

3 ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ В КОНТЕКСТЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПОКОЛЕНИЙ ОС

К основным проблемам большинства существующих оросительных систем России можно отнести расточительное водопользование, неудовлетворительное качество возвратных вод, ухудшение технического состояния основных производственных фондов и низкую эффективность системы управления водораспределением и водоучетом. Наряду с этим возросший уровень и темпы развития водного хозяйства, организации эксплуатации оросительных систем приводят к значительному усложнению связей водоисточников с водопользователями. Поэтому в настоящее время вовсе недостаточно восстановить технический уровень ОС до уровня проектного, как это считается большинством эксплуатационников. По мере роста дефицита водных ресурсов возрастают требования к качеству, более высокой динамике управления водораспределением на ОС и обеспечению оптимальности решений в планировании использования водных ресурсов с учетом требований экологии.

Влияние огромного количества факторов на водопользование и водораспределение в АПК приводит к необходимости разработки научных основ построения совершенных оросительных систем нового поколения с использованием имитационно-оптимизационных моделей для определения основных параметров управления. Данные модели должны в обязательном порядке учитывать возросшие требования природопользования по элементам и технологиям в контексте технического уровня поколений действующих на данный момент оросительных систем. Только таким образом можно верно выбрать наилучший вариант повышения технического уровня реальной ОС, обеспеченный соразмерными затратами на его реализацию.

3.1 Регулирование водораспределением

Проблема рационального использования водных ресурсов на любой водохозяйственной территории в настоящее время не может решаться успешно без взаимоувязанного рассмотрения вопросов водоучета и управления водораспределением, основанных на системных принципах. Рассмотрим динамику развития поколений оросительных систем по критерию «**регулирование водораспределением**». Данному критерию соответствует ряд мероприятий, виды деятельности, конструкции, появление которых характеризует отношение оросительной системы к тому или иному технологическому уровню или поколению.

3.1.1 Регулирование водораспределением на ОС первого поколения

Для того, чтобы определить основные тенденции и исторические основы технической составляющей оросительных систем в разрезе поколений, нет необходимости детально приводить историю развития первых оросительных систем, которая прекрасно изложена в первом томе «Ирригация Узбекистана». Следует отметить, что только лишь в 20-х годах прошлого столетия в США была дана первая техническая оценка неинженерной (построенные без проекта), полуинженерной (отдельные элементы ОС имели проект) и инженерной оросительной сети [36]. Оказалось, что на неинженерные сети приходилось 90 %. Полуинженерные и инженерные оросительные сети составляли 10 %.

Неинженерная распределительная сеть состояла из большого числа параллельных мелких водотоков (арыков), в которых управление водораспределением не предусматривалось. Вода текла в арыке непрерывным потоком, по мере необходимости направлялась на поля и при отсутствии поливов сбрасывалась. Из неинженерных оросительных сетей терялось от 2/3 до 4/5 общего объема водозабора и только от 1/5

до 1/3 использовалось на полях. Неинженерную оросительную сеть по критерию «регулирование водораспределением» можно отнести к оросительным системам **первого поколения**.

Существенные отличительные признаки: широкое использование лиманного орошения (74), полив затоплением (82), полив напуском (83), промывной полив (85) отсутствие приемлемой научной базы, проектной и нормативной документации, специализированных строительных организаций, практическое отсутствие противофильтрационных покрытий, ГТС выполнены из грунта, дерева и камня [33]. Самотечное орошение (90) является практически единственным способом подачи поливной воды на орошаемый участок [32] (приложение Б).

К технологическим элементам систем первого поколения по критерию «**регулированием водораспределением**» можно отнести появление простейших каналов (магистральные, распределительные, сбросные (6, 8, 11-43) без противофильтрационных мероприятий (в земляном русле), борозд (3, 4), простейших подпорных и регулирующих сооружений (236, 237), водоподъемных устройств (28), элементов регулирования поверхностного стока (233) [31-33]. На этих системах отработаны основы простейших водозаборных, водоподпорных (25), водопропускных (29), водорегулирующих (30) сооружений. Весьма важными и заслуживающими внимания элементами оросительных систем первого поколения могут служить многоступенчатый перепад (50), колодец-перепад (66), сифон-водовыпуск (57), сифонный водосброс (58), гидротаран [31-33] (приложение Б). Конечно же, они представляли собой не те совершенные конструктивные решения, которые мы имеем сейчас, но в них уже использовалась та же физика явления, которая позволяет им эффективно работать на современных системах.

3.1.2 Регулирование водораспределением на ОС второго поколения

К началу XX в. мелкая сеть арыков от водоисточника до хозяйств была постепенно заменена сетью государственных магистральных и межхозяйственных каналов с регулирующими и водомерными сооружениями, появляются весьма отработанные для того времени средства водоучета. Однако, не имея инженерных средств для решения проблемы управляемости естественными водными потоками, в государственной сети каналов организация водоподдачи продолжала осуществляться традиционными методами постоянного тока воды. Но все же такие оросительные системы вполне обоснованно следует отнести к системам **второго поколения**. Основным отличительным элементом систем **второго поколения** является появление инженерных проектов на оросительные системы, их элементы и методики расчета конструктивных параметров. В историческом разрезе эти системы совершенствовались (см. рисунки на С. 138, 146 [37]), приходили в упадок (см. рисунки на С. 147-149 [37]), возрождались, приближаясь технически к системам следующего поколения, накапливая в себе отличительные признаки для следующего технического скачка.

Проведенный анализ позволил нам выделить существенные отличительные признаки характерные для оросительных систем второго поколения: водоучет при водораспределении, появление технологий орошения (92), применение бетона и железобетона в основных конструктивных элементах; используются и получают распространение методы прогнозных инженерных расчетов, в процессе строительства используется проектная документация, привлекаются специализированные строительные организации, создается служба эксплуатации по конкретным объектам, появляются первые дождевальные машины (в основном кругового действия с забором воды из подземных источников) и капельное орошение (125, 126) [32, 38, 39] (приложение Б).

Сооружения на таких системах начали создаваться с учетом требований безопасности при проектировании. Получили распространение инженерные системы для орошения крупных массивов с механическим регулированием водоподдачи (48, 49) и водораспределения [33]. На распределительных каналах младшего порядка проводились простейшие противофильтрационные мероприятия – кольматация (137), уплотнение (141), солонцевание (139), оглеение (138) и нефтевание (140), что позволяло снижать потери на фильтрацию в 2-4 раза на срок до 4-5 лет [40] (приложение Б).

Каналы проектировались с учетом максимальных и минимальных расходов, предусматривался необходимый запас бровки канала над уровнем воды, предусматривались мероприятия по уменьшению сбросов воды из оросительной сети. Период разработки и использования – первая половина XX века. Основное развитие это поколение получило при строительстве оросительных систем в США в 30-е годы в период депрессии [41-43].

Автоматизация технологических процессов на системах связана с фрагментарным применением элементов механизации и автоматизации в управляющих и исполнительных устройствах гидромеханического оборудования гидротехнических сооружений. Функциональное назначение элементов автоматизации сводится к замене ручного труда и повышению эффективности работы исполнительных органов затворов гидротехнических сооружений, задвижек в трубопроводных системах, насосных станциях и т. п.

С появлением оросительных систем инженерного типа возник системный **водоучет (208)** как понятие [31]. Была введена градация по функциональному назначению, типам гидрометрических сооружений и устройств, определены требования к техническим параметрам и метрологическому обеспечению водоучета. Наряду с применением простейших гидрометрических приборов (реек, вертушек (205-207) расширилась номенклатура типов и конструкций гидрометрических сооружений и устройств. Разработаны и систематизированы начала нормативно-методического обеспечения водоучета на оросительных системах и объектах локального орошения [31] (приложение Б).

Как отмечает академик РАСХН Б. С. Маслов КПД (132) системы каналов, техники полива и КИВ в оросительных системах, построенных в период 1924-1933 гг., был гораздо ниже, чем в старых туземных системах [33] (приложение Б). Объясняется это тем, что строительство оросительных систем в этот период осуществлялось тем же способом, что и в XIX веке, но в совершенно других гидрогеологических, геохимических и хозяйственных условиях. На старых оросительных системах частная собственность на землю, особенности гидрогеологических и геохимических условий (близкое залегание пресных грунтовых вод) и совмещение функций оросительной и дренажной сети обеспечивали не только исключение засоления, но и полный водооборот, в результате чего КПД и КИВ таких систем были близки к 1,0.

Дальнейшее строительство оросительных систем в 1924-1933 гг. осуществлялись на землях с глубоким (> 3-5м) залеганием минерализованных грунтовых вод в условиях коллективизации и организации крупных колхозов. Все это привело к необходимости резкого увеличения протяженности каналов межхозяйственной, хозяйственной и внутрихозяйственной сети и снижению их КПД. Укрупнение площади поливных участков в условиях коллективизации и отсутствие капитальной планировки ухудшили условия поливов и снизили КПД техники полива. В целом коэффициент использования водных ресурсов (КИВ) снизился с 0,96 в 1900 г. до 0,55 в 1933 г. Такое положение на оросительных системах уже к 1940 г. привело к подъему уровня и увеличению минерализации грунтовых вод и интенсивному развитию процессов вторичного засоления орошаемых земель. Здесь следует заметить, что оценка негативных из-

менений в окружающей среде под воздействием орошения и оросительных систем, помимо работ В. В. Докучаева [44] была отражена и трудах А. И. Воейкова [45-48] и А. А. Измайльского [49-50].

Однако на практике в связи с сложившейся ситуацией в стране, резким увеличением стоимости работ и необходимостью решения первоочередных задач, связанных с нехваткой поливной воды, эти предложения никакого внедрения не получили.

3.1.3 Регулирование водораспределением на ОС третьего поколения

В районах традиционного орошения резко обозначился дефицит водных ресурсов, следствием чего стало Указание Совнаркома и ЦК ВКП(б) от 31 мая 1935 года [51], которое потребовало установить строжайшую водную дисциплину, «...обеспечить самую жесткую экономию воды, ввести круглосуточный полив, значительно улучшить технику полива и строго карать за хищение в разбазаривание воды...», а в производственном плане ускорить работы по зарегулированию стока естественных поверхностных водотоков. С этого момента стал развиваться и уточняться **метод централизованного диспетчерского управления водораспределения «по плану»** (план водопользования (232) с использованием данных водохозяйственного баланса (209) [31, 33] (приложение Б). Использование данного метода позволяет выделять оросительные системы по признаку «регулирование водораспределением» **третьего поколения**.

При проектировании оросительных систем и сооружений стали учитываться требования по безопасности, которые регламентировались в соответствующих СНиП. Проектируются распределительные и внутрихозяйственные каналы инженерного типа с применением противофильтрационных мероприятий (136-164) (КПД до 0,90-0,95) – бетонных, железобетонных, асфальтобетонных, которые снижают потери примерно в 10 раз на срок до 25-30 лет [32-33, 40, 52-58] (приложение Б).

В это время на ОС для регулирования водоподдачи и водораспределения применяются гидроавтоматика, автоматизация водоучета (208, 204), эксплуатационная гидрометрия (218), комплексы гидрометрических работ (219) [31, 32] (приложение Б). На орошаемых участках потери воды на фильтрацию и сброс за счет применения дождевальной техники снижаются до 8-10 % [59]. Период разработки и использования – 50-70-е годы XX века.

Происходит техническое и технологическое развитие и широкое внедрение в практику отечественных специализированных систем автоматизации управления технологическими процессами водозабора и водораспределения на оросительных системах. Создаются системы управления водоподдачи потребителям с использованием каскадного регулирования уровней воды в каналах и локальных авторегуляторов гидравлического, электрогидравлического и электромеханического действия на водовыпусках и перегораживающих сооружениях.

Функциональное назначение элементов автоматизации сводится к замене ручного труда и повышению эффективности работы исполнительных органов-затворов гидротехнических сооружений, задвижек в трубопроводных системах, насосных станциях и т. п. В системах каскадного регулирования уровней в открытых каналах систем разработан и апробирован ряд технических решений от системы регулирования по верхнему бьефу до системы регулирования с перекрестными связями.

Совершенствование инженерных сооружений оросительных систем с применением локальных средств механизации и автоматизации обусловило интенсивное развитие средств водоучета. В этот период получили применение специализированные средства измерения параметров водного потока с использованием *индивидуальных* элементов автоматизации (*гидроавтоматов с регулированием верхнего бьефа, нижне-*

го бьефа, применение узлового регулирования) процессов измерений и обработки получаемой информации. Разработаны и прошли апробацию автоматические регуляторы и стабилизаторы расхода гидравлического действия, разработаны конструкции дополнительных устройств, придающих свойства водомерности типовому гидромеханическому оборудованию регулирующих гидротехнических сооружений.

Основными типами гидрометрических приборов оставались гидрометрические рейки, вертушки (205), различные водомеры (206, 207, 217) и другое технологическое оборудование. Новые разработки специализированных средств измерения уровня, расхода воды и сопутствующих параметров водного потока были единичными или мелкосерийными экземплярами [31-32] (приложение Б). Существенно модифицировались типы и конструкции гидрометрических сооружений и устройств. Разработана унифицированная с международными стандартами система нормативно-методического обеспечения водоучета.

Существенные отличительные признаки: метод централизованного диспетчерского управления водораспределением, широкое распространение дренажа (165-197, 200, 201) и соответствующей техники (199, 202) при проектировании и строительстве используется унифицированная нормативная база, инженерные оросительные системы электрифицированы, используются базы и банки данных по всем основным метрологическим параметрам системы «климат – вода – почва – растение» [31-33, 60-61] (приложение Б). К инженерным системам **третьего поколения**, в первую очередь, относятся системы для орошения крупных массивов с механическим регулированием водоподдачи и водораспределения.

Опираясь на вышеизложенное, следует сделать отступление и отметить, что введение в эксплуатацию крупных оросительных систем третьего поколения неизбежно заложило использование новых критериев, технических средств, системная реализация которых относится к оросительным системам **третьего поколения** – это «Контроль за мелиоративным состоянием орошаемых земель»; «Контроль за качеством оросительной воды», «Контроль за состоянием ГТС»; «Управление сетевыми ГТС и устройствами», «Управление водозаборными сооружениями». Конечно же, ряд этих критериев присущ и к оросительным системам предыдущих поколений, но именно средства технической реализации, методическое и приборное обеспечение позволяют им полнокровно фигурировать в качестве показателей характеризующих системы третьего поколения. А вот технологии управления количественными показателями этих критериев возводят их в ранг показателей, характеризующих системы следующего – **четвертого поколения**, т. к. на уровне эксплуатации систем третьего поколения эта задача **не была решена, вследствие отсутствия средств оперативного получения, сохранения, обработки и передачи информации**. Такое небольшое отступление позволяет проследить реализацию закона перехода количественных изменений в качественные на эволюционном витке технического и технологического совершенствования ОС, а приведенные критерии будут более детально рассмотрены в последующих разделах настоящей главы.

Рассмотрим более подробно развитие оросительных систем **третьего поколения**. В регламентирующем документе «Правила технической эксплуатации ирригационных систем Союза ССР» 1938 года, заложившем основы централизованного управления водораспределением, был вновь принят принцип плановой подачи воды непрерывным током [62].

Не разрешив проблему управления водораспределением в государственной оросительной сети, ввели нормативы потерь воды в колхозной сети в зависимости

от площади орошения в хозяйстве: 200 га – 20 %; 400 га – 25 %; 500 га – по указанию системного управления.

В послевоенные годы орошение земель как составная часть общего плана преобразования природы было направлено на освоение крупных массивов. Считалось, что только в этом случае возможно наиболее эффективное использование земельных и водных ресурсов и изменение природных и социальных условий в нужном направлении. Пятилетний план восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946-1950 гг. в целях восстановления водохозяйственных систем и дальнейшего их развития предусматривал обеспечить «полное использование орошаемых земель, не допуская их засоления и подтопления; осуществить мероприятия по возвращению в сельскохозяйственный оборот ранее орошаемых земель в Ферганской долине, Голодной степи, Южном Хорезме, Вахшской долине и др. районах, улучшить техническую эксплуатацию оросительных систем, обеспечить своевременный ремонт и очистку оросительной, сбросной и дренажной сети, экономное расходование оросительной воды, повысить уровень механизации работ на поливе» [63].

В 1950 году было принято постановление о переходе на новую систему орошения и переустройстве в связи с этим существующих оросительных систем. Необходимость переустройства существующих оросительных систем и введение новой техники орошения была вызвана раздробленностью и малой площадью поливных участков (1-3 га) и высокой удельной протяженностью постоянных оросительных каналов (100-125 пог. м/га), что существенно снижало коэффициент земельного использования (КЗИ) и служило тормозом для развития механизации социалистического сельского хозяйства. Суть новой системы орошения заключалась в том, что густая сеть постоянных каналов заменялась временными оросителями, которые устраивались ежегодно только на время поливов и заравнивались во время механизированной обработки почв и уборки урожая. Введение новой системы орошения позволяло не только укрупнить поливные участки до 10-20 га, но и применить полную механизацию сельскохозяйственных работ. Сокращение протяженности постоянных каналов позволяло снизить потери воды на фильтрацию и стабилизировать КПД систем [64]. Однако, как отмечают авторы, в такой системе были серьезные недостатки. Основной из них заключался в том, что при объединении мелких идеально спланированных поливных участков, имеющих различное высотное положение по отношению друг к другу, и внедрении поверхностных самотечных поливов по длинным бороздам (100-200 м и более) качество поливов резко ухудшилось, равномерность увлажнения почв по длине борозд снизилась, появились поверхностные сбросы, снизился КПД техники полива и увеличились оросительные нормы. Во-вторых, в состав мероприятий по переустройству существующих ОС не было включено строительство дренажа. Как уже отмечалось, в 40-50-х годах предпринимались многочисленные попытки усовершенствовать метод централизованного управления «по плану», но принцип подачи воды в хозяйство непрерывным током оставался неизменным [63, 64].

В этот период совершенствование технического уровня существующих оросительных систем и техники полива осуществлялось очень медленно. К тому же, намеченное на перспективу увеличение КПД оросительных систем, как правило, не обеспечивалось. Так, в соответствии с бассейновыми схемами увеличение КПД оросительных систем предусматривалось к 1985 г. до 0,66-0,70, а к 1990 – 0,75-0,80 [65]. Фактически же к 1990 г. КПД увеличился всего до 0,60. Аналогичная картина наблюдалась и с совершенствованием техники полива.

Это объясняется возобладавшей в то время идеей о неизбежности подъема уровня минерализованных грунтовых вод и последующего его регулирования дрена-

жем на глубине 1,5-2,5 м с обязательным осуществлением промывного режима для предупреждения реставрации засоления. Тут следует выделить очередной критерий, качественно характеризующий оросительные системы третьего поколения – **«регулирование уровнем грунтовых вод с помощью дренажных систем» (165-181, 186, 196) [31, 32, 60] (приложение Б).**

Реализация программных мероприятий привела к тому, что практически на всех орошаемых землях (за исключением земель, расположенных на высоких отметках и имеющих хорошую естественную дренированность) естественный автоморфный режим трансформировался в гидроморфный. Это обстоятельство имело далеко идущие последствия. Идея неизбежности подъема уровня минерализованных грунтовых вод и создания промывного режима орошения была очень удобна для руководства республик и Минводхоза СССР. Раз создание гидроморфного режима неизбежно, зачем тратить время и средства на повышение КПД оросительных систем и совершенствование техники полива? В Постановлении ничего не было сказано и о недопустимости отвода минерализованных дренажных вод обратно в реки и повторного их использования для орошения. По мнению многих исследователей не исключено, что это было сделано не случайно, так как давало повод Минводхозу СССР говорить о высокой степени использования водных ресурсов и нецелесообразности повышения КПД систем [66]. Был подготовлен проект приказа по Минводхозу СССР о порядке определения КПД оросительных систем, из которого следовало, что чем больше объем возвратных вод, тем выше КПД систем.

3.1.4 Регулирование водораспределением на ОС четвертого поколения

Существующие на сегодняшний день методологические и технологические разработки решают проблему проектирования, эксплуатации и реконструкции оросительных систем в лучшем случае в техническом аспекте и не учитывают складывающийся новый экономический механизм и введение платы за воду. Становится очевидным, что многоукладность экономики и разнообразие форм собственности должны найти отражение при решении проблем водосбережения. Решение этих проблем выявляет критерий, который характеризует оросительные системы **четвертого поколения – «регулирование водопользованием»**. Данный критерий подробно будет рассмотрен в соответствующем разделе.

Негативные проявления в зонах действия оросительных систем во многом связаны с низким уровнем водоучета и контроля эффективного использования воды и отсутствием методологической основы для этого.

В РФ оросительные системы, расположенные на площади 6-7 млн га, и в том числе на Северном Кавказе, в большей части не оборудованы современными средствами управления технологическими процессами водораспределения, что в совокупности с отсутствием системных принципов управления приводит к несогласованности диспетчерских графиков водоподдачи с реальным водопотреблением и является причиной нетехнологических сбросов воды из сети, достигающих (по данным «Союзводпроект») 30 и более процентов от объема годового водозабора.

При поливе дождеванием на территории Ростовской области, Краснодарского и Ставропольского краев каналы оросительных систем большую часть времени их эксплуатации работают при неустановившемся режиме течения воды них. Это связано не только с особенностями, возникающими при запусках и остановках НС и дождевальных агрегатов потребителей, особенностями техники полива, но и со спецификой зоны Северного Кавказа, характеризующейся большой пересеченностью местности и значительными уклонами земной поверхности, наличием на системах порогов, пере-

падов и т. д. Использование в таких случаях существующих технологий, методов и средств приводит к очень большим погрешностям в определении расходов, доходящих (в зависимости от стадии развития гидравлических переходных процессов) до 100 и более процентов.

Принцип подачи воды в хозяйства непрерывным током сохранился и в существующих нормативных документах [62, 67, 68].

Однако допустимые потери воды на непроизводительные сбросы на внутрихозяйственной сети постепенно исчезли из всех нормативных документов. Не учитывается даже рекомендовавшийся в 30-х годах 5%-й резервный запас воды в распределительной сети.

Таким образом, формально без внедрения инженерных мероприятий и технических, технологических средств управления волевым решением оросительная сеть трансформировалась в «полностью управляемую со 100%-й надежностью». На самом деле нетехнологические сбросы из государственной оросительной сети, за которую отвечают учреждения по мелиорации и эксплуатации каналов и гидроузлов, перемещены во внутрихозяйственную сеть.

Низкая достоверность или полное отсутствие надежных и точных средств измерения расходов и стоков воды, а также возможность искажения технологических характеристик за счет временных подпоров на головных водозаборных сооружениях позволяют службам эксплуатации забирать из водоисточника сверхплановые объемы воды.

В результате, когда аварийно-сбросная сеть была оборудована водомерными устройствами, оказалось, что непроизводительно сбрасывается 25-35 % воды (а в отдельных случаях и больше) от объема головного водозабора в систему.

Большинство действующих оросительных систем рассчитано на ручное управление регулирующими сооружениями по централизованным командам диспетчерского пункта, передаваемым с помощью телефонной связи.

Планирование водораспределения сводится к определению потребности в воде каждого водопользователя по их предварительным заявкам с последующим установлением графика водозабора в систему и порядка распределения воды по оросительной сети. В основу расчетов заложен метод водного баланса по управляемым створам сети в условиях установившегося режима движения воды. Уточняется исходный баланс воды в системе, уровни воды в бьефах каналов, рабочее положение (открытие) затворов регулирующих сооружений, количество и производительность агрегатов насосных станций, после чего приступают к планированию водораспределения.

При выполнении расчетов диспетчер пользуется диспетчерским журналом, где вобраны таблицы гидравлических расчетов каналов и гидротехнических сооружений на межхозяйственной сети и графики зависимостей их основных гидравлических характеристик.

В соответствии с балансовыми расчетами расходов водоподачи диспетчер определяет режимы работы распределительных узлов и головного водозаборного сооружения и увязывает их со временем добегания расходов до контролируемых створов.

Увязка расчетных расходов со временем добегания ведется с конца распределительной сети к главному водозабору. Время перерегулирования затворов регулирующих сооружений и агрегатов перекачивающих насосных станций определяется моментами подхода плановых расходов воды.

Оперативное водораспределение планируется на ограниченный отрезок времени (сутки), в течение которого подача воды водопользователю осуществляется постоянным расходом. Корректировка водораспределения производится при изменении заявок на основе вновь поданных не позднее чем за сутки.

Дефицит времени и материальных ресурсов на реконструкцию, обострение экологической ситуации заставляют искать новые пути сбережения воды на действующих системах, реконструкция которых в ближайшие 10-15 лет не предполагается. Поэтому разработка системных требований по водораспределению с водосберегающей эксплуатацией до реконструкции существующих оросительных систем с ручным управлением является актуальной проблемой. Однако широкое распространение получали главным образом системы управления по уровням воды со схемами регулирования по верхнему и нижнему бьефам сооружений, смешанными с перетекавшими объемами и др.

В системах регулирования по уровню реализуются два принципа регулирования, указывающие на направление управляющих воздействий, используемых в системах водораспределения: «по плану» и «по требованию».

Принцип водораспределения «по плану» реализован на абсолютном большинстве действующих систем, управление которыми осуществляется как вручную, так и с помощью средств автоматизации.

На линейной части оросительной сети с водораспределением «по плану» используются, например, схемы регулирования «по верхнему бьефу сооружения (247)»; весь цикл технологического управления строится на информации об уровнях воды и потребности в измерении расходов для управления не возникает [69] (приложение Б). И только для разветвленной формы в самотечных узлах вододеления регуляторы уровня верхнего бьефа не в состоянии обеспечить функции планового водораспределения. Поэтому одно из сооружений узла приходится оборудовать автоматическим регулятором расхода». Таким образом, специальных сооружений для измерения расхода с целью управления технологическими процессами в системах водораспределения «по плану» не требуются, а информацию об отдельных створах, оборудованных авторегуляторами расхода, передавать на диспетчерский пункт нецелесообразно.

На оросительных системах с водораспределением «по требованию» с помощью схемы регулирования «по нижнему бьефу сооружения (248, 250)» как на линейных, так и на разветвленных участках оросительной сети весь технологический цикл строится на информации только об уровнях воды [69, 70] (приложение Б).

В настоящее время проблема рационального взаимоувязывания и согласования технологий водораспределения (253-259) и водоучета, их типизации, оптимизации и др. в силу многофакторности, инерционности и большой сложности протекающих в каналах ОС гидродинамических процессов, несовершенства их моделирования недостаточно исследована и находится в незавершенной стадии изучения [70, 71] (приложение Б).

Проектные организации и службы эксплуатации ОС с задачей разработки оптимальных ресурсосберегающих технологий водораспределения самостоятельно справиться не могут по следующим причинам:

- нет научно обоснованной методической базы из-за малоизученности технологических процессов водораспределения и водопотребления как единого взаимоувязанного процесса, включающего водоучет и водоуправление;

- недостаточно подготовленных кадров, обладающих специальными знаниями, позволяющими проводить имитационное моделирование не математических моделях с разработкой альтернативных схем управления и водоучета, способных давать экономическую и экологическую оценку выбранным вариантам и т. д.;

- низкая достоверность информации о величине расходов и объемов воды в многочисленных узлах вододеления системы из-за невысокого технического уровня водомерных устройств и сложности измерения расходов;

- недостаточная техническая культура эксплуатационного персонала и др.

Оросительные системы с дождеванием являются по технологическим признакам системами динамическими.

В практике эксплуатации и проектирования оросительных систем применяются в основном две схемы управления водораспределением:

- регулирование по верхнему бьефу;
- регулирование по нижнему бьефу;

С помощью первой схемы организуются системы управления «по плану», а с помощью второй – «по требованию».

На абсолютном большинстве действующих оросительных систем используется метод централизованного диспетчерского управления водораспределением «по плану» с ручным управлением технологическими процессами, разработанный в 1950-1960 гг. для условий оросительных систем Средней Азии.

Существуют отдельные оросительные системы, оснащенные средствами телемеханики, локальной автоматизации и информационно-советующих систем. Но таких систем немного.

Управлять водными потоками на большинстве систем можно только в очень узком технологическом диапазоне, суть которого сводится к одному – непрерывный (длительно не изменяемый) ток воды в створе потребителей.

В условиях водопотребления, характерного для объектов с поливом дождеванием, и возможных экономических перемен, связанных с переходом к рыночной экономике и введением платы за услуги по подаче воды, существующие методы централизованного водораспределения не способны обеспечить рациональное водопользование, так как с позиции экономного водопользования они неуправляемы.

Неуправляемость существующих методов водораспределения объясняется объективно-техническими (труднопрогнозируемый характер водопотребления, отсутствие практических методов расчета гидродинамических процессов в разветвленной оросительной сети, низкая достоверность, а зачастую и отсутствие информации о величине расходов воды в многочисленных узлах вододеления и т. п.) и субъективно-хозяйственными (отключение поливной техники на перестановку, профобслуживание и заправку топливом, частые отключения электроэнергии, бесхозяйственное использование воды отдельными потребителями и т. п.) причинами.

Появление численных методов решения уравнений Сен-Венана и создание на их базе математических моделей позволяет анализировать динамические процессы, происходящие во взаимоувязанной разветвленной оросительной сети методами системного анализа, и впервые дать научно обоснованные рекомендации по объединению в единое целое систем управления (ручное и автоматизированное) и систем водоучета [19].

В основу системы управления водораспределением на большинстве оросительных систем заложен принцип централизованного планового водопользования с обеспечением водоподачи потребителям в сроки, предусмотренные согласованными планами водопользования. При этом в оросительную систему не допускается сверхплановый забор воды из водоисточника даже при ее избытке, а в хозяйствах не допускаются холостые сбросы.

Существующие системы управления технологическими процессами водораспределения, реализованные на действующих и закладываемые в проекты строящихся оросительных систем **третьего поколения**, по оснащенности средствами управления водораспределением можно разделять на три группы, определяющие этапы реконструк-

ции ОС и усовершенствования систем управления до уровня, близкого к оросительным системам **четвертого поколения**.

Первая группа ОС (60-70 % действующих систем) характеризуется наличием телефонной или радиосвязи между диспетчерским пунктом и узлами вододеления. Регулирующие сооружения оборудованы затворами с ручным или электрифицированным приводом и уровнемерными рейками. Управляют работой сооружений водные объездчики по указаниям диспетчера УОС. Забор вода в систему и подача ее потребителям осуществляется по согласованному с хозяйствами графику водопользования. К этой группе относятся оросительные системы типа Теркско-Кумской обводнительно-оросительной системы в Ставропольском крае или Сарпинской в Калмыцкой автономии.

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

В третьей группе ОС (5-10 % действующих систем) узлы вододеления и регулирующие сооружения оборудованы средствами телемеханики, обеспечивающими нейтрализованный контроль и управление регулирующими сооружениями. К третьей группе относятся ОС типа Кубанской и Петровско-Анастасиевской в Краснодарском крае [19].

Принципы управления технологическими процессами водораспределения на ОС всех трех групп аналогичны.

Существует так же и четвертая группа ОС (0,5-1,0 % действующих систем), где применяется качественно иной метод управления водораспределением – «по требованию», который характеризует новый технический уровень оросительных систем следующего, **четвертого поколения**. Эти системы автоматизированного управления оснащаются средствами телемеханики. В состав объектов вводятся резервные емкости, наполнение и сработка которых выполняется автономными автоматическими регуляторами при включении или отключении водопотребителей.

К четвертой группе можно отнести Саратовский канал и отдельные участки распределительной сети на некоторых оросительных системах.

На абсолютном большинстве действующих оросительных систем РФ применяется ручное управление регулирующими сооружениями по централизованным командам из диспетчерского пункта, передаваемым с помощью телефонной связи. Оперативное водораспределение планируется на ограниченный отрезок времени (пятидневка или сутки), в течение которого подача воды водопользователю осуществляется постоянным расходом. Время добегания расходов воды до контролируемых створов в соответствии с рекомендациями действующих нормативов определяется по скорости равномерного движения воды и только в последних рекомендациях УкрНИИГиМ предлагается применять упрощенный вариант метода Маковского.

При выборе рационального варианта схемы регулирования для реконструкции существующей или вновь проектируемой ОС четвертого поколения учитывается ряд технологических, технических и экономических факторов. К их числу относятся:

- топологическая схема ОС и геоморфологические условия местности, обуславливающие диапазоны изменения уклонов каналов и командование над орошаемым массивом;
- технологический уровень каналов (межхозяйственная сеть и постоянная внутрихозяйственная сеть);
- состав ГТС, способы водозабора (машинный, самотечный) и транспортирования воды по сети каналов (самотечный, самотечный с периодическим машинным водоподъемом);

- наличие линии связи и применяемая система телемеханики;
- способы орошения и поливная техника;
- организация водопользования на ОС и виды взаиморасчетов эксплуатационных организаций с водопотребителями.

В условиях высоко динамического водопотребления, характерного для объектов с поливом дождеванием, и возможных экономических перемен, связанных с переходом к рыночной экономике и введением платы за воду, существующие методы централизованного водораспределения на оросительных системах третьего поколения не способны обеспечить рациональное водопользование, так как с позиции экономного водопользования они неуправляемы.

Для реализации оросительных систем **четвертого поколения** следует рассматривать проекты, учитывающие разумную степень децентрализации при максимальном использовании гидротехнических средств перерегулирования потоков воды с реализацией вариантов саморегулирующихся систем управления водораспределением.

За рубежом в практическом плане основное развитие получили системы динамического регулирования водоподачи в сочетании с развитой информационной системой, обслуживающей структуры управления водопользованием.

Технологическая революция в области микроэлектроники и информационного обеспечения привела к существенным изменениям в методологии и приборном обеспечении водоучета на оросительных системах. На смену многофакторным процессам получения первичной информации о величинах расхода и объема стока воды в каналах оросительных систем пришли многофункциональные измерительные комплексы, использующие новые информационные технологии и элементную базу (ультразвуковые расходомеры, использующие эффект Доплера и ультразвуковые эхолоты).

Измерительные комплексы включают опции и сервисное оборудование, позволяющие получать развернутую информацию о всех измеряемых параметрах как в визуальной форме, так и закодированном виде для передачи на иные носители информации. Во всех приборах используются стандартизованные интерфейсы, позволяющие унифицировать процедуры формирования измерительных комплексов в различной комплектации и функциональном назначении. Основные типы гидрометрических приборов – гидрометрические рейки, вертушки и другое оборудование используются в качестве эталонных средств измерения.

