{н.взм}$, $t_{к.взм}$ – то же, $Q_{взм}$ на входе i -го РУВБ; $V_{сбр}$ – объем образующегося сброса через i -й РУВБ в нижележащие бьефы; $V_{деф}$ – то же, дефицита для нижележащих бьефов.

Отметим, что для рассматриваемой структуры всегда $t_{доб.взм} = t_{н.взм}$.

Для упрощения анализа будем придерживаться следующих допущений:

- за время переходных процессов все КП, кроме i -го, вызвавшего эти переходные процессы, своих состояний не изменяют;
- изменение водопотребления КП происходит от 0 до $Q_{КП}$ при включении и от $Q_{КП}$ до 0 при их отключении;
- максимальное изменение управляющего расхода $Q_{упр}$ равно максимальному забору воды i -го потребителя;
- переходные характеристики $Q_{упр}(t)$ и $Q_{взм}(t)$ описываются дифференциальными уравнениями первого порядка.

Кроме этого, при проведении анализа будем учитывать особенность распределения воды в открытых оросительных каналах при ее регулировании по ВБ, состоящую в том, что возникновение дефицитов воды у нижележащих потребителей и ее сбросы с точки зрения управляемости неравноценны. Действительно, возникающий при включении потребителей дефицит воды может быть ликвидирован путем последующей подачи в систему дополнительных расходов, то есть он является параметром,

поддающимся управлению (при этом предполагается, что в ОС имеются достаточные для обеспечения ее нормальной работы резервные объемы регулирования). В то же время сбросы неуправляемы (если не представляется возможным их использовать в нижележащих бьефах в течение времени добегания их до водосбросного сооружения). Поэтому при равных условиях управления будем отдельно рассматривать поведение системы при включении и отключении потребителей.

Пример поведения системы при отсутствии ограничений показан на рисунке 4.48. Анализ вариантов поведения при их невыполнении приводится ниже.

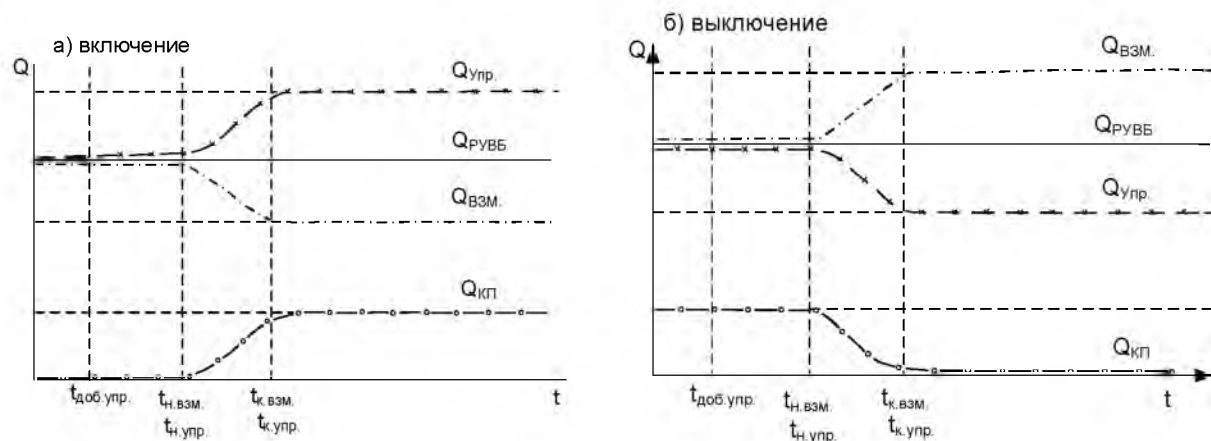


Рисунок 4.48 – Поведение системы при отсутствии ограничений

Вариант 1. Поведение системы в условиях действия ограничений, связанных с динамическими (емкостными) свойствами канала, то есть когда

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} Q_{\text{упр}}(t) dt < \int_0^{\infty} Q_{\text{взм}}(t) dt \\ t_{\text{доб.упр.}} < t_{\text{доб.взм}} \end{cases} \quad (4.50)$$

Включение. С подачей управляющего расхода $Q_{\text{упр}}(t)$ на вход системы сразу после включения i -го КП $Q_{\text{упр}}$ достигнет его входа раньше, чем начнет изменяться на этом входе возмущающий расход $Q_{\text{взм}}(t)$. Поэтому будут наблюдаться непроизводительные сбросы через i -й РУВБ в течение времени $t_{\text{доб.взм}} - t_{\text{доб.упр.}}$. При этом, как видно из рисунков 4.49, а-4.51, а, возможны три варианта в поведении системы:

- а) при $t_{\text{к.упр}} < t_{\text{н.взм}}$ будут наблюдаться только сбросы;
- б) при $t_{\text{к.упр}} > t_{\text{к.взм}}$ сначала будет сброс, а затем начнется формирование дефицита;
- в) при $t_{\text{н.упр}} = t_{\text{к.взм}}$ будет иметь место только дефицит.

Заметим, что возможен еще вариант, когда $t_{\text{н.взм}} < t_{\text{к.упр}} < t_{\text{к.взм}}$.

Однако в зависимости от положения $t_{\text{к.упр}}$ в этом интервале будет наблюдаться либо первый, либо второй вариант поведения системы, поэтому он отдельно не рассматривается.

Отключение. Немедленное снижение управляющего расхода $Q_{\text{упр}}(t)$ на входе системы сразу после отключения КП приводит к возникновению дефицита воды у нижележащих потребителей. При этом в зависимости от соотношения времен добегания возможны следующие варианты поведения системы:

- а) при $t_{\text{к.упр}} < t_{\text{н.взм}}$ образуется только дефицит (рисунок 4.49, б);
- б) при $t_{\text{к.упр}} > t_{\text{к.взм}}$ сначала имеет место дефицит, а затем сброс (рисунок 4.50, б);

в) при $t_{н.упр} = t_{к.взм}$ будет наблюдаться только сброс (рисунок 4.51, б).

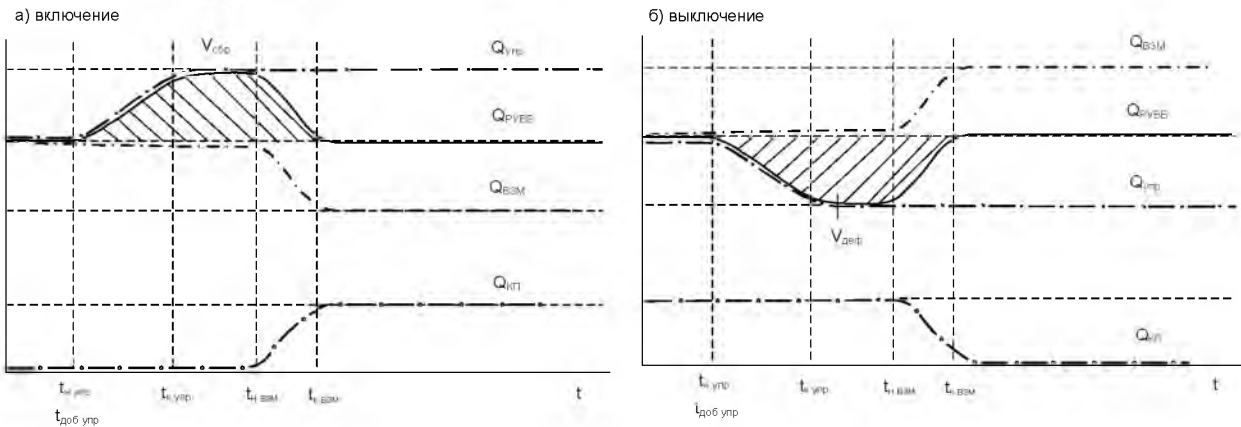


Рисунок 4.49 – Поведение системы в условиях действия ограничений, связанных с емкостными свойствами каналов при $t_{к.упр} < t_{н.взм}$

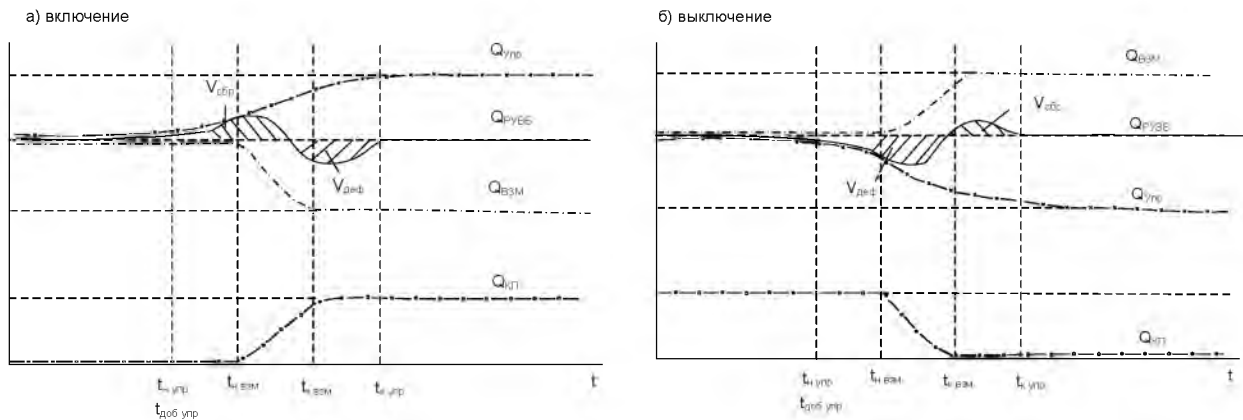


Рисунок 4.50 – Поведение системы в условиях действия ограничений, связанных с емкостными свойствами каналов при $t_{к.упр} > t_{н.взм}$

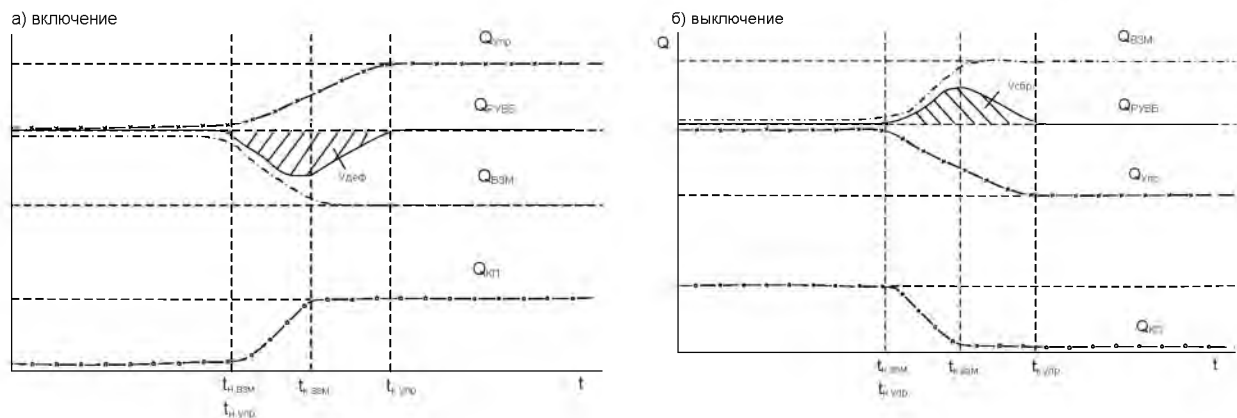


Рисунок 4.51 – Поведение системы в условиях действия ограничений, связанных с емкостными свойствами каналов при $t_{н.упр} = t_{к.взм}$

Как и при включении, при $t_{н.взм} < t_{к.упр} < t_{к.взм}$ в зависимости от положения $t_{к.упр}$ в этом интервале будет наблюдаться либо первый, либо второй вариант поведения системы.

Вариант 2. Поведение системы в условиях действия ограничений, связанных

с временами добегания расходов, то есть когда

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} Q_{\text{упр}}(t) dt \geq \int_0^{\infty} Q_{\text{взм}}(t) dt \\ t_{\text{доб.упр}} > t_{\text{доб.взм}} \end{cases} \quad (4.51)$$

Включение. Избежать образования дефицита, как видно из рисунков 4.52, а и 4.53, а, невозможно. Но в зависимости от соотношения:

$$t_{\text{доб.упр}} \leq t_{\text{доб.КП}},$$

возможны два основных варианта поведения системы:

- а) при $t_{\text{н.упр}} < t_{\text{к.взм}}$ следует сначала образование дефицита, а затем – сброс;
- б) при $t_{\text{н.упр}} > t_{\text{к.взм}}$ создается только дефицит.

Отключение. Сброс, как видно из рисунков 4.52, б и 4.53, б, неизбежен.

При этом также возможны два варианта поведения системы:

- а) при $t_{\text{н.упр}} < t_{\text{к.взм}}$ сначала следует сброс, а затем – формирование дефицита;
- б) при $t_{\text{н.упр}} > t_{\text{к.взм}}$ имеет место только сброс.

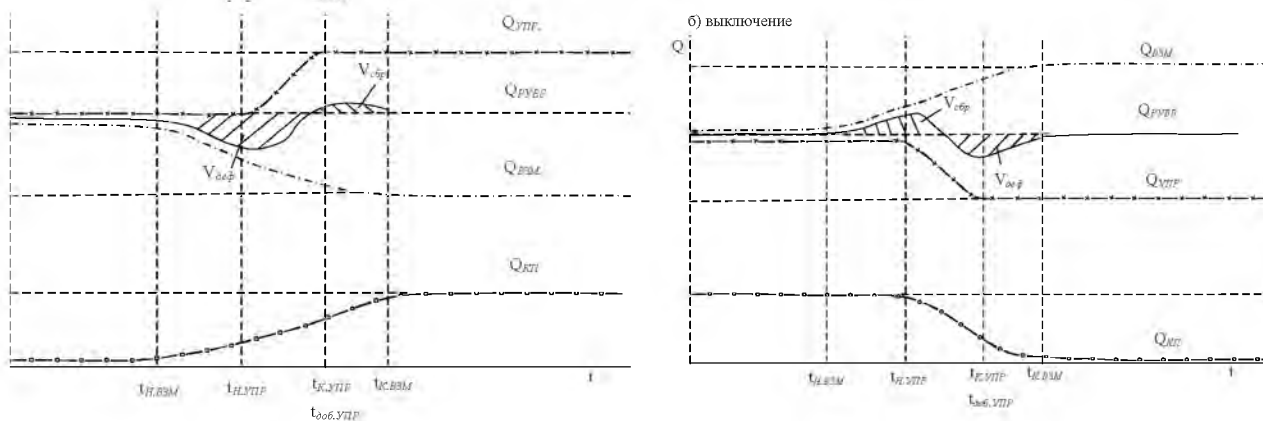


Рисунок 4.52 – Поведение системы в условиях действия ограничений, связанных с временами добегания расходов при $t_{\text{н.упр}} < t_{\text{к.взм}}$

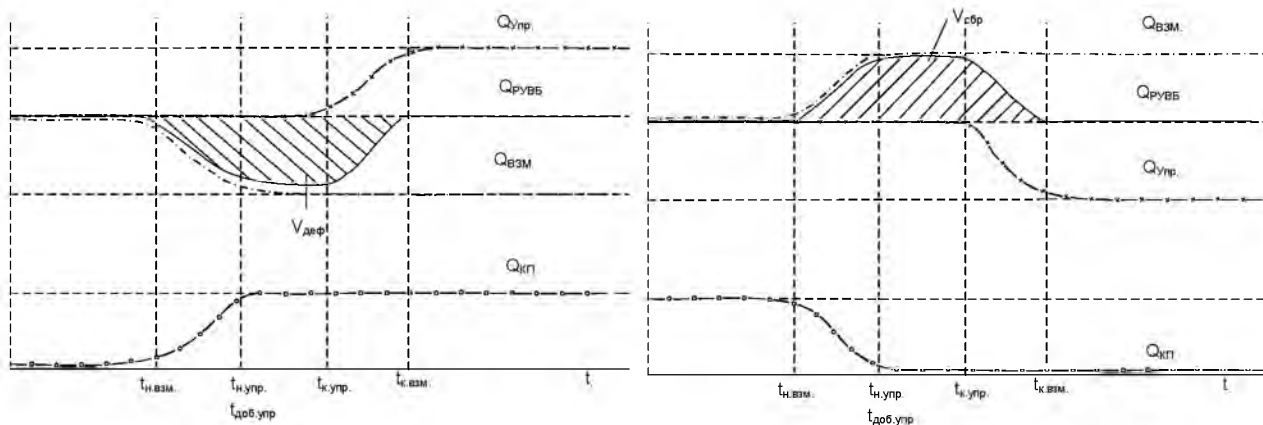


Рисунок 4.53 – Поведение системы в условиях действия ограничений, связанных с временами добегания расходов при $t_{\text{н.упр}} > t_{\text{к.взм}}$

Вариант 3. Поведение системы в условиях действия ограничений, связанных с динамическими (емкостными) свойствами канала и временами добегания расходов, то есть когда:

$$\int_0^{\infty} Q_{\text{упр}}(t) dt \geq \int_0^{\infty} Q_{\text{взм}}(t) dt$$

$$t_{\text{доб.упр.}} > t_{\text{доб.взм}}$$
(4.51)

Поведение системы при действии этих ограничений не отличается от ее поведения в условиях действия ограничений по временам транспортных запаздываний при $t_{\text{доб.упр.}} > t_{\text{доб.взм.}}$. То есть *включение* создает дефицит (рисунок 4.54, а), *выключение* – сброс (рисунок 4.54, б).