Существенные отличительные признаки: автоматизация мелиоративных систем (221) на основе балансового метода (223), принцип подачи воды в хозяйство дискретным током, блочно-модульный принцип построения с использованием унифицированных элементов, применение в автоматизации электронно-вычислительной техники 3-го и 4-го поколения, применение средств дистанционного зондирования сельхозугодий и методов дешифровки полученных снимков, программирование урожаев [31, 72] (приложение Б).

При управлении водораспределением по уровням воды на оросительных системах **четвертого поколения** используются следующие схемы (рисунок 3.1):

- по верхнему бьефу;
- по нижнему бьефу;
- смешанное регулирование;
- регулирование с перетекающими объемами;
- регулирование с постоянными перепадами;
- каскадное регулирование.

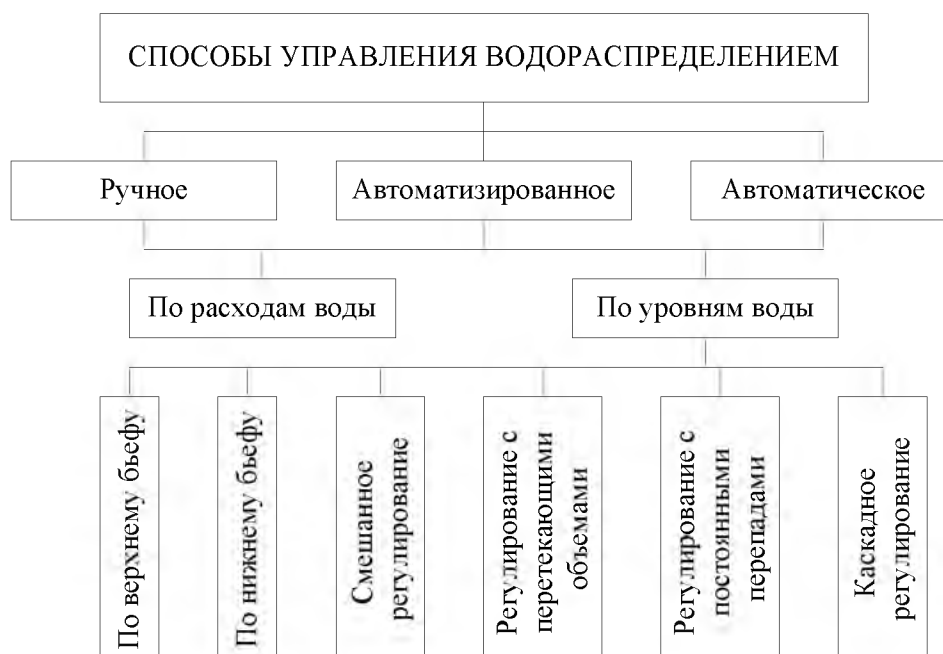


Рисунок 3.1 – Способы управления водораспределением

На оросительных системах с трубопроводами способы управления водораспределением подразделяются на три основных типа [19] (рисунок 3.2):

- высоконапорные с напором на гидрантах свыше 25-30 м вод. ст., обеспечивающие полив дождеванием без использования дополнительных источников энергии;

- низконапорные с минимальными напорами на гидрантах, необходимыми для выпуска воды во временную оросительную сеть или в дождевальные установки, оборудованные средствами для дополнительной подкачки воды;

- самонапорные участки оросительных систем с закрытыми трубопроводами, которые могут работать как в низконапорном и полупонапорном, так и в безнапорном режимах.

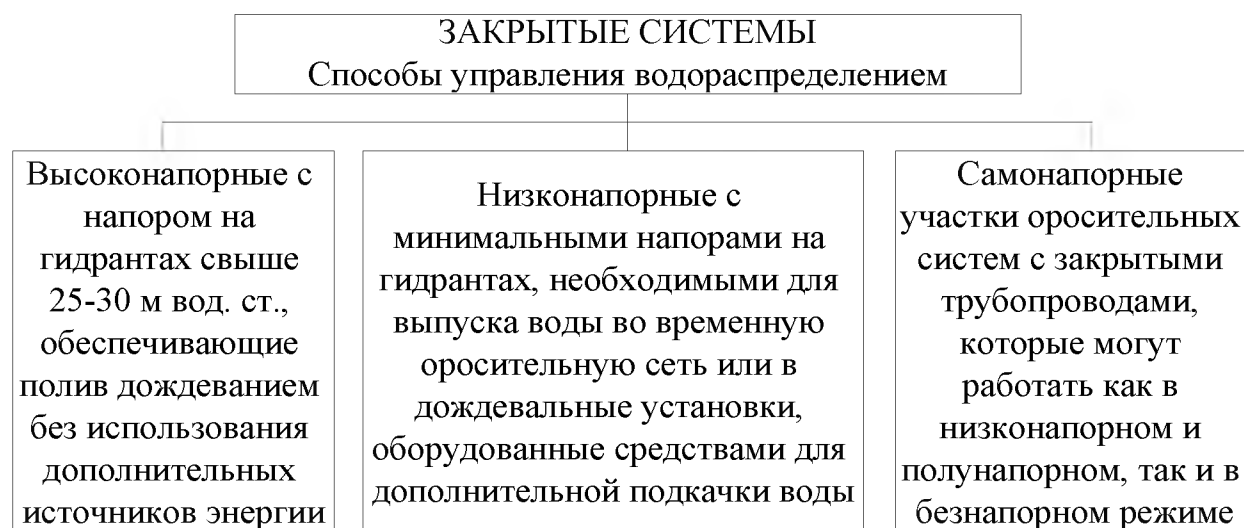


Рисунок 3.2 – Способы управления водораспределением на закрытых оросительных системах

При сочетании закрытой оросительной сети, на которой предусматривается водораспределение «по запросам» потребителей, с открытой сетью каналов в последних

рекомендуется использовать способ каскадного регулирования.

В зависимости от вида сети, способа полива и местных условий согласно нормативным документам рекомендуют схемы регулирования, приведенные в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Схемы регулирования в зависимости от способа полива, местных условий, типа и конструкции водовода на ОС четвертого поколения

Способ полива, местные условия	Тип и конструкция водовода	Рекомендуемая схема регулирования
Постоянная внутрихозяйственная сеть		
Полив по полосам и бороздам при уклонах: - меньше критических - больше критических	Каналы, лотки Самонапорные трубопроводы Безнапорные трубопроводы	По верхнему бьефу В напорных трубопроводах По верхнему бьефу, непосредственным отбором расходов
Полив дождевальными машинами: - независимо от уклонов - уклоны больше критических - средние уклоны поверхности земли на трассе канала менее 0,001	Напорные трубопроводы Самонапорные трубопроводы Каналы	В напорных трубопроводах В напорных трубопроводах по нижнему бьефу на трубопроводах Каскадное регулирование по нижнему бьефу или смешанное регулирование
Полив затоплением на рисовых системах	Каналы	Каскадное регулирование по нижнему бьефу
Межхозяйственная сеть		
Полив по полосам и бороздам: - уклоны меньше критических - средние уклоны поверхности земли по трассе канала 0,0005	Каналы Каналы	По верхнему бьефу Каскадное регулирование (по нижнему бьефу, смешанное регулирование, поддержание постоянных перепадов)
Полив дождевальными машинами и затоплением на рисовых системах при средних уклонах поверхности земли по трассе канала: - менее 0,001 - менее 0,002 - более 0,002 - уклоны каналов меньше критических	Каналы Каналы Каналы Каналы	То же Каскадное регулирование с перетекающими объемами То же По верхнему бьефу

Вследствие большой пространственной рассредоточенности объектов ОС, значительной инерционности и запаздывания протекания гидравлических процессов оперативное управление водораспределением даже с применением традиционных методов автоматизации в настоящее время не обеспечивает в полной мере согласования

режимов водоподачи и водопотребления, что приводит к образованию непроизводительных сбросов воды и снижению качества поливов.

Вопросам разработки, совершенствования и повышения эксплуатационных характеристик ОС на основе автоматизации процессов водозабора и водораспределения посвятили свои исследования многие ученые. В результате разработок и исследований определились два основных способа управления водораспределением: централизованное и децентрализованное, или распределенное [19].

Централизованное управление предполагает контроль, анализ и выработку управляющих решений в одном центре в соответствии с единым (общим) критерием качества функционирования ОС в целом. Оно характеризуется применением централизованной автоматики, требует надежных линий связи и быстродействующих устройств телемеханики.

Децентрализованное управление базируется на принципах субоптимизации отдельных технологических звеньев ОС в соответствии с частными критериями. Распределенная структура управления водораспределением реализуется при относительно невысокой надежности линий связи и характеризуется широким применением локальных систем управления, работающих в автономном режиме.

Децентрализованное управление предусматривает использование обратной (гидравлической или электрической) связи в сети каналов и трубопроводов с проведением централизованного контроля [19, 73].

Основной критерий применимости централизованного и децентрализованного способов управления – размер орошаемой площади ОС и степень разветвленности сети каналов. Конкретные значения критериальных показателей зависят от надежности и дальности действия линий связи, быстродействия средств управления и контроля, инерционности объекта управления и др. Выявление и научное обоснование рациональных вариантов сочетания различных способов управления является предметом дальнейших исследований.

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

Накопленный опыт проектирования и эксплуатации ОС позволяет сделать вывод о том, что для межхозяйственной сети каналов преобладающими 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 3.3).

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.

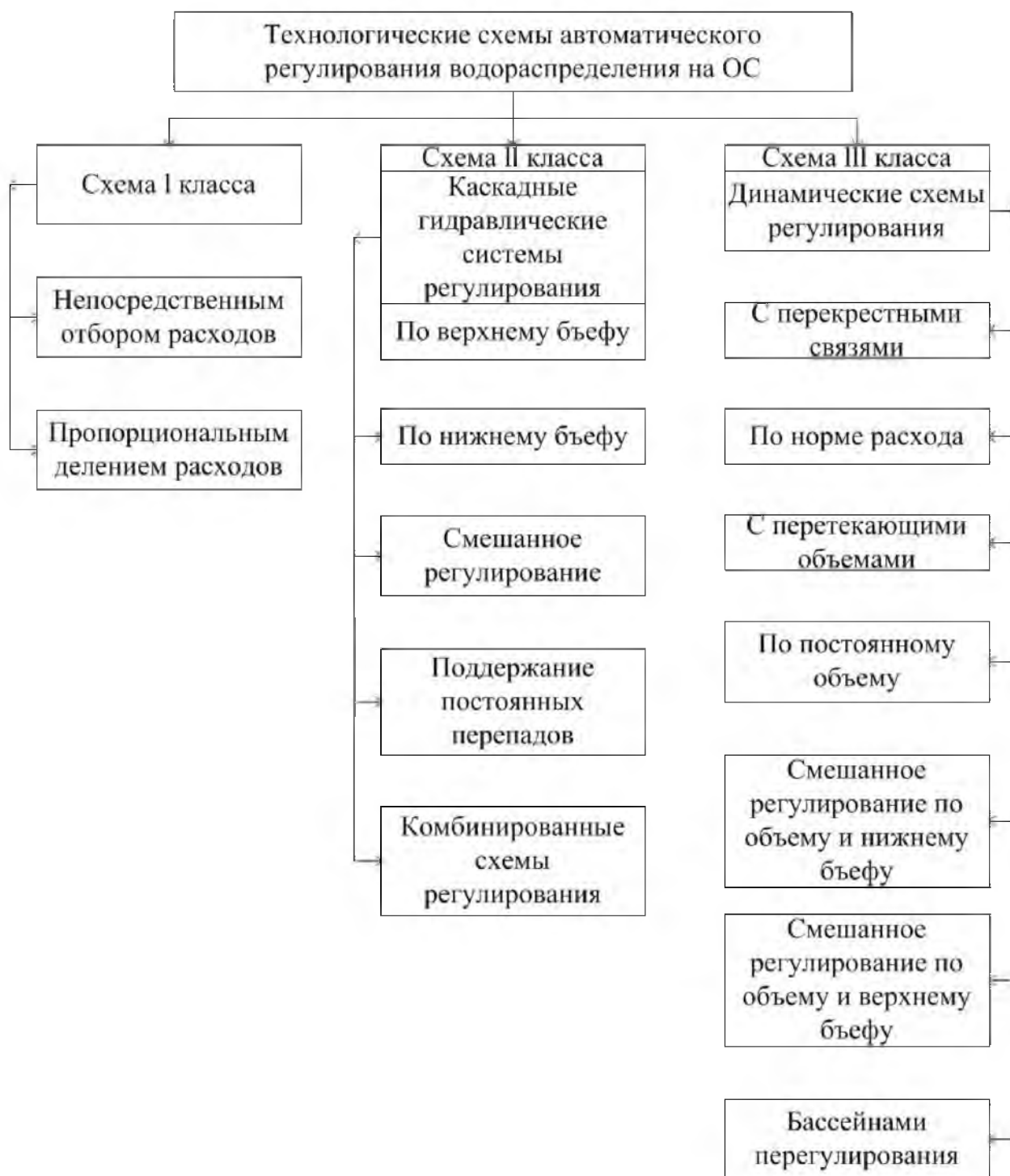


Рисунок 3.3 – Классификация схем автоматического регулирования на оросительных системах пятого поколения по рассматриваемому критерию

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

3.1.5 Регулирование водораспределением на ОС пятого поколения

В условиях острого дефицита воды, введения платы за воду и новых экономических отношений остро встанут вопросы экономного и рационального использования воды и процессы управления водораспределением на всех типах систем станут непрерывными. Эта непрерывность регулирования водораспределением позволяет выделить новый технологический уровень оросительных систем, которые мы отнесем к **пятому поколению**. Саморегулирующаяся система управления способна в течение

ограниченного времени (сутки, пятидневка, декада) работать в автоматическом режиме без управляющих воздействий со стороны диспетчера, удовлетворяя запросы потребителей в пределах плана водопользования при минимальных обоснованных объемах дефицитов и холостых сбросах воды из оросительной сети. За диспетчером сохраняется функция контроля за технологическими процессами. Только в начальный и конечный моменты этих периодов возможно перерегулирование средств автоматизации на новые режимы работы.

В саморегулирующихся системах водораспределения может осуществляться как «по плану», так и «по требованию», однако в том и в другом случае водопотребление обеспечивается «по спросу» (принцип коммунального водопровода). В этом случае применяются схемы регулирования «по верхнему бьефу» и «по нижнему бьефу», а также смешанная. Бассейны перерегулирования расходов воды размещаются в конце оросительной сети, в ложе каналов между перегораживающими сооружениями и в других местах. В рассмотренных комбинациях саморегулирующиеся системы становятся универсальным средством, обеспечивающим потребности как нового строительства, так и реконструкции действующих систем до уровня **пятого поколения** не только в равнинных условиях, но и на территориях со сложным рельефом местности (в горных и предгорных районах).

В чем сущность непрерывного или динамического управления водораспределением на оросительных системах **пятого поколения**? В реальных условиях работы каналов ОС всегда имеют место нестационарные процессы. Динамика этих процессов определяется различными возмущающими воздействиями, к которым относятся запуск и остановка насосных станций и агрегатов дождевальных машин, маневрирование затворами на перегораживающих и регулирующих сооружениях и др. В общем случае возмущения могут носить сосредоточенный и распределительный характер. Динамика ОС будет зависеть не только от возмущающих воздействий, но и от восприимчивости ОС к внешним возмущающим воздействиям. Показателями восприимчивости к внешним воздействиям являются резервы запаса емкости каналов, емкости регулирования и др.

Для исследования динамических процессов должна быть разработана индивидуальная для каждой ОС компьютерная диалоговая система, позволяющая управлять процессом математического имитационного моделирования гидродинамических ситуации на ОС при различных краевых условиях, учитывать особенности течений, возникающих при образовании прерывных волн.

Программный комплекс компьютерной диалоговой системы состоит из нескольких версий (модификаций) программ, отличающихся друг от друга особенностями граничных и начальных условий.

Входные данные вводятся с клавиатуры дисплея в режиме диалога с пользователем, что уменьшает вероятность ошибок при вводе исходной информации и допускает повторяемость процесса расчета при одной загрузке ЭВМ. Расчетная информация может выводиться по желанию пользователя или на дисплей (для визуального наблюдения за имитируемым физическим процессом и, если нужно, оптимизации нужного параметра), или на печать (для анализа, обработки и использования расчетных данных).

Система позволяет следить за ходом имитационного моделирования, управлять им, изменять в процессе расчетов распределение параметров в зависимости от результатов моделирования.

Гибкость метода характеристик позволяет наметить перспективы решения новых более общих задач, существенно расширяющих представление о способах управления распределенными параметрами.

С задачей управления и моделирования тесно связана задача идентификации, динамических процессов с распределенными параметрами, заключающаяся в определении элементов процесса по результатам наблюдений за реальным явлением.

Для оценки эффективности управления в каждой задаче выбирается соответствующий критерий. По начальному состоянию процесса неустановившегося течения воды в открытых бьефах ОС, и заданным краевым условием выбирается такое управление распределенными параметрами системы, которое, дает выбранному критерию экстремальное значение.

Для диспетчерской связи на ОС пятого поколения характерен метод автоматизированного управления сложными динамическими системами и процессами (SCADA) в жизненно важных и критичных с точки зрения безопасности и надежности областях. В SCADA-пакетах XXI века предусмотрены средства разработки и библиотеки объектов, при помощи которых пользователи могут создавать собственные графические интерфейсы под свои нужды с соблюдением рекомендаций EEMUA и ASM. Операторам доступно все, что необходимо для построения конечного SCADA-решения на базе коммерческого SCADA-пакета с объектным конфигурированием, включая различные инструменты, шаблоны и подсказки. Используя высокоскоростные соединения Internet и TCP/IP, операторы могут работать буквально с тысячами удаленных статусных точек, а при достаточной пропускной способности каналов даже получать с удаленных локаций видеоизображения. Во многих современных SCADA-системах, использующихся в мелиоративной отрасли за рубежом, каналы связи организуются на основе волоконной оптики, что обеспечивает максимально возможную пропускную способность и скорость передачи данных. Сегодня операторы могут видеть и анализировать данные, имеющие отношение к обслуживанию и оптимизации, управлять активами и изменять рабочие характеристики управляющей системы, не покидая диспетчерской. Современные управляющие решения типа SCADA являются открытыми и поддерживают подключение интернет, что придает им дополнительную гибкость. В то же время, современные SCADA-системы должны быть защищены как от внутренних, так и от внешних угроз, для чего в них предусмотрены пользовательские настройки безопасности.

Рассматриваемые методы в сочетании с применением ЭВМ позволяют оценивать и выбирать оптимальный уровень технологического обеспечения управления водораспределением среди ряда альтернативных предложений.

При практической реализации разработанной компьютерной диалоговой системы по выбору оптимального уровня технологического обеспечения управления водораспределением следует рассматривать проверенные в натурных условиях и рекомендуемые для массового применения системы регулирования.

Возможно также применение вариантов схемы смешанного регулирования (249) [69] (приложение Б). Назначение элементов начального состояния открытых каналов оросительных систем является важнейшей составляющей проблемы расчетов динамических процессов с распределением параметрами.

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 (255) [71] (приложение Б), схема с перетекающими объемами и схема регулирования по постоянному объему.

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

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

В настоящее время общий недостаток всех схем регулирования по объемам воды – неполный учет всех возможных режимов канала. В результате функции изменения планового задания на водоподачу потребителям, выявление и ликвидацию аварийных ситуаций, первичное заполнение и опорожнение каналов отводятся ЦКУ, что приводит, как правило, к большим отклонениям.

К системам динамического регулирования по расходам относятся схема регулирования по норме расхода (258) и аналогичная по принципу кулисообразных петель (256), схемы регулирования с бассейнами перерегулирования, смешанного регулирования по объему и верхнему бьефу (253) и др. [70, 71] (приложение Б).

Идеология построения систем регулирования водораспределения с бассейнами перерегулирования основана на резервировании значительных объемов воды в дополнительных 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 с обязательным предварительным проведением компьютерных экспериментов (292) [32] (приложение Б).

Применение в системах динамического регулирования информационного обеспечения с основным контролируемым параметром – расходом воды, разветвленной сети телемеханики для дискретного опроса каналов-потребителей, электрорегуляторов для отработки управляющих воздействий, ЭВМ на центральном диспетчерском пункте с многорежимным математическим обеспечением позволяют создать весьма совершенную систему управления и регулирования технологическими процессами на ОС, обладающих свойствами самоадаптирующихся систем управления [74].

Реализация систем автоматизации должна предусматривать множество технических решений и конструкций автоматизированных регулирующих комплексов, в составе которых компоненты водоучета и информационного обеспечения АСУ. Оперативность принятия управленческих решений и точность их реализации во многом определяется использованием современных телекоммуникационных систем контроля и связи, использующих спутниковые системы GPS.

Специализированные средства измерения пятого поколения должны использоваться в виде многофункциональных информационно-измерительных комплексов в составе автоматизированных систем управления водопользованием на оросительных системах. Метрологическое обеспечение водоучета должно включать мобильные высокоточные измерительные приборы, являющиеся аналогами приборов нового поколения, но имеющими класс точности на порядок выше рабочих средств измерений.

Существенные отличительные признаки – информационное моделирование элементов и всей оросительной системы в целом на всех стадиях «жизненного» цикла

с использованием принципа иерархического единства, в том числе в режиме реального времени, полная автоматизация всех технологических процессов на всех иерархических уровнях, применение средств дистанционного зондирования по всему комплексу показателей в режиме реального времени.

К причинам, тормозящим в настоящее время развитие систем **пятого поколения**, относится большая потребность в программном обеспечении, электронном оборудовании, надежных каналах связи и высокой подготовке эксплуатационного персонала, что существенно повышает стоимость ОС и определяет ограничения по широкому их внедрению за рамками единичных пилотных проектов. Следует также отметить, что существующие технические требования к номенклатуре изготавливаемых средств водоучета часто основываются только на установившемся и медленно изменяющемся режимах течения жидкости и на свободном истечении потока при ограниченном подпорно-переменном и отсутствии полностью затопленного течения. Следовательно, при выборе методов и технических средств необходимо учитывать динамические процессы.

Основные характеристики быстропротекаемых динамических процессов на оросительных системах в настоящее время определяются с использованием численных методов решения уравнений Сен-Венана и математических моделей (286) разветвленных оросительных сетей [33, 75] (приложение Б).

При этом очень важными техническими требованиями к системе водоучета становятся не только требования к методу водоучета, но и к технологии измерений в конкретных выбранных технических средствах (гидрометрических сооружениях или устройствах, измерительных приборах).

Требованиями в этом случае являются ограничения измерений во времени и частота измерений расходов и объемов воды, при которой возможно учесть с заданной точностью изменение расходов при неустановившемся режиме течения воды. Ограничение времени измерений определяется по интенсивности изменения расходов или глубин потока при управлении водо-распределением по расходам или уровням воды.

Большинство существующих рекомендаций по эксплуатации и проектированию допускает расчленение сложной разветвленной оросительной сети на отдельные подзадачи, увязка которых в единую сеть приводится только для условий стационарного установившегося режима работы объекта.

Это и является причиной того, что до настоящего времени не удавалось создать инженерные методы выбора схем водораспределения, степени автоматизации и телемеханики процессов и минимально необходимый уровень оснащения распределительной сети средствами водоучета, характерный для уровня ОС пятого поколения.

3.2 Регулирование водопользованием

Раскрыть динамику развития оросительных систем в разрезе поколений по критерию «регулирование водопользования» возможно лишь в тесной взаимоувязке с рядом других критериев, основными из которых являются **«регулирование водораспределением»**, **«организация водоучета»** и др., которые будут рассматриваться ниже в зависимости от направленности тех или иных вопросов, касающихся от освещаемой специфики темы.

3.2.1 Регулирование водопользованием на ОС первого поколения

Как известно из истории развития оросительных мелиораций на оросительных системах **первого поколения** вода использовалась непосредственно на лиманных разливах или на временных водотоках. Право пользования за редким исключением такими лиманами или пригодными для орошения участками принадлежало, как правило, одному владельцу, для которого объем используемой воды зависел от водности водного объекта, а за неимением регулирующих сооружений никак не учитывался,

т. к. не было такой необходимости потому, что использовалась вся вода, которая поступала. В случаях коллективного использования лиманов (74) за неимением магистральных каналов и распределительной сети ситуация была аналогичной, а распределялся лишь полученный урожай [33] (приложение Б).

3.2.2 Регулирование водопользованием на ОС второго поколения

Коллективное поддержание оросительных систем **второго поколения** в исправности, а также содержание водной администрации требовали строго учета оросительной воды и распределения ее между водопользователями. Вода распределялась на орошение между системами пропорционально размерам поливных площадей на каждой оросительной системе. На этом этапе развития оросительных систем зачастую появляется плата за использование воды, заменяющая трудовую повинность или являющаяся своеобразным налогом.

3.2.3 Регулирование водопользованием на ОС третьего поколения

Плановое водопользование в настоящее время – основа всей оперативной деятельности службы эксплуатации на межхозяйственной и внутрихозяйственной частях инженерной оросительной системы. Критерий централизованного планового водопользования в аспектах его реализации, изложенных ниже, характерен для оросительных систем **третьего поколения**. Как известно оросительная система состоит из большого количества взаимосвязанных элементов, действия которых должны увязываться для обеспечения своевременной и в нужных количествах подачи воды на орошение земель в хозяйствах.

В 40-50-х годах прошлого века предпринимались многочисленные попытки усовершенствовать метод централизованного управления «по плану», но принцип подачи воды в хозяйство непрерывным током оставался неизменным [75].

В материалах 50-х годов появилось указание о том, что водопользователь обязан принимать во внутрихозяйственную сеть направляемую ему воду в размерах и в сроки, установленные планом водопользования и прокорректированные дежурным диспетчером системы [76, 77]. И только в отдельных случаях водопользователь мог отказаться от предназначенной ему по плану воды, но при этом был обязан уведомить об отказе УОС не позже чем за 2-3 дня до начала приема воды. В этом случае система не обязана компенсировать неиспользованную воду в последующие периоды.

Централизованная плановая система водопользования, характерная для оросительных систем третьего поколения, не соответствует бассейново-территориальному подходу, принципам устойчивого водопользования и не направлена на обеспечение реализации рыночных отношений в водном хозяйстве которые получили развитие в последнее время.

3.2.4 Регулирование водопользованием на ОС четвертого поколения

Многолетний опыт эксплуатации оросительных систем позволяет конкретизировать основные принципы планового водопользования (232) на оросительных системах, которые могут быть учтены в процессе эксплуатации оросительных систем **четвертого поколения** и сформулированы следующим образом [33] (приложение Б):

- принцип плановости, предусматривающий определенную иерархию в планировании водопользования. Основное звено в планировании – хозяйство. Поэтому на данном уровне составляют внутрихозяйственные планы водопользования. На основании данных планов формируют системные планы водораспределения, затем составляют бассейновые водоземельные балансы. Этим документам придают статус государственных с соответствующими и присущими им методами и формами отчетности и контроля;

- принцип поэтапности, предполагающий водопользования последовательно снизу вверх, исходя из оптимальной потребности сельскохозяйственных культур в оросительной воде, в полной увязке их с прогрессивной технологией их возделывания. Режим орошения определяют для каждого поля, севооборотного участка, хозяйства, района, орошаемой территории и региона на основании экспериментальных исследований или расчетными методами с учетом комплекса факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур;

- принцип лимитности, когда установление лимитов забора оросительной воды как в систему, так и отдельным хозяйствам обуславливается водоносностью источника орошения, конструктивными особенностями головных сооружений системы, междолевой и внутрихозяйственной оросительной сетей и сооружений на них, мелиоративным состоянием орошаемых земель и степенью их засоления, наличием дренажа. Важное значение имеет уровень обеспеченности хозяйств техникой полива сельскохозяйственных культур и различными видами ресурсов;

- принцип оптимальности, методология подхода которого позволяет получить максимальную продукцию при создавшихся ограничениях на отдельные виды ресурсов. Этого достигают выполнением всех технологических процессов в оптимальном режиме – распределение воды по оросительной сети, проведение поливов и необходимых агротехнических мероприятий и т. д., что обеспечивает своевременное маневрирование водными и трудовыми ресурсами, техникой с целью получения максимального экономического эффекта для данных конкретных условий;

- принцип непрерывности подачи крупным хозяйствам и очередности водоподачи мелким хозяйствам, предусматривающий круглосуточную подачу воды большим расходом для крупных хозяйств и поочередную мелким (фермерским) хозяйствам площадью менее 100-200 га, для которых вводят двух-четырёхтактный водооборот, что позволяет эффективно использовать оросительную воду;

- принцип комплексности планов, заключающийся в том, что планы водопользования должны включать не только забор и рациональное распределение и использование оросительной воды, но и планы ремонтных и восстановительных работ каналов, сооружений, систем автоматики и телемеханики, вспомогательного оборудования; обеспеченность мелиоративной техникой и инвентарем;

- нормативная база. При планировании водопользования обязательно используют нормативные документы, разработанные специальными научно-исследовательскими и проектными институтами. Это относится к дифференцированным режимам орошения сельскохозяйственных культур, ремонтным работам всех видов, различным машинам и механизмам, системам водоизмерения, автоматики и телемеханики, а также трудовым ресурсам с обязательным обеспечением нормальных производственных и бытовых условий их деятельности;

- научно-технические достижения. Обеспечивается внедрение научно-технических достижений в практику эксплуатации оросительных систем, использование экономико-математических методов, методов системного анализа, электронно-вычислительных машин при планировании и оперативном управлении технологическими процессами на системе.

Распределяют и используют воду во всех звеньях оросительной системы на основе внутрихозяйственного и системного планов водопользования. Оба плана должны быть увязаны между собой.

Системный план водораспределения составляют на основе планов водопользования отдельных хозяйств, увязывая их с режимом водисточника, пропускной способностью магистральных каналов, мелиоративными условиями системы.

Внутрихозяйственный план водопользования – часть производственного плана

хозяйства. Его составляют для водообеспечения каждого поля в соответствии с требуемыми режимами орошения сельскохозяйственных культур и учетом организации территории и труда. Для этого устанавливают режим орошения каждой культуры, суточные площади полива, расходы воды, подаваемые в оросительные каналы всех порядков, сроки работы каналов.

Если источник орошения полностью обеспечивает потребность хозяйства в воде, то все хозяйственные каналы работают постоянно в соответствии с графиком режима орошения. При недостатке воды в источнике орошения в общесистемном плане предусматривают введение водооборота, тогда хозяйственные каналы будут работать поочередно. Однако при этом могут ухудшаться условия водообеспечения орошаемых культур.

На оросительной системе водооборот возможен на каналах старшего порядка в маловодные годы при недостатке воды в источнике орошения, при орошении небольших площадей и малых расходах воды в каналах, из-за чего возрастают потери на фильтрацию и затрудняется распределение воды при поливах, в периоды малого потребления воды.

На оросительных системах, полностью обеспеченных водой, водооборот вводят лишь на каналах младшего порядка, внутрихозяйственных участковых распределителях, временных оросителях.

Оросительную систему рассчитывают на подачу и распределение оптимального объема воды, достаточного для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур, и объемов воды, необходимых для удовлетворения хозяйственных и коммунальных потребностей.

Расчетная водообеспеченность при проектировании оросительных систем связана с обеспеченностью источника и дефицитом водного баланса орошаемого поля.

Определение расчетной водообеспеченности оросительной системы – это оптимизационная задача, которая сводится к расчету нескольких вариантов сочетаний расчетных вероятностей превышения стока и дефицита водного баланса с учетом потребности в оросительной воде, удельных капитальных вложений и прироста чистого дохода от орошения. Оптимальную расчетную водообеспеченность оросительной системы устанавливают сравнением найденных коэффициентов эффективности с нормативными.

Потребность в оросительной воде на системе определяют на основе утвержденных для каждого административного региона режимов орошения сельскохозяйственных культур. По ним строят графики удельных расходов (гидромодули) для соответствующих севооборотов, принятых на данной оросительной системе, укомплектованные ординаты которых служат основой для расчетов вариантов и определения оптимальных параметров.

Все расчеты по водоносности источника орошения, возможной подаче и фактическому забору воды в оросительную систему выполняют для каждого месяца вегетационного периода по декадам, увязывая расходы, которые необходимо подать в оросительную систему, с расходами, которые может обеспечить источник орошения. Баланс считают увязанным, если отклонения значений этих величин не превышают $\pm 5\%$.

Внутрихозяйственный план водопользования включает следующие планы распределения оросительной воды по внутрихозяйственной системе, полива и подачи воды в хозяйство, эксплуатационных мероприятий.

Внутрихозяйственный план водопользования, подписанный руководителем, главным агрономом и гидротехником хозяйства, поступает на рассмотрение в департаменты сельского хозяйства соответствующих субъектов РФ и управления мелиорации (для хозяйств, расположенных на государственных оросительных системах).

Для составления внутрихозяйственного плана водопользования необходимо иметь лимит воды для полива культур, хозяйственных и коммунальных нужд. Если хозяйство пользуется водой от государственной системы, лимит на воду дает руководство оросительной системы. Если хозяйство забирает воду из водоемов местного значения, то оно само устанавливает лимит, исходя из водообеспеченности источника.

Внутрихозяйственный план водопользования составляет каждое хозяйство, имеющее орошаемую площадь любых размеров, независимо от конструкции системы (открытая, закрытая) и формы обеспечения водой. Все данные плана водопользования заносят в таблицы, описание которых дается в инструкциях, составляемых эксплуатационными органами.

Календарный план проведения поливов и водоподачи в хозяйства составляют для каждой сельскохозяйственной культуры с указанием площади и числа поливов, поливной нормы, водопотребления и способов полива.

В план эксплуатационных мероприятий включают текущие ремонты насосов, двигателей, дождевальных машин, гидротехнических сооружений и ремонт каналов. Составляют его ежемесячно. После окончания вегетационного периода осматривают каналы, гидротехнические сооружения и все имеющееся оборудование, а также сравнивают наличие мелиоративной техники и инвентаря в хозяйстве с его потребным количеством для проведения своевременных поливов и обеспеченность хозяйства кадрами поливальщиков, машинистов насосных станций и дождевальных машин.

Оперативные планы-заявки на воду составляют за 2-3 суток до начала очередной календарной декады. Расчеты выполняют для каждого внутрихозяйственного канала с последующим суммированием объемов воды каждого водовыдела и хозяйства в целом.

Системный план водораспределения включает ведомость расчетных расходов (уровней) источника орошения и возможных расходов в голове системы, планы забора, полива и распределения воды по системе, план эксплуатационных мероприятий.