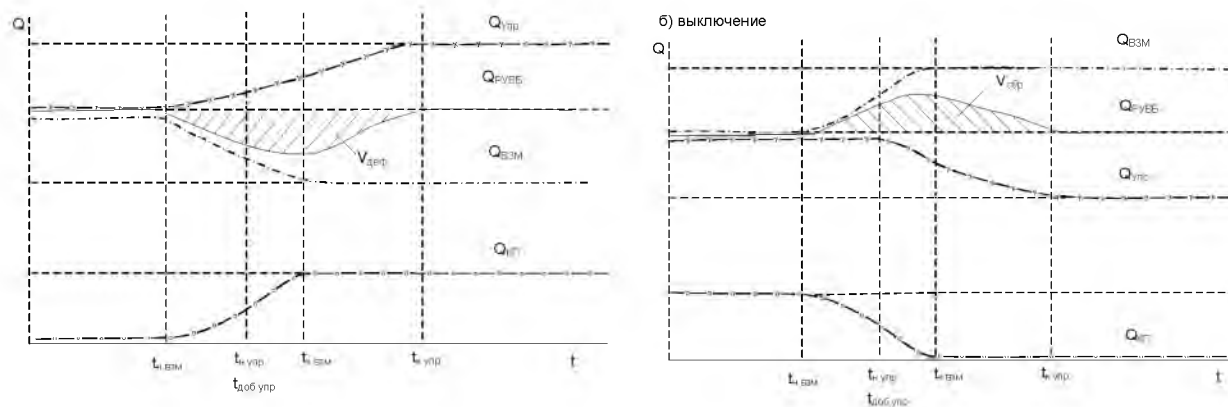


Рисунок 4.54 – Поведение системы в условиях действия ограничений, связанных с емкостными свойствами каналов и временами добега расхода

В данном случае возможны четыре варианта поведения системы:

- а) формирование дефицита;
- б) формирование дефицита, затем сброса;
- в) возникновение сброса, затем формирование дефицита;
- г) формирование только сброса.

Рассмотрим особенности этих вариантов с точки зрения управления системой и определим мероприятия по обеспечению процесса управления.

- а) Формирование дефицита.

Этот процесс является управляемым. Действительно, при его возникновении дефицит воды нарастает в нижележащем бьефе и не распространяется дальше по ОС. В этом случае его можно компенсировать подачей в ОС дополнительных объемов воды V . При этом предполагается, что в нижележащем бьефе существуют резервные объемы регулирования, обеспечивающие его работоспособность в течение времени добегающего до него дополнительного расхода.

- б) Дефицит – сброс.

Данный вариант поведения системы отличается от предыдущего тем, что для последующей частичной или полной ликвидации дефицита могут быть использованы образующиеся вслед за ним сбросы. При этом:

$$V_{\text{non}} = V_{\text{ref}} - V_{\text{cfd}}. \quad (4.52)$$

Если $V_{\text{деф}} < V_{\text{сбр}}$, то $V_{\text{доп}} = 0$, то есть никаких дополнительных усилий на управление на входе в систему не требуется.

Фактический сброс из системы при этом в целом будет меньше:

$$V_{\text{сбд. факт}} = V_{\text{сбд}} - V_{\text{деф}}. \quad (4.53)$$

Очевидно также и то, что оптимальным будет решение при условии, когда $V_{\text{деф}} = V_{\text{сбр}}$, поскольку в этом случае на выходе системы нет ни дефицита, ни сброса. Поэтому в ряде случаев целесообразно создавать искусственный дефицит с тем, чтобы он

был равен следующему за ним сбросу. Это возможно, например, когда $t_{\text{доб.упр}} < t_{\text{доб.взм}}$ (или при плановом включении i -го потребителя). Тогда появляется возможность регулировать время подачи изменяемого расхода на входе потребителя путем его вычисления из условия:

$$\int_0^{\infty} [Q_{\text{упр}}(t_{\text{н.упр}} + t) - Q_{\text{взм}}(t_{\text{доб.взм}} + t)] dt \rightarrow \min. \quad (4.54)$$

Зная $t_{\text{доб.упр}}$ до данного потребителя и $t_{\text{н.упр}}$, можно определить время задержки начала подачи t_3 управляющего расхода на входе системы:

$$t_3 = t_{\text{н.упр}} - t_{\text{доб.упр}}. \quad (4.55)$$

в) Сброс – дефицит.

С точки зрения управления это самый неблагоприятный вариант поведения системы, так как помимо того, что возникает непроизводительный сброс воды, еще необходимы управляющие манипуляции по устранению образующегося после этого дефицита. С этой целью определяется время начала образования дефицита из условия:

$$\int_0^{t_1} Q_{\text{упр}}(t) dt = \int_0^{t_1} Q_{\text{взм}}(t) dt, \quad (4.56)$$

а затем объем $V_{\text{доп}}$, который нужно дополнительно подать в ОС:

$$V_{\text{доп}} = \int_{t_1}^{\infty} [Q_{\text{упр}}(t) - Q_{\text{взм}}(t)] dt. \quad (4.57)$$

г) Сброс.

Поскольку сброс воды в системе является параметром неуправляемым, то задача управления в этом случае сводится к его минимизации, которая состоит в немедленном изменении расхода на управляющем сооружении.

4.9.8 Контроль за сбросами и дефицитами

Как показали результаты анализа возможных режимов работы системы управления, она не может полностью исключить возможных сбросов или возникновения дефицитов у нижележащих потребителей. В одном случае это связано с отработкой случайных возмущающих воздействий путем прямого использования схемы регулирования по верхнему бьефу и, как следствие, проявления присущих ей недостатков. В другом – действия ограничений, связанных с емкостными параметрами каналов и временами добегания расходов, влекут за собой возникновение неминуемых сбросов или дефицитов. Кроме этого, на системе могут существовать и другие виды ограничений (например, по максимальным заборам воды в ОС), которые могут также способствовать образованию дефицитов или непроизводительных сбросов. Причем если последние поддаются учету, то случайные возмущения (например, связанные с аварийной ситуацией) могут приводить к значительному дисбалансу подаваемых и потребляемых объемов воды.

В этой связи БР и ДУ в схеме, представленной на рисунке 4.47, выполняют двойную задачу: во-первых, позволяют задержать непроизводительные сбросы из системы и использовать их затем для обеспечения водой нижележащих потребителей, во-вторых, контролировать соблюдение баланса подаваемых и забираемых из ОС объемов воды.

В тех случаях, когда объем БР не соответствует заданным пределам:

$$V_{\text{БРфакт}} > V_{\text{БРmax}} \quad (4.58)$$

или

$$V_{\text{БРфакт}} < V_{\text{БРмин}}, \quad (4.59)$$

где $V_{\text{БРфакт}}$ – фактический объем в БР;

$V_{\text{БРмакс}}$, $V_{\text{БРмин}}$ – максимально и минимально допустимые объемы БР, значение транзитного расхода $Q_{\text{транз}}$, подаваемого в систему корректируется на период времени t , в течение которого будет ликвидирован образовавшийся дисбаланс объемов в БР:

$$Q_{\text{транз}}^i = Q_{\text{транз}} + (V_{\text{БРном}} - V_{\text{БРфакт}})/t, \quad (4.60)$$

где $V_{\text{БРном}}$ – номинальное значение объема в БР.

Сохранение дисбаланса через время t свидетельствует об аварийной ситуации на системе. В этих случаях УУ должно предусматривать меры по ее ликвидации.

4.9.9 Общий алгоритм работы системы управления водораспределением

Сформулированные выше алгоритмы работы системы для отработки технологических и случайных возмущающих воздействий, а также мероприятия по обеспечению ее функционирования в условиях действия ограничений позволяют синтезировать общий алгоритм управления исследуемой системой (рисунок 4.55).

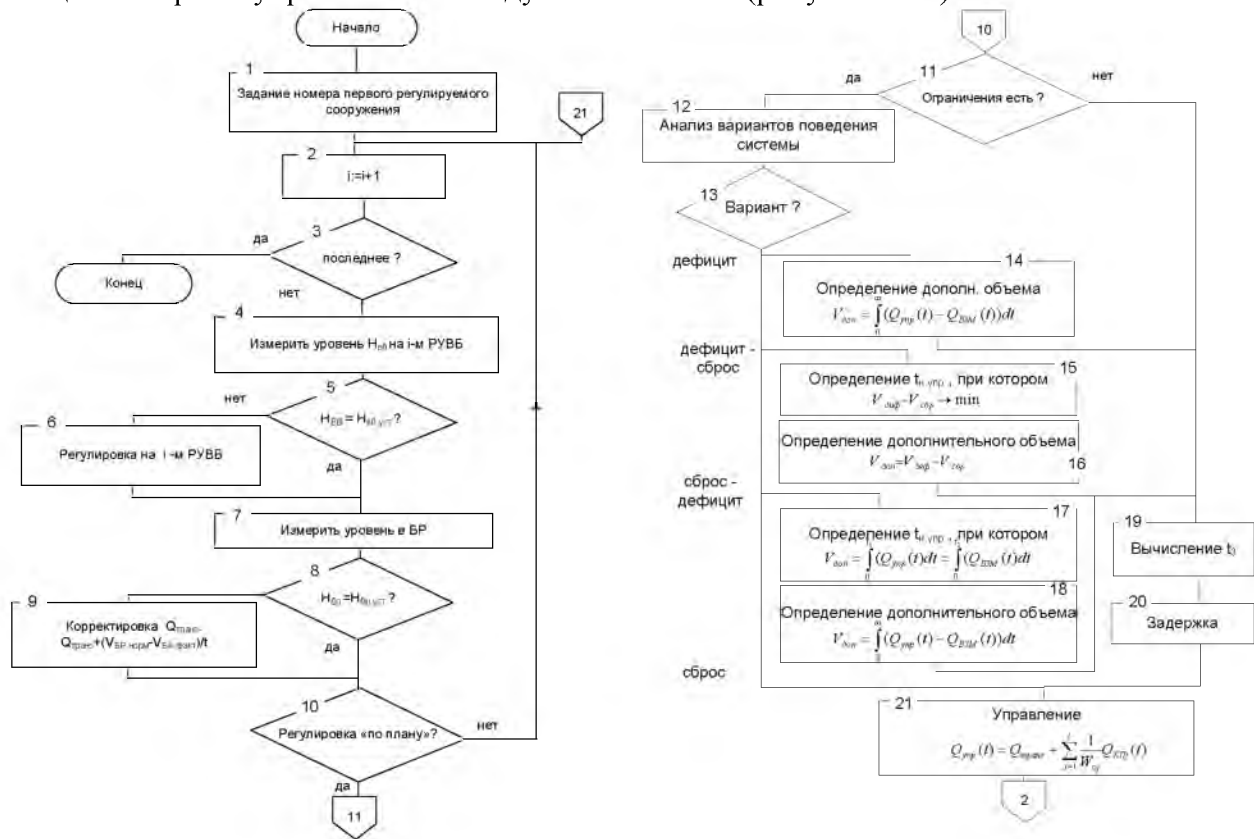


Рисунок 4.55 – Структурная схема общего алгоритма управления

Цикл управления начинается с выбора сооружения, которое должно быть первым подвергнуто перерегулировке (блок 1). Этот выбор определяется конкретными условиями системы и может зависеть от приоритета обслуживания водопользователей, степени ее влияния на общую динамику процесса управления и т. п. Отметим, что очередность перерегулировки последующих сооружений (блок 2) также может устанавливаться пользователем.

Отработка случайных возмущений в системе, как уже отмечалось, проводится путем регулирования водоподдачи по ВБ. В тех случаях, когда на ОС установлены локальные РУВБ, необходимости в проведении каких-то дополнительных перерегулировок со стороны УУ не возникает, так как поддержание уровней ВБ осуществляется ав-

томатически этими РУВБ. Если локальные РУВБ отсутствуют, регулирование по ВБ можно проводить с помощью УУ. С этой целью измеряется уровень ВБ перед i -м регулятором ВБ (блок 4) и сравнивается с заданной па нем уставкой (блок 5). Если отклонения от уставки превышают заданную погрешность поддержания уровня, то расход, проходящий через данный РУВБ, изменяют в соответствии с законом (4.49) (блок 6).

Возникающие при этом непроизводительные сбросы накапливаются в БР, заполнение которого контролируется УУ (блок 7). В случае, когда заполнение отличается от заданной уставки (блок 8), следует корректировка транзитного расхода, подаваемого в систему (блок 9), на величину, определяемую по формуле (4.60). После этого следует переход к командному управлению ОС по расходам с учетом ее динамических характеристик и времен добегания расходов до потребителей.

При регулировании «по расходам» вначале анализируется, нужна ли регулировка на данном сооружении в соответствии с планом водоподачи по нему (блок 10) (либо, если КП забирают воду «по требованию», анализируется, не было ли в них изменений водопотребления). Если регулировки не требуется, то следует переход к вышеописанному управлению последующими сооружениями (блок 2). Если же необходима перерегулировка, то анализируется, существуют ли ограничения на управление по емкостным параметрам каналов и (или) времени добегания (блок 11). Заметим, что здесь же могут анализироваться и другие виды ограничений, обусловленные конкретной оросительной сетью и (или) другими обстоятельствами.

В тех случаях, когда ограничения существуют, выполняется анализ вариантов поведения системы в условиях их действия (блок 12) и в зависимости от определенного варианта (блок 13) выбирается алгоритм поведения системы (блоки 14-18).

При возникновении дефицита для его ликвидации в соответствии с уравнением (4.51) вычисляется объем воды $V_{\text{доп}}$, который необходимо дополнительно направить в ОС (блок 14).

При дефиците с последующим сбросом по уравнению (4.51) определяется время $t_{\text{упр}}$ при котором разница между $V_{\text{деф}}$ и $V_{\text{сбр}}$ будет минимальна (блок 15), а затем, если невозможно ликвидировать образующийся за ним сброс, по формуле (4.52) вычисляется дополнительный объем $V_{\text{доп}}$, который следует дослать в ОС (блок 16).

В случае, когда *за сбросом формируется дефицит*, вычисляется время t_1 при котором выполняется условие (4.56). Исходя из него определяется $t_{\text{н.упр}}$ (блок 17), а затем по уравнению (4.57) дополнительный объем $V_{\text{доп}}$, который необходимо подать в ОС (блок 18).

При возникновении трех рассмотренных вариантов поведения системы в условиях действия ограничений, а также при их отсутствии алгоритм допускает дополнительную регулировку маневрирования временем начала действия управляющего воздействия $Q_{\text{упр}}$. Для этого вычисляется необходимая временная задержка (блок 19), которая реализуется техническими или программными средствами (блок 20). После этого осуществляется подача в систему расхода по закону, определяемому (4.48) (блок 21).

При образовании только сброса следует немедленный переход к управлению системой по закону (4.48) (блок 21).

По окончании управления данным сооружением переходят к управлению следующим в рассматриваемом ряду (блок 2). Если обслуживаемое сооружение последнее в нем (блок 2), то алгоритм заканчивает свою работу.

4.9.10 Согласование графиков водозабора и водопотребления

Водозабор на большинстве оросительных систем осуществляется машинным способом с помощью насосных станций. Как правило, эти насосные станции состоят из нескольких насосных агрегатов одинаковой или разной производительности, которые определяют дискретность подачи воды в ОС. Между тем предложенный в разделе 4.9.9 алгоритм предусматривает плавную регулировку водоподдачи на вход системы. Кроме этого, дискретность забора воды потребителями также значительно ниже дискретности подаваемого в систему расхода. Это обуславливает дисбаланс между объемами подаваемой и потребляемой воды, приводящий к непроизводительным сбросам. Плавное регулирование на большинстве ГНС не предусмотрено из-за использования в них асинхронных и синхронных электродвигателей, конструкционно не обеспечивающих плавное изменение водоподдачи. Регулирование подаваемого в систему расхода с помощью задвижек, устанавливаемых на выходном коллекторе насосной станции, ведет к неоправданным затратам электроэнергии.

Решение данной проблемы может быть достигнуто путем использования резервных емкостей каналов или БР, предусмотренных в структуре системы, представленной на рисунке 4.47. При этом должно выполняться условие:

$$V_{\min} < \left(\sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{j=1}^m Q_j \right) t < V_{\max}, \quad (4.61)$$

где V_{\min} и V_{\max} – минимально и максимально допустимые объемы регулирования воды в канале или БР;

Q_i – расход i -го агрегата ГНС;

n и m – число соответственно одновременно работающих агрегатов ГНС и потребителей;

Q_j – расход j -го потребителя.

На реально действующих оросительных системах, чтобы учесть динамику изменения расходов на выходе первого бьефа или БР в рамках потребности всей системы, целесообразно выполнить предварительный расчет плана водораспределения. Его расчет строится на основе введенных заявок на водоподачу по каждому потребителю и имеющегося в информационно-справочной системе пакета данных о ее конфигурации, работоспособности на данный момент времени, времени добегания, текущих заполнений каналов.

Расход на i -м перегораживающем сооружении (ПС) может быть вычислен следующим образом:

$$Q_i(t) = \sum_{k=1}^n Q_k(t - t_{\text{доб},k}) + Q_l(t - t_{\text{доб},l}), \quad (4.62)$$

где t – время, на которое проводится расчет;

i – номер ПС в системе;

l – номер нижележащего ПС;

k – номер водовыдела, расположенного между расчетным и нижележащим ПС;

$t_{\text{доб},k}$ – время добегания от k -го водовыдела до i -го ПС;

$t_{\text{доб},l}$ – время добегания от l -го до i -го ПС.

При этом должно выполняться условие для каждого текущего момента времени, то есть $Q_i(t) \leq Q_{\max i}$, где $Q_{\max i}$ – максимальная пропускная способность i -го ПС.

Поскольку при согласовании графиков водозабора и водопотребления возникает потребность в оптимизации работы ГНС, то она может быть возложена на УУ и проводится с учетом соотношения (4.61).

4.9.11 Автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера

Алгоритмы работы системы управления, равно как и все другие виды ее обеспечения, в первую очередь определяются теми функциями, которые возлагаются на эту систему. Поэтому прежде всего определим ее функциональную структуру.

Рабочие функции любой системы автоматизированного управления, как известно, во многом определяются существующей до ее внедрения на объекте технологией управления. Поэтому при разработке АРМа диспетчера возьмем за основу схему принятия решений, предложенную в [230] и включающую триединую функциональную задачу: подготовку системы к управлению, непосредственно управление технологическим процессом и анализ и подведение итогов ее работы за истекший период управления.

Схема этой функциональной структуры системы управления водораспределением (СУВ) приведена на рисунке 4.56.

На *этапе подготовки системы к управлению* заявки хозяйств на водоподачу (блок 1) направляются в диспетчерскую службу оросительной системы. Здесь они заносятся на магнитные носители управляющей ЭВМ (блоки 5, 6) и хранятся там до начала управления. Заявки подаются посуточно по каждому водовыделу с почасовой разбивкой. На базе введенных заявок рассчитывается план водораспределения (блок 4), анализируется диспетчером (блок 2) и при необходимости корректируется им (блок 7). После этого сформированный план водораспределения в виде диспетчерского журнала выводится на печать (блок 3). В том случае, если существует хранящийся на магнитном носителе план водопользования (блок 10), предусматривается контроль за его соблюдением (блоки 6, 7).

Сформированный таким образом план водораспределения является базисом для *этапа непосредственного управления водораспределением* на ОС. Информация из файла, где он хранится (блок 6), перезаписывается в рабочий файл режима управления (блок 11), где он может оперативно корректироваться диспетчером (блок 15) в соответствии со складывающейся обстановкой на объекте. Кроме этой информации, необходимой для управления, диспетчер в режиме диалога задает настройки системы на объект (блоки 17, 18). Работа СУВ может осуществляться как в режиме управления технологическим процессом (блок 12), так и в режиме контроля его хода (блок 13). При этом и в том, и в другом случае диспетчеру выдается набор сообщений о ходе процесса (блок 16), по которым он следит за его правильностью. По инициативе оператора ход процесса может быть скорректирован или вовсе прерван (блок 15). Информация о настройках СУВ может быть выведена на печать для обеспечения удобства работы с системой (блок 20). По результатам работы СУВ за сутки формируется итоговый файл (блок 14), который передается в блок подведения итогов для дальнейшей обработки.

На *этапе подведения итоговых показателей* делается расчет итогов за сутки (блок 21) и выводится на печать итоговая ведомость работы (блок 22), а данные накапливаются на магнитном носителе (блок 33). Они будут использованы затем при подсчете итоговых показателей за декаду и месяц (блоки 24 и 25). Этот подсчет сопровождается выводом документов с информацией о работе СУВ за отчетный период (блок 26) и ведомости показателей ее работы (блок 27). Вся информация контролируется диспетчером (блок 29) и при необходимости корректируется им (блок 28).

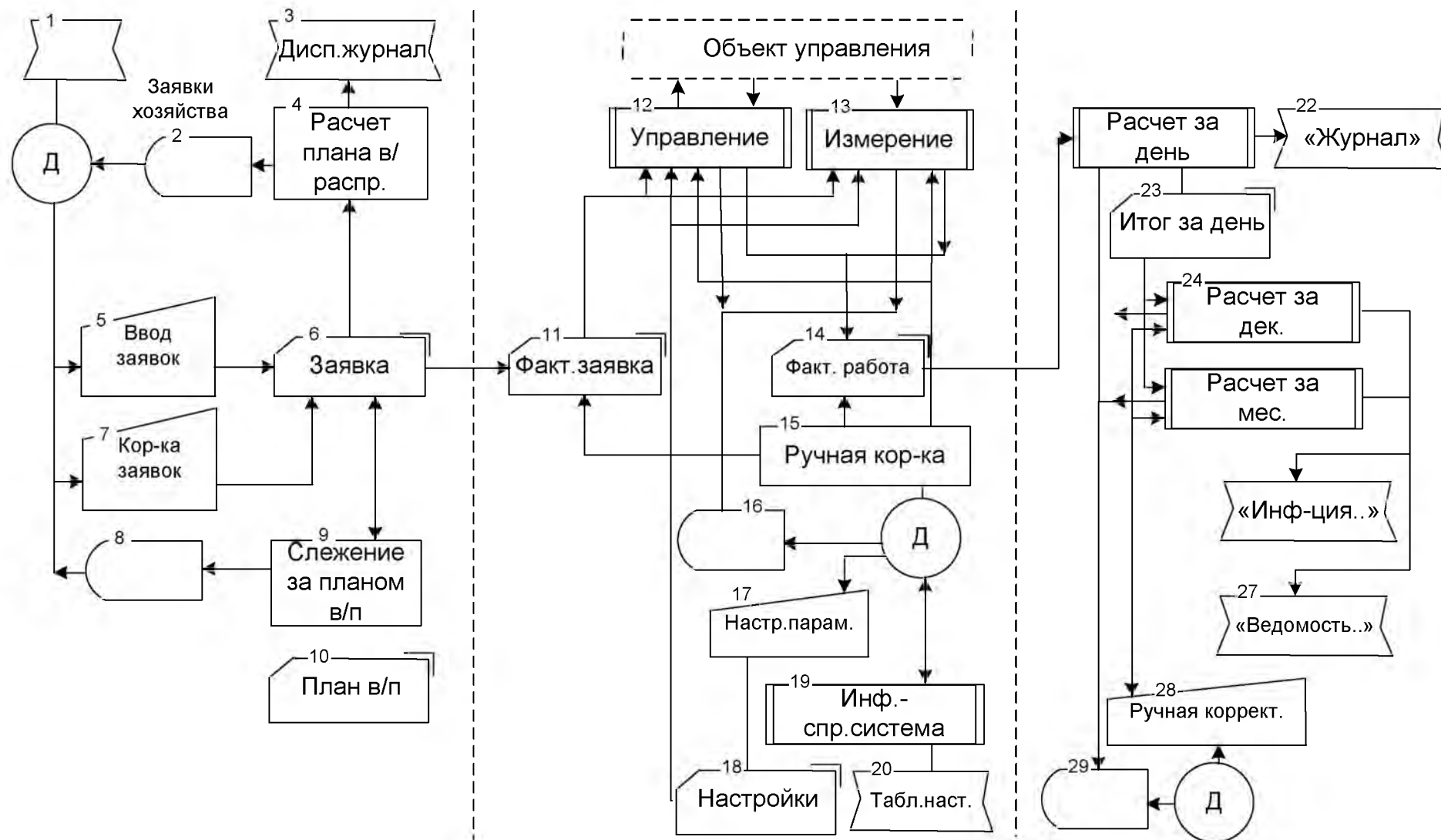


Рисунок 4.56 – Схема функциональной структуры АРМ диспетчера

4.10 Структура комплекса технических средств (КТС)

Максимальной эффективности работы СУВ на оросительной системе можно достичь лишь путем создания ее на базе совершенных средств контроля, управления, телемеханики и водоучета. Однако, как уже отмечалось, это не всегда возможно по ряду технических и экономических причин. Поэтому при проведении данных исследований было признано, что наибольшей эффективности работы СУВ в этих условиях можно достичь, в первую очередь, путем автоматизации функций диспетчерского управления и оснащения диспетчерского пункта управляющей ЭВМ. Поэтому структура комплекса технических средств в своей основе повторяет его существующие структуры, отличаясь лишь оснащением диспетчерского пункта.

Структура КТС системы управления водораспределением приведена на рисунке 4.57. Она включает уже существующие средства телемеханики (линии связи, КП, пульт управления), средства контроля и измерения (уровнемеры, расходомеры и датчики положения затворов), средства управления (электрифицированные затворы) и дополнительно устанавливаемые на диспетчерском пункте средства управляющего вычислительного комплекса (ЭВМ, дисплей, принтер, устройство связи ЭВМ с пультом телемеханики). Технические решения обеспечения связи управляющей ЭВМ с периферийными техническими средствами изложены в статье В. Н. Щедрин [231]. Отметим, что в данной структуре ЭВМ не исключает полностью из контура управления диспетчера, а берет на себя значительную часть его функций. При этом диспетчер может воздействовать на систему как через ЭВМ в диалоговом режиме, так и минуя ее. Это позволяет ему вмешиваться в работу системы при возникновении неформализуемых ситуаций (например, аварийных), а также на стадиях проведения пусконаладочных работ и на этапе преодоления диспетчером психологического «недоверия» к ЭВМ.



Рисунок 4.57 – Структурная схема комплекса технических средств АРМ диспетчера ОС

Такое построение КТС позволяет:

- максимально возможно использовать стандартные модули и блоки;
- оперативно заменять морально и физически устаревшие блоки новыми и более совершенными;
- обеспечивать возможность гибкого наращивания мощностей системы и изменения ее конфигурации.

4.11 Структура и состав информационного обеспечения

Основу информационной структуры СУВ составляет файловая система организации, создания, передачи, обработки и хранения информации. Она представлена на рисунке 4.58.



Рисунок 4.58 – Схема информационной структуры АРМ диспетчера ОС

Условно информационное поле пакета можно подразделить на три основные группы.

Первую информационную группу составляет группа файлов, обеспечивающих настройку системы на реальный объект. Она включает блоки файлов PARSOR (параметры сооружений), NASTTEX (настройки технические), NASTSIS (настройки системные). Отметим, что под блоком файлов будем понимать набор файлов различного назначения (данных, индексных, памяти и т. п.), имеющие одинаковые имена и реализующие единые функции.

Формирование блока файлов PARSOR проводится на этапе подготовительных работ в период адаптации системы на реальный объект. В них вносится информация о шифрах сооружений и закрепленных за ними в системе номерах, их типах (водовыдел, перегораживающее сооружение, насосная станция и т. п.), технических характеристиках, пространственной расположенности на ОС, пропускных способностях и т. п. Эти данные достаточно статичны и, как правило, редко будут подвергаться корректировке в рамках выбранной оросительной системы.

В блок файлов NASTTEX заносится информация об аппаратно-технической настройке системы на объект: номера каналов связи, границы шкал измеряемых параметров, допустимые диапазоны погрешностей и т. п. Он также является достаточно статичным для выбранной ОС, однако в процессе работы может корректироваться и подстраиваться в соответствии с возникающей оперативной обстановкой на объекте управления (например, из-за выхода из строя на достаточно длительные сроки отдельных сооружений, их реконструкции, аварий линий связи, подключения в систему дополнительных субъектов управления и т. п.).

Блок NASTSIS призван содержать информацию о параметрах, обеспечивающих управление: подключенность того или иного элемента ОС в контур управления, его работоспособность, признак возможности управления им, измерения или водоучета на нем. Здесь же содержатся сведения об элементах ОС, обеспечивающих командование уровнями или расходами на определенных участках каналов, ранее рассчитанные

или эмпирически определенные времена добегающих расходов до узловых точек ОС и т. п. Информация, содержащаяся в файлах NASTSIS, будет подвергаться значительно более частым корректировкам, особенно на стадиях настройки системы на объект, во время пуско-наладочных работ и вводе СУВ в опытную эксплуатацию. Отметим, что она может корректироваться как оператором-диспетчером путем ручного вмешательства с клавиатуры ЭВМ, так и программно за счет уточнения тех или иных параметров в процессе работы системы.

В целом же, как уже отмечалось, информация, хранящаяся в блоках файлов PARSOR, NASTTEX и NASTSIS, обеспечивает гибкую настройку СУВ на объект, является базисной для конкретной автоматизируемой ОС и используется на всех этапах ее работы.

Вторая информационная группа представляет собой набор файлов для хранения оперативных данных о работе ОС. Она включает блоки файлов PLANVP (план водопользования), ФАКТ (данные о фактической работе ОС), ZAJAVKA (данные о поданных заявках на водоподачу).

В блоке файлов PLANVP содержатся данные о рассчитанном и утвержденном ранее годовом плане водопользования. Они задают те ограничения, которые накладываются на управление в рамках соблюдения принятой на данной системе дисциплины водопользования. Кроме этого, они позволяют оценить фактическое и планируемое водопользование по тому или иному водопотребителю.

Данные блока файлов ZAJAVKA формируются на этапе подготовки к управлению на заданный временной интервал. Это связано с необходимостью оценки возможности фактической реализации заявок на водоподачу, проведения предварительных подготовительных операций по ее обеспечению (в том числе и средствами, не входящими в систему управления), проверки соблюдения водопотребителями дисциплины водопользования. Они вносятся диспетчером в виде заявок на водоподачу от потребителей. Затем проводится расчет плана водораспределения с учетом ограничений, накладываемых в упомянутом ранее блоке файлов PLANVP, а также оперативно складывающейся обстановки на объекте. В последующем эта информация используется системой как исходная на стадии оперативного управления в реальном масштабе времени.