При составлении системных планов водораспределения определяют потребность в воде отдельных хозяйств-водопользователей по каждому водовыделу и в целом по системе, согласовывают водопотребление по системе с режимом источника орошения, определяют головные расходы магистрального и межхозяйственного каналов и подачу воды хозяйствам, разрабатывают мероприятия по повышению КПД как отдельных оросительных каналов, так и системы в целом.

Для составления плана водораспределения необходимы следующие материалы: план и подробная схема системы, внутрихозяйственные планы водопользования, план системы с почвенно-мелиоративной характеристикой, ведомость расходов воды в источнике орошения по декадам, сведения о фактических потерях воды, установленные площади посевов на орошаемых землях.

План забора воды в систему составляют, суммируя данные внутрихозяйственных планов водопользования для вододелительных узлов, с определением по декадам вегетационного и осенне-зимнего периодов физической площади полива, гектарополивов, водопотребления (нетто и брутто) и расхода воды (брутто). Полученные расходы увязывают с расходами, которые может обеспечить источник орошения. Баланс считают увязанным, если отклонения значений этих величин не превышают $\pm 5\%$.

План поливов составляют с учетом каждой сельскохозяйственной культуры и указанием площади посева и срока полива. В план обязательно включают влагозарядковые поливы под озимые и яровые культуры, многолетние насаждения. Затем определяют площадь полива всех сельскохозяйственных культур, обслуживаемую данной оросительной системой, за каждую декаду и нарастающим итогом за весь вегетационный период.

План распределения воды по системам (диспетчерский график) разрабатывают на основании составленных планов забора и полива сельскохозяйственных культур. Расчеты ведут от головного участка оросительной системы через вододелительные узлы к точкам выдела воды хозяйствам по декадам вегетационного и осенне-зимнего периодов.

План эксплуатационных мероприятий предусматривает широкий комплекс работ, направленных на повышение технического уровня эксплуатации систем (проведение противофильтрационных мероприятий и увеличение КПД каналов и системы в целом, рационального распределения и использования оросительной воды, проведение всех видов ремонтных и восстановительных работ, поддержание нормального мелиоративного состояния орошаемых земель и др.).

Планы системного водораспределения реализуют при помощи диспетчерского управления водораспределением по соответствующим правилам, разработанным и утвержденным заинтересованными ведомствами с учетом конкретных условий и конструктивных особенностей объектов и оросительной системы в целом, уровня ее автоматизации и телемеханизации.

Организация правильного управления производственными и технологическими процессами (в первую очередь – водопользованием) на орошаемых землях является одной из главных проблем современной мелиорации.

Ключевыми моментами современной системы взглядов на управление современными системами и мелиоративными системами в частности являются следующие положения:

- использование принципа социальной ориентации управленческих решений в области мелиорации, выражающейся в социальной ответственности перед человеком и обществом в целом, обеспечения эффективности, занятости, прибыльности, направления части ресурсов и усилий по социальным каналам, на благо и совершенствование общества;

- применение системного подхода в управлении, рассматривающего все мелиоративные объекты и протекающие в них процессы как целостные образования, имеющие новые свойства по отношению к ее элементам;

- применение ситуационного подхода, при котором организация и методы управления должны строиться в соответствии с обстановкой, в которой находится в данное время хозяйство или орошаемый участок и способствующие их постоянному совершенствованию с ориентацией на конкретную ситуацию;

- применение инновационного подхода – целенаправленных изменений и нововведений в организационном, техническом и технологическом обеспечении орошаемого участка в соответствии с темпами научно-технического и социального прогресса и обеспечивающим ее конкурентоспособность на рынке;

- интеграции, включая вопросы согласования производства и социального развития, интеграции хозяйственных и научных организаций и т. п.;

- интернационализации, выражающейся в международном разделении труда, сотрудничестве, инвестировании, разработке международных мелиоративных проектов, а также в области экологии и охраны окружающей природной среды;

- использование элементов «теории хаоса и сложности» для управления мелиоративными объектами, предусматривающие использование методов, с помощью которых они могут эффективно справляться с неопределенностями и быстрыми изменениями современного мира.

Основные управленческие решения по функциям и задачам управления (менеджмента) орошаемых участков и оросительных систем в целом приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Основные направления совершенствования управления водопользованием на оросительных системах четвертого поколения

Функции управления	Задачи	Способы реализации и его основные характеристики	
		существующий	планируемый
1	2	3	4
Стратегическое и перспективное планирование	1 Решение социальных вопросов 2 Охрана природы 3 Обеспечение конкурентоспособности	Использование принципов: - планового ведения хозяйства; - материального и морального стимулирования; - научности управления; - ответственности; - правильного подбора и расстановки кадров; - экономичности и эффективности; - оптимального сочетания отраслевого и территориального управления; - преемственности решений и др.	Плюс использование принципов: - системного подхода; - ситуационного подхода; - социальной ориентации; - ориентации на нововведения, интеграцию; - ориентации на теорию хаоса и сложности
Организация управления и эксплуатации	1 Планирование водопользования 2 Оперативное управление поливами 3 Техническое обслуживание	- упрощенные способы расчета, - расчеты «ручным» способом, - большая трудоемкость, - низкая оперативность при внесении изменений, - ограниченность оптимизации, - сложность согласования с агротехническими и др. мероприятиями. Определение сроков и норм полива на основе «ручных» расчетов «Ручной» контроль за графиками проведения тех. обслуживания, комплектацией, материально-техническим снабжением	- использование последних научных достижений, сложных алгоритмов, оптимизационных методов; - компьютерный расчет. - использование баз данных о состоянии земель, оросительной сети, поливной и др. техники; - использование информационно-справочных систем, коммерческой информации; - автоматизация водоподдачи и дождевальной техники; - использование СППР по управлению поливами; - автоматизированный учет и контроля проведения технического обслуживания

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4
Координация и регулирование работ	<p>1 Управление персоналом</p> <p>2 Согласование проведения эксплуатационных работ с другими работами в хозяйстве</p>	<p>- приказы, - распоряжения, должностные инструкции и т. п.</p> <p>На уровне главных специалистов с помощью совещаний, «планерок», оперативного согласования</p>	<p>Плюс:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использование современных методов мотивации и коммуникации - снабжение мобильной связью. - организация компьютерной сети СППР специалистов с использованием средств оптимизации принимаемых решений; - компьютерная оптимизация
Учет, контроль и анализ работы хозяйства	1 Организация инженерно-мелиоративного мониторинга	<ul style="list-style-type: none"> - ручной отбор и анализ проб; - хранение данных в журналах; - «ручная» статистическая и аналитическая обработка результатов 	<ul style="list-style-type: none"> - организация передвижных лаборатории по проведению измерений, - организация компьютерной системы мониторинга земель и прилегающих территорий - ведение банка данных о состоянии земель. - вхождение в структуру мониторинга земель Минприроды РФ

3.2.5 Регулирование водопользованием на ОС пятого поколения

Организация рационального водопользования, в том числе управление процессами водозабора и водораспределения, контроль текущего технического состояния отдельных сооружений ОС и т. п., требует получения оперативной и достоверной информации по многим технологическим и техническим параметрам. В случае применения систем и средств автоматизации и механизации технологических процессов на ОС **пятого поколения** существенно возрастает объем технологической информации, что расширяет сферу применения средств измерения, требует создания систем обработки и передачи информации, прогнозирования водоподдачи и водопотребления и т. п., объединенных в единый системный комплекс информационного обеспечения водопользования.

В Российской Федерации и за рубежом существуют информационные технологии и модели планирования водопользования на оросительных системах, которые предусматривают получение необходимой информации о технических параметрах системы, почвенно-климатических и гидрогеологических условиях орошаемых массивов, структуре севооборотных участков и потребности в воде сельскохозяйственных культур. В созданных ранее компьютерных программах недостаточно учитывались конструктивные особенности оросительных систем, техническое состояние оросительной сети; динамические изменения гидравлических параметров каналов во времени, рассредоточенность и удаленность объектов регулирования, изменчивость параметров

водоподачи в пространстве и времени, информационные базы данных, интегрированные с новыми моделями нормирования водопотребления сельскохозяйственных культур, закономерности распределения водных ресурсов по системе оросительных каналов, наличие различных иерархических уровней системы управления водораспределением. Кроме этого, необходимо отметить, что в настоящее время развитие методов численной реализации уравнений Сен-Венана, разработанных в институте гидродинамики СО АН СССР (1976 г.) и отлаженные в системе автоматизированных систем управления технологическими процессами в ВЦ ЮжНИИГиМ (1986 г.) на техническом оборудовании указанного временного периода, требует больших капитальных вложений, высокого технического уровня и оснащенности оросительных систем. Наиболее целесообразно развивать систему диспетчеризации водораспределения в оросительных системах, используя методы теории подобия для обобщения решений уравнений Сен-Венана на основе современных информационных технологий и персональных компьютеров.

Для организации водопользования на территории, обслуживаемой оросительными системами пятого поколения, требуются принципиально иные технологии и технические средства получения оперативных и достоверных данных о состоянии мелиоративных объектов, основанные на новых разработках в области информационного обеспечения производственных процессов.

Информационное обеспечение оросительных систем, по сути, есть совокупность технологий, методов и средств получения информации, необходимой для организации и выполнения производственных процессов в объектах ОС. При математическом моделировании **(286)** процессов водопользования на оросительных системах пятого поколения, как правило, используется метод декомпозиции, т. е. замены отдельных элементов ОС на иные, математически детерминированные и соответствующие технологическим особенностям реальных ОС [33] (приложение Б).

Процессы управления водозабором и водораспределением предполагают непрерывный обмен информацией между объектами ОС и центральным диспетчерским пунктом (ЦДП) **(228)** [31] (приложение Б). Поток информации, передаваемый на ЦДП, характеризует текущее состояние объектов, обратный поток информации содержит команды управления технологическими процессами на объектах ОС. Таким образом, имеет место неразрывная функциональная, техническая и организационная взаимосвязь систем управления и информационного обеспечения водопользования.

Поскольку ранее принято функциональное деление ОС на технологические модули, целесообразно разделение комплекса задач информационного обеспечения на группы. В отечественных вариантах систем управления водопользованием было апробировано разделение системы информационного обеспечения на следующие подсистемы:

- подсистема оперативного контроля, управления, краткосрочного прогнозирования и принятия решений (ОКУ);
- подсистема долгосрочного и текущего учета, анализа, отчетности (учет и отчетность);
- подсистема долгосрочного планирования и прогнозирования.

Для реализации функций информационного обеспечения, возложенных на каждую подсистему, определены унифицированные комплексы основных задач. Решение этих задач производится в комплексе всей системой информационного обеспечения. Ниже приведен сводный перечень задач информационного обеспечения водопользования:

1 Водозабор.

1.1 Прием лимитов водозабора от вышестоящих или смежных подсистем (уровней) управления.

1.2 Обнаружение, оперативное отображение и сигнализация отклонений технологических параметров.

1.3 Измерение технологических параметров, их оперативное отображение и регистрация.

1.4 Формирование и осуществление регулирующих воздействий.

2 Водоочистка.

2.1 Контроль уровня отложения наносов.

2.2 Контроль предельного скопления плавника.

2.3 Контроль предельного скопления шуги.

2.4 Контроль температуры воды и воздуха, скорости течения воды.

3 Водоподача.

3.1 Измерение и сигнализация изменений уровней воды в контрольных створах водораспределительной сети.

3.2 Измерение и регистрация потерь воды на фильтрацию и испарение.

3.3 Обнаружение и сигнализация предаварийных и аварийных ситуаций.

3.4 Измерение и сигнализация изменений давлений в контрольных точках напорной водораспределительной сети.

3.5 Измерение расходов в контрольных створах.

3.6 Контроль и сигнализация предельных отклонений уровней воды от заданных значений в начальном и конечном створах сооружений.

3.7 Измерение и сигнализация уровней (давления) воды в водобалансовых створах.

3.8 Подготовка и передача информации в смежные подсистемы и(или) уровни управления, регистрация ее для учета и отчетности.

4 Регулирование стока.

4.1 Прием информации о гидрологической обстановке на водоисточниках.

4.2 Измерение технологических параметров, их оперативное отображение и регистрация.

4.3 Сбор исходной информации об изменениях технологических параметров на объектах.

4.4 Формирование и осуществление регулирующих воздействий.

5 Вододеление.

5.1 Получение от вышестоящих или смежных подсистем (уровней) лимитов (заданий, установок) на водовыдел.

5.2 Формирование и осуществление регулирующих воздействий.

5.3 Контроль технологических параметров подсистемы, их оперативное отображение и регистрация.

5.4 Контроль состояния гидроузлов.

Анализ приведенного комплекса задач позволяет провести типизацию функциональных модулей СИО с целью структурирования технологических и информационных задач. Предлагаются следующие типы модулей:

- модуль I. Блок формирования и преобразования базы данных о плановых (задаваемых) параметрах работы объектов или его фрагментов;

- модуль II. Блок формирования и осуществления регулирующих воздействий;

- модуль III. Блок измерения и контроля технологических параметров, их оперативного отображения и регистрации;

- модуль IV. Блок контроля и сигнализации предельных отклонений технологических параметров от допустимых значений;

- модуль V. Блок подготовки и передачи информации в смежные подсистемы.

Если формализовать решаемые модулями информационные задачи в типовые операции контроля и управления на объектах ОС, можно определить перечень информационных задач, решаемых фрагментами СИО на конкретных объектах ОС.

Модули I и II являются исполнительными по отношению к ЦДП-ВЦ и управляющими по отношению к объектам ОС, оборудованных КТС модулей II, III и IV. Вследствие этого перечень решаемых ими задач включает формирование и трансформацию массивов входных и выходных данных, поступающих, в свою очередь, с контролируемых объектов. В зависимости от условий эксплуатации объектов ОС и применяемых комплексов технических средств (КТС), информационные задачи по модулям могут конкретизироваться и уточняться.

Для решения общесистемных задач подсистемы обрабатывают массивы данных, поступающих с объектов ОС и иных источников. Информационной базой во всех случаях служат оперативные данные замеров технологических параметров, результаты промежуточных расчетов режимов работы и дополнительная информация о гидрометеорологических и иных параметрах.

Перечень задач оперативного контроля и управления водопользованием (ОКУ) реализуемый на оросительных системах пятого поколения приведен ниже:

1 Краткосрочное динамическое прогнозирование поступления воды:

- расчет прогнозируемых величин среднесуточных расходов в поверхностных водоисточниках (информация гидрометеослужбы о среднедекадных расходах воды в водоисточнике, прогноз внутридекадных изменений метеоусловий);

- расчет запасов воды в аккумулирующих емкостях (БСР, в бьефах канала) (информация о текущих замерах технологических параметров водохранилищ, бассейнов декадного регулирования (БДР), бассейнов суточного регулирования (БСР), подпорных бьефов каналов);

- расчет прогнозируемых величин поступления возвратных вод (замеры уровней воды в наблюдательных скважинах и расходов воды на балансовых гидростаях);

- расчет прогнозируемых величин инфильтрации в канале (замеры уровней воды в наблюдательных скважинах и расходов воды на балансовых гидростаях);

- расчет прогнозируемых величин поступления сбросных вод (информация о площади и количестве выпавших осадков и др.);

- расчет прогнозируемых запасов подземных вод и их использование на орошение (Информация об уровне стояния грунтовых (подземных) вод).

2 Краткосрочное прогнозирование потребления воды:

- прогноз изменений потребностей в воде по отдельным водопотребителям (краткосрочный синоптический прогноз и информация о запасах воды и предполагаемых сроках полива);

- расчет корректировочных изменений водораспределения по заявкам водопотребителей (внутридекадные заявки водопотребителей на изменение водоподачи);

- расчет оперативных ограничений на водопотребление (водоподачу) (информация об имеющихся приоритетах, технологических, технических и директивных ограничениях).

3 Водобалансовые расчеты по оптимизации оперативных планов водопользования:

- расчет оперативных планов водораспределения (результаты решения задач краткосрочного прогноза поступления и потребления воды):

- а) расчеты командных горизонтов воды (гидравлические характеристики каналов и сооружений);

- б) расчеты по режимам промывки наносов, плавника, шуги (информация о предельном состоянии каналов, плавника, шуги и т. д.);

- расчеты оперативных планов водораспределения с учетом неустановившихся (переходящих) режимов (время подхода волн перемещений расходов воды по участкам каналов между водорегулирующими сооружениями);

- а) расчет переходных процессов в каналах (величина попуска расхода воды, гидравлические характеристики каналов):

- расчет графиков оперативного управления водораспределением;
- расчет оптимизации режимов работы гидроузлов (технические и режимные характеристики);

- расчеты по оптимизации режимов работы линейных сооружений (технические и режимные характеристики и ограничения);

- реализация управляющих воздействий (диспетчерские графики управления водораспределением).

5 Оперативный контроль и регистрация управляющих воздействий:

- прием, обработка и отображение технологической информации (замеры технологических параметров циклически или по вызову);

- расчет величин отклонений технологических параметров (результаты решения предыдущей задачи);

- расчеты по компенсации отклонений за счет внутренних резервов гидроучастка (замеры технологических параметров, лимиты на водоподачу, ограничения на входе и выходе гидроучастка);

- регистрация управляющих воздействий и хода технологического процесса (результаты контроля и действий диспетчера (управлений)).

6 Ситуационный анализ:

- контроль и анализ состояния гидромеханического и гидрометрического оборудования (результаты контроля технологических параметров и предупредительная сигнализация);

- прогнозирование аварийных ситуаций (статистические данные о скорости наращения паводков, приращениях уровней воды в бьефах каналов и сооружений; информация о состоянии линий связи и электроснабжения);

- анализ причин возникновения аварийных ситуаций (результаты регистраций управляющих воздействий в предаварийные, аварийные и послеаварийные периоды).

Следует отметить, что методология диспетчерского управления при регулировании водопользованием на оросительных системах пятого поколения может быть основана на типизации условий течения жидкости между двумя перегораживающими сооружениями, а также на разработке систем унификации каналов и их режимов с использованием теории подобия [78, 79], т. е. комбинаций безразмерных параметров, определяющих характеристики неустановившегося движения тяжелой, несжимаемой, вязкой жидкости в каналах. Это числа подобия Фруда, Рейнольдса, Эйлера и Струхала, которые превращаются в критерии в том случае, когда входящие в них параметры можно предсказать заранее. Для получения зависимостей между числами и критериями подобия, реализуется математическая модель движения жидкости в каналах с использованием системы уравнений Сен-Венана.

Одним из немаловажных критериев ОС, характеризующих их отношение к оросительным системам **пятого поколения**, является техническая и информационная возможность реализации принципа платного водопользования, когда объектом экономических отношений, т. е. товаром является вода. Если реализовать платные услуги по подаче воды потребителю в той или иной степени возможно на оросительных системах **третьего и четвертого поколений**, то учесть стоимость воды, которая будет в динамике зависеть от ее качества возможно только на информационно ориентированных оросительных системах пятого поколения.

3.3 Организация водоучета

При эксплуатации оросительных систем, отнесенных нами ко **второму поколению**, появились первые технические средства (водомерные рейки, тарифовочные шкалы, мерные сосуды на водяных колесах и др.) по учету подаваемой каждому потребителю воды (**208**) и правила ее распределения, которые легли в основу развития правил использования водных ресурсов. Учет оросительной воды водопользователями в основном осуществлялся по количеству орошаемых земель, которые эксплуатировались тем или иным водопользователем. В точках водосбора фактический объем оросительной воды распределялся между водопользователями по принципу имеющихся площадей под выращиваемыми сельхозкультурами [31] (приложение Б).

Формирование и структурирование различных способов информационного обеспечения водопользования, включающих водоучет и водоизмерение, началось с созданием достаточно крупных ОС третьего поколения. Первые системы управления технологическими процессами на ОС и у нас и за рубежом по существу были системами сбора и обработки информации, назначение которых заключалось в накоплении и визуальном представлении данных.

Развитие новых экономических отношений и многообразие форм собственности, существенное снижение технического и производственного потенциала мелиоративной отрасли определяют необходимость разработки принципиально иных форм и методов метрологического обеспечения процессов водопользования. В наибольшей мере это относится к области водоучета и водоизмерения на оросительных системах и объектах.

Стратегия развития систем водоучета в мелиорации на протяжении последних десятилетий претерпела ряд этапов развития.

Исследованиям особенностей ОС, разработке методов измерений и технических средств водоучета посвящены работы А. И. Авдеева, Я. В. Бочкарева, М. В. Бутырина, К. Л. Валентины, А. Ф. Киенчука, П. И. Коваленко, В. Е. Краснова, В. Ф. Малярчука, Н. Ф. Натальчука, В. Б. Овчарова, Х. С. Тяна, Е. Г. Филиппова, И. Б. Хамадова, Хан Ин Бона и других ученых.

В отечественной и мировой практике развития эксплуатационной гидрометрии выделяются три этапа, имеющие в своей основе различные методы и средства измерений.

Действующая классификация сводит все методы водоизмерения на открытых водотоках в две группы:

- использующие существующие прямолинейные участки каналов и некоторые типы ГТС;
- требующие строительства специальных гидрометрических сооружений или установки дополнительных водомерных устройств.

Реализация первой группы средств водоучета основана на широком использовании либо сложных электронных средств измерений с автоматической обработкой получаемой информации, либо трудоемких операций с обязательным применением ручного труда. Однако в этих случаях применяются простые конструкции гидростов по типу «фиксированное русло».

Реализация второй группы основана на использовании простейших, в том числе и механических средств измерений для непрерывных или дискретных наблюдений на специальных гидрометрических или некоторых типах гидротехнических сооружений, включая водомерные приставки к существующим щитовым регуляторам расхода.

Первоначальный этап оснащения ОС водомерными устройствами реализовывался на основе второй группы методов измерений. Для создания средств водоучета разрабатывались специальные типы и конструкции гидрометрических сооружений, а также выявлялись типы существующих ГТС (**25-30, 36, 41, 45, 52-65**), которые могли

служить первичными измерительными преобразователями «уровень-расход», «перепад-расход». Таким образом, единственным измеряемым параметром при свободном течении воды являлся либо ее уровень, либо перепад уровней. В качестве измерительных средств использовались водомерные рейки, поплавковые самописцы, дифманометры, а позднее – датчики уровня или перепада уровней [31-33] (приложение Б).

С конца 40-х до начала 80-х годов нашего столетия осуществлялся второй этап развития средств водоучета – реализация первой группы методов измерений. В этот период бурного развития радиоэлектроники и вычислительной техники велись интенсивные разработки электронных расходомеров для открытых потоков. Были созданы точечные электромагнитные измерители скорости, ультразвуковые расходомерные установки, в том числе устройства с реализацией радиоактивного метода и др.

С начала 80-х годов до сегодняшнего дня осуществляется третий этап развития средств водоучета – постепенный возврат ко второй группе методов измерений с частичным сохранением первой группы (в безальтернативных случаях или при экономической эффективности их использования) [80]. В этот период устанавливаются границы эффективного применения электронных расходомеров и интенсифицируется разработка специальных гидрометрических сооружений, расширяющих диапазон их использования или улучшающих их метрологические характеристики. Причем водовыделы в фермерских хозяйствах оборудуются, как правило, гидрометрическими сооружениями или устройствами с регистрацией измеряемого параметра на носителе информации, удобном для ввода данных в ЭВМ. Таким образом, в настоящее время реализуется концепция развития гидрометрии с использованием всех методов измерения, но с четким разграничением эффективности использования технических решений по первой и второй группам методов измерений.

В последние годы в нашей стране в связи с развитием новых хозяйственных отношений начал проявляться интерес к организации коммерческого водоучета на ОС, являющегося основой осуществления платного водопользования [81-91]. Такой подход вызывает необходимость концептуальных изменений принципов организации водоучета и кардинальной перестройки в оснащении водохозяйственных систем средствами водоучета, водоизмерения, в том числе и автоматизированными.

Проведение автоматизации технологических процессов с целью создания АСУ ТП ОС создало организационные и технические предпосылки создания системного водоучета и его трансформации в информационно-советующую подсистему управления водопользованием (204) [31] (приложение Б).

По качеству оборудования оросительных систем средствами водоучета, управления и контроля технологических процессов минимальному уровню технического оснащения соответствует группа ОС третьего поколения с телефонной или радиосвязью между диспетчером и узлами вододеления. Гидротехнические сооружения на водоводах таких ОС оборудованы затворами с ручным или электрическим приводом подъемников и уровнемерными рейками. При необходимости регулировка сооружений производится по указанию диспетчера. Отбор воды на головном сооружении и распределение его водопотребителям происходит в соответствии с корректируемым планом водопользования.

При минимальном уровне технического оснащения средствами водоучета процесс управления водораспределением с целью экономии водных ресурсов не рассматривается, а ручное управление применяется только для поддержания необходимых горизонтов воды в створах водоотбора и недопущения возможности возникновения аварийных ситуаций.

На ОС с минимальным уровнем технического оснащения (второго поколения) применяются главным образом простейшие средства водоучета (речные), от которых

нереально требовать общую погрешность измерения расходов, не превышающую 4-5 %. Связь между средствами водоучета и средствами управления водораспределением здесь отсутствует, а средства водоучета играют традиционную и единственную роль – водоизмерения. На таких системах сбрасывается до 50 и более процентов оросительной воды.

Минимальный уровень оснащения ОС техническими средствами отвечает большинству существующих оросительных систем, на которых не проводилась реконструкция (оросительные системы 3 поколения).

Может ли на ОС с минимальным уровнем технического оснащения появиться стимул для совершенствования процесса водоизмерения и организации экономии водных и энергетических ресурсов. По-видимому, ответ будет положительным только в случае введения платы за воду или системой штрафов. Только в том случае взаимоотношения между водохозяйственными организациями и водопотребителями будут строиться на коммерческой основе и последние будут заинтересованы в оснащении пунктов водовыделов точными и часто дорогостоящими водоизмерительными приборами и средствами телемеханики для реализации процессов управления водораспределением.

Таким образом, уровень технического оснащения ОС **третьего поколения** элементами, характерными для систем **четвертого поколения**, будет определяться экономической целесообразностью, а не заботой о поддержании или восстановлении экологического равновесия.

Принятие закона РФ «О техническом регулировании» положило начало кардинальных изменений в системе нормирования и технической реализации всех видов производства. Применительно к системе водоучета на мелиоративных объектах более четкое определение правовых основ метрологического обеспечения водоизмерения и осуществления учетных операций дано в новом федеральном законе «Об обеспечении единства измерений». Реализовать представленные в нормативно-правовых актах требования возможно лишь с использованием технических средств и технологий, характерных для оросительных систем **четвертого поколения**.

Для обеспечения водозабора, транспорта воды и водораспределения используются многочисленные комплексы гидротехнических сооружений различного функционального назначения. При создании системного водоучета и водоизмерения существенное значение имеет оценка их влияния на работу специализированных измерительных устройств или возможностей использования в качестве водомерных сооружений. Компонентом АСУТП ОС являлась подсистема сбора и обработки данных (ССОД). Функционально ССОД может характеризоваться структурной моделью водоучета, предложенной в работе по технологиям водоучета А. В. Филончикова.

На ОС со средним уровнем технического оснащения могут применяться водомерные устройства более современные, чем речные.

Управление в этом случае осуществляется дистанционно с помощью средств телемеханики, позволяющих повысить оперативность управления. Возможна локальная автоматизация отдельных сооружений, что по существу не меняет качества управления.

По качеству оборудования оросительных систем средствами водоучета, управления и контроля технологических процессов среднему уровню технического оснащения соответствует группа ОС со связью между диспетчерским пунктом и узлами водodelения с помощью средств телемеханики, позволяющими манипулировать затворами сооружений на расстоянии. Реализация плана водопользования и учет водопотребления осуществляется диспетчером с частичным привлечением линейного персонала.

Диспетчерский пункт ОС четвертого поколения оборудуется средствами телемеханики для управления затворами регулирующих сооружений (235-237) [32, 69] (приложение Б).

Структурная модель водоучета на оросительных системах четвертого поколения представлена на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Структурная модель водоучета на оросительных системах четвертого поколения

За рубежом системы обработки данных представлены в виде управленческих информационных систем (УИС), которые разрабатывались и продолжают разрабатываться для различных областей применения, включая управление орошением. В отечественной практике применялись варианты УИС, которые либо являлись компонентом АСУТП ОС, либо под названием ССОД технологической подсистемой комплексной системы управления процессами водозабора и водораспределения на ОС.

В последнее время появились новые информационные технологии, такие как геоинформационные системы (ГИС). ГИС-технологии позволяют отображать пространственные данные о географических объектах и непространственные признаки этих объектов, что логично вписывается в функциональную структуру ССОД, но по техническому уровню соответствует оросительным системам **пятого поколения**.

Новый подход к вопросам проектирования, эксплуатации и реконструкции ОС предполагает рассмотрение систем управления водораспределением и систем водоучета как единого технологического комплекса с применением стандартизированных средств измерения расходов и объемов воды.

Требование совместного рассмотрения систем водоучета и управления водораспределением только на первый взгляд представляется очевидным. На самом деле это требование получило обоснование в результате анализа гидравлических режимов движения воды в разветвленной системе каналов ОС при поливе дождеванием. Процесс запуска дождевальных агрегатов и процесс их остановки по своей временной протяженности соответствует периоду переходных гидравлических режимов с неустановившимся течением. Применение в этом случае традиционных средств измерения расходов воды не учитывают особенностей течения и дают большие погрешности в измерении расходов.

Таким образом, системный водоучет предполагает многоуровневую структуру оценки технического оснащения существующих ОС с поэтапным подход к вопросам их реконструкции, начиная от некоторого минимального уровня технического оснащения, при которой нет связи между средствами водоучета и средствами управления (в данном случае ручного), до некоторого максимального уровня технического оснащения, при котором средства водоучета и управления водораспределением взаимосвязаны и работают согласованно как единый комплекс, с реализацией в виде полностью автоматизированных (автоматических) ОС.

Максимальный уровень технического оснащения ОС, соответствующий ОС пятого поколения, средствами водоучета и управления характеризуется наличием резервных емкостей и оснащением регулирующих сооружений автоматическими устройствами, способными обеспечить водораспределение «по плану» или «по требованию» в пределах графика водопользования без участия диспетчера, используя принцип саморегулирования.

На ОС пятого поколения связь между средствами водоизмерения и управления водораспределением взаимообусловленная. Сооружения оборудованы автоматическими регуляторами уровней и расходов и работают с использованием принципа обратной связи без привлечения персонала.

С помощью средств телемеханики осуществляется централизованный контроль и автоматическое управление водораспределением при любых режимах эксплуатации без сброса оросительной воды. В качестве средств водоучета применяются дорогостоящие стандартизированные устройства, обеспечивающие 4-6 %-ную точность, независимо от характера течения воды в каналах системы (установившегося или не установившегося).

Основой современных аспектов проектирования, эксплуатации и реконструкции оросительных систем **пятого поколения** являются системы учетного (коммерческого) и технологического водоучета, предназначенные для динамического сбора, анализа и переработки информации в границах рассматриваемой оросительной системы для целей водоизмерения и управления водораспределением. Система коммерческого водоучета предназначена для измерения расходов воды с точностью, необходимой для удовлетворения условиям платного водопользования (платные услуги за подачу воды, плата за воду как за ресурс). Система технологического водоучета предназначена для

целей оптимального управления технологическими процессами водоподачи и водоотведения при максимальном удовлетворении потребностей в воде водопотребителей и при минимальном нанесении ущерба окружающей среде. Системы коммерческого и технологического водоучета процесса эксплуатации и реконструкции существующих и проектирования новых оросительных систем реализуются в виде системных схем, включающих схемы управления технологическими процессами водоподачи и водоотведения от головного водозаборного сооружения до орошаемого поля.

Выбор метода измерения расхода воды зависит от типа проектируемой или реконструируемой водохозяйственной системы, от типа водозаборов, входящих в состав ее основных элементов, и от технических требований по ее эксплуатации. Численное значение погрешности измерения зависит от проектируемого типа системы водоучета. В системах технологического водоучета допустимая погрешность измерения должна устанавливаться проектом и может не соответствовать требованиям, предъявляемым Госстандартом РФ, достигая значения $\pm 10-15 \%$. В этом случае выбор метода измерения будет определяться техническими характеристиками водотоков, максимальными расходами воды и требованиями эксплуатации.

Основная доля непроизводительных сбросов и потерь оросительной воды в водопроводящей и водораспределительной сети ОС является следствием несовершенства (или отсутствия) технологии водораспределения и соответствующих ей атрибутов: управления и водоучета. Приведение в соответствие режимов водозаборов и водопотребления уменьшит нетехнологические сбросы воды и исключит возникновение на системе аварийных ситуаций.

Для службы эксплуатации необходимо иметь сведения о потерях на испарение и фильтрацию из каналов и балансовую информацию для статотчетности. Сведения о потерях собираются эпизодически. Выполнять их сбор можно гидрометрическими методами как на естественных водотоках.

Для статотчетности следует использовать методы косвенного определения расходов, используя для этой цели главным образом средства управления и контроля уровней, а не устанавливать дополнительно специальные средства измерения.

Создание параллельных систем управления и водоучета на оросительной сети с регулированием по уровню не является технологической необходимостью. В то же время наличие информации о расходах в этой сети может быть полезной. Однако, эти вопросы нужно решать экономическими методами.

В результате совместного рассмотрения систем управления и водоучета можно минимизировать количество створов размещения водомерных устройств и обосновать их технологическую необходимость.

В изолированном виде ни система управления, ни система водоучета не являются эффективными, т. е. все устанавливаемые на сети средства водоучета являются элементами системы управления, даже если это управление ручное. Окончательное решение о створах размещения, типе технологических параметрах, конструктивных особенностях и количестве створов размещения должно приниматься на основании технико-экономического сравнения вариантов.

Таким образом, подводя итог анализа развития средств водоучета можно заметить, что существующая техника и организация гидрометрических работ на ОС нуждаются в значительном улучшении. Наиболее распространены сегодня методы косвенного измерения расхода (с помощью рейки и вертушки). При этом погрешности в измерениях достигают 10-25 %.

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 водо-

учета 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.

В числе технически совершенных и перспективных средств измерения расходов воды можно выделить уровнемеры акустические ЭХО-3, ЭХО-5, УА-1, средства измерения скорости – микровертушка ГМЦ-1, ультразвуковой измеритель ЛИС-5; расходомеры ультразвуковые УЗР-В, УРС, РУМ-1, расходомер электромагнитный «Эрис», ПУВ-2Е и некоторые другие приборы и оборудование [92-94].