Основное назначение блока файлов ФАКТ – хранение информации об оперативной обстановке на объекте и протокола хода технологического процесса за заданный интервал управления. В него записываются данные о значениях уровней, открытий щитов, расходов, работе насосных станций и других параметрах по результатам фактической работы системы управления во времени. Здесь же содержатся данные о фактическом выполнении рассчитанного ранее плана водораспределения с учетом всех наложившихся на него внешних и внутренних возмущений, а также вся водоучитывающая информация. Этот блок файлов является в последующем исходным для анализа работы ОС. Он же используется для расчета и корректировки коэффициентов адаптивного управления, установленных в блоке файлов NASTSIS, а также для восстановления информации о состоянии объекта управления при возникновении аварийных ситуаций (например, при отключении электроэнергии).

Третья информационная группа включает в себя группу файлов, в которых хранится обработанная информация о результатах работы ОС за определенный временной отчетный интервал. Это блоки файлов ИТОGDEN (итог за день), ИТОGDEK (итог за декаду), ИТОGMES (итог за месяц). В них записываются данные об итогах работы за соответствующий отчетный период: количество забранной в ОС воды, количество воды, поданной каждому потребителю, время работы каждого из водопотребителей и т. п. Эти данные используются для формирования информационно-справочных сообщений и отчетных документов.

В заключение отметим, что помимо файлового информационного пространства, система предусматривает широкий спектр таблиц, сообщений, графиков для обеспечения информационной поддержки работы диспетчерской службы.

4.12 Структура программного обеспечения

Функциональная структура АРМ диспетчера, структура КТС и информационного обеспечения определяют структуру программных средств, которая изображена на рисунке 4.59. Она включает следующие программные блоки:

- головную программу-диспетчер;
- блок программ формирования плана водораспределения;
- блок программ управления водораспределением;
- блок программ информационно-справочной поддержки системы;
- блок программ для подведения итоговых показателей работы системы.

Программная реализация каждого из блоков определяется спецификой применяемого в каждом конкретном случае общего программного обеспечения.

Головная программа-диспетчер обеспечивает диалог оператора с ЭВМ и выбор им из пользовательского меню соответствующего режима работы.

В блоке программ «Формирование плана водораспределения» диспетчер вводит в ЭВМ данные о поданных заявках на водоподачу («Ввод заявок»). После этого проводится автоматизированный расчет плана водораспределения («Расчет плана водораспределения»), формируется и распечатывается диспетчерский журнал («Формирование диспетчерского журнала»), а данные рассчитанного плана записываются на магнитный носитель («Запись данных»).

Блок программ «Управление системой» является основным в структуре программных средств. Он обеспечивает сбор информации с объекта («Измерение») и на основе ее, а также данных о сформированном плане водораспределения проводит расчет решения на управление («Расчет управления»). Для обеспечения гибкого управления системой (особенно на этапе ее настройки на объект) диспетчеру оставляется возможность ручной корректировки этого режима, после чего проводится самоуправление («Управление»). В случае возникновения нестандартных и аварийных состояний система выводится на безопасный режим и выдает сообщение диспетчеру («Авария»). В процессе работы блока «Управление системой» формируются фактические данные о работе системы за определенный период управления.

Блок программ «Подведение итогов» обеспечивает обработку фактических данных по каждому субъекту системы, а также в целом по системе в рамках заданного интервала отчетности («Итог за день», «Итог за декаду», «Итог за месяц») и документирует их на магнитных носителях и бумаге.

Блок программ «Информационно-справочная поддержка» не участвует непосредственно в технологическом процессе управления водораспределением. Однако он обеспечивает диспетчера и систему управления информацией об эксплуатационных параметрах субъектов системы («Параметры сооружений»), ее текущей конфигурации («Конфигурация системы»), динамике изменения расходов и уровней, открытий щитов («Динамика объекта»), а также предоставляет возможность диспетчеру проводить необходимые для обеспечения управления расчеты («Оперативные расчеты») и т. д. Данный программный блок должен обеспечивать открытую архитектуру, чтобы можно было оперативно подключать к нему другие информационно-справочные модули, необходимость в которых может возникнуть при эксплуатации конкретной системы (например, для хранения тарифовочных таблиц, оперативного расчета расходов по значению уровней ВВ и НВ и открытию щита и наоборот и т. п.).

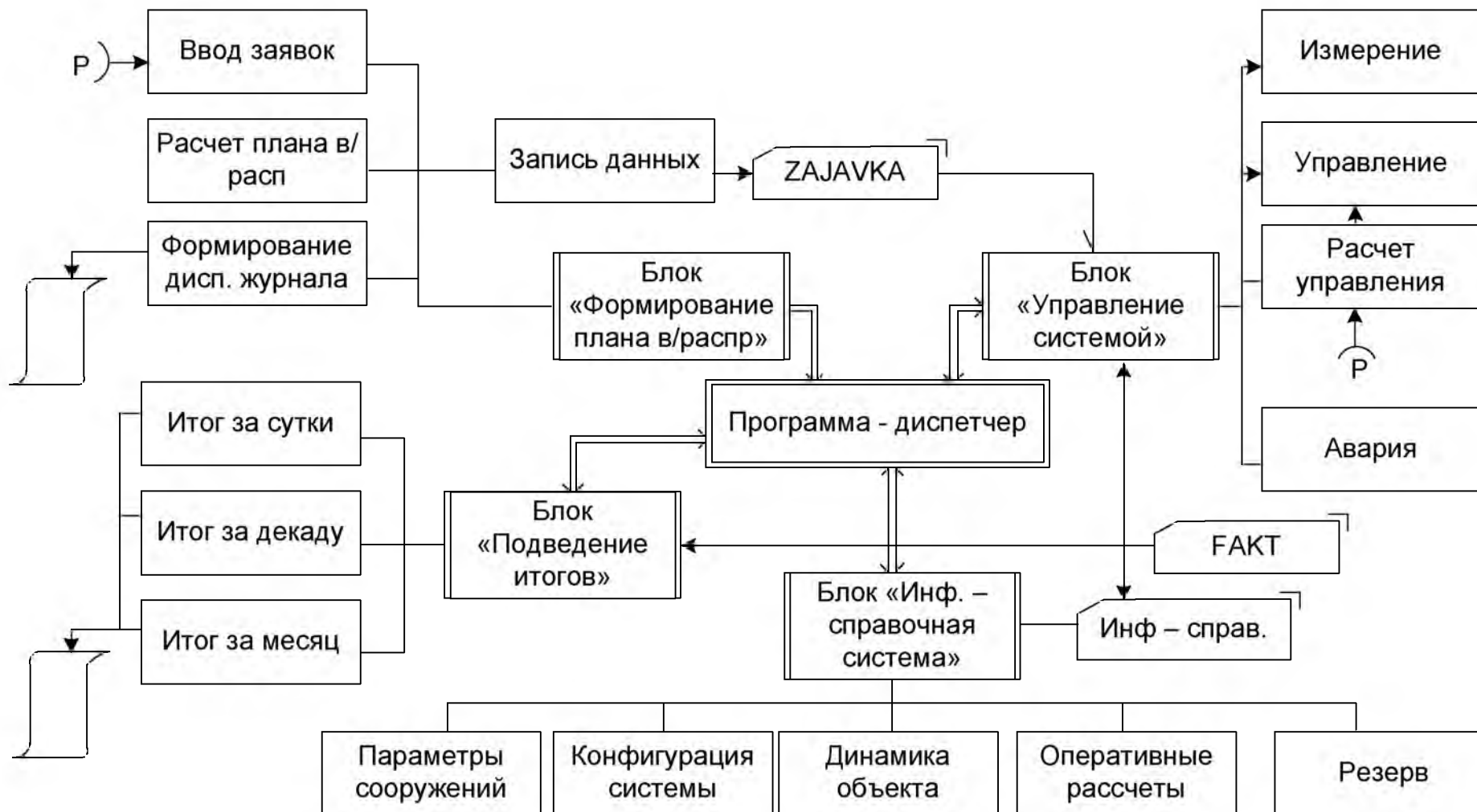


Рисунок 4.59 – Структура пакета программ АРМ диспетчера ОС

4.13 Обеспечение гибкой настройки на реальный объект

Каждая оросительная система как объект управления по-своему неповторима и индивидуальна. В этой связи, строя систему управления на базе «жесткой» логики, трудно добиться универсальности всех обеспечивающих ее средств.

В п. 4.10 было показано, что файловая система организации информационной базы может во многом повысить гибкость настройки системы на реальный объект. Однако при этом возникает еще потребность в организации удобного интерфейса ЭВМ, обеспечивающего управление этими файловыми структурами. Существуют несколько способов организации такого интерфейса [232]: в режиме «вопрос – ответ», табличный, графический и т. п. Первый вариант громоздок, последний – трудно реализуем на многих ЭВМ. Поэтому был взят табличный способ настройки системы на объект. С этой целью была разработана структура таблицы, назначение граф которой представлено в таблице 4.2. Таблица является мультифункциональной, поскольку в ней представлены параметры, не объединенные одной общей зависимостью, но вместе с тем в совокупности описывающие систему управления.

Таблица 4.2 – Назначение граф таблицы гибкой настройки на объект

Номер графы	Содержание	Назначение	Принимаемые значения
1	2	3	4
1	Шифры сооружений	Указывается номер и шифр сооружения, по которому введена информация	
2	Тип	Принадлежность данного сооружения к числу управляющих или к числу водовыделов	1 – управляющее 2 – водовыдел
3	Работоспособность	Признак, дающий системе управления информацию о текущей работоспособности данного сооружения	1 – работоспособно 0 – нет
4	Разрешение управления	Признак, дающий разрешение системе проводить управление данным сооружением	1 – разрешается 0 – не разрешается
5	Номер регулирующего сооружения	Определяет номер сооружения в системе, которое обеспечивает регулирование уровней воды на данном сооружении	Номер сооружения
6	Уставка ВБ	Содержится значение уровня ВБ, которое необходимо поддерживать в ВБ данного сооружения	Реальное значение ВБ, см
7	Максимальная погрешность ВБ	Заданная максимально допустимая погрешность поддержания уровня относительно уставки	см
8	Коэффициент уровней	Определяет величину перерегулирования щита на единицу изменения уровня ВБ на данном сооружении	см/см
9	Коэффициент расходов	Определяет значение расхода на водовыделе по открытию щита на нем	л/(с см)

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4
10	Время добегания	Среднее значение времени добегания расходов от данного сооружения до обеспечивающего управления им (см. графу 6)	мин.
11	Номер головного сооружения	Определяет номер вышележащего головного регулирующего сооружения в бьефе, где находится данное сооружение	Номер сооружения
12	Номер кнопки ВБ	Определяет закрепленный в системе номер канала для измерения уровня ВБ на данном сооружении	1, 2, ..., N 0 – ВБ не измеряется
13	Номер кнопки НБ	Определяет закрепленный в системе номер канала для измерения уровня НБ на данном сооружении	1, 2, ..., N 0 – НБ не измеряется
14	Номер кнопки открытия щита	Определяет закрепленный в системе номер канала для измерения открытия щита на данном сооружении	1, 2, ..., N 0 – открытие щита не измеряется
15	Номер кнопки расхода	Определяет закрепленный в системе номер канала для измерения расхода на данном сооружении	1, 2, ..., N 0 – расход не измеряется
16	Номер кнопки НА	Определяет закрепленный в системе номер канала для измерения числа работающих насосных агрегатов	1, 2, ..., N 0 – число НА не измеряется
17	Шкала ВБ	Определяет максимальное значение шкалы для измерения уровня ВБ, установленное для данного сооружения на КП телемеханики	Определяется параметрами сооружения
18	Шкала НБ	Определяет максимальное значение шкалы для измерения уровня НБ, установленное для данного сооружения на КП телемеханики	То же
19	Шкала открытия щита	Определяет максимальное значение шкалы для измерения открытия щита, установленное для данного сооружения на КП телемеханики	То же
20	Шкала расхода	Определяет максимальное значение шкалы для измерения расхода, установленное для данного сооружения на КП телемеханики	То же

Такая функциональная нагруженность таблицы позволяет:

- определять тип каждого из сооружений (графа 2) для идентификации дальнейшей работы с ним в составе системы;
- оперативно конфигурировать систему путем включения или исключения из ее состава тех или иных ее элементов (графы 3, 4);
- устанавливать функциональные зависимости работы одних сооружений от других (графы 5, 11);
- задавать различные режимы управления с разным качеством регулирования (графы 6, 7);

- вводить эмпирические и расчетные данные для приближенных расчетов (графы 8-10) с тем, чтобы компенсировать информационную недостаточность, связанную с отсутствием технических средств контроля и измерения (в частности, расходомеров);

- гибко менять конфигурацию технических средств управляющего вычислительного комплекса путем их программной перенастройки при выходах из строя отдельных его информационных каналов и блоков (графы 12-16), а также добавлять в систему новые;

- обеспечивать настройку на существующие средства измерения и контроля без строгой аппаратной привязки к ним (графы 17-20).

Таблица заполняется и может корректироваться оператором-диспетчером с клавиатуры дисплея как на предэксплуатационной стадии, так и на стадии работы системы управления в зависимости от реально складывающейся обстановки на объекте, а также может быть выведена на печать и в дальнейшем использоваться как информационно-справочный материал при работе с системой управления.

Заметим, что приведенная выше структура является базисной и может корректироваться для реальных условий.

4.14 Пути технического и технологического совершенствования дождевальной техники с элементами пятого поколения

Дождевальная машина является завершающим звеном оросительной системы и через свои характеристики должна отвечать требованиям, предъявляемым к условиям водоподачи на всей обслуживаемой ею площади. В зависимости от того, насколько полно удовлетворяется потребность орошаемого участка в оросительной воде и получение продукции в стоимостном выражении, будет зависеть целесообразность применения дождевальной машины. В соответствии с общей задачей оптимизации технических средств орошения в качестве целесообразности принимаем максимум дополнительного чистого дохода от использования дождевальной машины с учетом приведенных затрат на приобретение ДМ и организацию ее эксплуатации. При этом дополнительный доход определяется как разность чистого дохода при оптимальном поливном режиме и чистого дохода без применения дождевальной машины. Естественно, что считать применение данного вида дождевальной машины целесообразным можно тогда, когда достигается значительное превышение чистого дохода в случае технического и технологического и усовершенствования ДМ или без такового.

Обобщенный показатель качества проектируемой дождевальной техники пятого поколения запишется следующим образом:

$$K_i = \sum_{l=1}^n K_{\text{отн}} = f(k, \varepsilon) \rightarrow \text{opt}. \quad (4.63)$$

В качестве показателя, объединяющего действия случайных факторов при подборе оптимальной машины, предлагается рассматривать величину удельного сезонного дефицита водопотребления культуры ξ , м³/га. Дефицит водопотребления удовлетворяется применением дождевальной машины производительностью N , м³/га. Под производительностью дождевальной машины понимается количество воды, которое ДМ может подать на 1 га сезонной нагрузки за вегетационный период. Производительность дождевальной машины представляет собой функцию технологических удельных показателей качества (конструктивных параметров k (расход, ширина захвата, паспортная скорость перемещения и т. д.) и эксплуатационных параметров ε (время работы на одной позиции, технологическая скорость перемещения, показатели использования рабочего времени, схемы полива и др.).

Конструкционные параметры являются выходными характеристиками дождевальной машины. Каждый из них, в свою очередь, может быть представлен в виде совокупности некоторых технических характеристик.

Вероятная величина сезонного дефицита водопотребления культуры ξ и техническая возможность ее удовлетворения $N(k_i, \vartheta_j)$ в различные по засушливости годы дают, при сопоставлении разные величины отклонения $[\xi - N(k_i, \vartheta_j)]$. При этом нарушается оптимальный режим удовлетворения растений водой и максимальный дополнительный чистый доход от орошения $\Phi_{\max}(\xi)$ уменьшается на величину ущерба от недополива или переполива. Данное положение можно выразить математически:

$$\Phi_{\max}(\xi) = c \cdot [\xi - N(k_i, \vartheta_j)], \quad (4.64)$$

где c – удельный ущерб от снижения или увеличения водоподачи, руб./га.