Как правило, технические средства измерений расходов являются составной частью специализированных гидрометрических сооружений, которые также совершенствуются в направлении создания номенклатуры типовых ГТС.

3.4 Программированное выращивание урожая сельскохозяйственных культур

В отличие от традиционных рекомендаций по выращиванию сельскохозяйственных культур рассчитанных, как правило, на среднесезонные агрометеорологические условия, на которые проектировались оросительные системы, отнесенные нами к **третьему поколению**, выращивание урожая по заданной программе позволяет оперативно учитывать изменения условий внешней среды и принимать соответствующие решения по оптимизации основных факторов жизни растений.

Программированному выращиванию урожаев предшествовала большая селекционная работа, в результате которой в 60-70-е годы XX века были созданы новые высокопродуктивные сорта сельскохозяйственных культур и разработаны интенсивные технологии их выращивания, включающие орошение, применение высоких доз минеральных удобрений и различных ядохимикатов. Однако наряду с увеличением объемов продукции растениеводства интенсивные технологии способствовали развитию негативных процессов в ландшафтах, таких как вторичное засоление почв, загрязнение открытых водных систем и грунтовых вод биогенными веществами и пестицидами, снижение видового разнообразия растений и животных и др., что привело к ухудшению общей экологической ситуации.

Использование метода планирования эксперимента в 80-х гг. XX в. при постановке полевых опытов позволило исследователям построить производственные функции (эколого-статистические модели), отражающие зависимость продуктивности и качества сельскохозяйственной продукции от управляемых факторов. Разработанные модели позволяют определить роль каждого фактора в процессе формирования урожая и (на основе аналитических методов) найти оптимальные соотношения и уровень факторов, определяющих максимальное значение целевой функции в пределах исследуемого пространства факторов. Полученная информация была ориентирована на использование для коррекции параметров контрольно-технологических карт и создания на их основе информационно-советующих систем для управления технологиями выращивания сельскохозяйственных культур.

Использование производственных функций для расчета урожайности сельскохозяйственных культур и определения уровней факторов, ее определяющих, а также экономической целесообразности применения отдельных агромелиоративных мероприятий и технологии в целом, оказалось в то время весьма ограничено. Однако при наличии данных о величине продуктивности на контроле (без удобрений) расчеты можно было проводить на прибавку урожайности от удобрений, что позволило расширить сферу использования производственных функций при условии идентичности метеоусловий месту проведения полевого эксперимента.

Авторы разработки программированного выращивания урожая [95] отмечают, что, несмотря на значительную часть работы по программированию технологии возделывания сельскохозяйственных культур, которая осуществляется на ЭВМ (режимы орошения и удобрения, прогноз урожайности и оптимальным срокам уборки, расчету фенофаз), основная часть работы по планированию агрокомплекса не требует применения ЭВМ и может быть осуществлена на основе принципов программирования непосредственно специалистами хозяйств, а для удаленных от вычислительных центров хозяйств вообще предлагалось вести программирование на основе алгоритмов планирования агрокомплекса. Таким образом, для уровня оросительных систем третьего поколения все разработки по программированию урожая на орошении соответствовали технологическому уровню разработанных ранее интенсивных технологий с элементами математического моделирования. Отсутствие соответствующей и весьма дорогостоящей технической оснащенности, позволяющей в динамике отслеживать агрометеорологические, гидрологические и почвенные параметры, даже при наличии компьютерных программ, явилось основной причиной провала в этом направлении. При практической реализации такой подход давал многочисленные сбои, расчеты и модели не работали и в итоге работы в этом направлении в нашей стране постепенно прекратились. Такая ситуация явилась причиной технического и технологического отрыва в отечественной практике использования информационных технологий в сельском хозяйстве и непосредственно в орошаемом земледелии.

Первые практически применимые элементы технологии программирования урожая появились за рубежом в конце 90-х гг. XX в. и первом десятилетии XXI в. Они включают оборудование и программное обеспечение по определению урожайности, необходимости внесения удобрений, проведения поливов, в количественных выражениях и динамике непосредственно на конкретных участках поля и с привязкой координат в системе GPS. Такое оборудование, как правило, устанавливается на уборочной технике, гидроподкормщиках, поливной технике, мобильных лабораториях и др., с оперативной передачей информации, ее визуализацией на центральный компьютер. Далее автоматически вносятся соответствующие изменения в работу оборудования (комбайнов, планировщиков, аппаратов для внесения удобрений, ДМ и пр.) с расчетами и выдачей доз удобрений, объемов поливной воды и выполнением объемов работ для каждого конкретного участка поля.

В последние годы активно развиваются информационные технологии управления процессами выращивания урожая, базирующиеся на использовании оптимальных параметров факторов, влияющих на продуктивность сельскохозяйственных культур. Исследование таких сложных биологических процессов, в ходе которых участвуют и взаимодействуют многие факторы, весьма трудоемкая задача, поэтому существенное значение приобретает методологическое обеспечение планирования и постановки экспериментов по изучению влияния факторов внешней среды на рост и развитие растений с целью определения их оптимальных значений и сочетаний. Такая система получила название системы точного земледелия и по праву может быть отнесена к технологическому уровню оросительных систем **четвертого поколения**.

Изучение взаимодействия и взаимного влияния большого числа управляемых технологических и неуправляемых экологических факторов, определяющих как продуктивность, так и качественный состав биомассы растений и хозяйственно полезных органов, возможно лишь при постановке многофакторного эксперимента, адекватной методической основой которого может служить математическая теория планированного эксперимента. Однако методологическая основа постановки и проведения вегетационных и полевых опытов с использованием метода математического планирования эксперимента разработана недостаточно. При этом метод программированного выра-

щивания урожая (ПЕУ) выполняет функции агромониторинга, или оперативного контроля за состоянием орошаемого земледелия в целом, позволяя своевременно обнаружить и устранить недоработки и тем самым обеспечить увеличение урожая при рациональном использовании энергетических ресурсов и соблюдении экологической безопасности.

Однако имеющийся опыт выращивания сельскохозяйственных культур по заданной программе и анализ производственной технологии показали, что выполнение рекомендаций программированного выращивания урожая не носит системного характера и не может быть осуществлено на технической и технологической платформе оросительных систем третьего поколения. Это обуславливает необходимость применения сложной системы управления формированием урожая с учетом взаимодействия технологических операций, процессов роста и развития растений, состояния окружающей среды на основе программного обеспечения.

При разработке научно обоснованной методики определения уровней программируемых урожаев в современной практике реально используются следующие две категории, имеющие наибольшее значение с точки зрения практики – потенциальный и действительно возможный:

- потенциальный урожай (ПУ) – урожай, который может быть получен в идеальных почвенно-климатических условиях и зависит только от прихода фотосинтетической активной радиации (ФАР) и биологических особенностей культуры и сорта;

- действительно возможный урожай (ДВУ) – это максимальный урожай, который можно получить в реальных метеорологических и почвенных условиях при гарантии материально-технических ресурсов.

Задача программирования – перевести производство на получение действительно возможных высоких и устойчивых урожаев.

Современный подход к разработке агротехнологического комплекса должен быть ориентирован на реализацию принципов адаптивно-ландшафтного земледелия, которые предусматривают индивидуальный подход к разработке этого комплекса для каждого конкретного поля с учетом погодных условий и микроклимата посева. Для разработки в хозяйствах контрольно-технологических карт такого уровня необходимо иметь не только высокую квалификацию агрономического персонала, но и располагать значительным объемом информации. Ведь основной принцип технологии программирования урожаев – каждому полю индивидуальную технологию. При этом следует учитывать ошибки прошлого и четко знать, что рядовой агроном-практик не в состоянии справиться с этой задачей, поэтому разработка научно обоснованного агротехнологического комплекса должна базироваться на использовании современных информационных технологий и компьютерной техники, а также с использованием техники, которая бы позволяла оперативно в автоматическом режиме реализовывать расчеты непосредственно в поле.

3.5 Контроль мелиоративного состояния орошаемых земель

В развитии орошения земель можно выделить несколько этапов, в каждом из которых решались те или иные конкретные задачи. Причем с техническим и технологическим усложнением оросительных систем увеличивалась техногенная нагрузка на окружающую среду и непосредственно на эксплуатируемые земли. Если оросительные системы **первого и второго поколений** по своему воздействию на природу были не в состоянии серьезно нарушить сложившийся баланс, то оросительные системы **третьего поколения** вследствие резкого увеличения обслуживаемых им площадей и используемых интенсивных технологий сложившуюся ситуацию изменили на прямо противоположную.

В связи с этим и рассмотрение истории развития методов контроля мелиоративного состояния орошаемых земель и причин, породивших это направление, а также анализ принимаемых решений и последствий их реализации целесообразно производить поэтапно.

1890-1918 гг. – этот период характеризуется началом широкого развития орошения в бассейне Аральского моря. К 1885-1895 гг. Отделом Земельных Улучшений (ОЗУ) Министерства земледелия и государственных имуществ было разработано 4 крупных проекта орошения земель на общей площади 440 тыс. га, в том числе 394 тыс. га в Голодной степи. В 1907-1908 гг. под руководством Г. К. Резенкампа были выполнены изыскания и составлены проекты орошения земель на общей площади 590 тыс. га [65, 76, 77].

Реализация этих проектов началась со строительства в 1890 г. канала им. Императора Николая I, предназначенного для орошения 10 тыс. га в Голодной степи. В 1913 г. был введен в строй Романовский канал (в систему которого вошел канал им. Николая I) для орошения 71 тыс. га. В соответствии с проектами возмещение стоимости мелиоративного и водохозяйственного строительства должно было произойти за 16 лет [65]. Однако этого не произошло. Уже в самом начале орошения земель обнаружились явные тенденции ухудшения гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий и несоответствия достигнутых показателей (в том числе урожайности) проектным данным.

Причины ухудшения почвенно-мелиоративного состояния и развитие процессов засоления орошаемых земель своевременно не были проанализированы, а выход из создавшегося положения, к сожалению, нашли в широком использовании переложной системы земледелия, когда вместо выведенных из строя засоленных и заброшенных земель осваивались новые участки. Эффект от применения подобных мер в целом был отрицательный.

Это объективное заключение по сути дела определило пути развития орошения в Средней Азии вплоть до 1950 г. Освоение земель Голодной степи наглядно показало, что опыта орошения засоленных и подверженных засолению земель ни в России, ни в Средней Азии не было. Более того, для успешного освоения новых земель не хватало ни знаний, ни исходной информации.

В связи с этим, при учреждении в 1912 г. гидромодульной части, основное внимание было уделено изучению и разработке техники и технологии орошения земель, которые, как показал первый опыт, неразрывно связаны с особенностями природных и хозяйственных условий и требовали серьезного теоретического обоснования. Мелиорация же как наука в этот период только-только начала формироваться и не располагала теорией регулирования природных процессов, а имеющийся разрозненный опыт не был изучен и систематизирован. Использование зарубежного опыта в большинстве случаев было невозможно в силу существенных различий природных, социальных и экономических условий России. Поэтому программа развития орошения в Средней Азии, подготовленная гидромодульной частью, предусматривала в ближайшие 10-15 лет проведение работ, включающих создание сети опытно-мелиоративных и производственных организаций, задача которых состояла в изучении природных процессов, разработке техники и технологии орошения и упорядочении существующих оросительных систем. По существу, в этот период (первая половина XX в.) была заложена основа экстенсивной системы ведения орошаемого земледелия и истощительного использования природных и материальных ресурсов. Планируемые исследования не предусматривали анализа причинно-следственных связей и изучения зависимости техники и технологии орошения от особенностей природных и хозяйственных условий, в связи с чем разрабатываемые мероприятия были направлены на решение част-

ных вопросов и ликвидацию последствий негативных процессов, а не причин их возникновения. Исследования не включали разработку теории регулирования водного и солевого режимов орошаемых земель с учетом особенностей гидрогеологических, геохимических и почвенно-мелиоративных условий. В целом, основная цель исследований сводилась к разработке простых и дешевых мероприятий.

При исследованиях поливного режима и разработке рекомендаций не учитывались требования растений к пределам регулирования влажности корнеобитаемого слоя. Применяемые оросительные нормы нетто 10-12 тыс. м³/га не обеспечивали создания оптимального гидротермического режима на орошаемых землях. Значения «индекса сухости» Будыко в этот период уменьшились с 1,0 до 0,73-0,85, что повлекло за собой снижение урожайности сельскохозяйственных культур.

Во второй половине XX века проводились стационарные исследования на опытно-мелиоративных станциях в Ферганской долине, в Голодной степи и экспедиционные исследования в Узбекистане, Таджикистане и Туркмении. Основными достижениями среднеазиатских и российских ученых было установление критической глубины залегания минерализованных грунтовых вод, предотвращающей засоление почв, и разработка системы мероприятий по предупреждению и борьбе с засолением орошаемых земель. Система мероприятий включала устройство технически совершенных оросительных систем с высоким КПД и устройство систематического дренажа. Было установлено, что промывки и устройство горизонтального дренажа глубиной 1,5-2,5 м хотя и дают эффект, но не обеспечивают устойчивого регулирования водного и, главным образом, солевого режима орошаемых земель.

Все это привело к выводам о необходимости переустройства существующих оросительных систем, включающего резкое повышение КПД системы за счет облицовки каналов, совершенствование техники промывок (183, 187) и полива и строительство систематического глубокого дренажа (166-190) [31, 60, 61] (приложение Б).

Вместе с тем, наряду с этим существовало и другое мнение, также вроде бы основанное на результатах исследований. Это мнение и соответствующие рекомендации формировались в основном рядом ученых ВАСХНИЛ, Тимирязевской сельскохозяйственной академии и ВНИИГиМ и полностью отрицало необходимость капитального переустройства существующих оросительных систем и, в первую очередь, строительство систематического дренажа (182), который, по словам В. А. Шаумяна «переносимый из работ американских ирригаторов в наши условия, приведет к бесполезной затрате сотен миллионов и миллиардов государственных и колхозных средств» [31] (приложение Б). Этот вывод основывался в свою очередь на работе В. Р. Вильямса, который без всяких на то оснований утверждал, что бороться надо не с засолением, а с бесструктурностью почв путем широкого внедрения травопольной системы земледелия. Применение дренажа, по его мнению, совершенно бесполезно и экономически вредно [76, 77]. В качестве основного мероприятия по борьбе с засолением предлагалось введение травопольной системы земледелия, создание комковой структуры почв и применение достаточно простых мелиоративных мероприятий. В связи с этим, основным критерием экспериментальных исследований была простота и дешевизна мелиоративных мероприятий.

В целом, коэффициент использования водных ресурсов (КИВ) после внедрения новой техники орошения снизился, ухудшилось и мелиоративное состояние орошаемых земель. В связи с этим, несмотря на улучшение агрохимического обслуживания (увеличение доз внесения минеральных удобрений до 200 кг/га), урожайность хлопка-сырца практически не изменилась. В начале 50-х годов стало совершенно очевидно, что противники переустройства существующих оросительных систем и строительства дренажа оказались несостоятельными и не способствовали улучшению мелиоративно-

го состояния орошаемых земель и увеличению производства хлопка-волокна. Кроме того, стало понятным, что вторичное засоление орошаемых почв является сопутствующим, но совершенно предотвратимым последствием орошения. Оно, как показывает опыт, есть результат несоответствия техники и технологии орошения природным условиям.

Этот вывод противоречит существующему мнению, что многие великие цивилизации гибли в результате вторичного засоления орошаемых земель.

Таким образом, многие исследователи считают, что основные причины вторичного засоления орошаемых почв – коренное нарушение естественного баланса грунтовых вод, сопровождающееся формированием гидроморфного режима и интенсивным расходом минерализованных грунтовых вод на испарение [96].

Обобщение исследователями многочисленных данных показывает, что порядок величин питания и расходования подземных вод для большинства слабодренированных орошаемых массивов составлял: $q_g - 0,02$ л/с га; $q_o - 0,08$ л/с га; $q_{\phi} - 0,16$ л/с га; $q_{\text{пр}} - 0,05$ л/с га; $q_{\text{т}} - 0,15$ л/с га [96-101].

Таким образом, в приходной части баланса 70 % приходилось на фильтрационные потери и 22 % – на промывной режим. В расходной части преобладало расходование грунтовых вод на испарение и транспирацию (65 %), чем и объяснялось развитие процессов вторичного засоления. Значит, основной задачей борьбы с засолением орошаемых земель в сложившихся гидроморфных условиях являлось снижение фильтрационных потерь (q_{ϕ}) и обеспечение промывного режима, т. е. соотношение $q_{\text{пр}} > q_{\text{т}}$. Снижение фильтрационных потерь можно было обеспечить за счет совершенствования технического уровня существующих оросительных систем (применение капитальных облицовок магистральных, межхозяйственных и хозяйственных каналов (135, 143, 145, 146, 148, 149, 153), замена каналов внутрихозяйственной сети на лотки и трубопроводы) [33, 40, 52, 53] (приложение Б). Эти мероприятия, как показывают расчеты, позволили бы существенно уменьшить q_{ϕ} , но в отсутствии обеспеченного подземного оттока, не давали бы возможности обеспечить соотношение $q_{\text{пр}} > q_{\text{т}}$.

Для удовлетворения условия $q_{\text{пр}} > q_{\text{т}}$ необходимо было увеличить подземный отток (q_o) за счет естественного оттока грунтовых вод на соседние неорошаемые земли, или искусственно – за счет строительства дренажа. Первый способ – использование неорошаемых земель в пределах оросительной системы для приема и испарения грунтовых вод был неприемлемым, так как практически все пустующие земли (перелог) были к этому времени уже освоены. Строительство дренажа с отводом дренажных вод за пределы оросительной системы было наиболее целесообразным.

Таким образом, полученные результаты, начиная с 50-х годов прошлого века, способствовали ее интенсивному развитию. В период с 1950 по 2005 годы был выполнен ряд фундаментальных теоретических разработок и проведено большое число лабораторных и комплексных опытно-производственных исследований в области изучения природных процессов и их изменения под влиянием антропогенной деятельности. Эти исследования включали разработки по теории движения подземных вод в насыщенных и ненасыщенных пористых средах, теории осушающего и рассоляющего действия горизонтального и вертикального дренажа, фильтрации из каналов, теории влаго- и солепереноса в почвах, теории комплексного регулирования факторов роста и развития сельскохозяйственных растений и динамики плодородия почв, оптимизации структуры использования и формирования экологической стабильности агроландшафтов и др. Результаты выполненных опытно-производственных исследований подтвердили достаточную точность разработанных моделей массо- и энергопереноса и возможность их практического использования в адаптивных мелиоративных системах (293) [31] (приложение Б). Полученные результаты позволили разработать методы со-

ставления долгосрочных прогнозов изменения отдельных компонент природной среды под влиянием антропогенной деятельности. Это был важный шаг в развитии мелиоративной науки, так как без прогноза не может быть управления.

Обобщение выполненных теоретических и экспериментальных исследований показало, что содержание проблемы мелиорации – суть взаимодействия природы и человека. Это кардинальным образом отличалось от традиционного ведомственного подхода к определению понятия мелиорации как «коренного» улучшения природных условий. Содержание проблемы в современном понимании в общем виде – это управление биологическими, социально-экономическими, экологическими и материальными процессами. В качестве такой методологической основы необходимо было использовать системный подход, предполагающий определение объекта исследований как единой системы. При этом природная система относится к объектам, которые нельзя свести к сумме своих частей, как это делали раньше. Природные системы – это объекты, состоящие из ряда взаимосвязанных и взаимообусловленных компонент. В связи с этим, состояние системы определяется, прежде всего, ее интегральными характеристиками, а в функционировании системы основную роль играют связи между компонентами.

Устойчивость же системы поддерживается за счет обратных связей, нарушение которых ведет за собой ухудшение состояния природной среды в целом. Так, например, снижение естественного плодородия почв увеличивает опасность загрязнения природной среды в результате потери почвой ее роли как биохимического барьера. Изучение отдельных природных систем или отдельных факторов, определяющих состояние объекта, совершенно недостаточно для решения проблемы рационального использования природных ресурсов. Изменение одного из балансов или любой из компонент неизбежно ведет к нарушению процессов массо- и энергообмена внутри системы и изменению состояния других компонент и природной системы в целом.

3.6 Контроль качества оросительной воды, утилизация и использование сбросных вод

Развитие методов контроля качества оросительной воды и технических средств их реализации неразрывно связано с деградационными процессами, возникшими и получившими развитие на орошаемых площадях в зоне действия оросительных систем **третьего поколения.**

Оросительная система является частью сельскохозяйственного производственного комплекса и предназначена для оперативного регулирования (управления) мелиоративными режимами этих земель (водным, тепловым, химическим, питательным). Поэтому в техническом отношении ГСМ, по А. Н. Костякову, – это гидротехнический передаточный механизм, состоящий из совокупности гидротехнических сооружений и каналов, обеспечивающих забор и подачу на мелиорируемые земли недостающих объемов воды, регулирование мелиоративных режимов сельскохозяйственных земель, отвод и сброс избыточных вод.

Исторически вода являлась не только источником хозяйственного и бытового водоснабжения, но и выполняла роль катализатора в развитии производства и промышленности. В частности главным потребителем природной воды остается, как и прошлые времена, сельскохозяйственное орошение. Рассмотрим динамику развития поколений оросительных систем по критерию **«качества оросительной воды»**. Качество оросительной воды определяется, исходя из гранулометрического состава почвы, ее физико-химических свойств и также солеустойчивости растений.

Для анализа исторического развития контроля качества оросительной воды остановимся на времени появления оросительных систем второго и третьего поколений,

характеризующемся появлением облицованных каналов. В историческом временном разрезе данные оросительные системы получили развитие в первой половине XX века, к этому же временному промежутку можно и отнести начало реализации контроля качества оросительной воды. Реализация данных технических решений позволило производить контролирование качества оросительной воды на этапе водозабора, поскольку при движении воды к орошаемому массиву исключалось поступление в транзит элементов, находящихся во внешней среде, в частности в почве.

Если оценивать водный баланс пахотных земель, то к основным критериям можно отнести направленность и интенсивность природных процессов, а именно испарение, которое характеризует продуктивность, эффективность биологического круговорота и внутреннего влагооборота, поверхностный сток. Из представленного перечня можно выделить поверхностный сток как основной показатель, от которого зависит сельскохозяйственное использование земель, оказывающий влияние в первую очередь на качество поверхностных вод, но также и на формирование водной эрозии почв и на почвообразовательные процессы.

Объемы загрязнения природных водных ресурсов поверхностным стоком, содержащим в своем составе биогенные элементы сельскохозяйственных угодий, во времени не только не снижались, но наблюдались тенденции к их увеличению.

Развитию столь неблагоприятных условий способствовала вырубка лесов. Со времен Петра I до начала Первой мировой войны (с 1696 по 1914 гг., т. е. за 218 лет) леса России были вырублены на площади 66,2 млн га, на освободившихся площадях были созданы сельскохозяйственные угодья [102]. Вырубка лесов в России продолжалась и после 1914 года. Лесистость европейской части страны (без Северного Кавказа и Поволжья) снизилась к 1923 г. с 38 до 23,5 % [102].

Зачастую забор оросительной воды осуществляется из тех же источников, в которые осуществляется сброс загрязненного стока с сельскохозяйственных полей.

Если рассматривать в качестве источника оросительной воды подземные воды, то зачастую они характеризуются высокой минерализацией с низким содержанием взвешенных веществ. Уровень минерализации подземных вод зависит от глубины их залегания и природно-климатических условий.

Использование оросительной воды низкого качества может оказать влияние на урожайность культур и снизить продуктивность почв. Если рассматривать проблему засоления и осолонцевания почв, то при орошении минерализованными водами возможен риск вторичного засоления либо осолонцевания. При наличии в грунтах зоны аэрации и грунтовых водах воднорастворимых солей трансформация автоморфного режима в гидроморфный сопровождалась развитием процессов вторичного засоления орошаемых земель.

Превышение содержания тяжелых металлов в оросительной воде будет способствовать накоплению их в верхнем слое почвы и дальнейшей трансформации в пищевые продукты.

Еще в 1894 году Л. К. Багинский [103] выделил три периода развития по оценке качества природной воды:

- первый период (от древнейших времен до 1850 г), когда основное внимание при оценке качества воды оказывали ее физическим свойствам (прозрачность, бесцветность, отсутствие запаха, приятный вкус);

- второй период (с 1850 по 1880 гг.), для оценки качества воды помимо ее органолептических и физических свойств оценивались и химические свойства, а именно: «присутствие в воде посторонних веществ, не принадлежащих к ее естественным составным частям»;

- третий период (с 1880 года и до середины XX века), наряду с физическими и химическими свойствами воды оцениваются и ее бактериологические показатели;

- четвертый период (с середины XX века и по настоящее время), когда встал вопрос о контроле радиационных загрязнений, что было вызвано, прежде всего, с техническим прогрессом, добычей и промышленным использованием делящихся материалов, освоением других ядерных технологий.

Основные представления о контроле качества воды лабораторными методами были сформированы в конце XIX – начале XX века. Они охватили в целом оценку физических, химических и органолептических свойств.

Цикличность проведения лабораторных исследований в период до 1909 года характеризовалась нерегулярностью исследований физико-химических показателей природных водных ресурсов.

Современный контроль качества оросительной воды осуществляется в несколько этапов, в первую очередь контроль собственно источника орошения при наличии очистных сооружений, контроль процессов очистки и контроль очищенной воды на выходе из них. Но чаще всего проводится лабораторный анализ лишь источника орошения – водного объекта.

В ГОСТ 17.1.2.03-90 «Критерии и показатели качества воды для орошения» определены единые критерии оценки и номенклатуру показателей качества воды для орошения:

1 Для обеспечения комплексной оценки качества воды для орошения следует учитывать агрономические, технические и экологические критерии.

Агрономические критерии должны определять качество воды для орошения по ее воздействию на:

- урожайность сельскохозяйственных культур по валовому сбору и интенсивности развития;
- качество сельскохозяйственной продукции, в особенности на формирование ее полноценности, доброкачественности и сохранности;
- почвы с целью сохранения и повышения плодородия и предотвращения процессов засоления, осолонцевания, содообразования, слитизации и нарушения биологического режима.

Технические критерии должны определять качество воды для орошения по воздействию на сохранность и эффективность эксплуатации гидромелиоративных систем и их составных частей.

Экологические критерии должны определять качество воды для орошения с учетом необходимости обеспечения безопасной санитарно-гигиенической обстановки на данной территории и охраны окружающей среды.

2 Номенклатура показателей должна обеспечивать комплексную оценку качества воды для орошения с достаточной полнотой по всем трем критериям, исходя из необходимости высокоэффективного и стабильного функционирования агроэкосистемы, получения максимально возможного количества сельскохозяйственной продукции требуемого качества и охраны окружающей среды.

3 Показатели качества воды для орошения подразделяются на две группы:

- показатели первой группы характеризуют свойства воды для орошения и содержание веществ, необходимых в определенных количествах для нормального функционирования агроэкосистемы;
- показатели второй группы характеризуют свойства воды для орошения и содержание веществ, оказывающих при определенных условиях отрицательное воздействие на отдельные компоненты агроэкосистемы.

Четких норм качества воды для орошения нет.

Далее более подробно рассмотрим методы, применяемые для контроля над качеством оросительной воды в разные временные периоды. Так как ранее и по настоящее время не было введено жестких нормативных требований по оценке качества оросительной воды, то предлагается рассмотреть методики анализа и контроля природных вод для нужд водоснабжения. Данный подход был выбран в первую очередь по той причине, что продукция, полученная в результате реализации оросительной мелиорации, будет использована человеком в пищу. Соблюдение естественных балансов в почвенном профиле позволит получать экологически чистые сельскохозяйственные продукты.

Далее более подробно рассмотрим методы, применяемые для контроля качества оросительной воды в разные временные периоды.

В середине XX века при определении основных физических свойств оросительной воды применялись инструментальные и классические химические методы. В частности температуру замеряли непосредственно в водном объекте с использованием термометров в оправе. Определение концентрации ионов водорода (рН) осуществляли коллометрическим и электрометрическим методами. Так же позже появились приборы, основанные на потенциометрических методах анализа рН. Содержание остальных химических соединений определяли с использованием объемных и весовых методов анализа. Так же привлекались фотометрические методы, основанные на способности веществ к избирательному поглощению энергии световых потоков определенных длин волн. Приборы, реализующие данный метод получили название фотоэлектроколориметры. Проведение анализов вне лаборатории вызывали определенные сложности, связанные с громоздкостью требуемого материального обеспечения. Вне стен лаборатории проводились лишь отбор и консервация проб воды.

На современном этапе развития можно выделить следующую классификацию методов оценки качества воды:

- химические методы, которые основываются на химических и электрохимических реакциях определяемых компонентов с органическими и неорганическими реагентами. К данной группе относят гравиметрические, титриметрические, электрохимические, фотометрические (и близкие к ним), кинетические, биохимические методы;
- физические методы, которые измеряют сигналы, возникающие вследствие физических процессов. К данной группе можно отнести спектроскопические, масс-спектрометрические, радиоаналитические (ядерно-физические) методы;
- биологические методы;
- физико-химические методы, к которым можно отнести инструментальные методы, связанные с применением химических реакций.

На сегодняшний день основные методы, применяемые при оценке качества оросительной воды, остаются прежними, но усовершенствуются их модификации и производится автоматизация.

На современном этапе развития традиционные методы анализа дополнены и расширены за счет внедрения прогрессивных технологий, таких как атомно-абсорбционная спектроскопия и другие. Создание атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией относится к 1959 г. Данная разработка выполнена Б. В. Львовым. Хромато-масс-спектрометры были разработаны чл.-кор. РАН В. Л. Тальрозе в начале 1960-х годов. В 1956 г. в г. Электросталь Я. Коган разработал метод, основанный на использовании так называемых молекулярных ядер конденсации (метод МОЯК), пригодный для определения очень низких концентраций веществ [104]. Методы определения показателей качества воды представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Методы определения показателей качества воды

Группа показателей	Методы анализа
рН, цвет, цветность, мутность, сухой остаток, азот общий, жесткость, щелочность и проч.	Потенциометрия, гравиметрия, титриметрия, колориметрия
Анионы: нитраты, сульфаты, карбонаты, фториды, хлориды, иодиды, роданиды, тиосульфаты и др.	Титриметрия, спектрофотометрия, потенциометрия, флуориметрия, капиллярный электрофорез, ионная хроматография
Металлы: щелочные и щелочно-земельные, железо, алюминий, кадмий, свинец, никель, барий и др.	Титриметрия, спектрофотометрия, пламенная атомно-абсорбционная спектроскопия и атомно-эмиссионная спектроскопия, электротермическая атомно-абсорбционная спектроскопия, атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой, масс-спектрометрия с детектором индуктивно-связанной плазмой, флуориметрия
Органические соединения: летучие галогенсодержащие соединения, фенолы, пестициды, хлорфенолы, нефтепродукты и др.	Спектрофотометрия, флуориметрия, ИК-спектроскопия, газовая и жидкостная хроматография, хромато-масс-спектрометрия

Сложный компонентный состав природных вод, применяемых в качестве основного источника орошения, обуславливает формирование сложной методической базы. В частности при определении неорганических компонентов и общих химических показателей качества воды вызывает затруднения присутствие в воде широкого спектра веществ, создающих фон при проведении анализов. До сих пор при определении цветности природных вод используют измерение оптической плотности, при этом до конца не определились с длиной волн. Даже на сегодняшний день во многих лабораториях при определении ионов аммония в природной воде с высоким содержанием гумусовых веществ используют метод с реактивом Несслера без предварительной отгонки аммиака. Но рекомендуется использовать более прогрессивный метод анализа таких вод – индофенольный метод. Что касается ионов тяжелых металлов, то для их определения сейчас широко используются спектральные методы – атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией (ЭТ ААС) и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС), а ртуть – метод «холодного пара». Применение пламенной атомно-абсорбционной и пламенной атомно-эмиссионной спектроскопии (фотометрии пламени), а также масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) осуществляется согласно РД и ПНД.

Метод атомно-абсорбционной спектроскопии рекомендован для определения в водах калия (ИСО 9964-2), натрия (ИСО 9964-1), мышьяка (ИСО 11969), ртути (ИСО 5666), селена (ИСО 9965), хрома (ИСО 9174). Причем для мышьяка и селена атомно-абсорбционные спектрометры должны быть оснащены гидридным генератором.

Из высокочувствительных электрохимических анализаторов НПП «Эконикс®» выпускает компьютеризированный электрохимический лабораторный комплекс «Эко-тест®-АВЛ», разработанный совместно со специалистами ИФХЭ РАН. Прибор представляет собой универсальный потенциостат (гальваностат) с широким набором характеристик, предназначенный для проведения лабораторных исследований в области электрохимии, коррозии металлов, биотехнологии и много другого. Применительно к электроаналитическим способам анализа, приборы могут применяться для определе-

ния массовой концентрации электрохимически активных элементов и веществ в пробах воды, водных растворах или экстрактах, получаемых из различных материалов, по методикам выполнения измерений МВИ.

Объектами анализа «Экотест®-АВЛ» могут быть воды (очищенные, питьевые, сточные и различные природные), продукты питания, корма для животных, почвы, торф, ил, медико-биологические объекты, медицинские препараты, химические реактивы; высокочистые вещества, руды, минералы, удобрения, твердые, жидкие и газообразные отходы продуктов различных производств и другие материалы, которые следует перевести в раствор путем соответствующей пробоподготовки.

Фотоколориметр «Экотест®-2020» (номер в Государственном реестре средств измерения 31761-06) предназначен для определения коэффициента пропускания в пределе от 1 до 100 % и оптической плотности растворов в диапазоне 0 до 2. Прибор представляет собой компактный фотоколориметр с набором от 1 до 8 световых источников (устанавливаемые длины волн: 400, 430, 470, 502, 525, 565, 595, 620, 660, 850 нм), позволяющий автоматически рассчитывать коэффициенты пропускания, оптической плотности и концентрации. Фотоколориметр подключается к компьютеру, что позволяет проводить спектральный анализ, кинетические исследования, рассчитывать концентрации и составлять отчеты. Конструкция прибора позволяет ввести в память калибровочные кривые для 20 методик при помощи штатного программного обеспечения. Прибор имеет небольшие габариты и может использоваться в полевых условиях в отсутствии ПК.