Заметим, что величина $\Phi_{\max}(\xi)$ в любом варианте соотношения ξ и $N(k_i, \vartheta_j)$ должна быть уменьшена на приведенные затраты на техническое и технологическое усовершенствование дождевальной машины и устройство подводящей сети, которые зависят от конструкционных параметров $(\varepsilon \cdot f(k))$, где ε – коэффициент приведения эксплуатационных затрат.

Этот способ формирования комплексных экономических критериев оптимизации решений широко используется в экономической литературе.

При известном характере распределения случайной величины ξ дефицита водопотребления математическое ожидание показателя окупаемости $\bar{\Phi}(k_i, \vartheta_j)$ находится по формуле:

$$\bar{\Phi}(k_i, \vartheta_j) = M_{\xi} [\Phi(\xi, k_i, \vartheta_j)], \quad (4.65)$$

где M_{ξ} – символ математического ожидания.

Детально формулу (4.64) можно представить следующим образом:

$$\Phi(\xi, k_i, \vartheta_j) = \begin{cases} -\varepsilon \cdot f_0(k_i), & -\infty < \xi \leq 0 \\ \Phi_{\max}(\xi) - \varepsilon \cdot f_0(k_i), & 0 < \xi \leq N(k_i, \vartheta_j) \\ \Phi_{\max}(\xi) - c \cdot [\xi - N(k_i, \vartheta_j)] - \varepsilon \cdot f_0(k_i), & N(k_i, \vartheta_j) < \xi \leq +\infty \end{cases}, \quad (4.66)$$

где ε – коэффициент приведения капитальных затрат, зависящий от конструкционных параметров k_i .

С учетом равенств (4.64 и 4.65) отыскание максимума полученного функционала по какому-либо параметру или группе параметров из k_i и ϑ_j сводится к решению системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi(k_i, \vartheta_j)}{\partial k_i} = 0, & i = \overline{1, n} \\ \frac{\partial \Phi(k_i, \vartheta_j)}{\partial \vartheta_j} = 0, & j = \overline{1, m}. \end{cases} \quad (4.67)$$

Данная система формул (4.66) допускает некоторые упрощения. При невозможности варьирования какого-либо параметра, его значения фиксируются, а соответствующее ему уравнение удаляется. В результате решения системы возможно получить

оптимальные значения κ_i и ε_j , идентифицирующих оптимальную модификацию дождевальной машины и эксплуатационный режим ее применения.

Оптимальный выбор указанных конструкционных и эксплуатационных параметров приносит максимальные значения показателю окупаемости для рассматриваемой агроклиматической зоны и культуры с учетом стоимости выбранной дождевальной машины и эксплуатационных затрат. Тогда формула (4.63) приобретает вид:

$$K_{\text{окуп}} = \frac{f(\kappa, \varepsilon, a)}{C} \rightarrow 1. \quad (4.68)$$

Описанная модель, приведенная к конкретным случаям, может быть использована как теоретическая основа, позволяющая производить многовариантные численные эксперименты по выбору дождевальной машины для конкретного орошаемого участка и агротехнических требований возделываемых сельскохозяйственных культур.

4.15 Модель расчета сезонной нагрузки на дождевальную машину

Задача технической и технологической оптимизации комплектования и сезонного использования дождевальных машин сводится к тому, что имея характеристики распределения случайной величины дефицита водопотребления данной культуры в данной агроклиматической зоне, необходимо определить оптимальную величину сезонной нагрузки на выбранную дождевальную машину из условия оптимального показателя окупаемости капитальных затрат на модернизацию и приобретение ДМ и устройство подводящей сети.

Наиболее приемлемым для алгоритмической реализации приведенной постановки задачи является стохастическое программирование. Для этого можно выделить два этапа решения:

- расчет оптимальной сезонной нагрузки на ДМ, определяющей количество выбранных ДМ;
- определение оптимальных параметров эксплуатации ДМ или интенсивность ее использования внутри поливного сезона.

В отсутствие информации об условиях увлажнения предстоящего поливного сезона площадь, обслуживаемая ДМ в течение поливного сезона (S , га или сезонная нагрузка), – это стратегический параметр, решение по которому должно быть принято и является оптимальным на всем множестве реализаций случайной величины дефицита водопотребления. Дефицит водопотребления оросительного сезона ξ , м³/га или биологическая потребность культуры в оросительной воде зависит от случайных составляющих водного баланса корнеобитаемого слоя, и может быть задана своей функцией распределения – $F_{\xi}(x)$. Дефицит водопотребления удовлетворяется через реализованную сезонную производительность ДМ. Производительность ДМ ($N_{\text{сез}}$, м³/га) – это объем воды, подаваемый ДМ на 1 га сезонной нагрузки с течение вегетационного периода, в том числе и в критический по условиям водопотребления период. Очевидно, что производительность дождевальной машины зависит от сложившихся погодных условий – $N_{\text{сез}} = F(S, \xi)$. Тогда величина рассогласования объемов водоподдачи $[\xi - N_{\text{сез}}(S, \xi)]$ должна быть выбрана таким образом, чтобы с одной стороны, наиболее полно удовлетворить потребность культуры в оросительной воде, т. е. максимально уменьшить ущерб от недополива, с другой – максимально увеличить показатель окупаемости капитальных затрат за счет дополнительного чистого дохода. Чтобы уменьшить ущерб от недополива, нужно уменьшить величину недополива $[\xi - N_{\text{сез}}(S, \xi)]$, так как производительность ДМ зависит от сезонной нагрузки и от объема воды подаваемого дождевальной машиной, сделать это можно двумя способами:

- уменьшить величину сезонной нагрузки S на ДМ для данного орошаемого участка, т. е. увеличив количество ДМ, что сделать в оперативном плане невозможно;
- увеличить объем воды V , подаваемый ДМ на 1 га сезонной нагрузки, т. е. увеличив продолжительность чистого времени работы ДМ за сезон – T , сут.

Рассмотрим алгоритм двухэтапной стохастической задачи.

На первом этапе будем исследовать некоторый набор величин сезонной нагрузки на ДМ – $S_j, j = 1, m$. Тогда для принятого S_j при складывающихся ситуациях v по сезонным дефицитам водопотребления ξ из набора возможных реализаций продолжительность чистого времени работы ДМ за сезон будут определяться в зависимости от $T(\xi): V(T(\xi))$. Далее в зависимости от поданного на 1 га сезонной нагрузки S_j объема воды $V(T(\xi))$ получаем некоторую величину показателя окупаемости приведенных капитальных затрат (приобретение ДТ и устройство подводящей сети) дополнительным чистым доходом – $\Phi(S_j, V(T(\xi)))$, руб./га. Таким образом, для каждой возможной реализации погодных условий оросительного сезона ξ^v при принятой сезонной нагрузке S_j получим значение показателя окупаемости $\Phi(S_j, \xi^v)$. Усредним теперь для каждого выбранного S_j показатель окупаемости по всем погодным реализациям, вводя вероятности погодных ситуаций p^v :

$$\bar{\Phi}(S_j) = \sum_{v=1}^N p^v \cdot \Phi(S_j, \xi^v). \quad (4.69)$$

Далее выбираем из набора $\bar{\Phi}(S_j)$ максимальное значение, определяя тем самым сезонную нагрузку – S , при которой получаем максимальное значение показателя окупаемости:

$$\bar{\Phi}(S) = \max_{S_j} \bar{\Phi}(S_j). \quad (4.70)$$

На втором этапе, регулировать показатель окупаемости $\Phi(S_j, V(T(\xi)))$ будем не только выбором S , но и режимом эксплуатации дождевальной машины через оптимизацию в данном случае чистого времени работы ДМ – $T^*(\xi)$.

Формула запишется следующим образом:

$$\max_{T(\xi)} \tilde{\Phi}(S_j, V(T(\xi))) = \tilde{\Phi}(S_j, V(T^*(\xi))) \quad (4.71)$$

Если $\bar{\Phi}(S^*) = \max_{S_j} \bar{\Phi}(S_j) = \bar{\Phi}(S_j) = \bar{\Phi}(S_k)$, тогда оптимальной сезонной нагрузкой будет площадь $S_k = S^*$. Усреднение по существующим погодным условиям показателей окупаемости для различных вариантах сезонной нагрузки на дождевальную машину производится таким же образом и при непрерывном распределении вероятности случайной величины дефицита водопотребления ξ .

Таким образом, выражение для усредненного показателя окупаемости при заданной непрерывной функции распределения ξ принимает вид:

$$\bar{\Phi}(S_j) = \int_{\Sigma} \Phi(S_j, x) \cdot f_{\xi}(x) dx, \quad (4.72)$$

где $f_{\xi}(x)$ – плотность распределения ξ ;

Σ – область определения ξ .

Оптимизация в этом случае принимает вид:

$$\bar{\Phi}(S^*) = \max_{S_j} \int_{\Sigma} \tilde{\Phi}(S_j, V(T(x))) \cdot f(x) dx. \quad (4.73)$$

Структура области определения ξ играет важную роль при моделировании. С учетом технико-экономической специфики, задающей области определения ξ и

другие параметры, построим модель, соответствующую постановке задач. Для оценки экономического ущерба от недополива будем использовать функцию $\psi(y)$, где $y(S, \xi) = \xi - N_{\text{сез}}(S, \xi)$ – величина недополива. При этом $N_{\text{сез}}(S, \xi) = V(T(\xi))/S$, так что оптимальное решение второго этапа можно записать аналогичным образом.

Случайная функция показателя окупаемости капитальных затрат запишется в следующем виде:

$$\Phi(S, N_{\text{сез}}(S, \xi), \xi) = \begin{cases} -\frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & -\infty < \xi \leq 0 \\ \Phi_{\text{max}}(\xi) - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & 0 < \xi \leq 0 \\ \Phi_{\text{max}}(\xi) - \psi([\xi - N_{\text{сез}}(S, \xi)]) \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & N(S, \xi) < \xi < +\infty \end{cases} \quad (4.74)$$

где f_0 – капитальные затраты на модернизацию и приобретение ДМ и устройство подводящей сети в стоимостном выражении, руб.;

ε – коэффициент приведения капитальных затрат;

$\Phi_{\text{max}}(\xi)$ – максимальный удельный дополнительный чистый доход при полном удовлетворении потребности, руб./га;

$\psi([\xi - N_{\text{сез}}(S, \xi)])$ – величина удельного ущерба от недополива, руб./га:

$$\psi(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 0 \\ \psi(y), & y > 0 \end{cases} \quad (4.75)$$

Реализация показателя окупаемости предусматривает три варианта по влагообеспеченности оросительного сезона – влажные, умеренно сухие, сухие годы. В первом случае, когда годы влажные, дефицит водопотребления минимален, т. к. потребность в воде культуры полностью удовлетворяется за счет осадков, затраты на приобретение и эксплуатацию дождевальную машины не окупаются и войдут в функционал в виде ущерба. Во втором случае, когда существующий дефицит водопотребления может быть покрыт производительностью дождевальной машиной, величина показателя окупаемости будет равна разности между максимально возможным дополнительным чистым доходом от орошения и приведенными капитальными затратами. В засушливые годы, когда дефицит водопотребления не может быть компенсирован использованием дождевальной машины производительностью $N_{\text{сез}}(S, \xi)$ и есть величина рассогласования между потребным и возможным режимами водоподдачи – $[\xi - N_{\text{сез}}(S, \xi)]$, появляется ущерб от недополива – $\psi(y)$.

Оба этапа решения задачи – оптимизацию выбора S и оптимизацию использования дождевальной машины $N_{\text{сез}}(S, \xi)$ – объединяем в один и получим постановку двухэтапной задачи стохастического программирования:

$$\Phi(S^*) = \max_S M_{\xi} [\Phi(S, N_{\text{сез}}(S, \xi), \xi)] = \max_S \left\{ -\frac{\varepsilon f_0}{S} + M_{\xi} \left[\max_{N(S, \xi)} \Phi(S, N(S, \xi), \xi) \right] \right\}, \quad (4.76)$$

где $\Phi(S^*)$ – величина оптимального показателя окупаемости; она соответствует использованию дождевальной машины на площади S^* , руб.;

S^* – оптимальная величина сезонной нагрузки на ДМ, га;

$\Phi(S, N_{\text{сез}}(S, \xi), \xi)$ – функций удельного дополнительного чистого дохода без учета приведенных капитальных затрат из системы (4.74);

M_{ξ} – символ математического ожидания.

Совершенствование технической и технологической характеристик дождевальной машины (скорость перемещения, время работы на позиции) дает возможность обеспечить поливной режим, соответствующий оптимальной потребности в конкретной погодной ситуации, т. е. $N_{\text{сез}}(S, \xi)$, выбранным на втором этапе. $N(S)$ определяется как математическое ожидание $N_{\text{сез}}(S, \xi)$.

Тогда случайную функцию показателя окупаемости можно записать в следующем виде:

$$\Phi(S, N_{\text{сез}}(S, \xi), \xi) = \begin{cases} -\frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & -\infty < \xi \leq 0 \\ \Phi_{\text{max}}(\xi) - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & 0 < \xi \leq N_{\text{сез}}(S) \\ \Phi_{\text{max}}(\xi) - \psi([\xi - N(S)]) \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & N_{\text{сез}}(S) < \xi < +\infty \end{cases} \quad (4.77)$$

Таким образом, задача (4.73) сводится к тому, чтобы, варьируя параметром S , добиться наилучшего соответствия случайного дефицита водопотребления ξ и производительности дождевальной машины $N_{\text{сез}}(S)$, и формула (4.73) преобразуется к виду:

$$\Phi^* = \Phi(S^*) = \max_S M_{\xi} [\Phi(S, \xi)]. \quad (4.78)$$

Решением данной формулы является оптимальный показатель окупаемости капитальных вложений дополнительным чистым доходом Φ^* и соответствующая ему сезонная нагрузка на дождевальную машину S^* .

Вывод результирующего соотношения модели оптимизации величины сезонной нагрузки на дождевальную машину (4.77) приводится в разделе 4.16. Следует отметить, что задача максимизации показателя окупаемости в формуле (4.77) сводится к минимизации затратной части показателя окупаемости $-\Phi(S)$:

$$\Phi^* = \Phi(S^*) = \max_S M_{\xi} [\Phi(S, \xi)] = \overline{\Phi}_{\text{max}} - \min_S \overline{\Phi}(S), \quad (4.79)$$

где $\overline{\Phi}_{\text{max}}$ – средний ожидаемый дополнительный чистый доход при оптимальных условиях увлажнения, руб./га;

$\overline{\Phi}(S)$ – средние ожидаемые потери в дополнительном чистом доходе от недополива и приведенные капитальные затраты на приобретение ДМ и устройство подводящей сети, руб./га.

Результирующее соотношение модели (4.77), из которого получается величина сезонной нагрузки на дождевальную машину, имеет вид:

$$F_{\xi} = (N(S^*)) = 1 - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, \quad (4.80)$$

где N – производительность дождевальной машины, м³/га;

V – объем воды, подаваемый дождевальной машиной на обслуживаемую ею площадь за сезон, м³;

S^* – оптимальная величина сезонной нагрузки на дождевальную машину, га;

f_0 – капитальные вложения на приобретение и усовершенствование дождевальной машины и устройство подводящей сети, руб.;

ε – коэффициент приведения капитальных вложений;

c – удельный (на 1 т м³) ущерб от недополива, руб./га;

$F_{\xi} = (N(S^*))$ – функция распределения вероятности дефицита водопотребления в точке $N(S^*)$.

Проанализируем полученное уравнение (4.79).

Вероятный смысл $F_{\xi} = (N(S^*))$ следующий:

$$F_{\xi} = (N(S^*)) = P(\xi < N_{\text{сез}}(S^*)) = 1 - P(\xi > N_{\text{сез}}(S^*)) \quad (4.81)$$

где $P(\dots)$ – символ вероятности.