Модификация прибора «Экотест®-2020-РС» предназначена для измерения концентрации различных ионов в водных растворах при помощи тест-систем, которые представляют собой готовые растворы или сухие смеси реагентов. Преимущество таких систем заключается в уменьшении времени проведения анализа благодаря отсутствию стадии длительной пробоподготовки. Калибровочные кривые для определяемых элементов внесены в память прибора.

Рефлектометр «Экотест®-2040» предназначен для определения коэффициента отражения и концентрации растворов с помощью любых индикаторных бумаг.

«Экотест®-120» внесен в Госреестр Российской Федерации, Республики Беларусь и Казахстана. Номер в государственном реестре средств измерений РФ 17659-98. Используется для анализа питьевых, природных, сточных вод, почв, кормов, продовольственного сырья, продуктов питания и напитков. С помощью прибора можно измерять молярную, массовую концентрации одновалентных, двухвалентных катионов и анионов, химическое потребление кислорода (ХПК) (модификация «Экотест®-120-ХПК»), температуру, измерение Eh (редокс-потенциала), pH, ЭДС, определять концентрации ионов H^+ , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Ag^+ , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg_2^{2+} , Fe^{3+} , Br^- , I^- , Cl^- , F^- , NO_3^- , NO_2^- , S^{2-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , ClO_4^- .

Внешний вид «Экотест®-120» представлен на рисунке 3.5.

В качестве примера рассмотрим комбинированный газочувствительный аммоний-селективный электрод 5192700 (производство НАСН, США), позволяющий осуществлять замеры концентраций ионов аммония NH_4^+ . Электрод представляет собой полную электрохимическую ячейку, состоящую из стеклянного pH-электрода и электрода сравнения. Газопроницаемая мембрана отделяет образец от тонкого слоя электролита, который находится между pH-чувствительным стеклом и мембраной (рисунок 3.6). При высоких значениях pH исследуемого раствора ион аммония переходит в аммиак. Газ диффундирует через мембрану и вызывает изменение pH тонкого слоя электролита. В результате изменяется потенциал индикаторного pH-электрода. Значение ЭДС pH-электрода, измеряемое прибором, пропорционально концентрации ионов аммония в исследуемом растворе.



Рисунок 3.5 – Высокоточный pH-метр-иономер «Экотест®-120»

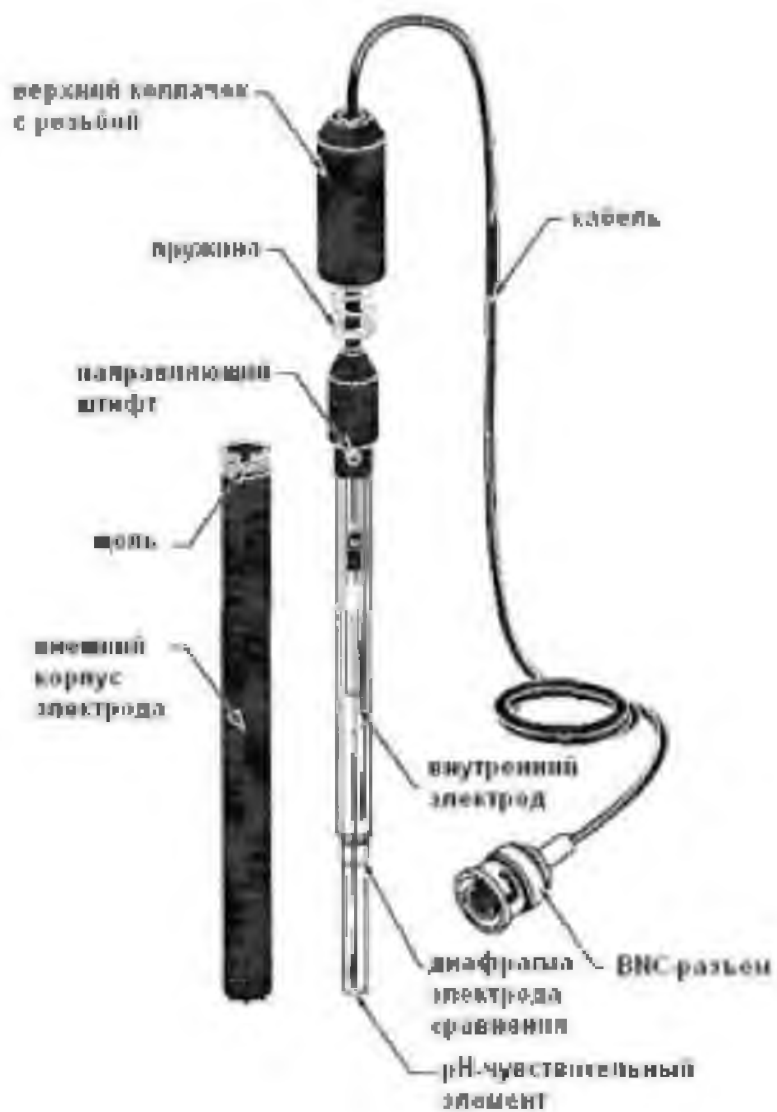


Рисунок 3.6 – Аммонийный газочувствительный электрод

На рынке в настоящее время присутствует огромное количество портативных приборов по оценке качества воды, которые исключают исследования, проводимые на территории лаборатории. Например, многопараметрический прибор для определения качества воды U-50 (рисунок 3.7) позволяет одновременно измерять и отображать на дисплее до 11 параметров. Надежная конструкция и удобство в работе позволяет их использовать при полевых измерениях, таких как мониторинг рек, дренажных каналов, грунтовой воды и т. п.



Рисунок 3.7 – Многопараметрический прибор для определения качества воды U-50

При оценке качества оросительной воды учитывается количество и состав взвешенных наносов, растворенных солей и ее температура. По А. Н. Костякову, для орошения пригодна вода с сухим остатком до 1-1,7 г/л, а по отдельно взятым солям для хорошо проницаемых почв:

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 < 1 \text{ г/л}; \text{NaCl} < 2 \text{ г/л}; \text{Na}_2\text{SO}_4 < 5 \text{ г/л}.$$

Если в воде имеется несколько солей, то эти пределы снижаются, так как одни соли обезвреживают другие. Так, соли кальция, и особенно гипс, обезвреживают соли натрия, калия, магния. Сернокислый магний противодействует сернокислому натрию, а последний смягчает действие хлористого магния и поваренной соли.

Пригодность воды для орошения при наличии в ней нескольких солей оценивают по ирригационному коэффициенту «у» (таблица 3.4), который вычисляют по одной из нижеприведенных формул, предложенных Стеблером:

$$y = 288/5 \text{ г Cl}; y = 288/2 \text{ г Na} + 4 \text{ г Cl}; y = 288/10 \text{ г Na} + 5 \text{ г Cl} - 9 \text{ г SO}_4.$$

Таблица 3.4 – Оценка поливной воды по ирригационному коэффициенту Стеблера

Ирригационный коэффициент у	Оценка воды	Условия пользования водой для полива
18	Хорошая	Вода успешно применяется для полива много лет без специальных мер против накопления в почве вредных щелочей
18-6	Удовлетворительная	Необходимы специальные меры против накопления в почве вредных щелочей, за исключением рыхлых почв со свободным дренажом
5,9-1,2	Неудовлетворительная	Почти всегда необходим искусственный дренаж
1,2	Плохая	Вода не пригодна для поливов

Оценка пригодности оросительной воды по степени влияния на почву и растения осуществляется по таким показателям:

- общая минерализация, мг/дм³;
- сумма токсичных солей в эквивалентах хлора, мг-экв./дм³;
- отношение суммы катионов натрия и калия (мг-экв./дм³) к сумме всех катионов (мг-экв./дм³), %;
- отношение концентрации катионов магния (мг-экв./дм³) к концентрации катионов кальция (мг-экв./дм³);
- содержание анионов хлора (СГ), мг-экв./дм³;
- содержание карбонатов (СО₃), мг-экв./дм³;
- содержание гидрокарбонатов (НСО₃), мг-экв./дм³;
- щелочность от нормальных карбонатов (СО₃) и токсическая щелочность (НСО₃ – СО₂), мг-экв./дм³;
- величина рН;
- термодинамические потенциалы;
- температура воды, °С.

Качество оросительной воды относительно опасности вторичного засоления почв и повышения их щелочности устанавливают на основании комплексной оценки показателей: содержание токсичных ионов (в эквивалентах хлора) с учетом гранулометрического состава почв, токсичной щелочности и щелочности от нормальных карбонатов, рН. Качество оросительной воды относительно опасности осолонцевания почв определяют по таким показателям: содержание общей и токсичной щелочности, хлора, щелочности нормальных карбонатов, отношения (в %) суммы щелочных катионов натрия и калия (мг-экв./дм³) к сумме всех катионов (мг-экв./дм³), величины отношения в оросительной воде магния к кальцию и классу воды по опасности засоления. Оценка качества оросительной воды относительно опасности ее токсического воздействия на растения определяется по содержанию ионов хлора, карбонатов, гидрокарбонатов и токсичной щелочности в мг-экв./дм³. Качество оросительной воды относительно термодинамических показателей определяют по активности ионов водорода, натрия, кальция и соотношению натриево-кальциевого потенциала. Он характеризует коррозионные качества воды или возможность выпадения в осадок труднорастворимых карбонатов кальция в результате нарушения карбонатно-бикарбонатного равновесия.

Несмотря на хорошую методическую проработанность вопросов, связанных с контролем качества оросительной воды, эффективная реализация этих мероприятий связана с низким уровнем оперативности поступления обработки информации и, как следствие, недостаточной скоростью принимаемых мер по ликвидации неблагоприятной ситуации.

Кроме того другой важной проблемой является отсутствие как таковой системы управления качеством вод. Стандартами качества вод является система ПДК, которая в зависимости от вида водопользования – хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного назначения разделена на 2 группы – гигиенические нормативы (ПДК_{сан.-гиг.}) и рыбохозяйственные нормативы (ПДК_{рыб.}). Существующая система ПДК громоздкая, насчитывающая около 3000 ингредиентов, по большому числу показателей жесткая, не обеспечена технологически и экономически и не имеет единой методологической основой. В настоящее время разработано большое количество классификаций водных объектов с использованием гидрохимических, бактериологических, токсикологических, биологических, микробиологических показателей, их комбинаций, а также комплексных интегральных показателей (КИЗВ), которые не интегрированы в одну систему, поэтому такие классификации не способны целостно

оценить экологическое состояние водного объекта, определить приоритеты водопользователей, оценить экономические, технологические факторы.

Помимо всего прочего многие отечественные и зарубежные исследователи отмечают проблему точности измерений в разрезе динамики поступления поливной воды, забираемой из поверхностных водоемов и водотоков, интенсивно использующихся другими участниками водохозяйственного комплекса.

Весь этот букет проблем требует их срочного решения и, в первую очередь на уровне нормативно-технической документации.

Развитие методов контроля за качеством оросительной воды до уровня оросительных систем четвертого поколения сдерживается несколькими причинами.

ГОСТ 17.1.2.03-90 «Охрана природы критерии и показатели качества воды для орошения» не содержат нормирования качества оросительной воды. Он устанавливает перечень элементов, подлежащих нормированию и основные требования к разработке стандарта нормативов качества оросительной воды. В соответствии с ГОСТ 17.1.03-90 нормированию подлежат нитраты, нитриты, фосфаты, микроэлементы, а также тяжелые металлы, различные элементы, пестициды, фенолы, производные нефти, детергенты, радиоактивные вещества и микробиологические показатели.

В мировой сельскохозяйственной литературе и различных трудах ученых бывшего СССР опубликованы многочисленные подходы оценки качества воды с позиции установления критерия ее применимости для полива сельхозкультур. Наиболее распространенными являются зависимости: И. Н. Антипова-Каратаева, Г. М. Кадер, Буданова, Можейко, Воротникова, Т. П. Глухой, И. П. Айдарова, А. И. Корольковой, С. Я. Бездниной и САНИИРИ (СССР), а в Мировой практике – Келли и Либиху, Гайона (по ирригационному коэффициенту), Бауэра и Мээсленда, Виллах (США), Г. Сабольча и К. Дараба (Венгрия) и других.

Вышеуказанные авторы, за исключением САНИИРИ, к оценке подходят, исходя из условий проверки качества воды, осолонцевания почв, что практически исключается для некоторых регионов, из-за содержания в почвогрунтах карбонатов кальция, гипса в достаточном объеме. Требования к оросительной воде, диктуемые современным развитием науки и техники, выявляют необходимость использования в процессе контроля ряд показателей и критериев.

Экологические критерии служат для оценки качества воды с точки зрения охраны объектов окружающей среды от загрязнения и обеспечения безопасной санитарно-гигиенической и медико-биологической обстановки.

Поскольку сельскохозяйственное производство тесно связано с поверхностными и подземными водами, то его влияние на загрязнение этих вод в системе сельскохозяйственного водоотведения значительно.

Сельскохозяйственные критерии служат для оценки качества воды с позиции сохранения и воспроизводства продуктивности орошаемых земель, предупреждая развитие процесса засоления, осолонцевания, ухудшения водно-физических свойств почв, т. е. создания на орошаемых землях оптимальных водно-солевых, водно-воздушных и питательных режимов.

Технические критерии предназначены для оценки качества воды с учетом их влияния на сохранность и долговечность всех элементов гидромелиоративных систем с целью предотвращения развития процессов коррозии, зарастания.

Экономические критерии служат для оценки качества воды с целью установления оптимальных пределов ее использования без ущерба народному хозяйству. Они устанавливаются по рентабельности затрат на ее улучшение или наносимому ущербу при использовании воды, не отвечающей требованиям сельскохозяйственного применения.

Следует отметить, что экологические критерии оценки «работают» больше всего при определении качества воды питьевого водоснабжения. В перспективе питьевое водоснабжение должно решаться за счет использования подземных вод из глубоких пресных водоносных горизонтов и поверхностных вод высокого качества из верхнего течения рек. Тогда с позиции оценки качества воды сельскохозяйственного применения «работают» оставшиеся 3 критерия: агрономические, технические и экономические. Как сказано выше, большинство международных руководств по оценке качества оросительной воды не всегда приемлемы, поскольку жестко подходят к содержанию в воде и почве элементов, приводящих к осолонцеванию, тогда как в наших условиях имеется довольно большое количество карбонатов кальция и гипса в водах и почвах.

Если жестко оценивать по этим классификациям даже речные воды, то большие объемы воды становятся непригодными для орошения сельхозкультур, что вряд ли приемлемо при дефиците водных ресурсов, так как резко сокращает оросительную способность стока.

Поскольку в некоторых классификациях обращается внимание на ограничение элементов азота, фосфора, калия, ядохимикатов и тяжелых металлов и нефтяных продуктов, то следует отметить, что они обусловлены, главным образом, количеством вносимых минеральных удобрений в поле и сбросом от промышленности и коммунально-бытовых секторов. Следует отметить, что за последние годы общий объем вносимых на поля минеральных удобрений и ядохимикатов сократился на 30-40 %, что привело к снижению этих ингредиентов в возвратных водах, начиная с 1993-1994 гг., т. е. загрязнение воды, связанное с сельхозпроизводством, снизилось.

Широкое использование коллекторно-дренажных вод ограничивается особенностью режима их формирования и, главным образом, из-за их повышенной минерализации. Использование минерализованных вод без оценки их пригодности для орошения приводит к вторичному засолению и снижению урожайности сельскохозяйственных культур вплоть до полной потери, а в отдельных почвенно-мелиоративных условиях (при преобладании хлоридно-натриевого засоления) происходит осолонцевание почв.

Пригодность минерализованных вод для орошения оценивается, в основном, по степени засоления почв, по опасности осолонцевания и по возрастанию отдельных токсичных элементов почв на рост и развитие растений. Допустимая минерализация поливной воды зависит от общей минерализации и ее химического состава, почвенно-мелиоративных условий (механический состав почв, дренированности территории и др.) орошаемых земель и солеустойчивости сельскохозяйственных культур и их режима орошения.

Такая постановка задачи и многократность изучаемых процессов обуславливает технико-экономическое обоснование целесообразности использования минерализованных вод, определяется в каждом конкретном случае. Под критерием пригодности подразумевается совокупность показателей, воздействующих на получение заданной урожайности сельскохозяйственных культур без снижения плодородия почв в различных природно-хозяйственных условиях при экономически оправданных трудовых и материальных затратах. В указанной формулировке критерии определяются в основном следующими группами факторов:

- факторы качества воды;
- природные факторы;
- водохозяйственные факторы;
- технико-экономические факторы.

3.7 Контроль качества коллекторно-дренажных вод

Согласно действующему Водному кодексу РФ (редакция от 07.05.2013 г.) под дренажными водами следует понимать воды, отвод которых осуществляется дренажными сооружениями для сброса в водные объекты.

Контроль качества вод, сбрасываемых в водные объекты, в своем развитии прошел три основных этапа, которые основывались на трех научных направлениях (таблица 3.5) [105]

Таблица 3.5 – Основные этапы и научные направления по контролю качества сбрасываемых вод в поверхностные водоемы

Годы	Этап развития мероприятий	Научное направление	Страна-учредительница
1876-1906	Запрет сбрасывания любых (в том числе и частично очищенных) сточных вод в открытые водоемы	Природоведческое, или санитарного максимализма	Англия
1906-1928	Нормирование качества сточных вод с учетом технологических возможностей наиболее современных методов очистки. Разрешение сбрасывать их при соответствии стандарта	Санитарно-технического максимализма	Россия
С 1928 г. до нашего времени	Гигиеническое нормирование качества воды водоемов за 1 км выше течения до ближайшего пункта водопользования. Сбрасывание сточных вод разрешается, если качество воды за 1 км до места использования водоема отвечает гигиеническим требованиям	Физиолого-гигиеническое	Россия

Первый этап развития проблемы получил название природоведческого (по названию первого теоретического направления), суть заключалась в сохранении природного качества воды в поверхностных водоемах и сводилась к запрещению отводить в них сточные воды. Начался этот этап в 1876 г. в Англии, где был принят закон об охране рек, большинство из которых использовались как источники водоснабжения. В этом же году аналогичный закон был принят в Пруссии, а в 1882 г. его дополнили пунктом о запрете сброса в водоемы даже биологически очищенных сточных вод. Аналогичные запретные мероприятия начали проводить в России, Франции и других странах. В этот период при условии наличия в городе системы канализации (в Англии уже в 1833 г. сточные воды перемещались самотеком по сети подземных труб или каналов более чем в 50 населенных пунктах) сточные воды разрешали направлять на поля орошения. Если же канализации не было, жидкие отходы вывозили на поля ассенизации. Такие поля орошения появились в Киеве, Берлине, Цюрихе, Москве, Одессе, Лондоне и пр. Очистка сточных вод на полях орошения происходила вследствие испарения и вымерзания за счет природных факторов, фильтрации через слой почвы (толщиной не менее 1 м) и самоочищения от загрязнителей (преимущественно органических и микробных).

Теоретическим основанием мер запретного характера было первое научное направление по санитарной охране водоемов, которое получило название природоведче-

ского, или направления санитарного максимализма. Его сторонники (санитарные максималисты) до сих пор считают, что нужно запрещать любой сброс сточных вод в поверхностные водоемы. Конечной целью программы санитарных максималистов по контролю за загрязнением и санитарным состоянием поверхностных водоемов является возвращение их к «первозданной чистоте».

Интенсивное развитие промышленности в период научно-технической революции способствовало, с одной стороны, значительному увеличению объемов промышленных сточных вод, а с другой – концентрации большого количества населения в городах, что приводило к образованию значительного количества хозяйственно-бытовых сточных вод. В Англии, Германии, России начал ощущаться дефицит свободных земельных площадей вокруг населенных пунктов, которые можно было бы отвести под поля орошения.

Как свидетельствуют выводы отчета Английской королевской комиссии, сделанные в 1907 г., запрет выпуска сточных вод в водоемы, применяющийся в течение десятилетий, не способствовал улучшению их санитарного состояния, ибо эти требования были невыполнимы.

Второй этап решения проблемы начался в начале XX в., когда в 1906 г. комиссия Медицинского совета Министерства внутренних дел России под руководством Г. В. Хлопина впервые предложила требования к качеству сточных вод, сбрасываемых в поверхностные водоемы. Учитывая все преимущества и недостатки природоведческого направления, ученые пришли к выводу о возможности выпуска очищенных сточных вод в водоемы при условии их соответствия санитарным требованиям. Поэтому второй этап санитарной охраны водоемов получил название этапа нормирования качества сточных вод. Он предусматривал разработку стандартов качества сточных вод перед их выпуском в водоем с учетом технологических возможностей наиболее современных и эффективных очистных канализационных сооружений. Его сторонники – санитарные «техницисты» – создали соответствующее научное направление санитарно-технического максимализма. Суть его сводилась к тому, что разрешалось сбрасывать в поверхностные водоемы только сточные воды, степень очистки которых отвечала максимальным техническим возможностям очистных канализационных сооружений.

Одновременно процесс разработки стандартов осложнялся вследствие существования разных видов сточных вод, особенно тех, которые образуются на промышленных предприятиях и поэтому содержат разные загрязнители, имеют разные начальные уровни загрязнения, что связано с особенностями технологического производственного процесса. Нужно было разрабатывать стандарты не только для разных видов сточных вод, но и для разных их объемов, рек с разным дебитом. Эти стандарты нужно было часто переиздавать. За период 1906-1929 гг. было 20 переизданий стандартов.

Все это способствовало развитию (с 1929 г.) третьего этапа санитарной охраны водоемов – этапа нормирования качества воды поверхностных водоемов выше по течению за 1 км от ближайшего пункта водопользования. Научное направление, на котором основаны меры по санитарной охране водоемов, получило название физиолого-гигиенического. Сущность его заключается в нормировании не качества сточных вод, которые сбрасываются в водоемы, исходя из технических возможностей очистных канализационных сооружений, а качества воды водоема после поступления в него сточных вод за 1 км до ближайшего пункта водопользования.

На сегодняшний день разработан ряд нормативных документов, регламентирующих количество и объемы сбрасываемых веществ с водами в поверхностные водотоки.

Для определения содержания в коллекторно-дренажных водах нормируемых загрязнителей существует несколько различных методов, которые с достаточной степенью условности можно разделить на традиционные и перспективные.

К традиционным методам относятся в первую очередь весовые и объемные, в том числе титрометрические, методы определения содержания в воде главных ионов некоторых компонентов. Данные методы являются классическими и с точки зрения аналитики точными, но трудоемкими.

К перспективным методам можно отнести ионометрические, спектрометрические и другие, которые позволят значительно снизить затраты труда, что увеличит число измерений за более короткий промежуток времени. Это позволит сократить время, затрачиваемое на проведение анализов, и осуществлять контроль качества дренажных вод более мобильно. Рассматриваемые методы не требуют участия специалиста-аналитика. К основным их недостаткам можно отнести необходимость проведения сложной процедуры подготовки к замерам, а именно приготовление эталонных растворов, построение калибровочных графиков и регулярного контроля за правильностью осуществляемой работы (тарировка электродов и приборов спустя определенное время или определенный объем наработки).

Эти методы относят к перспективным, так как на их базе формируются автоматизированные станции по контролю качества воды. Их работа основывается на использовании ионометрических и кондуктометрических приборов.

Созданы автоматизированные приборы с микропроцессорной техникой, в основе которых лежат спектрометрические и другие аналитические методы. Так, в Союзгипроводхозе разработана система контроля качества дренажных вод, которая состоит из комплекта ионоселективных электродов, закрепленных в специальной кассете, переключателя электродов и рН-милливольтметра [106]. Система позволяет в несколько раз сократить длительность и стоимость компонентных определений. Для ее применения при мониторинге дренажного стока на опытно-производственном участке площадью 20 га достаточно одного лаборанта (измерения проводят ежедневно в 5-7 точках коллекторно-дренажной сети по 6-8 компонентам).

Наибольшее распространение среди мелиораторов получил серийно выпускаемый солемер. Кондуктометром ММЗЧ-04, солемером САС-154, солемером ГМ-65 и кондуктометром КМ измеряют удельное сопротивление или электропроводность исследуемой воды по отношению к так называемой «нормальной воде». Иономером И-102 и рН-метом-340 измеряют активности отдельных одновалентных и двухвалентных ионов контролируемого раствора с помощью соответствующего ионоселективного датчика.

3.8 Контроль за качеством и количеством водоотведения

Первые средства контроля за качеством и количеством водоотведения характерны для оросительных систем **второго поколения**. Первая техническая литература в России, посвященная техническим устройствам по контролю за качеством водоотведения выходит в свет в 1857-1860 гг. Однако дороговизна средств контроля и необходимость полного покрытия такими средствами многочисленной сети отводящих каналов сделал решение этой проблемы невозможным для того уровня развития техники и технологий.

Переход на централизованные системы водоотведения с оросительных систем характерен для ОС **третьего поколения**. Такой переход несколько упростил задачу контроля, но с этого момента необходимым атрибутом реализации контроля за качеством и количеством водоотведения стала служить нормативно техническая литература. В бывшем СССР создание правовой основы систем контроля качества и количества

водоотведения рассматривалось как одна из приоритетных задач. Разрабатывались нормативные документы, утверждавшиеся на уровне Центрального Комитета партии и Совета Министров СССР. В настоящее время деятельность по контролю количества и качества водоотведения с оросительных систем регулируется множеством нормативных правовых и иных актов. В настоящее время в связи с появлением следующего поколения оросительных систем оказалось, что многие из существующих актов противоречат друг другу, не соответствуют европейским нормативам, не имеют статуса нормативного правового акта и поэтому могут не выполняться. Существующая правовая база ставит деятельность учреждений по мелиорации в невыполнимые с точки зрения реальной экономики условия. С одной стороны, в части покрытия собственных расходов они вынуждены жить по законам рыночных отношений. С другой стороны, оказывать свои услуги потребителям они должны на принципах, характерных для социалистической экономики, выступая в роли кредиторов не только населения и бюджета, но и многих промышленных предприятий. В рыночных условиях хозяйствования необходимо, прежде всего, определить меру ответственности каждого участника рыночных отношений. Нормативные документы должны разрабатываться на основе Гражданского кодекса РФ, Федерального закона о техническом регулировании, законов о местном самоуправлении, Федерального закона о защите прав потребителя. Сегодня государственный надзор и контроль питьевых, природных и сточных вод осуществляется на основании десятка ведомственных перечней нормируемых загрязняющих веществ, приведенных в разнообразных ведомственных документах. Контрольно-аналитическая часть перечней не проработана. Для десятков загрязняющих веществ, входящих, например, в перечни хозяйственно-питьевых и рыбохозяйственных нормативов, отсутствуют точные данные об их составе.

В настоящее время у природоохранных органов, как и у большинства предприятий, отсутствует техническая возможность контроля и мониторинга большинства веществ, на которые установлены нормативы ПДК. Систематический контроль осуществляется периодически в отношении не более трех процентов от общего количества таких веществ, при этом предприятия обязаны соблюдать нормативы ПДК постоянно, независимо от внештатных ситуаций. Кроме того, отсутствует механизм их пересмотра и обновления.

Таким образом, необходимо сократить количество веществ, в отношении которых устанавливаются нормативы и за которыми осуществляется надзор, а также регламентировать процедуру пересмотра и обновления перечня таких веществ. Подобное преобразование приведет к повышению реалистичности расчета величин выбросов (сбросов) для предприятий, усовершенствованию процедуры выдачи разрешений на выбросы (сбросы), эффективности системы государственного и производственного экологического контроля и мониторинга.

В целом системы контроля качества и количества водоотведения развивались самостоятельно и применялись в конструкциях оросительных систем по усмотрению проектировщиков. Однако в целом можно выделить 4 этапа развития таких систем:

I этап – разбивка на бассейны, выбор места для очистных сооружений и насосных станций, трассировка сети. На этой стадии возможно использование геоинформационных систем (ГИС) (например, MapInfo, ArcView, GeoГраф и др.), которые обеспечивают сбор, хранение, обработку и отображение на дисплее географически привязанной информации. Однако, например, полномасштабную автоматизированную трассировку сети произвести пока еще невозможно. Это обусловлено отсутствием четкой последовательности выбора трассы сети, т. е. эта задача плохо алгоритмизируется, она требует обязательного участия человека (прорисовка трассы вручную);

II этап – разбивка на площади стока, определение удельного расхода, сосредоточенных и путевых расходов, наконец, расчетных расходов. На этой стадии используются неспециализированные программы – электронными таблицами. Такие программы предназначены для обработки больших таблиц чисел, в нашем случае, например, длин участков, площадей и расходов. Среди наиболее распространенных – Microsoft Excel, Quattro Pro, SuperCalc и др.;

III этап – гидравлический расчет, высотное проектирование сети, расчет сооружений на сети. На этом этапе требуется применение узкоспециализированных программ. Например, программа SEWERAGE. В некоторых случаях возможно использование и более универсальных программных средств общематематического назначения, например, пакетов MathCad или Mathematica;

IV этап – конструирование сети, построение профилей, разработка строительной, конструкторской документации и смет. На этом этапе возможно использование так называемых систем автоматизированного проектирования (САПР). Они позволяют осуществить конструирование, черчение и подготовку документации для строительства. Среди этих систем лидером является AutoCAD.

Итак, в настоящее время не существует единого комплекса программ, специально предназначенных для проектирования систем контроля качества и количества водоотведения.

3.9 Управление качеством полива

Крупнейшим потребителем воды является орошаемое земледелие, которое создает гарантированный продовольственный фонд. На орошаемых угодьях возделываются рис, значительная часть овощей и фрукты. Всего на орошение сельскохозяйственных угодий расходуется около 10 % воды в год.

При решении задач комплексного использования водных ресурсов в сельском хозяйстве существует проблема, связанная с сокращением непроизводительных потерь воды (40 % объема теряется при фильтрации, испарении и сбросе). Важную роль в решении задач экономии водных ресурсов должно сыграть внедрение новых методов полива. При поверхностном поливе непроизводительные потери воды достигают 45 %, в то время как использование дождевальных машин с закрытой поливной сетью дает возможность уменьшить их до 10 %. Повышение агротехнической культуры и совершенствование сельскохозяйственного производства наблюдаются при рациональном внесении удобрений и химикатов. В настоящее время наметилась тенденция к снижению водопотребления. Однако в районах с дефицитом водных ресурсов требуется использовать резерв воды за счет внедрения водосберегающих технологий, создания водопроводов с технической водой, нормирования лимитов водопотребления, охраны вод от загрязнения, использования минерализованных вод, рационального использования запасов подземных вод. Эти пути решения покрытия дефицита воды в ряде случаев являются более экономически и экологически приемлемыми, чем территориальное перераспределение водных ресурсов.

Для комплексного использования и охраны водных ресурсов в стране применяют системный подход к управлению процессами использования бассейнов рек. Для этого существует оперативный учет на базе современной технологии автоматического сбора информации, включая использование геостационарных искусственных спутников Земли.

Функции систем управления орошением базируются на решении множества взаимосвязанных задач планирования и последующего управления водораспределением, в том числе путем согласования сроков и объемов подачи воды с работой поливной техники. Оперативное управление поливами на крупных оросительных системах

можно разделить на два этапа: планирование поливов по агрометеопараметрам и последующая их организационно-технологическая реализация. В эффективном использовании водных, технических, энергетических и трудовых ресурсов оперативное управление играет важную роль, обеспечивая благоприятные условия для формирования урожая сельскохозяйственных культур.

Проблема управления качеством поливов получила распространение при широкомасштабном развитии орошения в период строительства и эксплуатации оросительных систем **третьего поколения**. Грузные поливные нормы, отсутствие достоверных данных о величине влагозапасов на конкретный момент времени начала поливов, игнорирование в практической деятельности физико-механического состава почв и многих других факторов привели к развитию деградационных процессов и перерасходам воды, и как следствие к потерям урожая сельскохозяйственных культур. Необходимость управления качеством поливов возникла после многолетнего изучения результатов контроля качества орошения различными поливными машинами и установками.

В начале 50-х гг. прошлого века за рубежом на орошаемых полях появляются первые датчики влажности почвы на контроллерах управления дождевальными машинами. В 70-х гг. был внедрен в практическое производство первый датчик качества дождя, первый электромагнитный клапан, первый полупроводниковый блок управления (и первый блок управления с мульти-переключателем), первое сопло с нормированным количеством осадков и многое другое. Но в целом, несмотря на достигнутые успехи, высокая дороговизна этих аппаратов и неизбежная доработка технологий их изготовления не позволили широко внедрить их в практику в то время.

Прежде, чем освещать перспективы управления качеством поливов, следует более детально осветить историю развития этого направления.

Управление качеством поливов как научное понятие возникло в середине XX века, когда развитие более совершенных оросительных систем в Европе и США положило конец мелкоочаговому орошению и потребовало новых подходов к организации и качеству труда в результате перехода к крупносерийному и массовому производству сельхозпродукции.

Несмотря на значительные успехи в организации производства, уровень качества поливов во второй половине 20-го столетия оставался низким, а хорошее качество достигалось значительными затратами на совершенствование и увеличение объемов контролирующей аппаратуры.

В 90-х годах на первый план в обеспечении качества поливов начали выходить понятия «система качества» и «сертификация систем качества». Новая система управления качеством поливов только, по-видимому, рождается.

Основное отличие новой системы от вышеупомянутых систем заключается в том, что потребителю современных дождевальных машин дается гарантия на качество поливов не отдельно взятого поля (отдельного образца ДМ), а на всю выпускаемую продукцию. Это достигается за счет сертификации (подтверждения соответствия) системы качества предприятия, обеспечивающей качество изделия и его экологичность на всех этапах жизненного цикла.

Сегодня управление качеством поливов является главным приоритетом. В последние годы возрос интерес сельхозпроизводителей к восстановлению и реконструкции оросительных систем и, соответственно, обеспечению их эффективной эксплуатации, во многом определяющей рациональное использование мелиорируемых земель. Системное рассмотрение и анализ основных путей повышения эффективности использования орошаемых земель позволяет сделать вывод о необходимости создания новых и модернизации существующих систем управления качеством поливов. Практическая реализация таких систем позволит обеспечить рациональное распределение ороси-

тельной воды по полям и культурам, назначение поливов сельскохозяйственных культур в зависимости от потребности растений с учетом технических возможностей оросительной сети и др. Качество начинается в понимании особенностей применения продуктов и приводит к результатам, отвечающим самым высоким стандартам в отрасли. В начале процесса проектирования технически более совершенной поливной техники используются последние достижения в компьютерном моделировании и технологиях изготовления прототипов.