Функция распределения ξ в точке $N_{\text{сез}}(S^*)$ численно равна вероятности того, что дефицит водопотребления ξ будет покрыт производительностью ДМ $N_{\text{сез}}$ при сезонной нагрузке S^* . То же самое записано через вероятность противоположного события – $P(\xi < N_{\text{сез}}(S^*))$.

$$\text{С другой стороны, } F_{\xi} = (N(S^*)) = 1 - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V}.$$

Таким образом $P_{\xi}(\xi > N_{\text{сез}}(S^*)) = \frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V}$ – численное значение вероятности дефицитной ситуации, когда производительность ДМ $N_{\text{сез}}(S^*)$ не покрывает дефицита водопотребления ξ .

Отсюда вытекает фундаментальный вывод из модели оптимизации величины сезонной нагрузки: экономически оптимальная сезонная нагрузка на дождевальную машину определяется равенством отношения приведенных капитальных затрат к величине потерь при отказе от технического и технологического усовершенствования дождевальных машин, т. е. вероятности того, что дефицит водопотребления не будет покрыт производительностью дождевальной машины.

По экономическому смыслу величины $\varepsilon \cdot f_0$ есть приведенные капитальные затраты на техническое и технологическое усовершенствование дождевальной машины, производительностью, определяемой ее рабочей характеристикой V . Поскольку $c \cdot V$ – оценка потерь в случае, отказа от неиспользования более совершенной дождевальной машины, то отношение $\frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V}$ есть показатель, характеризующий отношение экономического риска от излишних затрат от технического и технологического усовершенствования дождевальной машины, с одной стороны, и излишних потерь от отказа от использования более совершенной дождевальной машины – с другой. При $\frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V} \leq 1$, поскольку $\varepsilon \cdot f_0 > c \cdot V$ означало бы, что затраты на усовершенствование дождевальной машины заведомо не оправдываются, и задача не имела бы смысла. Оптимальное соотношение риска того и другого рода и определяет выбор обоснованной нагрузки на ДМ, когда это отношение равно вероятности полного покрытия дефицита. Отсюда можно сделать вывод о содержательной интерпретации правой части формулы (4.79). Численное значение разности $(1 - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V})$ имеет смысл при оптимальной расчетной обеспеченности покрытия дефицита водопотребления культуры применительно к выбранному направлению модернизации дождевальной техники.

4.16 Вывод результирующего соотношения модели оптимизации сезонной нагрузки на ДМ

Модель одноэтапной стохастической задачи в соответствии с (4.77) запишется в виде:

$$\Phi^* = \Phi(S^*) = \max_S M_{\xi} [\Phi(S, \xi)] \quad (4.82)$$

Представим формулу (4.82) в виде суммы интегралов, взяв отрезки интегрирования и значения подинтегральных выражений из формулы (4.75):

$$\begin{aligned} \Phi^* = \max_S \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(S, x) \cdot f(x) dx = \max_S \left\{ \int_{-\infty}^0 \left[-\frac{\varepsilon f_0}{S} \right] \cdot f(x) dx + \int_0^{N(S)} \left[\Phi_{\max}(x) - \frac{\varepsilon f_0}{S} \right] \cdot f(x) dx + \right. \\ \left. + \int_{N(S)}^{+\infty} \left[\Phi_{\max}(x) - \psi(x - N(S)) - \frac{\varepsilon f_0}{S} \right] \cdot f(x) dx \right\} = \max_S \left\{ - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\varepsilon f_0}{S} \cdot f(x) dx + \int_0^{+\infty} \Phi_{\max}(x) f(x) dx - \right. \\ \left. - \int_{N(S)}^{+\infty} \psi(x - N(S)) \cdot f(x) dx \right\} = \max_S \left\{ - \frac{\varepsilon f_0}{S} + \bar{\Phi}_{\max} - \int_{N(S)}^{+\infty} \psi(x - N(S)) \cdot f(x) dx \right\}, \end{aligned} \quad (4.83)$$

где $f(x)$ – плотность распределения годового дефицита водопотребления;

$\psi(x - N(S))$ – функция ущерба от недополива;

$\bar{\Phi}_{\max}$ – математическое ожидание дополнительно чистого дохода при полном удовлетворении потребности в воде.

Значение $\psi(y)$ прямо пропорционально величине рассогласования y с коэффициентом пропорциональности c , равным удельному на 1 т м³ ущербу от недополива. Тогда, формулу (4.83) можно переписать как:

$$\Phi^* = \max_S \left\{ - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S} + \bar{\Phi}_{\max} - c \int_{N(S)}^{+\infty} [x - N(S)] \cdot f(x) dx \right\} = \max_S \{ \bar{\Phi}_{\max} - \tilde{\Phi}(S) \} \quad (4.84)$$

В данной формуле, дополнительно чистый доход с учетом приведенных капитальных затрат Φ^* , представлен в виде разностей его приходной $\bar{\Phi}_{\max}$ и расходной $\tilde{\Phi}(S)$ составных частей. В выражение для $\tilde{\Phi}(S)$ входят приведенные капитальные затраты и ожидание ущерба от недополива. Формулу (4.84) можно переписать следующим образом:

$$\Phi^* = \bar{\Phi}_{\max} - \min_S \tilde{\Phi}(S). \quad (4.85)$$

Найдем $\min_S \tilde{\Phi}(S)$, используя необходимое и достаточное условие существования минимума функции: $[\tilde{\Phi}(S)]' = 0$, $[\tilde{\Phi}(S)]'' = 0$. При нахождении производной $[\tilde{\Phi}(S)]'$ воспользуемся правилом нахождения производной от интеграла по параметру, от которого зависит нижний предел интегрирования:

$$J(y) = \int_{a(y)}^0 f_y^*(x, y) dx - a_y(y) \cdot f(a(y), y). \quad (4.86)$$

Тогда выражение для $[\tilde{\Phi}(S)]'$ будет иметь вид:

$$\begin{aligned} [\tilde{\Phi}(S)]' = \left[- \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S} + c \int_{N(S)}^{+\infty} (x - N(S)) \cdot f(x) dx \right]' = - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S} + c \cdot \left\{ \int_{N(S)}^{+\infty} [(x - N(S)) \cdot f(x)] dx - \right. \\ \left. - [N(S)] \cdot [N(S) - N(S)] \cdot f(N(S)) \right\} = - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S} + c \cdot \left\{ \int_{N(S)}^{+\infty} [(x - N(S)) \cdot f(x)] + \right. \\ \left. + (x - N(S)) \cdot [f(x)] dx \right\} = - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S} + c \cdot \left\{ \int_{N(S)}^{+\infty} [x - N(S)] \cdot f(x) dx \right\} = - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S} + c \times \\ \times [-N(S)] \int_{N(S)}^{+\infty} f(x) dx. \end{aligned} \quad (4.87)$$

Заметим, что объем воды V зависит от конструкционных и эксплуатационных параметров, определяющих тип ДМ и технологическую схему выдачи поливной нормы, что дает возможность идентифицировать модель для любого типа ДМ.

После преобразований формулу (4.87) запишем в виде:

$$[\tilde{\Phi}(S)]' = - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S^2} + \frac{c \cdot V}{S^2} \cdot [F_{\xi}(+\infty) - F_{\xi}(N(S))] = - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S^2} + \frac{c \cdot V}{S^2} \cdot [1 - F_{\xi}(N(S))]. \quad (4.88)$$

Приравнивая формулу (4.88) к нулю, и произведя преобразования, получим:

$$F_{\xi}(N(S^*)) = 1 - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V} = 1 - q. \quad (4.89)$$

Покажем, что S^* из формулы (4.89) доставляет минимум $\tilde{\Phi}(S)$, т. е. что $[\tilde{\Phi}(S)]'' > 0$:

$$\begin{aligned} [\tilde{\Phi}(S^*)] &= \left\{ -\frac{\varepsilon \cdot f_0}{(S^*)^2} + \frac{c \cdot V}{(S^*)^2} \cdot [1 - F_{\xi}(N(S^*))] \right\} = \\ &= -\frac{2\varepsilon \cdot f_0}{(S^*)^3} + \frac{2c \cdot V}{(S^*)^3} \cdot [1 - F_{\xi}(N(S^*))] + \frac{c \cdot V}{(S^*)^2} \cdot F(N(S^*)). \end{aligned} \quad (4.90)$$

Подставим в формулу (4.90) вместо $F_{\xi}(N(S^*))$ ее значение в точке экстремума из (4.89) и получим:

$$[\tilde{\Phi}(S^*)] = -\frac{2\varepsilon \cdot f_0}{(S^*)^3} + \frac{2c \cdot V}{(S^*)^3} \cdot \left[1 - 1 + \frac{2\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V} \right] + \frac{c \cdot V}{(S^*)^2} \cdot f(N(S^*)) = \frac{c \cdot V}{(S^*)^2} \cdot f(N(S^*)). \quad (4.91)$$

Полученное выражение положительно, так как $\frac{c \cdot V}{(S^*)^2} > 0$ и $f(N(S^*)) > 0$, как плотность распределения, следовательно S^* минимизирует затратную часть показателя окупаемости.

Далее приводим расчет выражения для функции распределения годового дефицита водопотребления через декадный дефицит.

Пусть дана плотность распределения декадного дефицита водопотребления $f_t(y)$, $\xi < y < \xi$. Годовой дефицит водопотребления связан с декадным соотношением:

$$\xi = k \xi_t, \quad (4.92)$$

где k – количество поливов.

Найдем закон распределения ξ по известному правилу:

$$f(x) = f_t(\omega(x)) \cdot |\omega(x)|, \quad (4.93)$$

где $f(x)$ – плотность распределения вероятностей годового дефицита водопотребления;

$f_t(x)$ – плотность распределения вероятностей декадного дефицита водопотребления;

$\omega(x)$ – обратная функций для ξ из формулы (4.92);

$|\omega(x)|$ – абсолютная величина производной обратной функции.

Для нашего случая имеем $\omega(x) = x/k$ и, произведя действия в соответствии с формулой (4.93) получим:

$$f(x) = f_t\left(\frac{x}{k}\right) \cdot \frac{1}{k}, \quad k \xi_t < x < k \xi_t. \quad (4.94)$$

Для случая равномерного распределения декадного дефицита водопотребления получим следующее выражение для плотности годового дефицита из формулы (4.94):

$$f(x) = \frac{1}{\xi_t - \xi_t} \cdot \frac{1}{k}, \quad k \xi_t < x < k \xi_t. \quad (4.95)$$

Отсюда получаем выражение для функции годового распределения дефицита водопотребления:

$$F_{\xi}(x) = \int_{k \cdot \xi_t}^x \frac{1}{\xi_t - \xi_t} \cdot \frac{1}{k} \cdot dx = \frac{1}{k(\xi_t - \xi_t)} \cdot (x - k \cdot \xi_t). \quad (4.96)$$

Используя предыдущую формулу, запишем выражение для $F_{\xi}(N(S^*))$:

$$F_{\xi}(x) = \frac{1}{k(\xi_t - \xi_t)} \cdot (N(S^*)k \cdot \xi_t). \quad (4.97)$$

Получаем формулы для усредненного ущерба V от недополива.

На основании формулы (4.84) выражение для оптимального показателя окупаемости запишется в виде:

$$\Phi^* = \max_S \left\{ -\frac{\varepsilon \cdot f_0}{S} + \overline{\Phi}_{\max} - c \int_{N(S)}^{+\infty} [x - N(S)] \cdot f(x) dx \right\}. \quad (4.98)$$

Подставив в это выражение значение оптимальной сезонной нагрузки S^* , получим:

$$\Phi^* = -\frac{\varepsilon \cdot f_0}{S^*} + \overline{\Phi}_{\max} - c \int_{N(S^*)}^{+\infty} [x - N(S^*)] \cdot f(x) dx, \quad (4.99)$$

где $f(x)$ – согласно формуле (4.85) плотность годового водопотребления. Она определяется через декадный дефицит водопотребления, распределенный равномерно по формуле (4.95).

Подставим это выражение в формулу (4.99) для V и произведем преобразование:

$$\begin{aligned} V &= c \int_{N(S)}^{+\infty} [x - N(S)] \cdot f(x) dx = c \int_{N(S)}^{+\infty} [x - N(S)] \cdot \frac{1}{\xi_t - \xi_t} \cdot \frac{1}{k} \cdot dx = \\ &= \frac{c}{(\xi_t - \xi_t)k} \cdot \frac{[k \cdot \xi_t - N(S^*)]^2}{2}. \end{aligned} \quad (4.100)$$

Тогда, при $\xi_t = -\xi_t$, что соответствует зонам существенно неустойчивого увлажнения, формула (4.99), принимает вид:

$$V = \frac{c \cdot [k \cdot \xi_t - N(S^*)]^2}{4k \cdot \xi_t}. \quad (4.101)$$

Для сухой зоны, когда нижняя граница изменения дефицита водопотребления практически равна нулю, формула (4.100) запишется в виде:

$$V = \frac{c \cdot [k \cdot \xi_t - N(S^*)]^2}{2k \cdot \xi_t}. \quad (4.102)$$

Выражение для среднего ущерба через функцию распределения годового дефицита водопотребления получается аналогично и имеет вид:

$$V = \frac{c}{(\xi_t - \xi_t)} \cdot \frac{[\xi_t - N(S^*)]^2}{2}. \quad (4.103)$$

Тогда, при $\xi_t = -\xi_t$, что соответствует зонам существенно неустойчивого увлажнения, формула (4.103) будет иметь вид:

$$V = \frac{c \cdot [\xi_t - N(S^*)]^2}{4 \cdot \xi_t}. \quad (4.104)$$

Для сухой зоны, когда нижняя граница изменения дефицита водопотребления практически равна нулю, формула (4.103) запишется в виде:

$$V = \frac{c \cdot [k - N(S^*)]^2}{2 \cdot \xi_t}. \quad (4.105)$$

Вывод расчетных формул для сезонной нагрузки проводим в следующей последовательности.

Получим из формулы (4.79), аналитические выражения для S^* , используя в качестве закона распределения ξ для влажной и умеренно сухой зон – нормальное рас-

пределение, для сухой – распределение Гудрича. Введем обозначение $\frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V} = q$. Пусть ξ подчиняется нормальному распределению с математическим ожиданием a и дисперсии σ . Функция распределения вероятности дефицита водопотребления в точке $N(S)$ запишется:

$$F_{\xi}(N(S^*)) = 0,5 + \Phi\left(\frac{N(S^*) - a}{\sigma}\right), \quad (4.106)$$

где Φ – табулированная функция Лапласа.

Подставив формулу (4.106) в левую часть формулы (4.79), получаем:

$$0,5 + \Phi\left(\frac{N(S^*) - a}{\sigma}\right) = 1 - q. \quad (4.107)$$

Далее, можно определить $N(S^*)$ через обратную функцию Лапласа Φ^{-1} следующим образом:

$$N(S^*) = \sigma \cdot \Phi^{-1}(0,5 - q) + a. \quad (4.108)$$

Оптимальная величина сезонной нагрузки определяется из выражения для производительности ДМ $N(S^*) = \frac{V}{S}$ с использованием формулы (4.108):

$$S = V \cdot \frac{1}{\sigma \cdot \Phi^{-1}(0,5 - q) + a}. \quad (4.109)$$

Пусть теперь ξ подчиняется распределению Гудрича с функцией распределения вероятности годового дефицита водопотребления:

$$F_{\xi}(x) = 1 - e^{-\alpha(x-x)}, \quad (4.110)$$

где α, n – параметры распределения, устанавливаемые в соответствии с выборкой случайной величины дефицита водопотребления. Для сухой зоны нижнюю границу изменения ξ можно принять равной нулю $x = 0$. Тогда формула (4.110) запишется в виде:

$$F_{\xi}(N(S^*)) = 1 - e^{-\alpha[N(S^*)]}. \quad (4.111)$$

Подставив формулу (4.111) в левую часть формулы (4.79) получим:

$$1 - e^{-\alpha[N(S^*)]} = 1 - q. \quad (4.112)$$

Прологарифмировав формулу (4.112) и произведя преобразование, получим формулу для оптимальной производительности ДМ:

$$N(S^*) = \frac{\sqrt[n]{\ln q}}{\sqrt[n]{-\alpha}}. \quad (4.113)$$

Оптимальная величина сезонной нагрузки определяется из выражения для производительности ДМ $N(S^*) = \frac{V}{S}$ и формулы (4.113):

$$S^* = V \cdot \frac{1}{\frac{\sqrt[n]{\ln q}}{\sqrt[n]{-\alpha}}}. \quad (4.114)$$

Заметим, что данное соотношение имеет реальный смысл, если $\ln q < 0$, то есть $q < 1$. Это требование согласуется с экономическим смыслом показателя $\frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V} = q$, так как в противном случае приведенные капитальные затраты на приобретение, модернизацию дождевальных машин и устройство подводящей сети больше величины дополнительного чистого дохода от орошения и задача теряет смысл.

4.17 Анализ обеспечения информацией и расчетные формулы

Стохастическая задача оптимизации потребности в дождевальных машинах сводится к задаче нахождения оптимальной величины сезонной нагрузки S^* из соотношения (4.79):

$$F_{\varepsilon}(N(S^*)) = 1 - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V}. \quad (4.115)$$

Правая часть соотношения (4.79) в численном выражении есть оптимальная расчетная обеспеченность покрытия дефицита водопотребления применением усовершенствованной дождевальной машины. Обозначив ее через p , запишем расчетную формулу:

$$p = 1 - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V}. \quad (4.116)$$

Величина оптимального показателя окупаемости (Φ^* , руб./га) рассчитывается по формуле (4.78) при оптимальной сезонной нагрузке $S = S^*$:

$$\Phi^* = \overline{\Phi}_{\max} - \tilde{\Phi}(S^*), \quad (4.117)$$

где $\overline{\Phi}_{\max}$ – средний ожидаемый дополнительных чистый доход при оптимальных условиях увлажнения, руб./га;

$\tilde{\Phi}(S^*)$ – средние ожидаемые потери в дополнительном чистом доходе от недополива и приведенные капитальные затраты на технологическое и техническое усовершенствование дождевальной машины и устройство подводящей сети при оптимальной сезонной нагрузке, руб./га.

Оценка ущерба, возникающего при превышении оптимальной расчетной производительности $N(S^*)$ над оптимальной производительностью, заданной некоторым фиксированным уровнем максимальной поливной нормы M_s , рассчитывается по формуле:

$$\Delta\Phi = \Phi(N(S^*)) - \Phi(M_s). \quad (4.118)$$

Формула (4.118) для оптимального показателя окупаемости Φ и производная от нее для затратной части показателя окупаемости $\tilde{\Phi}(S^*)$ записывается для расчетного периода равного оросительному сезону, так как равна продолжительности производственного цикла получения сельскохозяйственной продукции. Переход при минимизации затратной части показателя окупаемости $\tilde{\Phi}(S^*)$ в формуле (4.79) требует определения численного значения V – объема воды подаваемого ДМ за сезон. Использование на этом этапе продолжительности расчетного периода, равной оросительному сезону, не оправдано, так как в $\tilde{\Phi}(S^*)$ отсутствуют показатели жестко связанные с продолжительностью производственного цикла. С другой стороны показатель V на это период не обеспечен информацией. Неопределенность возникает при использовании в расчетной формуле для V параметра – чистое время работы ДМ за сезон, который, в общем случае, является случайной величиной, зависящей от погодных условий. Чтобы зафиксировать этот параметр будем уменьшать продолжительность расчетного периода. Расчетный интервал времени ограничен сверху продолжительностью, в течение которой можно численно определить чистое время работы ДМ. Кроме того, расчетный интервал должен быть показателен с точки зрения влияния на величину показателя окупаемости возможного ущерба от недополива. Исходя из этих соображений, расчетный интервал времени должен быть не меньше, чем продолжительность полива в самый напряженный по условиям водопотребления период оросительного сезона.

Вывод расчетных формул для сезонной нагрузки, приведенный в разделе 4.16, принимается для случаев, когда дефицит водопотребления культуры подчиняется нормальному распределению вероятностей и распределения Гудрича. Более простые расчетные формулы для S^* получаются, если аппроксимировать эти распределения вероятностей дефицита водопотребления равномерным распределением. В разделе 4.16 приводится вывод выражения для функции распределения сезонного дефицита водопотребления $F_\xi(x)$ через функцию равномерного распределения декадного дефицита водопотребления. В результате получено выражение для функции распределения ξ в точке $N(S^*)$ вида (4.97):

$$F_\xi(N(S^*)) = \frac{N(S^*) - k \cdot \xi_t}{k \cdot (\bar{\xi}_t - \underline{\xi}_t)}, \quad (4.119)$$

где ξ_t – декадный дефицит водопотребления культуры, м³/га;

$\bar{\xi}_t, \underline{\xi}_t$ – соответственно, верхняя и нижняя границы ξ_t ;

k – количество поливов.

Подставив в (4.79) вместо $F_\xi(N(S_k^*))$ функцию равномерного распределения из (4.119), получим:

$$\frac{N(S^*) - k \cdot \xi_t}{k \cdot (\bar{\xi}_t - \underline{\xi}_t)} = 1 - q, \quad (4.120)$$

где $q = \frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V}$.

Отсюда оптимальная производительность ДМ равна:

$$N(S^*) = k - (1 - q) \cdot (\bar{\xi}_t - \underline{\xi}_t) + k \cdot \xi_t. \quad (4.121)$$

Оптимальная величина сезонной нагрузки определится из соотношения для производительности ДМ $N(S^*) = \frac{V}{S^*}$, и (4.121):

$$S^* = \frac{V}{k} \cdot \frac{1}{(1 - q) \cdot (\bar{\xi}_t - \underline{\xi}_t) + \xi_t}. \quad (4.122)$$

В формуле (4.122) V – объем воды, подаваемый ДМ за сезон; k – количество поливов. Тогда $\frac{V}{k}$ – объем воды, подаваемый ДМ за один полив на площади сезонной нагрузки; обозначит эту величину через V_t . Теперь (4.122) запишется в виде:

$$S^* = V_t \cdot \frac{1}{(1 - q) \cdot (\bar{\xi}_t - \underline{\xi}_t) + \xi_t}. \quad (4.123)$$

Заметим, что переход к декадным значениям, величина, входящая в формулу для q , осуществляется заменой V на V_t , а $\varepsilon \cdot f_0$ преобразуется в плату за полив (такая информация может быть получена на основе фактических данных организаций, предоставляющих ДМ в аренду).

Приняв нижнюю границу изменения декадного дефицита водопотребления равной нулю (для сухой зоны), получим:

$$S^* = V_t \cdot \frac{1}{(1 - q) \cdot \bar{\xi}_t}. \quad (4.124)$$

Формула (4.122) при $\bar{\xi}_t = -\xi_t$ (симметричное распределение с математическим ожиданием равным нулю), что соответствует условиям зоны существенно неустойчивого увлажнения, преобразуется к виду:

$$S^* = V_t \cdot \frac{1}{(1-2q) \cdot \bar{\xi}_t}. \quad (4.125)$$

Каждое из рассмотренных видов распределений справедливо применительно к конкретной выборочной совокупности ξ и, соответственно, справедливы расчетные формулы, полученные на их основе.

Формулы (4.123-4.125) допускают следующую теоретическую интерпретацию. Вероятный смысл показателя риска q – вероятность дефицитной ситуации, т. е. ситуации, когда потребность культуры в оросительной воде не будет покрыта за счет использования дождевальной машины при оптимальной сезонной нагрузке. Численное значение показателя риска определяется отношением приведенных капитальных затрат на техническое и технологическое усовершенствование дождевальной машины, устройство подводящей сети и величиной максимального ущерба от недополива. При вероятности дефицитной ситуации, равной q , погодно-экономический риск принятия решения о величине сезонной нагрузки оптимален; любое отклонение в ту или другую сторону ухудшает решение. По полученным результатам верхняя граница риска для зоны существенно неустойчивого увлажнения $\bar{q} < 0,5$, а для сухой – $\bar{q} < 1$. Отсюда можно сделать вывод о качественном различии показателей погодно-экономического риска для различных зон. Так, для зон неустойчивого увлажнения риск имеет границу экономической чувствительности в 2 раза меньшую, т. е. целесообразные допустимые затраты на техническое и технологическое усовершенствование дождевальной машины равны половине полного ущерба от недополива. Это происходит потому, что во влажной зоне дефицит водопотребления культуры удовлетворяется и за счет осадков, и за счет орошения, причем, осадки – случайная величина, а режим орошения, реализуемый через производительность дождевальной машины, зависит от осадков. В сухой зоне риск оправдывает затраты на покупку более совершенной дождевальной машины, сравнимые с потерями. Это соответствует тому, что системы, проектируемые в сухой зоне, имеют более стабильную потребность, т. к. осадки оросительного сезона малы и дефицит водопотребления возмещается за счет орошения. Таким образом, показатель риска позволяет оценить с вероятностных позиций величину оптимального погодно-экономического риска принятия решения о величине сезонной нагрузки.

Подставляя полученные для двух типов дождевальных машин (фронтального и позиционно-фронтального перемещения) формулы для V_t , (4.143, 4.164) в соотношения для S^* , получим окончательный вид расчетных формул для оптимальной нагрузки на дождевальную машину. Расчетные формулы для S^* при равномерном распределении дефицита водопотребления на отрезке $[\bar{\xi}_t, \underline{\xi}_t]; \bar{\xi}_t, \underline{\xi}_t$ – соответственно, нижняя и верхняя границы изменения декадного дефицита водопотребления. Они приводятся в таблицах 4.3, 4.4.

Прежде чем перейти к выводу расчетных формул для оптимальной величины показателя окупаемости Φ^* , напомним, что переход от продолжительности расчетного периода, равного оросительному сезону, к продолжительности полива правомерен только для соотношений, полученных на основании затратной части показателя окупаемости. При вычислении значения Φ^* за продолжительность расчетного периода следует принимать оросительный сезон (4.98).

Таблица 4.3 – Расчетные формулы для сезонной нагрузки фронтальных ДМ

Зоны	ДМ, работающие в движении с фронтальным перемещением
Влажная, умеренно сухая	$S^* = 0,144 \cdot B \cdot \frac{t \cdot v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot m \cdot \frac{1}{(1-q) \cdot (\bar{\xi}_t - \xi_t) + \xi_t}$
Неустойчивого увлажнения	$S^* = 0,144 \cdot B \cdot \frac{t \cdot v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot m \cdot \frac{1}{(1-2q) \cdot \bar{\xi}_t}$
Сухая	$S^* = 0,144 \cdot B \cdot \frac{t \cdot v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot m \cdot \frac{1}{(1-q) \cdot \bar{\xi}_t}$

Таблица 4.4 – Расчетные формулы для сезонной нагрузки позиционно-фронтальных ДМ

Зоны	ДМ, работающие в движении с позиционно-фронтальным перемещением
Влажная, умеренно сухая	$S^* = 0,144 \cdot \frac{t}{t_{n1} + t_{n2}} \cdot I \cdot b \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot K_{\sigma} \cdot m \cdot \frac{1}{(1-q) \cdot (\bar{\xi}_t - \xi_t) + \xi_t}$
Неустойчивого увлажнения	$S^* = 0,144 \cdot \frac{t}{(t_{n1} + t_{n2})} \cdot I \cdot b \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot K_{\sigma} \cdot m \cdot \frac{1}{(1-2q) \cdot \bar{\xi}_t}$
Сухая	$S^* = 0,144 \cdot \frac{t}{(t_{n1} + t_{n2})} \cdot I \cdot b \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot K_{\sigma} \cdot m \cdot \frac{1}{(1-q) \cdot \bar{\xi}_t}$

Приняв $S = S^*$ и введя обозначение для усредненного ущерба от недополива, формулу (4.89) запишем следующим образом:

$$\Phi^* = \bar{\Phi}_{\max} - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S} - U, \quad (4.126)$$

где $\bar{\Phi}_{\max}$ – средний максимально возможный дополнительный чистый доход от орошения;

$\frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}$ – оптимальные удельные капитальные затраты на ДМ;

U – математическое ожидание минимального ущерба от недополива.

В разделе 4.16, приводится вывод формулы для математического ожидания минимального ущерба от недополива и получены формулы (4.103) и (4.105).

Подставляя выражения для U в формулу (4.126), получим расчетные формулы для показателя окупаемости по зонам увлажнения:

- влажные, умеренно сухие зоны:

$$\Phi^* = \bar{\Phi}_{\max} - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S} - \frac{c}{2(\bar{\xi} - \xi)} [\bar{\xi} - N(S^*)]^2, \quad (4.127)$$

- зоны неустойчивого увлажнения:

$$\Phi^* = \bar{\Phi}_{\max} - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S} - \frac{c}{4\xi} [\bar{\xi} - N(S^*)]^2, \quad (4.128)$$

- сухие зоны:

$$\Phi^* = \bar{\Phi}_{\max} - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S} - \frac{c}{2\bar{\xi}} [\bar{\xi} - N(S^*)]^2. \quad (4.129)$$

Численное значение $\bar{\Phi}_{\max}$ определяется по данным статистики урожайности на орошении для рассматриваемой агроклиматической зоны в благоприятные по водообеспеченности годы.

4.18 Аппроксимация модели применительно к конкретным типам ДМ

Аппроксимация расчетных соотношений применительно к конкретным типам дождевальных машин осуществляется посредством подстановки в расчетные формулы для показателя окупаемости Φ^* , (4.127, 4.129) показателя риска q^* (4.116), сезонной нагрузки S^* (4.123-4.125), аналитических выражений для объема воды, подаваемого дождевальной машиной заданного типа за расчетный период. Расчетный период времени для (4.123-4.125) принят равным продолжительности полива в самый напряженный по условиям водопотребления период сезона.

Аппроксимация расчетных соотношений применительно к цели обоснования потребности в более совершенной дождевальной машине предполагает использование выражения для объема воды, подаваемого ДМ, с явным включением в него максимальной технически возможной поливной нормы $V = V(m)$. Для оценки экологического ущерба поливная норма m в этом выражении заменяется на экологически безопасную поливную норму $V = V(M_s)$.

Для цели обоснования модификаций ДМ выражение для объема воды, подаваемого дождевальной машиной, должно содержать в явном виде оцениваемый параметр. В рассмотренном примере – это рабочий расход ДМ $V = V(Q)$.

Различают три основных вида дождевальных машин: с постоянной сезонной нагрузкой («Фрегат» и др.), с варьируемой сезонной нагрузкой в пределах стабильной подводящей сети («Днепр», «Кубань», «Ладога» и др.), дождевальные машины с варьируемой сезонной нагрузкой и относительно свободой маневра (ДДА-100В, ДКФ др.). Под свободой маневра подразумевается малые капитальные затраты на строительство временных оросителей и простота перебазировки дождевальной машины на другой участок. Для дождевальных машин первого вида оптимизацию сезонной нагрузки целесообразно производить на стадии проектирования дождевальных машин, т. к. она является конструкционным параметром. Исходя из того, что конструкция подводящей сети жестко закрепляет тип и количество дождевальных машин, оптимизацию комплектования для второго вида следует производить на стадии проектирования или реконструкции оросительных систем. Дождевальные машины третьего вида допускают варьирование не только сезонной нагрузкой, но и «количеством сезонных нагрузок». Кроме указанного деления на группы дождевальные машины с варьируемой величиной сезонной нагрузки можно классифицировать по двум основным типам – фронтального перемещения («Кубань», «Ладога», ДДА и др.) и позиционно фронтального действия («Днепр», «Волжанка» и др.).

Рассмотрим дождевальные машины фронтального перемещения. При выводе аналитического выражения для объема V будем исходить из заданного способа регулирования поливной нормы. В зависимости от него ДМ делятся на 2 группы: в первой – поливная норма регулируется скоростью движения ДМ v , во второй – поливная норма регулируется временем работы на позиции t_n .