Сутью управления качеством полива является поддержание влажности гранта на определенном уровне. Итак, под режимом орошения в смысле практического управления будем понимать совокупность значений числа поливов и норм, сроков и средств проведения.

Для решения сравнительно этой совокупности требуется учет ряда взаимосвязей как в самой системе орошения, так и по отношению к окружающей среде. С приближением к объективной потребности использования расчетных, автоматизированных методов выработки и реализации процедур принятия решений, такая ситуация может стать проблемной. При этом подчеркнем, что почти все более или менее проверенные практикой средства расчетов норм и сроков поливов ориентируются на динамику влажности гранта. Как уже определялось, суть этих средств заключается в предоставлении возможности принять решение об экономически целесообразных мерах помощи влажности грунта на определенном (необходимом) уровне. Хотя на этом пути в собственной деятельности необходимо учитывать не только лишь текущие метеорологические обстоятельства, динамику влагообеспечения грунта и степень доступности влаги для растений, фенологические особенности культур и их состояние, хозяйственные, производственно-инженерные, финансово-экономические обстоятельства в условиях, но еще и взаимосвязи. В литературных источниках материала для анализа взаимосвязей между факторами и результатами их комплексного воздействия заметно не хватает. Если учесть, что именно взаимосвязи определяют и гарантируют выбор лучших управлений, то отсутствие подобного комплексного подхода делает невозможным использование экономически оправданных орошаемых схем в производстве.

Все приведенное определяет потребность поиска подобного подхода к управлению качеством поливов, в основе которого бы было положено вроде бы целостное представление сравнительно трудности орошения, которое предусматривало бы учет совокупности вопросов, связанных с оптимизацией водного режима поля в рамках единой системы.

Теоретической основой перспективных подходов в управлении качеством поливов могут служить разработки в области водного режима и физиологии растений, методы системного анализа и исследования операций, развития методов создания информационных систем, моделирующих ПЭВМ. Уместно заметить, что методы математического программирования, не связанные с необходимостью получения решения в замкнутой аналитической форме, и по этой причине охватывают серьезно более широкий круг задач, не требуя остаточного упрощения. При этом они не дают явного решения задачи, а только указывают алгоритм, реализация которого и ведет к конкретному решению. Эти обстоятельства значительно расширяют возможности альтернативного способа по сравнению с аналитическими методами. Как видно, разработка алгоритмов управления объектом включает 2 этапа. На первом этапе предлагается модель объекта, что позволяет прогнозировать его поведение в тех или других условиях. На втором этапе, опираясь на такую модель, создается собственно алгоритм управления, что оптимизирует по заданному критерию условия функционирования поливной

техники. Подобный алгоритм должен учитывать, как воздействуют факторы и какова реакция на них с позиции объекта, каковы ограничения, имеющие место в реальной ситуации. Значительно, что эти этапы взаимосвязаны. Так как данный подход почти исключает создание единого алгоритма (чтоб решить любую задачу), целесообразными будет рассматривать задачи управления качеством поливов как задачу оптимизации в общем виде, так и задачи типичные для современных случаев и условий, т. е. предлагается комплекс моделей и алгоритмов, расчетные схемы которых зависимы от вида выбранной модели, наличием ограничений и производственными условиями. В этом смысле может быть реализован многоуровневый подход, для которого характерны разложение общей модели на составляющие, последовательная оптимизация локальных задач и подходящий синтез полученных результатов по управлению качеством поливов. Это решает задачу и позволяет оптимизацию решений и повышение их практической эффективности.

3.10 Контроль состояния ГТС

Задачей контроля состояния гидротехнических сооружений является производство необходимых проверок, относящихся к оценке состояния сооружения, его возможности выдерживать действующие на него нагрузки и выполнять технологические функции при эксплуатации энергетического объекта. Функционально данный комплекс работ как необходимый элемент эксплуатации оросительных систем получил распространение с появлением оросительных систем **третьего поколения**, хотя основы расчетов и основополагающие методики были отработаны в отраслях гидроэнергетики, водоснабжения, водном транспорте и др.

В настоящее время под понятием «контроль состояния гидротехнических сооружений» следует понимать комплекс систематических наблюдений, периодических обследований, исследований и испытаний, в задачу которых входит определение в любой отрезок времени состояния гидротехнических сооружений, их оснований и боковых примыканий, нагрузок, действующих на сооружения, с целью проверки надежности и безопасности сооружений (**51**) [33, 107, 108] (приложение Б). Таким образом, к контролю состояния сооружений относится не только выполнение наблюдений, но и обработка их результатов с расчетами и анализом прочности, устойчивости, фильтрационного режима, химических процессов, пропускной способности, гидравлических режимов и т. д.

В идеологии информационного обеспечения информация, получаемая с объектов ОС и формируемая на ЦДП, подразделяется на технологическую, тестовую и прогнозную. Технологическая информация отражает фактическое состояние объектов ОС через контролируемые параметры. Тестовая информация с контрольных точек ОС является строго параметрической, имеет ограниченный объем и поступает на ЦДП независимо от другой информации. По каналам поступления тестовой информации может транслироваться лишь информация о неординарных ситуациях на ОС. Прогнозная информация формируется в ЦДП на основе моделирования технологических процессов водопользования с использованием других видов информации (технологической и тестовой).

В общем виде все процедуры сбора и обработки информации о состоянии объектов оросительной системы, включая формирование информационных потоков, можно объединить термином «диагностика технологических процессов водопользования». Методология диагностики выполнения технологических процессов водопользования основана на сравнении данных о величинах управляющих воздействий с соответст-

вующими данными о величинах параметров, характеризующих фактическое изменение состояния объекта управления.

Для повышения оперативности диагностики оценка состояния (характеристики протекания) технологического процесса производится не по величинам измеряемых или контролируемых параметров, а по их отклонениям от требуемых величин. При таком методе возможно перенесение процедуры диагностики с объектов ОС непосредственно на ЦДП.

Несмотря на накопленный опыт проектирования, изысканий, расчета и строительства гидротехнических сооружений, улучшение качества материалов, средств контроля, а также повышение общего уровня знаний и инженерных решений, опасность серьезных аварий и ЧС на ГТС и по берегам рек нельзя исключить и в будущем. В связи с этим остается потенциальная угроза для жизни населения, проживающего ниже гидросооружения. Чтобы избежать негативных последствий и жертв от наводнений и волн прорыва необходимо создание оперативной системы мониторинга безопасности водохозяйственных сооружений и защиты территорий от вредного воздействия вод.

Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений, с учетом международного опыта, представляется как системный процесс, включающий ряд взаимосвязанных процедур, ориентированных на предотвращение аварийных ситуаций, локализацию аварий при их возникновении, а также устранение их последствий. Комплексы таких задач реализуются в ходе проектирования, строительства и эксплуатации оросительных систем четвертого поколения. Меры предупреждения аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях должны рассматриваться как непрерывная совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых этапов от проектирования, строительства и эксплуатации и до эффективного управления этими объектами. Основой этого могут служить комплексные методы анализа состояния гидротехнических сооружений с использованием данных космического и наземного мониторинга.

Наземный мониторинг ГТС несколько шире, чем космический и он, наряду с результатами, получение которых возможно дистанционными методами, позволяет осуществлять более широкий спектр наблюдений, который касается в значительной степени непосредственно плотин. Современные методы наземного мониторинга и состав инструментального обеспечения, используемые в России, не учитывают сегодняшнее состояние и развитие систем измерения, в том числе и геодезического плана.

Современные средства спутникового позиционирования, такие как GPS-измерения, позволяют отслеживать положение точек на теле плотины (на открытых участках) в режиме постоянного слежения с максимально доступной скоростью измерения положения до 20 раз в секунду. Такие стационарно установленные в ответственных местах плотин GPS-приемники без дополнительных затрат трудовых ресурсов могут в значительной степени сократить объем обязательных геодезических наблюдений в разы и при этом осуществлять контроль положения контрольных точек практически в непрерывном режиме. Система может быть оснащена базовой и контрольной станциями спутникового мониторинга, оптико-электронной станцией в виде роботизированного тахеометра, сети коммуникаций (радио, интернет, GSM, оптоволокно) и центра управления системы с программным комплексом DC3.

При построении информационно-измерительных комплексов выбор структуры и КТС СИО во многом зависит от начального уровня технической оснащенности ОС и наличия телефонных или иных каналов связи.

При этом превалирующим фактором является вид и характеристики телекоммуникационных каналов связи. Опыт создания АСУТП ОС, анализ современного со-

стояния ОС показал, что для передачи информации используются в основном общегосударственные телефонные или местные радиотелефонные каналы связи. Ранее на отдельных ОС апробировались телемеханические системы с проводными (кабельными) линиями связи. В настоящее время все они практически утрачены, а их восстановление не рентабельно.

Структура измерительных систем и КТС определяется, исходя из существующей конструкции объектов ОС и характера технологических процессов. В общем случае СИО представляет собой сложную многоуровневую структуру. На нулевом уровне располагаются источники технической, гидрологической и агрометеорологической информации (ИИ).

На первом уровне располагаются ПСИ, в которые поступает информация с нулевого уровня. На более высоких уровнях находится коммутационное оборудование, размещенное в ДП и позволяющее более полно использовать каналы связи. В корневой вершине располагается ЦДП-ВЦ для обработки всей поступающей информации. С учетом особенностей формирования СИО на нулевом и первом уровне целесообразно использование многоканальных измерительных систем, а на уровне II и IV могут применяться исключительно многоточечные измерительные системы. Для комплексного автоматизированного мониторинга ГТС в режиме реального времени с успехом используются системы, включающие как GPS-системы, так и набор разнообразных датчиков, измеряющих вибрации, наклоны и другие виды деформаций. Измеренные параметры передаются по системе сбора и передачи информации в центр автоматизированной обработки, где накапливаются и обрабатываются в режиме реального времени. В случае опасного развития деформационных процессов система дает предупреждение. При обследовании земляных плотин и дамб важно выявить скрытые дефекты в теле и конструкциях сооружений ГТС, обнаружить водонасыщенные зоны и другие неоднородности или аномалий, влияющие на устойчивость ГТС. Для обнаружения таких дефектов возможно использование систем георадиолокация, основанные на электромагнитном методе геофизики, изучающее отклик среды на излучаемое электромагнитное поле. Принцип действия георадара основан на излучении сверхширокополосных наносекундных импульсов, приеме сигналов, отраженных от границ раздела сред, стробоскопической обработке принятых сигналов и последующим измерением временных интервалов между отраженными импульсами.

При перемещении георадара по поверхности исследуемой среды на экран монитора выводится совокупность сигналов (радарограмма или профиль), по которым можно определить местонахождение, глубину залегания и протяженность объектов. Так, георадарная съемка, осуществляемая с поверхности водоема (с лодки или другого плавсредства), позволяет картировать не только положение дна, но и определить структуру донных отложений и их мощность. Используя специальное программное обеспечение можно на основе профильных радарограмм получить объемную модель исследуемого объекта. Заключительным звеном будущей системы автоматизированного мониторинга ГТС оросительных систем пятого поколения должна стать информационно-диагностическая система (ИДС), представляющая собой систему по сбору, хранению, обработке визуализации показаний датчиков в различном виде, анализ полученных данных, структурирование и вычисление контролируемых показателей состояния, сопоставление их с критериями безопасности, что позволяет выполнять оперативную автоматическую диагностику состояния сооружений, а при необходимости и более полную диагностику безопасности сооружений с привлечением экспертов [109, 110].

3.11 Управление водозаборными сооружениями, сетевыми ГТС и устройствами

Автоматизация процессов управления водозаборными сооружениями, сетевыми ГТС и устройствами впервые практически была реализована на оросительных системах третьего поколения, и с 80-х гг. прошлого века непрерывно совершенствуется и находится в процессе интенсивного развития. Для обеспечения водозабора, транспорта воды и водораспределения используются многочисленные комплексы гидротехнических сооружений различного функционального назначения. Процессы управления водозабором и водораспределением предполагают непрерывный обмен информацией между объектами ОС и центральным диспетчерским пунктом (ЦДП). Поток информации, передаваемый на ЦДП, характеризует текущее состояние объектов, обратный поток информации содержит команды управления технологическими процессами на объектах ОС. Таким образом, имеет место неразрывная функциональная, техническая и организационная взаимосвязь систем управления и информационного обеспечения водопользования.

Поскольку ранее принято функциональное деление ОС на технологические модули, целесообразно разделение комплекса задач информационного обеспечения на группы. В отечественных вариантах систем управления водопользованием при помощи водозаборных сооружений и сетевых ГТС было апробировано разделение системы информационного обеспечения на следующие подсистемы:

- подсистема оперативного контроля, управления, краткосрочного прогнозирования и принятия решений (ОКУ);
- подсистема долгосрочного и текущего учета, анализа, отчетности (учет и отчетность);
- подсистема долгосрочного планирования и прогнозирования.

Для реализации функций информационного обеспечения, возложенных на каждую подсистему, определены унифицированные комплексы основных задач.

Управление водозаборными сооружениями, ГТС и устройствами (таблица 3.6) 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.

Очевидно, что реализация такого вида работы системы управления требует:

- учета динамических свойств объекта и 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 на реальный объект.

Таблица 3.6 – Существующие способы управления водозаборными сооружениями, сетевыми ГТС и устройствами

Технологическая операция	Действие, обеспечивающее выполнение данной технологической операции		Приемы выполнения действий			
	Наименование действий	Способы осуществления действий	Наименование и содержание приема		Вид приема	
1	2	3	4		5	
Преобразование потока к виду, обеспечивающему снятие минимума данных	Формирование устойчивой структуры потока	Естественная стабилизация	Устройство прямолинейных вставок достаточной длины перед преобразователем потока и за ним		Конструктивный	
		Искусственная стабилизация	Устройство перед преобразователем потока диссипирующих решеток, пучков коротких русел, сотов и т. п.		Конструктивный	
	Сохранение устойчивой структуры потока	Стабилизация уровня воды в нижнем бьефе	Устройство перепадов с неподтопленным истечением		Конструктивный	
			Регулирование уровней воды в нижнем бьефе		Эксплуатационный	
		Фиксация формы и размеров поперечного сечения потока	Открытые, безнапорные потоки	Устройство фиксированных русел, сужающих устройств, гидрометрических лотков и т. п.		Конструктивный
				Устройство водосливов различной формы		Конструктивный
			Напорные потоки	Установка стандартных диафрагм, труб Вентури, колен и т. п.		Конструктивный

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4	5	
Снятие показаний с приборов	Обеспечение соответствия измеренного значения параметра его действительному значению	Способ прямого измерения параметра	Установка в точке измерения датчиков, форма и размеры которых минимально влияют на структуру потока		Конструктивный
			Установка датчика в точке с наименьшим влиянием на измеряемые параметры и использование коррелирующих зависимостей		Конструктивный
		Способ косвенного измерения параметра	Меточный метод	Размещение датчика вне потока с доставкой в точку измерения	Эксплуатационный
Снятие показаний с приборов	Определение местоположения точек съема достоверной информации о фиксируемом параметре	Способ прямого измерения параметра	Использование готовых рекомендаций и наставлений		Конструктивный
			Выполнение расчетов положения датчика для каждого конкретного случая по известным методикам		Эксплуатационный
		Способ косвенного измерения параметра	Использование готовых рекомендаций и наставлений		Конструктивный
Преобразование показаний приборов к виду, удобному для регистрации обработки	Первичная обработка сигналов датчика	С сохранением природы полученного сигнала	Усиление полученных от датчика сигналов		Конструктивный
			Дискретизация и популяция первичных сигналов		Конструктивный
	Преобразование вторичных сигналов и передача информации к сети регистрации	С измерением природы полученного сигнала	Преобразование сигнала, полученного от датчика, в сигнал другой природы		Конструктивный
		С сохранением природы полученного сигнала	Преобразование вторичного сигнала в сигнал другой природы, удобный для передачи на необходимое расстояние и передачи преобразованного		Конструктивный

Зависимость отдельных звеньев объекта управления ГТС один от другого, как известно, определяется их отношением к изменению основных технологических параметров на входе и выходе. 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.

Таким образом, технические средства эксплуатации и управления входят в состав управляющей подсистемы. Они включают комплекс технических средств для сбора, обработки и передачи информации и формирования управляющих сигналов или команд (диспетчерская связь, средства автоматики и телемеханики, водомерные посты, наблюдательные скважины, лаборатория производственных исследований, дороги, транспортные средства), а также производства эксплуатационных работ, производственные и жилые здания, эксплуатационную обстановку на каналах и сооружениях, лесонасаждения.

3.12 Автоматизация и телемеханизация ОС

Формирование и структурирование различных способов информационного обеспечения водопользования, включающих водоучет и водоизмерение, началось с созданием достаточно крупных ОС. Первые системы управления технологическими процессами на ОС и у нас и за рубежом по существу были системами сбора и обработки информации, назначение которых заключалось в накоплении и визуальном представлении данных. Современные ОС отличаются весьма низкой степенью технической оснащенности в части автоматизации, телемеханизации и информационного обеспечения водопользования (67, 68, 204, 221, 222) [31] (приложение Б).

Особенно существенно отставание в области использования технически совершенных средств измерений и информационно-измерительных комплексов. Вместе с тем, в последние годы интенсивно внедряются в практику управления ОС программные и технические средства, включая и геоинформационные системы (ГИС), обеспечивающие создание структурных звеньев АСУОТ прежде всего верхнего уровня управления.

Программное обеспечение СИО строится с учетом принятой идеологии информационного обеспечения, иерархической структуры системы, основных принципов создания математического обеспечения и требований к выходному продукту.

За рубежом системы обработки данных представлены в виде управленческих информационных систем (УИС), которые разрабатывались и продолжают разрабатываться для различных областей применения, включая управление орошением. В отечественной практике применялись варианты УИС, которые либо являлись компонентом АСУТП ОС, либо под названием ССОД технологической подсистемой комплексной системы управления процессами водозабора и водораспределения на ОС.

В последнее время появились новые информационные технологии, такие как геоинформационные системы (ГИС). ГИС-технологии позволяют отображать пространственные данные о географических объектах и непространственные признаки этих объектов, что логично вписывается в функциональную структуру ССОД.

Диспетчерская связь и телекоммуникационные системы контроля и связи. Диспетчер – это один компонент системы управления эксплуатацией на ОС. Это модуль, который передает управление процессором тому процессу, который был выбран на уровне кратковременного планирования. В его задачи входит переключение контекста, переключение в пользовательский режим и прыжок к нужному месту пользовательской программы, чтобы начать или продолжить ее исполнение. Главное требо-

вание к диспетчеру – это быстроедействие, поскольку он осуществляет каждое переключение процессов **(228-230)** [31] (приложение Б).

Диспетчерское управление зародилось как средство оперативного руководства движением во второй половине XIX века в США. Диспетчерская система управления движением оказалась очень эффективной, ее стали применять на всех линейно-протяженных объектах и с середины XX в. на ОС США и Европы. В Европе диспетчерская система появилась сначала в Англии в 1909 г., затем во Франции в 1919 г. и постепенно распространилась и в других странах, кроме Германии. Там она была введена лишь после второй мировой войны. Задержку с внедрением диспетчерской системы в России можно объяснить двумя причинами: отсутствием необходимой телефонной, а в настоящее время и интернет связи.

В 60-80 гг. прошлого века появились телеметрические системы, которые представляли собой попытки организовать дистанционный мониторинг небольшого числа параметров (обычно одного-двух). Все основные требования, которым должны удовлетворять современные решения типа SCADA, равно как и большинство обеспечиваемых такими решениями преимуществ, присутствовали уже в телеметрических системах начала 70 годов прошлого века хотя бы в зачаточном виде. Оперативность вывода информации на такие стены можно охарактеризовать как «приближающуюся к реальному времени»: показания индикаторов и лампочек изменялись вручную по мере того, как перемещающиеся по удаленным локациям операторы получали новые данные. ОС третьего поколения управляют на основе диспетчеризации – централизации оперативного контроля и управления на предприятиях, основанной на применении современных средств передачи и обработки информации. Диспетчеризация обеспечивает согласованную работу отдельных звеньев управляемого объекта. При этом повышаются технико-экономические показатели, ритмичность работы, лучше используются производственные мощности гидромелиоративных систем. Диспетчерская связь **(229)** обеспечивает получение информации с каждого контролируемого объекта, передачу распоряжений и проведение производственных совещаний [31] (приложение Б).

На системах распространена телефонная связь, приспособленная для диспетчерского обслуживания. Телеграфную связь применяют в основном для передачи информации с постов опорной гидрометрии, подчиненных гидрометеорологической службе. Высокоэффективна ультракоротковолновая радиосвязь, позволяющая существенно улучшить руководство системой, более оперативно решить текущие вопросы. Средства ультракоротковолновой радиосвязи применяют для обеспечения связи, как между стационарными, так и подвижными объектами. Системы обычно оборудуют радиостанциями с радиусом действия 4-20 км. При передаче на расстояние свыше 50-70 км используют ретрансляцию.

Диспетчерскую связь организуют по одноступенчатой и двухступенчатой схемам. При одноступенчатой схеме имеется один диспетчерский пункт, ведущий оперативное управление всеми управляемыми объектами. При двухступенчатой схеме имеются центральный (ЦДП) и несколько местных диспетчерских пунктов (МДП). Средства диспетчерского контроля и управления включают: средства получения, преобразования и передачи информации; средства для обработки и хранения информации, средства для формирования и передачи команд управления.

Архивное хранение данных в современных управляющих решениях типа SCADA – это не только функции БД со структурированными запросами. Подсистема хранения должна уметь оказывать помощь оператору в анализе тех данных, которые система собирает и отображает. В состав современных SCADA-пакетов включаются высокоуровневые графические средства работы с данными, поддерживающие анализ

первопричин, сравнение процессов и групп, визуализацию внештатных ситуаций на ОС и последовательностей событий.

Помимо поддержки визуальной работы с данными современные программные продукты класса SCADA должны содержать полностью интегрированные инструменты, позволяющие персоналу создавать подробные отчеты о том, что происходит на полевом уровне. Современные SCADA-системы не только помогают инженерам и операторам составлять отчеты, но и сами способны генерировать отчеты и направлять их при необходимости непосредственно в управление ОС.

Наконец, современные управляющие решения типа SCADA должны иметь полный набор функций для управления алармами, используя которые, инженеры и операторы могут конфигурировать аварийные сообщения таким образом, чтобы эффективно изолировать и идентифицировать сбои в системе. Сегодня от SCADA-пакета ожидается поддержка работы с аналоговыми алармами, статусными алармами, алармами статистического контроля производственных процессов (StatisticalProcessControl/SPC), а также возможность адаптации алармов и определения пользовательских алармов.

Современные продукты класса SCADA позволяют создавать законченные интегрированные системы управления для работы со всеми данными, поступающими по каналам ввода-вывода. Такие системы должны поддерживать назначение глобальных временных меток для всех данных, ведение глобальной истории данных и анализ данных, а также импорт данных из разных БД и представление импортированных данных таким образом, как если бы все они хранились в одной БД. Целостность данных – это один из ключевых показателей качества функционирования современного SCADA-пакета.

Для COTS-оборудования длительные жизненные циклы нехарактерны, однако SCADA-системы обязаны иметь длительный жизненный цикл. На практике это означает, что аппаратные и программные средства управляющих систем должны быть легко обновляемыми, поскольку тогда в эти системы можно будет интегрировать различные технические новинки по мере их появления. Современные SCADA-системы способны выдерживать по меньшей мере четыре-пять полных модернизаций на протяжении жизненного цикла удаленных станций и подконтрольных производственных процессов. Разработчики и интеграторы сегодняшних управляющих систем типа SCADA используют коммерчески готовое оборудование и открытые сетевые протоколы, по возможности избегая применения частных подсистем, аппаратных средств и программного обеспечения. Из этого следует, что для современных SCADA-систем готовность к модернизации можно назвать естественным состоянием.

Поскольку управляющим системам свойственно расширяться, а использующим эти системы компаниям – меняться и развиваться, очень важно, чтобы SCADA-решения изначально имели масштабируемую архитектуру: тогда наращивание их возможностей будет означать всего лишь добавление новых компонентов в существующую структуру, а не переделку всего проекта с нуля.

Несмотря на то, что управляющие системы типа SCADA зародились в индустрии распределительных сетей, а затем включили в зону своего влияния сегменты автоматизации технологических процессов и серийного производства, они успешно используются также и для автоматизации ОС. В этой связи современные SCADA-решения обязаны быть очень надежными и предусматривать резервирование как ввода-вывода, так и сети.

Исторически SCADA-системы имели дело только с данными, обеспечивая их поступление в оперативные центры управления или на головные станции распределительных сетей. В последние 10 лет глобализация и конкуренция, а также поиски новых, более эффективных способов оптимизации производства, управления основными

фондами ОС и затратами привели к необходимости прямого подключения SCADA-решений к корпоративным системам организации производства (Manufacturing Execution System /MES). Программные продукты класса MES преобразуют SCADA-данные в удобную форму и обеспечивают их доставку всем тем людям, которым по долгу службы необходимо иметь представление о работе их системы SCADA. Эти продукты должны соответствовать стандартам ANSI/ISA88 и ANSI/ISA95 и выдержать испытания на совместимость с высокоуровневыми системами SAP и другими.

3.13 Технические средства, обеспечивающие измерение аэро- и метеопараметров

Новейшие научно-технические направления, соприкасающиеся с атмосферой, потребовали знания параметров облаков – геометрических, физических и географических характеристик, их пространственно-временной изменчивости и т. д. Необходимость в таких сведениях появилась у тех, кто работает в области прогнозирования погоды, изучения климата и его моделирования, космических исследований, авиационной и радиолокационной техники и др. Это привело к необходимости привлекать новые дистанционные средства измерений, в которых применяется программируемая измерительная и вычислительная техника, позволяющая автоматизировать процессы зондирования атмосферы, анализа результатов и выдачи информации в реальном масштабе времени. С середины 40-х годов прошлого века в СССР, США, а затем и в других странах начались расширенные исследования облаков с помощью наземных станций и аэростатов, позднее появились лаборатории на самолетах. По данным этих наблюдений были составлены первые обстоятельные сводки сведений о высоте, повторяемости и микрофизическом состоянии различных типов облаков. Начиная с середины 1960-х годов, при исследовании климатологии облаков используются также метеорологические спутники. Они позволяют более наглядно представить облачность в глобальном масштабе. Данные наблюдений со спутников составили основу для ряда статистических и справочных публикаций о количестве облаков, их формах, глобальном распределении, взаимосвязи типов и т. д. Система зондирования атмосферы, удовлетворяющая современным требованиям науки и практики, состоит из средств космического самолетного, корабельного и наземного базирования. Она должна обеспечивать получение массивов количественных данных с требуемым пространственно-временным разрешением по погодообразующим параметрам (давление, температура, влажность, газовые компоненты, аэрозоли и облака). При такой постановке задачи мониторинга атмосферы можно рассчитывать на существенное повышение надежности прогнозов погоды и одновременно загрязнения окружающей среды, включая наступления экологически опасных ситуаций и всевозможных катастрофических явлений. По сложившейся традиции, в отечественном газоаналитическом приборостроении и мониторинге загрязнения атмосферы средства контроля газообразных сред подразделяют на: системы (комплексы), приборы и другие технические средства контроля загрязнения (ТСКЗ) воздушного бассейна, при этом группируя их по особенностям анализируемой воздушной среды. При этом ТСКЗ атмосферы также традиционно подразделяют по степени их автоматизации на автоматические газоанализаторы (средства измерения содержания ЗВ) и(или) газосигнализаторы (средства индикации уровня загрязнения) и неавтоматизированные приборы или другие средства контроля паровоздушных смесей и газовой среды (например, ручные экспрессные газоопределители). На современном российском рынке средств экоаналитического контроля более всего распространены автоматические газосигнализаторы, которые постепенно замещаются газоанализаторами, являющимися средствами измерения со всеми вытекающими из этого «метрологическими последствиями». Значительную долю рынка также до сих пор занимают неавтоматизированные ТСКЗ атмосферы на основе индикаторных тру-

бок, полуколичественных экспресс-тестов, индикаторных билетов, бумажек, красок, мелков, пленок и т. д. Именно такие средства являются наиболее доступными для общественного экологического контроля и «школьного» экомониторинга в силу их простоты и дешевизны. Профессионально они чаще всего используются при полевом контроле «на месте» для решения первой задачи в технологической цепочке «поисковой», а также для предварительных и весьма приблизительных («полуколичественных») измерений. Примеры наиболее типичных средств и их основные характеристики рассматриваются далее.

Всего в Госреестре средств измерения (СИ) зафиксировано более 150 марок отечественных (35 %) и импортных (около 65 %) газоаналитических приборов, являющихся аттестованными СИ. Они могут быть сгруппированы по убыванию их числа следующим образом:

- промышленные газоанализаторы – более 60 (свыше 40 %);
- анализаторы атмосферного воздуха – около 50 (30 %);
- газоанализаторы транспортных выбросов – около 20 (13 %);
- аппаратура контроля пыли и дымности – около 20 (13 %);
- иные (экспресс-определители и др.) – более 5 (около 4 %).

Комплекты лаборатории включают в свой состав газоопределитель химический многокомпонентный ГХК (рег. № 1817799 Госреестра), разрешенный к применению в России взамен хорошо известного универсального газоанализатора УГ2, производимого на Украине. Набор применяемых с ГХК (аспиратор НПЗМ, № 816699 Госреестра и зонд пробоотборный ЗПГХКПВ) метрологически аттестованных индикаторных трубок (серия ТИ, № 1742998 Госреестра) позволяет анализировать с их помощью довольно широкий перечень веществ.

Несмотря на бурное развитие программного обеспечения, темпы развития методов и аппаратуры для проведения измерения параметров облачности крайне невысоки. Существующая на данный момент для этих целей измерительная аппаратура требует постоянного участия оператора как в процессе наведения и измерения, так и в дальнейшей обработке экспериментальных данных. Автоматизация этих процессов позволит уменьшить зависимость результатов от субъективных особенностей оператора. Кроме того, она имеет большие стоимость и габариты, что делает ее непригодной для проведения оперативных исследований в полевых условиях. По этим причинам особую актуальность приобретает разработка современных, простых в производстве и обслуживании, мобильных, автоматизированных и надежных установок для контроля метеопараметров облачности.

Основной тенденцией развития такой аппаратуры является полная автоматизация процессов измерения и обработки полученных данных, с целью свести к минимуму работу оператора.

3.14 Способы орошения

Во все времена основной проблемой человечества являлось обеспечение продуктами питания. С увеличением численности людей и концентрацией их на небольших территориях с оседлым образом жизни потребовалось решать вопросы обеспечения населения продовольствием, выращенным на освоенных землях. Из дошедших до нас литературных источников известно, что еще 5 тысяч лет назад людьми выращивались ячмень, пшеница, рис, сорго, соя и другие культуры. Для увеличения объемов производства растениеводческой продукции население использовало природно-климатические условия территорий. В странах с недостаточными осадками в период вегетации сельскохозяйственных культур для восполнения дефицита влаги в почве ис-

пользовали разливы рек и затопленные проточными водами поймы рек и аккумулярованные воды в понижениях (естественных лиманах).

В странах с выпадением больших количеством осадков в вегетационный период, например в условиях муссонного климата люди также приспособились аккумулировать осадки на обвалованных и затопляемых участках и выращивать рис в чеках. Это были первые попытки человечества использовать воду для орошения и получения дополнительной продукции и это, по-видимому, можно считать началом развития оросительных мелиораций. Это можно принять как способ полива, относящийся к оросительным системам **первого поколения**.

С усовершенствованием технологий орошения поверхностный способ полива затоплением дополнился поливами по бороздам и полосам за счет строительства гидротехнических сооружений на ручьях и реках для подъема воды (водоподъемные колеса (28, 34), винты Архимеда, Давинчи и пр.), накопления воды в искусственных водохранилищах и самотечной водоподдачи воды на орошаемые поля в течение вегетационного периода культурных растений [31] (приложение Б). Вся оросительная сеть была в земляном русле с простейшими приспособлениями для перераспределения воды в каналы низших уровней и на орошаемые поля. Эти способы полива можно условно отнести к оросительным системам **второго поколения**.

С появлением механических машин для подъема воды появилась возможность подавать большие объемы воды в оросительные сети, при этом каналы были в земляном русле и полив осуществлялся поверхностными способами по бороздам для полива пропашных культур (например, хлопок), и по полосам для полива сельскохозяйственных культур сплошного посева (зерновых колосовых) и затоплением рисовых чеков. Эти способы полива можно и оросительные системы можно отнести к оросительным системам **третьего поколения**.

С появлением крупных оросительных систем инженерного типа с облицованными каналами (магистральные и межхозяйственные каналы), снабженными противифльтрационной системой защиты от потерь воды, и использованием трубопроводов на внутрихозяйственной сети повысилась КПД водопроводящих каналов, появились новые виды орошения с более высоким КПД использования водных ресурсов: дождевание (70), капельное (73), аэрозольное и внутрипочвенное орошение (69), которые, на сегодняшний день, имеют большое распространение [31, 38, 111, 112] (приложение Б). Эти способы полива и оросительные системы можно отнести к оросительным системам **четвертого поколения**.

Вопросы, связанные с улучшением способов и технологий орошения являются актуальными и требуют постоянного усовершенствования, поэтому ведется разработка оросительных систем **пятого поколения**, сочетающих в себе высокое КПД водопроводящей сети (на уровне 0,98), высокое КПД использования водных ресурсов поливными машинами непосредственно на орошаемых полях с КПД 0,95-0,98, полная автоматизация и телемеханизация процессов водораспределения и водопользования, повышение безопасности ГТС, эффективные мероприятия по эксплуатации оросительных систем, поливной техники, улучшения мелиоративного состояния земель и повышения плодородия почвы.

Современное орошение в России представлено в основном пятью способами орошения: поверхностный (самотечный) полив (90), дождевание (70), подпочвенное орошение (78), капельное (125) и аэрозольное орошение [31, 33, 38] (приложение Б). Под орошением подразумевается комплекс мероприятий, направленных на восполнение дефицита влаги в почве путем подачи воды на поле и его распределения в верхнем слое почвы, в которой наиболее распространена корневая система культурных растений.

3.14.1 Поверхностное орошение

Это способ орошения, при котором вода распределяется по поверхности земли в виде сплошного слоя или в виде отдельных струй. В зависимости от способа передвижения и распределения воды по полю и переводу его в почвенную влагу подразделяют на три способа: способ полива по бороздам, когда вода передвигается струей по нарезанным бороздам (в междурядьях растений или по стерне при влагозарядковом поливе), впитывание воды происходит в дно и боковые поверхности гребней; способ полива по полосам, когда вода передвигается по склону сплошным слоем по поверхности почвы, полоса ограничена по бокам земляными валиками через определенное расстояние (кратное ширине захвата сеялки), впитывание происходит в поверхность почвы; орошение затоплением производится на рисовых чеках с постоянным восполнением потерь воды на испарение и фильтрацию в течение вегетационного периода риса и на лиманах, затопляемых талыми водами или подачей воды из оросительной сети, т. е. регулируемое затопление.

Поверхностное орошение, несомненно, можно отнести к самому раннему способу орошения, которое присутствует в оросительных системах первого и последующих поколений.

3.14.2 Орошение дождеванием

Это способ орошения, при котором вода подается на поле путем ее искусственного распыления над культурными растениями. Этот способ наиболее приближен к естественному дождю. Увлажняется почва, растения и приземный воздух, что создает особый микроклимат на поле: повышается относительная влажность воздуха, снижается температура воздуха и почвы, что оказывает благоприятное влияние на рост и развитие растений. Дождевание (70) осуществляют дождевальными аппаратами, в которые вода поступает по трубопроводам под напором [31] (приложение Б).

Дождевание (70) [31] (приложение Б) начали использовать с появлением силовых машин, способных создавать напор в трубопроводах и дождевальных аппаратах. Этот способ орошения применяется, начиная со второго поколения оросительных систем и будет использоваться в дальнейшем.

3.14.3 Подпочвенное орошение

Способ орошения, при котором вода распределяется в почве по заложенным в земле трубам, кротовинам или системе заглубленных самотечных каналов. В нашей стране получило развитие с конца 70-х гг. XX века благодаря работам академиков РАСХН Б. С. Маслова, М. С. Григорова, И. П. Кружилина, проф. М. Н. Багрова, В. И. Бобченко, В. Р. Ридигера. Кротовины устраивают на глубине 30-50 см, из которых вода впитывается в почву и передвигается вверх за счет капиллярных сил и напора воды в кротовине. По сравнению с поверхностными поливами подпочвенное орошение (ПО) обеспечивает более высококачественное увлажнение, дает возможность автоматизировать технологию орошения. Для эффективной работы систем ПО необходимы высокая водопроницаемость почвогрунтов и ровная поверхность поливных участков. Применяется на сравнительно небольших площадях в США, Нидерландах, Германии, Польше, Великобритании и др.; в России ПО используют в основном в поймах рек Москвы [113-115]. Подпочвенное орошение является частным признаком становления оросительных систем четвертого поколения.

3.14.4 Капельное орошение

Это способ орошения, когда вода подается растениям капельным или близким к нему истечением воды (подкрановое микроорошение, микротрубки) из трубопрово-

дов (капельных линий) в зону расположения корневой системы. Вода и питательные вещества подаются небольшими порциями к корням растений, междурядье не увлажняется. Капельные системы орошения относятся к высокотехнологичным способам орошения и требуют точного исполнения технологических операций и относятся к оросительным системам четвертого поколения.

3.14.5 Аэрозольное орошение

Способ орошения, при котором вода подается различными видами форсунок в виде мелко распыленной дисперсной струи, поэтому этот способ еще называют мелкодисперсным. Применяется для создания микроклимата в посевах сельскохозяйственных культур. Интенсивное испарение влаги увеличивает относительную влажность воздуха и снижает на несколько градусов температуру воздуха, что является положительным в аридной и субаридной зонах.

Капельное и аэрозольное орошение начали использовать в оросительных системах третьего и четвертого поколений.

3.15 Конструктивные элементы и поливная техника

Данные конструктивные элементы появились на стадии становления оросительных систем первого и второго поколений и получили развитие при реализации функциональных возможностей ОС третьего поколения. Приведенные ниже характеристики борозд, полос, кротовин, чеков и др. характерны для ОС третьего поколения.

3.15.1 Поливная борозда

Поливная борозда **(3)** служит в основном для распределения воды по орошаемому полю, засеянному пропашными культурами с широкими междурядьями, хотя применяется и для полива культур сплошного посева, тогда борозды и гребни засеваются [31] (приложение Б). Они нарезаются параллельно границе поля, вдоль уклона при малых уклонах поверхности или под углом к основному уклону поверхности поля. Различают поливные борозды: по глубине – мелкие, средние и глубокие; по длине – короткие, средние и длинные; по форме треугольные, трапецеидальные, борозды-щели **(4)** [31] (приложение Б); по технологии полива – проточные и тупые (затопляемые). Техника полива по бороздам, в т. ч. длина, расходы струи в борозду, расстояние между бороздами определяются водопроницаемостью почвы, уклонами и высеваемыми культурами (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Показатели техники полива по бороздам (для ОС третьего поколения)

Средняя за первый час наблюдений скорость впитывания, м/час	Уклон поверхности орошаемого участка	Длина борозд, м	Расход воды в борозду, л/с
Менее 0,05	0,002-0,004	250-300	1,5-1,2
	0,004-0,007	300-350	1,2-0,8
	0,007-0,010	350-450	0,8-0,5
0,05-0,15	0,002-0,004	200-250	1,5-1,2
	0,004-0,007	250-300	1,2-1,0
	0,007-0,010	300-400	1,0-0,8
Более 0,15	0,002-0,004	120-200	2,0-1,5
	0,004-0,007	200-250	1,5-1,2
	0,007-0,010	250-350	1,2-1,0

3.15.2 Поливная полоса

Поливная полоса (86) получила распространение в пограничной зоне между вторым и третьим поколениями оросительных систем [33] (приложение Б). Служит для распределения по поверхности почвы сплошного слоя воды для орошения сельскохозяйственных культур узкорядного и сплошного способа посева. Полосы разграничиваются валиками. Валики нарезают параллельно краю поля вдоль уклона. Различают полосы узкие, равные ширине захвата сеялки (2-5 м) и широкие, имеющие ширину, кратную ширине захвата сеялки (шириной от 5 до 20 м). Узкие нарезаются на участках, имеющих по отношению к краю поля боковой уклон (поперечный), который препятствует равномерному распределению воды по ширине полосы. Параметры поливных полос ОС третьего поколения представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Наилучшие параметры поливных полос характерных для ОС третьего поколения

Средняя за первый час наблюдений скорость впитывания, м/час	Уклон поверхности орошаемого участка	Длина полосы, м	Величина удельной струи, л/с
Менее 0,05	0,002-0,004	250-300	8-6
	0,004-0,007	300-350	6-5
	0,007-0,010	350-400	5-4
0,05-0,150	0,002-0,004	200-250	10-8
	0,004-0,007	250-300	8-6
	0,007-0,010	300-450	6-5
Более 0,15	0,002-0,004	150-200	12-10
	0,004-0,007	200-250	10-8
	0,007-0,010	250-300	8-6

3.15.3 Поливная кротовина

Поливные кротовины представляют собой искусственно созданные полости в почве на глубине до 50-60 см в виде кротовин, в которые подается вода для орошения сельскохозяйственных культур. Кротовины устраиваются специальными агрегатами (кротователь), которые имеют закрепленный на раме нож высотой 0,8-1,0 м толщиной 15-20 мм, в нижней части которого шарнирно закреплена металлическая округлая (овальная) металлическая болванка, протягивание которой образует в почве кротовины. Вода в кротовины поступает через распределительные трубопроводы, заглубленные в почву, ниже нарезаемых кротовин на 20-30 см. В трубопроводе имеются отверстия, через которые вода поступает в пористый материал (щебень, гравий) и распределяется по кротовинам. Вода впитывается в почву и по капиллярам поднимается к поверхности почвы и увлажняет верхний слой.

3.15.4 Поливной чек

Под поливным чеком понимают огороженный земляными валиками участок поля, предназначенный для выращивания риса и сопутствующих культур. На выровненной поверхности с незначительными уклонами строят крупные чеки площадью 10-20 га и более, на склонах с большими уклонами строят чеки малой площади от 0,5 га. Поверхность чеков планируют под горизонталь с использованием современных планировочных машин с лазерным наведением, точность горизонтальной планировки допускается не более ± 5 см. Валики чеков могут быть постоянными и временными, проходимые и непроходимые для сельскохозяйственных машин с высотой непроходимого – 0,35-0,45 м с заложением откосов 1:4-5 и проходимого – 0,5-0,6 м с заложением 1:1,5

с шириной валика по гребню 3 м. Заполнение и отвод воды с чека выполняют оросители-сбросы глубиной 1-2 м.

3.15.5 Выводная борозда

Выводная борозда (2) служит для распределения и подачи воды в поливные борозды и полосы [31] (приложение Б). При продольном расположении временных оросителей, поливных борозд (полос) выводные борозды нарезают поперек них. При поперечном расположении поливных борозд или полос выводные борозды не нарезают, воду подают из временных оросителей. Размеры выводных борозд должны обеспечить подачу расчетного объема воды одновременно в 20-50 борозд или в 3-5 поливных полос.

3.15.6 Временный ороситель

Временный ороситель устраивается в земляном русле на период орошения культур путем нарезки каналопателем (КЗУ-0,3, МК-19 и пр.). Их нарезают вдоль уклона параллельно стороне поля (8) [31] (приложение Б). Это временный канал открытой оросительной сети служит для подачи воды из внутрихозяйственного распределителя в выводные или поливные борозды (полосы) (7-9) или к дождевальным машинам (94) [31] (приложение Б). Параметры временного оросителя назначают по расчетам в зависимости от технологии орошения. При поверхностном поливе расстояние между временными оросителями может составлять 70-200 м и более, длина 500-1000 м и более, подаваемые расходы могут составлять 30-100 л/с при поверхностном поливе или равные расходу дождевальной машины. Формы сечения временного оросителя обычно трапециевидные с шириной по дну 20-60 см, по верху 70-120 см, заложение откосов – 1:1,5.

3.16 Системы земледелия

Земледелие – древнейшая, очень сложная сфера человеческой деятельности, возникшая и формировавшаяся тысячелетиями, появление которого стало крупнейшим событием в развитии цивилизации. Оно позволило перейти от кочевого и создать основу совершенно нового оседлого образа жизни и труда человека [116].

Системы земледелия имеют богатую историю развития. Они возникали и сменялись в зависимости от развития производительных сил общества и научно-технического прогресса. Роль социально-экономических отношений при освоении систем земледелия особо подчеркивал первый доктор сельскохозяйственных наук в России А. В. Советов, выдающийся российский ученый К. А. Тимирязев говорил: «Культура поля всегда шла рука об руку с культурой человека» [117].

В настоящее время под системой земледелия понимают комплекс взаимосвязанных агротехнических, мелиоративных и организационных мероприятий, направленный на эффективное использование земли и других ресурсов, сохранение и повышение плодородия почвы, получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Системы земледелия изменялись с развитием сельскохозяйственного производства, каждая соответствовала степеням интенсивности возделывания сельскохозяйственных культур, по которым системы подразделяются на четыре группы: примитивные, экстенсивные, переходные и интенсивные.

Примитивные системы земледелия на орошаемых землях характеризуются очень малой площадью земли, обрабатываемой под посевы культур (25 % и меньше). Восстановление плодородия почв в этих системах возлагалось полностью на естественные процессы природы. К ним относятся подсечно-огневая, лесопольная, залежная и переложная системы земледелия. Эти системы земледелия качественно характеризуют **первое поколение** оросительных систем.

Экстенсивные системы земледелия характеризуются тем, что все пахотнопригодные земли или большая их площадь превращены в пашню, значительная часть которой отведена под пары. Высеваются при этих системах в основном зерновые культуры; кормовые и технические культуры не высевали или они занимали незначительные площади. Плодородие почвы поддерживается природными факторами, направляемыми в той или иной мере человеком (обработка пара, посев трав) и в меньшей мере – промышленными средствами производства (орошение, осушение, удобрения и др.), а также комплексной мелиорацией. К ним относятся паровая и многопольнотравяная.

Паровая система земледелия возникла при рабовладельческом строе, но более широкое распространение получила при феодализме, заменив во многих местах переложную систему. Ее появление вызвано дифференциацией общества, недостатком свободной земли и развитием средств производства и оросительных систем **второго поколения**. Недостаток свободной земли привел к тому, что срок перелога в землепользовании постепенно начал сокращаться до 15, 10, 5 лет, а затем до 1 года. Этот одногодичный перелог обрабатывали для борьбы с сорняками, мобилизации питательных веществ, накопления в почве влаги и часто удобряли. Такое поле начали называть паром (отдых земли).

Восстановление и повышение плодородия почвы с помощью пара называлось паровой системой земледелия. При ней появились 2-польные и 3-польные севообороты (парозерновые): 1) пар; 2) озимые и 1) пар; 2) озимые; 3) яровые.

Возрастающая потребность в разнообразной сельскохозяйственной продукции и накопление опыта по возделыванию культур привели к дальнейшему совершенствованию систем орошаемого земледелия и севооборотов. Появились переходные от экстенсивных к интенсивным системам земледелия: зернотравяная, паропропашная и травопольная. В нечерноземной полосе в крестьянских хозяйствах паровая система земледелия сменилась зернотравяной, а в черноземной зоне – паропропашной.

В настоящее время паропропашная система земледелия широко применяется в зерновых районах юга и юго-востока Европейской части России при эксплуатации оросительных систем **третьего поколения**. В этих районах она наиболее эффективна и может быть отнесена к группе интенсивных систем земледелия.

Интенсивные системы земледелия в отличие от примитивных, экстенсивных и переходных базируются на применении производственных факторов воздействия на плодородие почвы с целью извлечения максимально возможного урожая. В них все пахотоспособные земли должны быть использованы под посевы ценных продовольственных, технических и кормовых культур, а естественные кормовые угодья должны быть превращены в культурные высокопродуктивные сенокосы и пастбища. Плодородие почвы при этих системах повышается за счет внесения увеличивающегося количества органических и минеральных удобрений, правильной механической обработки почвы, внедрением наиболее урожайных сортов культурных растений, применением агротехнических, химических и биологических мер борьбы с сорняками, болезнями и вредителями растений, а также необходимых мелиоративных мероприятий.

Набор культур и их соотношение устанавливается в зависимости от специализации хозяйства и природно-экономических условий.

Данные научных учреждений Центрально-Черноземной зоны и опыт производства свидетельствуют о том, что нерациональное использование черноземов в ходе эксплуатации оросительных систем **третьего поколения** привело к значительному снижению их плодородия. За последние 100 лет содержание гумуса уменьшилось на 25-40 %, а ежегодные его потери достигали 0,6-0,9 т/га. Главные причины этого – недостаточное поступление в почву свежего органического вещества, усиление минера-

лизации гумуса в связи с чрезмерной обработкой почвы, увеличением площади пропашных культур и чистого пара, а на склоновых землях – и усиление эрозии почв.

В последнее время заметно обострились противоречия между возможностями природы и потребностями человечества. Увеличился антропогенный пресс на агроландшафты как по уровню интенсивности прямого техногенного воздействия, так и по качественному расширению ассортимента ксенобиотиков. В результате оказались нарушенными механизмы саморегуляции, своеобразный «иммунитет» ландшафтной сферы как единого целостного организма. Особую тревогу в начале нового тысячелетия вызывает опасность трансформации локальных экологических бедствий, последствия которых, как правило, преодолимы, правда, ценой огромных материальных и моральных издержек, в глобальную экологическую катастрофу, последствия которой будут необратимы и могут поставить под сомнение существование всего человечества [118].

Последствия техногенного нарушения глобальных механизмов саморегуляции ландшафтной сферы в полной мере ощущаются многочисленными ландшафтами, антропогенно трансформированными при строительстве оросительных систем **третьего поколения**. К сожалению, приходится констатировать, что современное сельскохозяйственное производство продолжает вносить весьма ощутимый вклад в дестабилизацию природно-антропогенного баланса.

К интенсивным системам земледелия относятся плодосменная, зернопропашная и пропашная. Наиболее распространена из них плодосменная система. В структуру посевных площадей этой системы входило 50 % зерновых, 25 % пропашных и 25 % бобовых культур. Плодосменная система позволила заметно повысить урожайность сельскохозяйственных культур и улучшить использование земли. Для этой системы характерно то, что чисто зерновое хозяйство уступило место хозяйству с развитым животноводством, с возделыванием пропашных и бобовых культур, что и определило переходной **этап от оросительных систем третьего поколения к четвертому**.

В современных условиях в связи с возросшими задачами и интенсификацией сельского хозяйства понятие системы земледелия значительно усложнилось. Под современной системой земледелия понимают высокопродуктивное, устойчивое, экологически обоснованное и экономически эффективное производство высококачественной продукции растениеводства при рациональном использовании земли и воспроизводстве почвенного плодородия [118], отвечающее задачам функционирования оросительных систем **четвертого поколения**.

Современная система земледелия должна обеспечивать защиту почвы от водной эрозии и дефляции, успешное регулирование водного режима, экологическую безопасность и охрану окружающей среды (водоемов, лесов и др.) от загрязнения пестицидами и минеральными удобрениями, создание благоприятных условий для роста и развития сельскохозяйственных культур, труда и жизни человека.

Отличительной особенностью современной системы земледелия является агроландшафтный подход к ее разработке и совершенствованию. Это значит, что она должна быть хорошо адаптирована к местным ландшафтам, отвечать требованиям экологической чистоты и создавать предпосылки для рационального использования земли и повышения почвенного плодородия, получения высоких и устойчивых урожаев.

Адаптивно-ландшафтная система орошаемого земледелия – это система использования орошаемых площадей, направленная на производство продукции с учетом экономических и материальных ресурсов и обеспечивающая устойчивость агроландшафта и воспроизводства повышенного плодородия.

Зернотравяная, или улучшенная зерновая почвозащитная система земледелия – это та, в севооборотах которой не менее половины площади пашни занимают зерновые

культуры, а остальную часть – многолетние и однолетние травы. При отсутствии чистых паров применяют посевы промежуточных культур. Система обеспечивает средний выход зерна и высокий выход сочных и грубых травяных кормов с 1 га севооборотной площади. Применяется в хозяйствах животноводческого направления лесной, лесостепной зон и в других районах с достаточным увлажнением (450-700 мм осадков), при орошении и на склоновых землях.

Воспроизводство плодородия почвы обеспечивается за счет посевов многолетних трав, внесения органических и минеральных удобрений при высоком уровне защиты почвы от эрозии и экологической чистоте технологии.

Плодосменная система земледелия – это система, при которой зерновые культуры занимают не больше половины севооборотной площади, а на остальной части размещают бобовые и пропашные культуры. Применяются посевы промежуточных культур. Обеспечивается наибольший выход растениеводческой продукции с 1 га пашни в хозяйствах с многоотраслевой структурой в лесной, лесостепной зонах и на орошаемых землях.

Воспроизводство плодородия почвы обеспечивается за счет высоких доз органических и минеральных удобрений и оптимального чередования культур в плодосменном севообороте в сочетании с почвозащитными мероприятиями против водной эрозии.

Пропашная (промышленно-заводская) система земледелия – это система, при которой большую часть пашни занимают под пропашные культуры – овощные, сахарная свекла, картофель, кукуруза, хлопчатник и др. Применяют повторные и промежуточные культуры. Обеспечивается высокий выход продукции с 1 га севооборотной площади, но со значительным выносом питательных веществ и физическими нагрузками на почву (уплотнение, распыление). Распространена в пригородных хозяйствах овощекартофелеводческого направления, в южных хозяйствах, специализирующихся на производстве интенсивных пропашных культур – сахарной свеклы, кукурузы на зерно, хлопчатника, клеверицы, подсолнечника.

Воспроизводство плодородия почвы обеспечивается за счет больших доз органических и минеральных удобрений с обязательным применением почвозащитных и почвоулучшающих мероприятий. Защиту растений от сорняков, вредителей и болезней проводят с помощью интегрированной системы применения химических и биологических методов.

Кроме основных перечисленных систем земледелия в разнообразных почвенно-климатических условиях России возможно применение и других как традиционных, так и появляющихся новых альтернативных систем земледелия.

В настоящее время основополагающей становится задача формирования адаптивно-ландшафтного земледелия, тесно увязанного с ландшафтной экологией в конкретных почвенно-климатических условиях [118].

Система земледелия как комплекс взаимосвязанных агротехнических, мелиоративных и организационно хозяйственных мероприятий должна быть направлена на эффективное использование земли, сохранение и повышение плодородия почвы, получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Соотношение земельных площадей с различными системами земледелия определяется конкретными природно-климатическими и экономическими условиями хозяйств. При этом севообороты целесообразно строить по подобию естественных ценозов, т. е. каждое их поле должно представлять собой многокомпонентный культурный агропедоценоз. Основные составляющие элементы таких полей – смешанные и совместные посевы, в основном зерновых и кормовых культур при приоритете бобовых,

промежуточные посевы как источник дополнительной продукции в основном на кормовые цели и зеленое удобрение и сидеральный пар.

Как известно, в последние десятилетия в результате хозяйственной деятельности наблюдается рост числа и интенсивности физических и химических факторов, приводящих в ряде случаев к деградации производительного потенциала агроландшафтов вследствие возрастания масштабов эрозии, опустынивания, загрязнения поверхностных и грунтовых вод, загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, радионуклидами, нитратами, пестицидами и другими ксенобиотиками. В этой связи крайне важным представляется развитие систем экологической экспертизы и экологического аудита источников техногенного воздействия на агроландшафты как промышленного, так и сельскохозяйственного происхождения, а также совершенствование системы нормирования техногенных воздействий. В условиях техногенеза важной задачей, имеющей как функциональное, так и теоретическое значение, является мониторинг, обеспечивающий своевременное выявление изменений состояния агроландшафта и выработку мероприятий по предупреждению и устранению негативных процессов.

Очевидно, что в основе формирования концепции современного агроландшафтоведения лежит синтез знаний в области орошения, земледелия, агроэкологии, почвоведения, землеустройства, географического ландшафтоведения, строительства, блока социологических и других наук.

Центральным технологическим звеном при формировании агроландшафтов являются адаптивно-ландшафтные системы земледелия. По отношению к агроландшафту как к антропогенно обусловленной геосистеме адаптивно-ландшафтные системы земледелия должны решать четыре основные группы задач:

- сохранение экологической стабильности агроландшафта;
- адекватная количественная и качественная компенсация отчуждаемых веществно-энергетических и информационных потоков;
- максимальное сохранение естественных механизмов функционирования и саморегулирования;
- обеспечение экономической и энергетической эффективности эксплуатации агроландшафта.

Новая парадигма природопользования требует углубления и фундаментализации научных исследований в области земледелия и агроландшафтоведения, усиления их комплексности с мелиорацией, агролесомелиорацией и другими смежными науками, эффективного решения научных проблем борьбы с деградацией почв и повышения их плодородия.

3.17 Севообороты

Д. Н. Прянишников обобщил весь имеющийся опыт в учении о плодосмене и обосновал необходимость установления рационального чередования сельскохозяйственных культур в правильном севообороте четырьмя основными причинами химического, физического, биологического и экономического порядков:

- причины химического порядка заключаются в том, что разные группы сельскохозяйственных культур отличаются неодинаковым выносом питательных веществ и различной способностью их усвоению из почвы и удобрений;
- причины физического порядка характеризуются различной требовательностью культур к рыхлости пахотного слоя, к состоянию его водно-воздушного режима и неодинаковым влиянием возделываемых растений на плотность, структуру и строение пахотного слоя почвы;
- причины биологического порядка связаны с неодинаковым отношением выращиваемых растений к засоренности почвы и посевов к болезням и вредителям. Че-

редование сельскохозяйственных культур, значительно различающихся по биологическим признакам, способствует уменьшению их поражаемости болезнями и вредителями, а также изменению состава почвенной микрофлоры, усилению ее биологической активности в положительном направлении;

- причины экономического порядка состоят в том, что в целях более производительного использования техники и рабочей силы в севооборотах целесообразно иметь культуры различных сроков посева и уборки (озимые, ранние яровые, поздние яровые).

Состав и чередование культур в севооборотах зависят от почвенных условий и потребностей хозяйства. При этом необходимо учитывать биологические особенности отдельных растений и отношение различных культур к предшественникам (сельскохозяйственным культурам или чистому пару, занимавшим данное поле в предыдущем году). Чистые и занятые пары, как правило, предшествуют озимым зерновым культурам, а в условиях Зауралья, Сибири – яровой пшенице. Чистые пары имеют исключительно большое значение при недостатке влаги и высокой засоренности. При высокой культуре земледелия в зоне достаточного увлажнения чистые пары заменяются занятыми парами.

Чистый пар – это паровое поле, свободное от возделываемых сельскохозяйственных культур в течение вегетационного периода, занятый пар – это паровое поле, занятое растениями, рано освобождающими поле для обработки почвы и создающими как предшественник благоприятные условия для возделывания последующих культур (однолетние травы, горох, кукуруза, ранний картофель и др.).

Зерновые озимые значительно подавляют развитие сорняков, а яровые зерновые (пшеница, ячмень, овес) очень чувствительны к засоренности посевов, их, поэтому преимущественно размещают после озимых и пропашных культур. После чистого пара эти культуры обычно возделываются до трех лет подряд. Зерновые бобовые культуры (горох, бобы, люпин, соя, вика и др.) улучшают азотный баланс почвы, и, как правило, они чередуются с зерновыми культурами. Многолетние бобовые травы (клевер, люцерна, эспарцет) и смеси их с многолетними злаковыми травами (тимopheевкой, житняком и др.) являются хорошими предшественниками для всех зерновых, льна, картофеля, различных овощных культур, хлопчатника, риса и др.

Чередование в севообороте сельскохозяйственных культур, значительно различающихся по биологическим признакам и технологии возделывания (зерновые-пропашные-бобовые), способствует более рациональному использованию питательных веществ из почвы, уменьшению засоренности и поражаемости растений болезнями и вредителями и улучшению всех показателей плодородия почвы химического, физического и биологического порядков.

Севооборот в хозяйстве должен допускать некоторую гибкость в размещении культур, их взаимозаменяемость. Возможно наряду с севооборотом наличие каких-то участков повторного посева или даже длительного размещения одной и той же культуры, если это диктуется соображениями повышения продуктивности пашни, увеличения общего сбора продукции и сопровождается соответствующими приемами удобрения, борьбы с сорняками и др.

Все севообороты классифицируются по составу производимой продукции на типы: полевые, кормовые и специальные. В полевых севооборотах зерновые культуры занимают не менее 50 % пашни. В кормовых севооборотах преобладают кормовые культуры. В целях организации зеленого конвейера для животноводства вводятся прифермские кормовые севообороты, которые размещаются вблизи животноводческих комплексов. В кормовых сенокосно-пастбищных севооборотах производятся в основном сено и другие корма, обеспечивается пастбищное содержание животных.

В специальных севооборотах возделываются овощи, табак, рис, плодовые, ягодные и другие культуры, обеспечивается борьба с эрозией почвы (почвозащитные севообороты).

Каждый из рассмотренных типов севооборотов в зависимости от соотношения в структуре посева основных групп сельскохозяйственных культур (зерновые, травы, пропашные и др.) и способов восстановления плодородия почвы подразделяется на различные виды, соответствующие местным природно-экономическим условиям.

В настоящее время используются следующие севообороты:

- зернотравяной севооборот – большая часть площади занята посевами зерновых и непропашных технических культур, а на остальной части возделываются многолетние травы;

- плодосменный севооборот – более половины площади отводится под зерновые культуры, а на второй половине возделываются пропашные и бобовые растения;

- зернопаровой севооборот – большая часть площади занята зерновыми, посевы которых прерываются чистым паром;

- зернопропашной севооборот – половина и более площади занято зерновыми, посевы зерновых прерываются пропашными культурами. Зернопаропропашной севооборот – половина и более площади занято зерновыми, посевы зерновых прерываются чистым паром и пропашными;

- травопольный севооборот – более половины площади отводится под многолетние травы;

- пропашной севооборот – половина и более площади отводится под пропашные культуры;

- травянопропашной севооборот – возделывание пропашных культур прерывается многолетними травами, занимающими два и более поля;

- сидеральный севооборот – на одном или двух полях выращиваются сидеральные культуры для заправки зеленой массы на удобрение в почву.

На основе структуры посевных площадей каждое хозяйство имеет систему севооборотов – рациональное сочетание различных типов и видов севооборотов в хозяйстве: полевых, кормовых и специальных. Внедрение системы севооборотов в каждом хозяйстве состоит из двух основных этапов – введения и освоения севооборотов.

Работа по введению севооборотов включает в себя:

- разработку проекта системы севооборотов;

- рассмотрение проекта в хозяйстве и утверждение его в вышестоящей сельскохозяйственной организации;

- перенесение проекта системы севооборотов в натуру, т. е. проведение землеустроительных работ, связанных с нарезкой полей в каждом севообороте в соответствии с проектом [119].

Севооборот становится освоенным тогда, когда фактическое чередование сельскохозяйственных культур соответствует разработанной схеме, все включенные в севооборот земли из других видов угодий освоены, а фактическая площадь пашни соответствует запланированной в проекте.

Разработка проекта системы севооборотов начинается с установления специализации хозяйства и определения рациональной структуры посевных площадей, затем разрабатывается проект внутрихозяйственного землеустройства. С этой целью проходят анализ использования земли, составляют таблицу трансформации земельных угодий. Главной задачей этой работы является увеличение площади под сельскохозяйственными угодьями (пашней, сенокосами, пастбищами) за счет малопродуктивных других угодий.

Составление таблицы трансформации угодий надо проводить с учетом почвенных карт, агрохимических картограмм, а также технических возможностей хозяйства по освоению новых земель.

Количество и специализацию севооборотов устанавливают, исходя из конкретных условий хозяйства: внутрихозяйственной специализации, площади пашни, конфигурации пахотных массивов, почвенных и других условий.

В хозяйствах интенсивного животноводческого направления выделяют более плодородные массивы вблизи ферм для кормовых прифермских севооборотов, а также высокопродуктивные пастбища и массивы для сенокоснопастбищных севооборотов.

Вслед за установлением количества севооборотов по типам и видам разработка проекта в дальнейшем проводится по каждому севообороту в отдельности в такой последовательности:

- составляется таблица родственных групп культур, закрепленных за севооборотом, по которой устанавливается количество полей в севообороте и средний размер поля;

- устанавливается рациональное чередование сельскохозяйственных культур в севообороте (составляется схема севооборота);

- дается экономическая и агрономическая характеристика севообороту;

- разрабатывается план освоения севооборота, для чего в таблице перехода к севообороту указывают предшественников по каждому полю за последние два года;

- составляется план освоения севооборота, которое проводят в такой последовательности:

- а) намечают освоение других земель под пашню;

- б) вначале размещают культуры посева прошлых лет (многолетние травы, озимые), которые будут убираться в первый и последующие годы перехода к севообороту;

- в) размещают культуры, наиболее требовательные к плодородию (яровую пшеницу, лен, пропашные);

- г) определяют место подсева многолетних трав, чистых и запятых паров;

- д) составляется таблица посевных площадей в годы перехода к севообороту;

- период освоения севооборотов не должен превышать 2-3 лет для полевых севооборотов, а для кормовых севооборотов он обычно равен количеству полей под многолетними травами. В период перехода к севообороту в целях получения запланированной урожайности на год освоения севооборотов следует разработать весь комплекс агротехнических и мелиоративных мероприятий (удобрение, обработка почвы и др.);

- после освоения каждого севооборота составляется ротационная таблица, разрабатывается система обработки почвы, удобрений, борьбы с сорняками и с эрозией почвы, мелиоративных и других агротехнических мероприятий [119].

Далее подсчитывается выход продукции с площади пашни в севообороте:

- в натуре (зерна, картофеля и др.);

- в кормовых единицах;

- в стоимостном выражении;

- количество переваримого протеина.

Затем рассчитывается средний выход кормовых единиц и протеина на 1 га пашни в севообороте и содержание протеина в среднем на одну кормовую единицу.

Для кормовых севооборотов выход продукции считается оптимальным при 50-60 ц кормовых единиц с 1 га пашни, а для полевых севооборотов 25-30 ц на 1 га. При этом количество переварного протеина должно соответствовать зоотехническим нормам (105-110 г на одну кормовую единицу) [119].

3.18 Система удобрений

Внесение в почву элементов, необходимых для лучшего роста и развития растений, значительно повышает урожайность сельскохозяйственных культур. На землях, орошаемых системами **первого поколения**, вопрос о внесении удобрений решался во время паводков, когда питательные вещества привносились во время разливов рек. С расширением орошаемых площадей и вовлечением в земледелие участков, не доступных для паводочных вод, появилась проблема дефицита необходимых микроэлементов, которые были нужны для формирования желаемых урожаев.

Историю развития агрохимии в нашей стране можно подразделить на три периода. Первый период охватывает конец XVIII и первую половину XIX столетия. Этот период характеризуется накоплением данных по вопросам питания растений, применением удобрений и первыми попытками их обобщения. Второй период охватывает вторую половину XIX и начало XX столетия до октябрьского переворота 17-го года. Для этого периода характерно развитие опытов в лабораториях, на опытных станциях и в производственных условиях.

И. И. Комов (1750-1792 гг.), профессор земледелия и других наук, в своей книге изложил значение многих сельскохозяйственных культур, описал систему обработки почвы, удобрение, севообороты, земледельческие орудия. Обработка почвы, по мнению И. И. Комова, не может заменить внесение навоза. При этом Комов подчеркивал, что навоз имеет большое значение в улучшении физических свойств почвы, в создании рыхлости почвы и сохранении влаги. Комов отмечает также важную роль в улучшении почвы и повышении урожая. По его мнению, известкование глинистой почвы положительно сказывается в течение 20 лет и более [120].

Впервые о минеральных удобрениях упоминалось в 1825 году, когда в Гамбург прибыли торговые корабли с чилийской селитрой. До этого почву в основном подкармливали только навозом или компостом. Однако такое удобрение почвы было недостаточным, и в сельском хозяйстве начали применять известкование – вносили песчаный или глинистый мергель, которым почва быстро пресыщалась. Систематическое изучение растений и почвы началось благодаря голландскому ученому Юстосу Либиху, который выдвинул гипотезу о том, что расход питательных веществ нужно восполнять, добавляя в почву искусственные минеральные удобрения. Первое успешное испытание полученных минеральных веществ было в Англии. После этого агрохимия начала бурно развиваться, и в наше время появилась отдельная отрасль промышленности – производство минеральных удобрений [121].