Технологическая схема выдачи поливной нормы в каждом конкретном случае определяется, исходя из технико-эксплуатационных характеристик дождевальной машины. Кроме того необходимо учитывать условия впитывания и интенсивности испарения воды орошаемых участков, величины расчетной и досточковой поливных норм, агротехнических условий возделывания культур. При этом соблюдается следующее правило: если поливная норма меньше или равна досточковой m_d , она может вноситься за один проход дождевальной машиной. В противном случае поливная норма вносится за два или несколько проходов. Норма проходов m_i не должна превышать досточковую поливную норму.

Получим выражения для объема воды, подаваемого ДМ $V_t(m)$ и $V_t(Q)$ для случая, когда $m \leq m_d$.

В дальнейшем изложении индекс t опускается. Пусть заданной величине поливной нормы m поставлена в соответствие скорость перемещения дождевальной машины v . Продолжительность полива t , сут. можно рассчитать как отношение длины гона L , м к скорости перемещения дождевальной машины v , м/мин:

$$t = \frac{L}{v \cdot 1440}. \quad (4.130)$$

Умножим числитель и знаменатель правой части формулы (4.130) на ширину захвата дождем B , м:

$$t = \frac{L}{v \cdot 1440} \cdot \frac{B}{B} = \frac{S}{v \cdot 1440 \cdot B}. \quad (4.131)$$

Заметим, что произведение $L \cdot B = S$ – сезонная нагрузка на дождевальную машину, m^2 .

Используя формулу (4.131), запишем выражение для S , га:

$$S = 0,144 \cdot v \cdot B \cdot t. \quad (4.132)$$

Скорректируем в этой формуле значение t с учетом следующих коэффициентов потерь времени полива:

- коэффициент использования времени суток $K_{сут}$;
- коэффициент, учитывающий возможные потери времени по не зависящим от машины причинам и не вошедшие в баланс времени при расчете норм выработки машины τ . Тогда формула для S запишется в виде:

$$S = 0,144 \cdot v \cdot B \cdot t \cdot K_{сут} \cdot \tau. \quad (4.133)$$

Полученное выражение для S равно отношению объема воды, подаваемого дождевальной машиной за время полива V , m^3 к поливной норме m , $m^3/га$ в пиковый период водопотребления:

$$\frac{V}{m} = 0,144 \cdot v \cdot B \cdot t \cdot K_{сут} \cdot \tau. \quad (4.134)$$

Отсюда, формула для объема воды в m^3 , подаваемого дождевальной машиной за полив продолжительностью t , поливной нормы m имеет вид:

$$V = V(m) = 0,144 \cdot v \cdot B \cdot t \cdot K_{сут} \cdot \tau \cdot m. \quad (4.135)$$

Скорость передвижения дождевальной машины v , соответствующая слою осадков в мм или поливной норме в $m^3/га$, выбирается с учетом возможностей установки скорости движения и коррекции при различных потерях воды на испарение в зоне дождевого облака. Соответствующие таблицы включаются в техническую характеристику дождевальной машины.

Для цели обоснования модификаций дождевальной машины, используется расчетная формула, связывающая скорость ее передвижения и слой осадков:

$$v = \frac{60 \cdot Q}{0,1 \cdot m \cdot B \cdot \beta}, \quad (4.136)$$

где v – скорость перемещения дождевальной машины, м/мин;

Q – рабочий расход дождевальной машины, л/с;

m – поливная норма, $m^3/га$;

B – ширина захвата дождем, м;

β – коэффициент, характеризующий средние суточные затраты воды на испарение при поливе в критический период водопотребления.

Подставив полученную формулу для v в формулу (4.135), получим известную формулу для объема воды подаваемого дождевальными машинами [233]:

$$v = 0,144 \cdot \frac{60 \cdot Q}{0,1 \cdot m \cdot B \cdot \beta} \cdot B \cdot t \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot m$$

или

$$V = V(Q) = 86,4 \cdot t \cdot Q \cdot \frac{K_{\text{сут}} \cdot \tau}{\beta} \quad (4.137)$$

Получим выражение для объема воды, подаваемого дождевальной машиной – $V(m)$ и $V(Q)$ для случая, когда поливная норма превышает допустимую норму по условиям впитывания $m > m_q$ и выдается за два и более проходов. Пусть поливная норма выдается за два прохода дождевальной машины и норма проходов, равные m_1 и m_2 , выбраны в соответствии с заданной схемой внесения поливной нормы. Поставим в соответствие нормам проходов скорости движения дождевальной машины v_1 и v_2 . Тогда время в сутках, за которое дождевальная машина сделает каждый проход, равно соответственно:

$$t_1 = \frac{L}{v_1 \cdot 1440}, \quad t_2 = \frac{L}{v_2 \cdot 1440} \quad (4.138)$$

Отсюда, приравнявая выражения для длины гона L , получим соотношение:

$$t_1 \cdot v_1 = t_2 \cdot v_2 \quad (4.139)$$

Кроме, того, суммарное время проходов должно быть равно продолжительности полива t :

$$t = t_1 + t_2 \quad (4.140)$$

Решая системы (4.139) и (4.140) относительно t_1 и t_2 , получим:

$$t_1 = \frac{t \cdot v_2}{v_1 + v_2}, \quad t_2 = \frac{t \cdot v_1}{v_1 + v_2} \quad (4.141)$$

Подставив в формулу (4.135) вместо $t - t_1$ или t_2 , вместо $m - m_1$ или m_2 , вместо $v - v_1$ или v_2 , получим формулы для объемов воды, подаваемых дождевальной машиной по проходам:

$$V_1 = 0,144 \cdot v_1 \cdot B \cdot \frac{t \cdot v_2}{v_1 + v_2} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot m_1, \quad (4.142)$$

$$V_2 = 0,144 \cdot v_2 \cdot B \cdot \frac{t \cdot v_1}{v_1 + v_2} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot m_1.$$

Теперь объем воды, подаваемый дождевальной машиной за полив и равный сумме объемов по проходам, запишется:

$$V = V(m) = 0,144 \cdot B \cdot \frac{t \cdot v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot m_1 \quad (4.143)$$

Для $V(m)$ с числом проходов больше двух получается аналогично. Например, для трех проходов оно имеет вид:

$$V = V(m) = 0,144 \cdot B \cdot \frac{t \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot v_3}{(v_1 \cdot v_3 + v_1 \cdot v_3 + v_2 \cdot v_3)} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot m_1 \quad (4.144)$$

Если в полученные формулы для $V(m)$, (4.143) и (4.144) подставить формулы для скоростей движения дождевальной машины по проходам i , то получим:

$$v_1 = \frac{60 \cdot Q}{m_1 \cdot B \cdot \beta} \quad (4.145)$$

Произведя преобразование, получим известное выражение для $V(Q)$ (4.137).

Если в (4.143) подставить $v_1 = v_2 = v_{\text{дм}}$, где $v_{\text{дм}}$ – постоянная скорость перемещения дождевальной машины, то получим выражение для объема воды подаваемого ею с регулировкой поливной нормы числом проходов n :

$$V = V(m) = 0,144 \cdot B \cdot \frac{t \cdot v_{\text{дм}}}{2} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot m_1. \quad (4.146)$$

Данную формулу можно записать в общем виде:

$$V = V(m) = 0,144 \cdot B \cdot \frac{t \cdot v_{\text{дм}}}{n} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot m_1. \quad (4.147)$$

Таким образом, формулы для объема воды, подаваемой дождевальной машиной фронтального перемещения, за время полива, имеют вид:

- для $V(m)$ – (4.135), (4.143), (4.144), (4.147);
- для $V(Q)$ – (4.137).

Для дождевальных машин позиционно-фронтального действия полив производится при движении в прямом направлении и количестве подходов в прямом и обратном направлениях одинаково. Поливная норма прохода определяется условиями впитывания и регулируется продолжительностью работы дождевальной машины на позиции.

Получим выражения для объема воды, подаваемого дождевальной машиной – $V(m)$ и $V(Q)$ для случая, когда $m \leq m_{\text{д}}$. Продолжительность полива t , сут рассчитывается как произведение времени работы на позиции t_n , мин на количество позиций k :

$$t = \frac{t_n \cdot k}{1440}. \quad (4.148)$$

Количество позиций определяется как отношение длины гона L , м к длине полосы дождя 1, м. Тогда (4.148) запишется в виде:

$$t = \frac{t_n \cdot k}{1440} \cdot \frac{L}{I}. \quad (4.149)$$

Умножим числитель и знаменатель правой части данной формулы на b , м – ширина захвата дождем:

$$t = \frac{t_n \cdot k}{1440} \cdot \frac{L}{I} \cdot \frac{b}{b} = \frac{t_n \cdot S}{1440 \cdot I \cdot b}. \quad (4.150)$$

Заметим, что произведение $L \cdot b = S$ – сезонная нагрузка на дождевальную машину. Используя формулу (4.150) запишем выражение для S , га:

$$S = \frac{0,144 \cdot t \cdot I \cdot b}{t_n}. \quad (4.151)$$

Скорректируем значение t в формуле (4.151) с учетом следующих коэффициентов потерь времени полива:

- коэффициент использования времени суток $K_{\text{сут}}$;
- коэффициент, учитывающий возможные потери времени по не зависящим от машины причинам и не вошедшие в баланс времени при расчете норм выработки машины τ ;
- коэффициент, учитывающий потери времени на перебазировки K_0 .

Тогда формула для S запишется в виде:

$$S = \frac{0,144 \cdot t \cdot I \cdot b}{t_n} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot K_0. \quad (4.152)$$

Полученное выражение для S тождественно равно отношению объема воды, подаваемого дождевальной машиной за время полива V , м³ к поливной норме m , м³/га в пиковый период водопотребления:

$$\frac{V}{m} = \frac{0,144 \cdot t \cdot I \cdot b}{t_n} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot K_0. \quad (4.153)$$

Отсюда выражение для объема воды в м³, подаваемого дождевальной машиной за полив продолжительностью t , поливной нормой m имеет вид:

$$V = V(m) = \frac{0,144 \cdot t \cdot I \cdot b}{t_n} \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot K_0 \cdot m. \quad (4.154)$$

Для того, чтобы получить формулу для объема воды, подаваемого дождевальной машиной в виде $V = V(Q)$, выразим ее через рабочий расход Q , л/с, и продолжительностью работы на позиции $t_{\text{п}}$:

$$t = \frac{0,1 \cdot m \cdot \beta}{J}, \quad (4.155)$$

где J – средняя интенсивность дождя, мм/мин;

m – поливная норма, м³/га;

β – коэффициент, характеризующий средние суточные затраты воды на испарение при поливе в критический период водопотребления.

Подставим в формулу (4.155) расчетную формулу для J :

$$J = \frac{60 \cdot Q}{b \cdot I}. \quad (4.156)$$

Тогда выражение для $t_{\text{п}}$ запишется в виде:

$$t = \frac{0,1 \cdot m \cdot \beta \cdot b \cdot I}{60 \cdot Q}. \quad (4.157)$$

Заменив $t_{\text{п}}$ в формуле (4.154) его выражением из (4.157) и после преобразований получим формулу для $V = V(Q)$:

$$V = V(Q) = 86,4 \cdot t \cdot Q \cdot \frac{K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot K_0}{\beta}. \quad (4.158)$$

Получим выражение для объема воды, подаваемого дождевальной машиной $V(m)$ и $V(Q)$ для случая, когда поливная норма превышает допустимую по условиям впитывания $m > m_{\text{п}}$ и выдается за два и более проходов. Пусть поливная норма выдается за два прохода дождевальной машины и норма проходов, равные m_1 и m_2 , выбраны в соответствии с заданной схемой внесения поливной нормы. Подставим в соответствие нормам проходов продолжительности работы дождевальной машины на позициях $t_{\text{п1}}$ и $t_{\text{п2}}$. Тогда время в сутках, за которое дождевальная машина сделает каждый проход равно соответственно:

$$t_1 = \frac{t_{\text{п1}}}{1440} \cdot \frac{L}{I}, \quad t_2 = \frac{t_{\text{п2}}}{1440} \cdot \frac{L}{I}. \quad (4.159)$$

Отсюда, приравнявая выражения для длины гона L , получим соотношение:

$$\frac{t_1}{t_{\text{п1}}} = \frac{t_2}{t_{\text{п2}}}. \quad (4.160)$$

Кроме того, суммарное время проходов должно быть равно продолжительности полива t :

$$t = t_1 + t_2. \quad (4.161)$$

Решая системы уравнений (4.160) и (4.161) относительно t_1 и t_2 , получим:

$$t_1 = \frac{t \cdot t_{n2}}{t_{n1} + t_{n2}}, \quad t_2 = \frac{t \cdot t_{n2}}{t_{n1} + t_{n2}}. \quad (4.162)$$

Подставив в формулу (4.154) вместо $t - t_1$ или t_2 , вместо $m - m_1$ или m_2 , вместо $t_{n1} - t_{n1}$ или t_{n2} , получим выражение для объемов воды, подаваемых дождевальной машиной по проходам:

$$V_1 = 0,144 \cdot \frac{t \cdot t_{n2}}{t_{n1} \cdot (t_{n1} + t_{n2})} \cdot I \cdot b \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot K_0 \cdot m_1, \\ V_2 = 0,144 \cdot \frac{t \cdot t_{n2}}{t_{n2} \cdot (t_{n1} + t_{n2})} \cdot I \cdot b \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot K_0 \cdot m_2. \quad (4.163)$$

Отсюда объем воды, подаваемый дождевальной машиной за полив и равный сумме объемов по проходам, запишется:

$$V = V(m) = 0,144 \cdot \frac{t \cdot t}{(t_{n1} + t_{n2})} \cdot I \cdot b \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot K_0 \cdot m_n. \quad (4.164)$$

Выражение для $V(m)$ для числа проходов больше двух получается аналогично. Например, для трех проходов оно имеет вид:

$$V = V(m) = 0,144 \cdot \frac{t \cdot t}{(t_{n1} + t_{n2} + t_{n3})} \cdot I \cdot b \cdot K_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot K_0 \cdot m_n. \quad (4.165)$$

Если в формулы для $V(m)$ (4.164) и (4.165) подставить выражение для продолжительностей работы дождевальной машины на позиции по проходам (4.157) i :

$$t_{ni} = \frac{0,1 \cdot m \cdot \beta \cdot b \cdot I}{60 \cdot Q}. \quad (4.166)$$

и произвести преобразование, получим выражение для $V(Q)$ вида (4.158).

Таким образом, выражение для объема воды, подаваемого дождевальной машиной позиционно-фронтального перемещения за время полива, имеют вид: для $V(m)$ – (4.154), (4.164), (4.165); для $V(Q)$ – (4.158).

На сегодняшний день развитие орошаемого земледелия тормозится в значительной мере большим износом и недостатком дождевальной техники. За последние 10-15 лет парк дождевальных машин сократился более чем в 2 раза, а большинство оставшихся машин отработали нормативный срок, требуют замены, ремонта, модернизации и доукомплектования. В структуре парка дождевальных машин, применяемых и рекомендуемых для полива зернокармликовых культур основную часть занимают ДМ «Фрегат» (низконапорные модификации), ЭДМФ «Кубань-Л», МДЭК «Кубань-ЛК1», а также дождевальная техника зарубежных производителей, например «Вауег» (Австрия), «Zimmatic» (США), «Т-Л» (США). Почти все эти машины рекомендуют для эксплуатации на больших площадях орошения с сезонной производительностью более 50 га. Дождевальные машины «Днепр» и ДДА-100МА уже технологически и морально устарели. Разработка, производство и внедрение в хозяйственный оборот АПК поливной техники нового поколения с существенно более высокими технико-экономическими параметрами, новейших технологий и форм организации использования машинных агрегатов составляют основу вывода из кризиса орошаемого сектора агропромышленного комплекса.

Как одну из стратегических задач развития новой группы поколений поливной техники и технологий полива следует рассматривать разработку многоцелевых систем орошения площадью 10-50 га, включающих насосные станции, быстросборные транспортирующие и водораспределительные трубопроводы и дождевальные машины.