А. Т. Болотов (1738-1833 гг.) в течение ряда десятилетий занимался вопросами сельского хозяйства и сыграл большую роль в развитии русской агрономии. Большое внимание им уделено удобрению почв. Им опубликовано более 20 статей по вопросам использования удобрений. Хранить навоз он рекомендовал не под животными, а в специальных навозохранилищах в уплотненных кучах.

А. П. Пошман (1792-1852 гг.) в своей книге Наставление о приготовлении сухим и влажных туков, служащих удобрению пашен (1809 г.), высказал соображение о том, что в удобрении действующим началом являются щелочно-соляные вещества, содержащиеся в навозе и в золе, иначе говоря, минеральные вещества, которые и служат пищей для растений. Таким образом, за много лет до опубликования Ю. Либихом теории минерального питания Болотов и Пошман писали о значении минеральных солей в питании растений.

М. Г. Павлов (1794-1840 гг.), являясь профессором Московского университета, читал лекции по физике, технологии, лесоводству, сельскому хозяйству и руководил земледельческой школой. Он впервые в России увязал химию с агрономией.

М. Г. Павлов писал, что земледельческая химия есть наука о веществе тех исключительно предметов, которые имеют отношение к земледелию и знание веществе

коим может руководствовать с выгоднейшему устройству производств сего искусства. Удобрить почву, по М. Г. Павлову, значит сделать ее более плодородной. Землеудобрение может быть осуществлено с целью улучшения физических свойств или устранения кислот, или ускорения разрушения органических веществ почвы, или повышения плодородия.

Работы этих ученых относятся к начальному периоду в развитии агрохимии, когда главным образом накапливались знания о питании растений и удобрении и делались попытки обобщения накопленного опыта [120].

Работами этого периода показана необходимость глубокого изучения питания растений, химических и биологических процессов в почве, являющихся основой для применения удобрений. В это же время уровня максимального использования своих функциональных возможностей достигают выделенные нами оросительные системы **второго поколения**.

Третьим периодом в развитии агрохимии является советский период. Его можно охарактеризовать, как период реконструкции сельского хозяйства в целом, механизацией и химизацией земледелия, появления и развития оросительных систем **третьего поколения**.

На современном этапе развития растениеводства дальнейший рост производства сельскохозяйственных культур возможен лишь на основе проведения комплекса мероприятий по увеличению эффективного плодородия почв и внедрению интенсивно-адаптивных технологий возделывания полевых культур. Такие технологии характерны для орошаемых земель, обслуживаемых оросительными системами **третьего поколения**.

Одним из путей выполнения поставленных задач является широкое внедрение в сельскохозяйственное производство достижений научно-технического прогресса, совершенствование формы управления процессом производства, разработка и применение в земледелии адаптируемых к складывающимся условиям технологий возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивающих получение запланированных в соответствии с созданными ресурсами и условиями урожаев.

При расчете норм удобрений на запланированный урожай необходимо знать коэффициенты использования питательных веществ почвы вносимых органических и минеральных удобрений. Они значительно изменяются в зависимости от почвенно-климатических условий, норм вносимых удобрений и состава культур в севообороте.

Прежде всего, для расчета норм удобрений на планируемую урожайность сельскохозяйственных культур с учетом выноса элементов питания необходимо знать их химический состав. Зная содержание питательных веществ в растениях, определяют вынос N , P_2O_5 и K_2O при получении планируемой урожайности, для чего содержание того или иного элемента умножают на значение урожайности.

Наиболее приемлемым методом для обоснования доз удобрений на заданный урожай считают следующую схему расчета [122]:

$$D = \frac{Y \cdot B_1 - П \cdot K_m \cdot K_n}{K_y}, \quad (3.1)$$

где D – доза питательного вещества на заданный урожай, ц/га;

B_1 – вынос питательного вещества на 1 ц основной и соответствующее ей количество побочной продукции, кг;

$П$ – содержание элемента питания в почве, мг/на 100 г;

K_m – коэффициент для перевода из мг/на 100 г в кг питательного вещества на 1 га в расчетном слое почвы;

K_n, K_y – коэффициенты использования питательных веществ из почвы и удобрений.

Величина действительно возможного урожая показывает, насколько почвы данного поля и сложившийся уровень агротехники позволяют реализовать возможности климатических условий хозяйства. Если разрыв между действительно возможной урожайностью и урожайностью, обеспеченной климатическими ресурсами, велик, то это свидетельствует о низком уровне агротехники, применяемой в хозяйстве, так как в процессе сельскохозяйственного производства человек может регулировать агротехническими приемами режим питания растений, агрофизические и физико-химические показатели почвы, водный режим и пр.

Если под культуру вносится навоз, то формула приобретает следующий вид [122]:

$$D = \frac{(Y \cdot B_1) - (P \cdot K_m \cdot K_n) + (D_n \cdot C_n \cdot K_n)}{K_y}, \quad (3.2)$$

где D_n – количество навоза, внесенного на 1 га, т;

C_n – содержание элементов питания в 1 т навоза, кг;

K_n – коэффициент использования элементов питания из навоза.

При совместном применении минеральных и органических удобрений урожай определяем по следующей формуле:

$$Y_{\text{дву}} = B_n \cdot C_{\text{бп}} \cdot K + D_y \cdot O_y + D_n \cdot O_n. \quad (3.3)$$

где K – поправочный коэффициент на агрохимические свойства почвы;

D_y – доза питательных веществ, вносимых с удобрениями, кг/га;

O_y – окупаемость минеральных удобрений, т/га;

D_n – доза органических удобрений, т/га;

O_n – окупаемость органических удобрений, кг основной продукции/т навоза.

Несмотря на крупные проработки в области планирования урожайности, практически это выразилось в появлении единичных хозяйств-представителей, которые достигали заранее запланированной урожайности прописанной в проектной документации. Основным препятствием для реализации запланированной урожайности явилось существенное отставание сельского хозяйства в информационных технологиях и средствах их реализации. Например, попытки внедрить наработки по программированию урожаев (практическая реализация плановой урожайности) в 70-80-х гг. прошлого века столкнулась с очевидными и непреодолимыми препятствиями связанными с техническим и технологическим отрывом от зарубежных стран.

Для оросительных систем **четвертого поколения** получение стабильных и гарантированных урожаев достигается практическим решением задачи программирования урожаев с помощью методов имитационного моделирования посредством специализированных компьютерных программ и внедрением систем точного земледелия. Определение норм удобрений под заранее запрограммированную урожайность – сложный и дорогостоящий вопрос в плане практического воплощения, так как эффективность удобрений зависит от многих факторов: свойств почвы, влагообеспеченности посевов, применяемой агротехники и др. Во всех случаях при расчете оптимальных норм удобрений учитывают обеспеченность почвы доступными для растений формами элементов питания, химический состав основной и побочной продукции, потребность растений в азоте, фосфоре и калии, степень использования элементов питания из почвы, коэффициенты использования питательных веществ из вносимых органических и минеральных удобрений и экономико-организационные условия применения удобрений. Кроме того, важно учитывать последствие вносимых удобрений и пожнивных остатков, необходимо корректировать обеспеченность растений питательными элементами. Данная задача решается реализацией систем точного земледелия с привлечением средств дистанционного зондирования и специализированной техники.

Точное земледелие – это управление продуктивностью посевов с учетом *внутрипольной* вариабельности среды обитания растений. Условно говоря, это оптимальное управление для каждого квадратного метра поля. Целью такого управления является получение максимальной прибыли при условии оптимизации сельскохозяйственного производства, экономии хозяйственных и природных ресурсов. При этом открываются реальные возможности производства качественной продукции и сохранения окружающей среды.

Определение оптимальных норм удобрений при программировании урожая является одним из основных вопросов современной науки и практики. Нормы удобрений должны быть рассчитаны таким образом, чтобы полностью удовлетворить потребность растений в питательных веществах, обеспечить расширенное воспроизводство почвенного плодородия и в тоже время не допустить загрязнения окружающей среды, отрицательного воздействия на качество получаемой продукции и непроизводительных потерь самих удобрений. При установлении норм удобрений необходимо учитывать состав и свойства почвы, баланс питательных веществ в агроценозе, процесс взаимодействия удобрений с почвой и растением в конкретных условиях ландшафта.

Точное земледелие включает в себя множество элементов, но все их можно разбить на три основных этапа: сбор информации о хозяйстве, поле, культуре, регионе; анализ информации и принятие решений; выполнение решений – проведение агротехнологических операций.

Для реализации технологии точного земледелия необходимы современная сельскохозяйственная техника, управляемая бортовой ЭВМ и способная дифференцированно проводить агротехнические операции, приборы точного позиционирования на местности (GPS-приемники), технические системы, помогающие выявить неоднородность поля (автоматические пробоотборники, различные сенсоры и измерительные комплексы, уборочные машины с автоматическим учетом урожая, приборы дистанционного зондирования сельскохозяйственных посевов и др.). Ядром технологии точного земледелия (второй этап из рассмотренных выше) является программное наполнение, которое обеспечивает автоматизированное ведение пространственно-атрибутивных данных картотеки сельскохозяйственных полей, а также генерацию, оптимизацию и реализацию агротехнических решений с учетом вариабельности характеристик в пределах возделываемого поля.

Первый этап достаточно развит в плане технического и программного обеспечения. За рубежом активно используются почвенные автоматические пробоотборники, оснащенные GPS/ГЛОНАСС-приемниками и бортовыми компьютерами; геоинформационные-системы (ГИС) для составления пространственно-ориентированных электронных карт полей; карты урожайности обмолачиваемых культур, получаемые сразу после уборки; дистанционные методы зондирования (ДЗ), такие как аэрофотосъемка и спутниковые снимки. Совместно с Агрофизическим НИИ (Санкт-Петербург) мы используем все перечисленные компоненты сбора информации, занимаемся исследованиями и разработкой собственных методов и программного обеспечения.

Второй этап на сегодняшний день наименее развит, однако на рынке существует ряд программных продуктов, предназначенных для анализа собранной информации и принятия производственных решений. В основном это специализированные геоинформационные системы (ГИС), программы расчета доз удобрений и многое другое. Например, это SSToolBox©, Agro-Map©, Агроменеджер©, ЛИСКОЗ©, УрожайАгро©, АдептИС©, Agrar-Office©, а также FieldRover II©, MapInfo© и AgroView© и многие другие.

Этап выполнения агротехнологических операций, также как и первый этап, динамично развивается. Здесь самыми «продвинутыми» являются операции по внесению жидких и твердых минеральных удобрений, а также посев зерновых культур.

Внесение удобрений по технологии точного земледелия проводится дифференцированно, то есть, условно говоря, вносим на каждый квадратный метр столько удобрений, сколько необходимо именно здесь (на данном элементарном участке поля). Внесение проводится в двух режимах – *off-line* и *on-line*. Стоит отметить, что дифференцированное внесение минеральных удобрений на сегодняшний день является ключевым элементом в точном земледелии.

Подводя итоги этого раздела, следует заключить, что повышение технологического уровня оросительных систем в этом аспекте целиком базируется на использовании зарубежных разработок или в лучшем случае их единичных отечественных реплик, как в техническом, так и в программном исполнении.

3.19 Дождевальные машины

На смену архаическим способам приведения больших масс воды, которые бесконтрольно испаряли и почва, и растение, в конце развития оросительных систем второго поколения, был выдвинут новый принцип борьбы с причинами засухи, принцип – дождевания. В этой мысли, высказанной в середине 30-х годов известным советским ученым-почвоведом академиком В. Р. Вильямсом, очень точно подмечена принципиальная разница между орошением засушливых земель, существовавшим с незапамятных времен, и дождеванием, которое только начинало внедряться в практику сельского хозяйства.

Свободное орошение неизбежно приводит к избыточному увлажнению почвы, что вызывает ее заболачивание или засоление. В результате на многие годы почва становится непригодной для земледелия. Дождевание – попытка найти эффективный способ увлажнения почвы, близкий по своему действию к естественному дождю. Главная его особенность состоит в том, что это процесс контролируемый, и поэтому неблагоприятные последствия, присущие орошению, здесь можно частично предотвратить.

Опыты по дождеванию проводились во многих странах еще в XIX в. Производственное значение оно получило в начале XX в. в Германии (свыше 100 тыс. га), США, Италии, Чехословакии и др.

Первым искусственное механическое дождевание применил Г. Аристов еще в 1875 году. Воспользовавшись источником воды под напором, он проложил по полю чугунную магистраль с врезанными в нее штуцерами-отборниками, к которым попеременно подсоединял пеньковый рукав с разбрызгивателем. Благодаря своей исключительной простоте принцип Г. Аристова не забыт до сих пор. В несколько усовершенствованном виде он используется в так называемых дождевальных установках с переносными быстроразборными трубопроводами. Трубы напорной магистрали временно прокладываются по полю на опорах примерно метровой высоты. Вместо пенькового рукава Аристова к установленным с определенным шагом штуцерам крепятся стояки с вращающимися насадками-распылителями.

В 1913-1914 по инициативе А. Н. Костякова исследования по дождеванию проводили на Костычевской и Безенчукской опытных станциях [123, 124]

С создания дождевальных установок подобного типа – КДУ и ВНИИГиМ-I – начали свои исследования в этой области ученые Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации (ВНИИИГиМ). В 1934 году в мастерских института были изготовлены первые пять образцов ВНИИГиМ-I, но очень скоро у них выявились серьезные недостатки: небольшой радиус захвата с одной позиции и высокая интенсивность полива, достигавшая 1 мм/мин. На плотных землях вода не успевала впитываться и образовывались лужи, которые разрушали структуру почвы. Поэтому трубы приходилось часто переносить на новое место, что снижало эффективность установки. Эти недостатки удалось изжить лишь в послево-

енное время, когда дальнобойность струи увеличилась до 60-80 м и соответственно до 0,1-0,2 мм/мин снизилась интенсивность полива.

В 30-е годы ВНИИГиМ со своими филиалами стал главным научно-техническим центром, где разрабатывались дождевальные машины.

Среди проектов того времени наиболее часто встречаются варианты мостовых конструкций. Между собой они различались в основном механизмом передвижения: на гусеничных тележках, на колесах, на катках, которые могли ходить лишь по заранее проложенным в поле рельсам. Среди них более предпочтительно выглядела идея двухконсольного дождевального агрегата М. Яншина. Практически это та же самая мостовая ферма длиной около 90 м, но навешенная на гусеничный трактор – единственную ее опору.

Консольные дождевальные агрегаты высокопроизводительны, очень экономичны и, что самое главное, лучше других отвечают требованиям агротехники. К идее консольного короткоструйного агрегата М. Яншин пришел в 1934 году, когда разрабатывал проект оросительной сети вблизи городка Карачала в Азербайджане. Местность отличалась исключительно сложным рельефом, спланировать поля для свободного орошения оказалось чрезвычайно сложно. Свои соображения Яншин направил в Научно-технический совет Наркомзема, который их одобрил и рекомендовал автору перейти во ВНИИГиМ для детальной работы над проектом.

Опытный образец ДДА-100 на тракторе С-65 («ТМ», 1975, № 4) с расходом воды 100 л/с был построен в 1937 году и на испытаниях получил высокую оценку. В 1939 году уже три агрегата Яншина успешно работали в Заволжье и один под Москвой. А 9 апреля того же года вышло постановление Совнаркома СССР об организации вокруг крупных городов и промышленных центров специализированных хозяйств по выращиванию овощей, которое положило начало широкому внедрению дождевания в практику сельского хозяйства. В частности, намечалось в сравнительно короткие сроки выпустить еще 20 агрегатов ДДА-100, а перед конструкторами и учеными была поставлена задача по совершенствованию дождевальной техники. При всех достоинствах консольных агрегатов им присущ один серьезный недостаток – большая металлоемкость. Общая масса металлических конструкций с насосом и вспомогательным оборудованием ДДА-100, которые навешиваются на трактор, составляла около 3800 кг. В трудные предвоенные годы каждая тонна стали была на учете, поэтому до серийного производства дождевальных агрегатов ДДА-100 дело не дошло.

Правда, еще в 1935 году во ВНИИГиМ начались исследовательские работы по очень простым дальнеструйным дождевальным установкам. Они состояли всего из двух основных узлов — высоконапорного насоса и ствола-разбрызгивателя. Но экономия металла у них оплачивалась в 4-5 раз большим расходом энергии на дождевание. Первые эксперименты показали, что качество полива получается чрезвычайно низким. По существу, ДДУ мало чем отличалась от пожарного брандспойта – вся масса воды падала на небольшой площади. Образовывались лужи, почва размывалась, а большое пространство между установкой и местом падения струи оставалось совершенно сухим. Для равномерности полива нужно было, во-первых, придать аппарату вращательное движение в пределах какого-то сектора и, во-вторых, добиться того, чтобы масса воды от центра к периферии распределялась по закону площади круга. Был сделан вывод, что одноствольной установкой эти задачи не решить. В 1940 году они создали новую установку на тракторе С-65, но дальнейшим экспериментам помешала война.

После войны исследования возобновились. В 1948 году специалисты ВНИИГиМ разработали оригинальный самоходный агрегат СДА-70 на расход воды 70 л/с. Он состоял из 5 четырехколесных тележек, каждая из них приводилась в дви-

жение от водяной турбинки, установленной в трубе. Чтобы придать тележкам относительную независимость, их соединили гибкими шлангами.

В 1950 году все работы по созданию дождевальных машин перешли к ВИСХОМу, где поисковые исследования продолжались по всем известным типам дождевальных устройств. Но наибольший успех выпал на долю ДДУ. В 1951 году на испытания поступила первая машина – ДДН-30. Из-за малого диаметра труб у нее оказались слишком большими гидравлические потери, обнаружились и некоторые другие недостатки. После коренной переделки получилась ДДН-30/С, которую выполнили в двух вариантах – навесном и прицепном. На испытаниях лучшей признали прицепную [125].

Дождевальная установка КДУ 55М (96) [126] (приложение Б). Установка КДУ 55М предназначена для работы на оросительных системах второго поколения, представляет собой переносной разборный трубопровод с короткоструйными дефлекторными насадками, расположенными через 10 м и радиусом полива 7,5 м. Трубы выполнены из алюминиевого сплава диаметром 110 мм, длиной 5 м. Вес одной трубы – 11,4 кг. Расход воды – 25 л/с, давление на входе – 2,5 атм. Обслуживающий персонал – 2 чел.

Установка получает воду по подземному или наземному трубопроводу, на котором через 10 м устанавливаются гидранты с вентилями, позволяющими включать и выключать подачу воды.

Дождевальную машину ДД 45 (97) [126] (приложение Б) можно отнести к оросительным системам третьего поколения, так как она имеет собственное насосное оборудование с заборным трубопроводом и гидроподкормщиком, а перемещение по орошаемому участку осуществляется механизировано. Полив осуществляется позиционно вдоль временного оросителя с расстоянием между остановками 40–45 м, а между оросителями – 80 м. Полив осуществляется как по кругу, так и секторам с помощью дождевальных аппаратов (95) [127] (приложение Б).

Разработана Всесоюзным научно-исследовательским институтом сельскохозяйственного машиностроения. Машина рассчитана на работу с тракторами ДТ-54, ДТ-75 и устанавливается на двухколесную тележку. Работа насоса обеспечивается передачей мощности от трактора через карданный вал. Расход воды – 45 л/с, давление насоса – 7,0 атм.

Схема ДД 45 представлена на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Дальнеструйная дождевальная машина ДД 45

Более усовершенствованная (навесная) конструкция ДДН 45 (98) [126] (приложение Б). Полив осуществляется как по кругу, так и по сектору. Расход воды – 51 л/с, давление насоса – 6,3 атм.

Схема установки представлена на рисунке 3.9

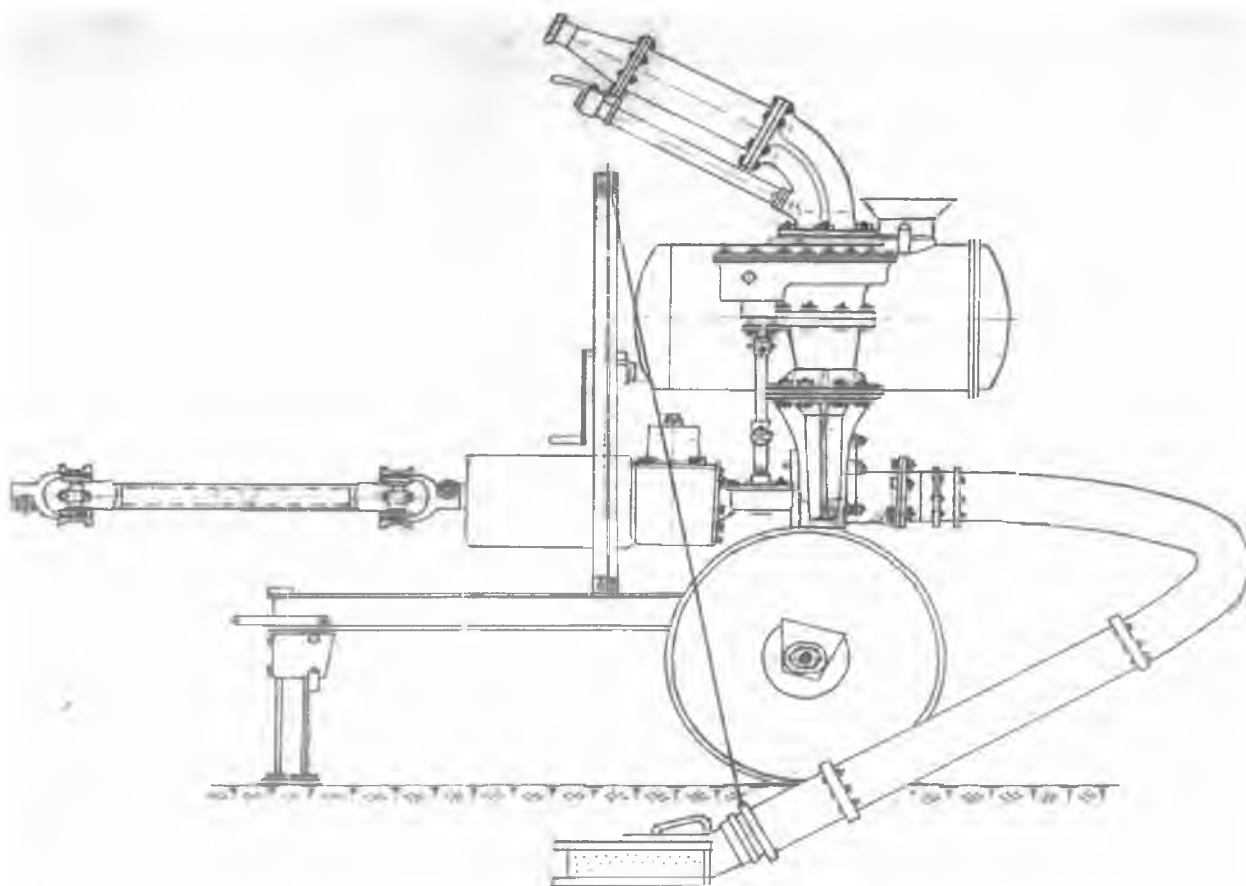


Рисунок 3.9 – Дальнеструйная дождевальная машина ДДН 45

В 1937 году инженером Яншиным сконструирован и на испытаниях получил высокую оценку опытный образец ДДА-100 (99) [31] (приложение Б) на тракторе С-65 с расходом воды 100 л/с.

После усовершенствования машина ДДА-100 (рисунок 3.10) получила литеру М (100) (рисунок 3.11) и стала агрегатироваться с трактором ДТ 54 [31, 126, 128] (приложение Б). Расход составлял 100 л/с, давление 2,6 атм. Дождевальные насадки кругового действия располагались на открьлках длиной 50 см. Выпускался Херсонским комбайновым заводом (Украина). Машина предназначена для полива дождеванием в движении зерновых, овощных, кормовых и технических культур, а также ягодников, лугов и пастбищ. Применять машину можно во всех зонах орошаемого земледелия, на относительно ровных участках, допускающих устройство открытой водопроводящей сети и не имеющих препятствий для прохождения фермы на ширине 110 м. Расход составляет 110 л/с, давление 4,6 атм.

После прекращения выпуска ДДА 100 МА на ХКЗ (рисунок 3.12), Волгоградским заводом оросительной техники был сконструирован агрегат ДДА 100В (101) [129] (приложение Б) (рисунок 3.13). От ДДА 100 МА отличается измененной конструкцией консоли, системы гидравлики и навески, двойным напорным трубопроводом, секторными насадками и т. д. Расход агрегата составляет 130 л/с, давление 4,0 атм.

Двухконсольные дождевальные машины серии ДКФ (102-105) (рисунок 3.14) были сконструированы в ФГБНУ «РосНИИПМ» в 2001 году в отделе контроля поливной техники [130-134] (приложение Б).



Рисунок 3.10 – Дождеватель дальнеструйный ДДА 100



Рисунок 3.11 – Двухконсольный дождевальнй агрегат ДДА 100 М



Рисунок 3.12 – Двухконсольный дождевальный агрегат ДДА 100 МА



Рисунок 3.13 – Двухконсольный дождевальный агрегат ДДА 100 В



Рисунок 3.14 – Серия дождевальных машин ДКФ

Многоопорные дождевальные машины. Дождевательный трубопровод колесный «Волжанка» ДКШ-64 (106) [31, 126] (приложение Б). Наиболее простая по конструкции многоопорная дождевальная машина. Состоит из жестко собранного на фланцах алюминиевого трубопровода. На трубах, диаметром 120 мм, на расстоянии 12,6 м один от другого расположены колеса диаметром 1,8 м так, что, что трубопровод служит осью этих колес. Выпускалось шесть модификаций. Для перемещения по позициям применяется бензиновый двигатель мощностью 3 л с. Базовая модель имеет расход 64 л/с, давление на входе – 4,0 атм.

ДМ «Днепр». Широкозахватная дождевальная машина ДФ-120 «Днепр» (107) [31, 126] (приложение Б) является самоходной дождевательной машиной позиционного действия с фронтальным перемещением по полю. Машина предназначена для полива дождеванием как низкостебельных, так и высокостебельных культур (зерновых, овощебахчевых, технических, многолетних трав, лугов и пастбищ) во всех почвенно-климатических зонах. Дождевальная машина состоит из следующих основных узлов: подсоединительного трубопровода, опорных тележек, ферм, на которых установлено по два дождевательных аппарата «Роса-3», электропривода с системой управления и сигнализации. Расход ДМ «Днепр» составляет 120 л/с. Напор на входе – 4,5 атм.

ДМУ «Фрегат» (108) [31, 126, 135] (приложение Б). В 1972 г. было принято Постановление Совета Министров СССР об организации производства самодвижущихся дождевательных установок по лицензии одной из ведущих компаний США. За последующие 20 лет их было выпущено более 33 тыс. штук. Самоходная многоопорная дождевальная машина, предназначенная для полива сельскохозяйственных культур, в т. ч. высокостебельных, лугов и пастбищ. Полив осуществляется в движении по кругу. Вода в машину подается от гидрантов напорной закрытой оросительной сети или из артезианских скважин. Трубопровод устанавливается на тележки велосипедного типа и поддерживается системой тросов. На каждой тележке имеется гидропривод, обеспечивающий через систему рычагов и толкателей движение колес и машины в целом. От предельного изгиба на машине имеется две системы защиты. Базовая дождевальная машина (16 тележек) имеет расход 90 л/с при давлении 6,3 атм.

ДМФЕ «Фрегат» (109) [136] (приложение Б). Дождевательные машины ДМФЕ «Фрегат» имеют узлы и механизмы, произведенные в США и Франции. Тележки дождевательной машины оснащены системой «сухие колеса» с выносом поливальных точек назад по ходу движения. Колесный редуктор позволяет разворачиваться им на 90 градусов. Длина машины 442 м. Расход дождевательной машины – 50-75 л/с. Рабочее давление на входе – 2,5-3 атм.

Дождевальная машина «Кубань Л» (110) [31, 137] (приложение Б). Многоопорная широкозахватная дождевальная машина «Кубань» фронтального или кругового передвижения с электроприводом, осуществляющая забор воды в движении из открытого бетонированного канала или по шлангу из гидранта, предназначена для полива всех сельскохозяйственных культур, включая высокостебельные. Полив осуществляется автоматически в стартстопном режиме движения машины вдоль канала. Расход базовой модели составляет 200 л/с при давлении 3,1 атм.

Дождевальная машина «Кубань ЛК1» (111) [137] (приложение Б). Машина дождевальная электрифицированная кругового действия (МДЭК) «Кубань-ЛК1» предназначена для полива различных сельскохозяйственных культур, включая высокостебельные, и может быть использована на любых типах почв. Полив выполняется дождеванием в движении по кругу, в центре которого осуществляется подача воды и электропитания на машину от закрытой оросительной сети. Расход составляет 20-90 л/с при давлении 2,4-4,3 атм.

Дождевальная машина «Ладога» (112) [137, 138] (приложение Б). Предназначена для полива различных культур, в том числе и высокостебельных, пальметных садов, ягодников и виноградников с подачей воды от гидрантов закрытой оросительной сети. Расход базовой модели составляет 60 л/с при давлении 4,2 ат. На Российском рынке представлены зарубежные фирмы: RainBird, T-L, Valley® (США), Sigma (Чехия), R. Bauer (Австрия), OCMYS (Италия), FrancePivot и T-SystemsEurope (Франция), и др. По показателям производительности, энергоемкости, материалоемкости, трудозатрат, качеству полива однотипные зарубежные серийные дождевальные машины существенно не различаются.

Дождевальная машина «Bauer» (113) [139] (приложение Б). Многоопорная широкозахватная дождевальная машина фронтального или кругового передвижения с электроприводом, осуществляющая забор воды в движении из открытого бетонированного канала или по шлангу из гидранта, предназначена для полива всех сельскохозяйственных культур, включая высокостебельные. Расход базовой модели составляет 66 л/с при давлении 3,5 атм.

Широкозахватные дождевальные машины IRRILAND (114) [140] (приложение Б). Итальянские дождевальные машины фирмы IRRILAND работают по следующим схемам:

- центральные пивоты;
- мультицентральные пивоты;
- самодвижущиеся системы;
- буксируемые системы;
- фронтальные системы.

Дождевальная машина «URAPIVOT» (115) [141] (приложение Б). В 1978 году компания «CHAMSA» создала установку URAPIVOT. В зависимости от моделей, длина пролета от 30 м до 60 м, высота секций составляет от 2,2 м до 4,5 м. Орошение полей 100-200 га. Норма орошения за вегетационный период – 6000 м³/га. Расход составляет 66-80 л/с при давлении 2-3 атм.

Круговые и фронтальные оросительные установки Valley (116) [139, 142-144] (приложение Б). Именно под маркой Valley® в 1954 г. появились первые машины автоматического хода для кругового орошения. С 1974 г. машины кругового орошения Valley® стали использоваться для полива полей квадратной, прямоугольной и неправильной формы. Фронтальные установки Valley® впервые появились в 1977 году. Во фронтальных оросительных установках Valley используется те же детали и узлы, что и в круговых оросительных установках.

Дождевальная машина T-L Irrigation (117) [145] (приложение Б). Отличительной особенностью дождевальной машины T-L (производства США) является гидравлический (масляный) привод всех тележек. Как и у других ДМ кругового действия, скорость движения задается последней тележкой, однако все остальные движутся непрерывно, с уменьшающейся, по мере приближения к центральной опоре, скоростью. Расход, в зависимости от количества тележек составляет 12,6-180 л/с.

Дождевальная машина IrrigationCo., Ltd. (118) [146] (приложение Б). Широкозахватные многоопорные круговые оросительные системы Пивот производства китайской компании Rainfine.

Дождеватели шланговые (119). До 1991 года, в условиях крупных сельскохозяйственных предприятий (колхозы, совхозы), шланговые дождеватели в силу своих конструктивных особенностей, (материалоемкость, трудозатратность, энергоемкость) не получили массового распространения. Обладая определенными положительными качествами, (мобильность, возможность орошать сверх малые участки, простота экс-

плуатации), шланговые дождеватели занимают свою нишу в орошении [147, 148] (приложение Б).

Дождеватели шланговые «АГРОС» ДШ-90, ДШ-110 (119) орошении [147, 148] (приложение Б). Предназначены для орошения сельскохозяйственных культур, садов, виноградников. Дождеватели работают позиционно, полив производится в движении, от гидранта закрытой оросительной сети. Вода от гидранта подается по шлангу к дождевальному аппарату. Под давлением этой же воды работает турбинный гидропривод, который приводит во вращение барабан. При вращении барабана полиэтиленовый трубопровод подтягивает тележку с аппаратом или фермой к дождевателю, орошая полосу земли. После сматывания барабана дождеватель трактором перемещается на другую позицию. Расход 8-10; 10-20 л/с. Давление 0,6-0,7; 0,7-0,9 атм.

Шланговый дождеватель барабанного типа RM (Италия) (120) [149, 150] (приложение Б). ДШ (дождеватель шланговый) является техникой полива для хозяйств на площадях малого и среднего объема. Отличаются возможностью работы с неочищенной водой. Для дождеобразования применяется двухконсольная ферма «Albatros» с мелкодисперсным распылением и шириной захвата до 95 метров. Время приведения как в рабочее, так и в транспортное состояние не превышает 10 минут.

Шланговые дождеватели серии IR (121) [151] (приложение Б). Дождевальные машины барабанного типа с гидравлическим подъемом колес и сцепки. Во время эксплуатации эти машины опускаются на землю, что придает дополнительную устойчивость при работе со шлангами большого диаметра и длины.

Шлейфы дождевальные (122) [32, 152] (приложение Б). Применяются для орошения культурных пастбищ, сенокосов, садов, сельскохозяйственных культур преимущественно на участках с длинными гонами (не менее 1000 м). Первоначально, в конце 1940 года, была создана самоходная установка, представляющая собой фронтально перемещающийся трубопровод, к которому подсоединены продольные крылья (автор З. И. Метельский). Впоследствии, как показали исследования и практика, стало целесообразным указанные крылья перемещать трактором отдельно, что упростило конструкцию и снизило стоимость полива.

Дождевальный шлейф ШД 25/300 (122) [152] (приложение Б). До 1988 г. имел наибольшее распространение среди семейства шлейфов. Расход одного шлейфа составляет 25 л/с. Давление на входе в шлейф – 4 атм. Ширина захвата группы шлейфов 300 м. Представляет собой разборный или цельный трубопровод с расположенными на нем тремя карусельными дождевателями карусельного типа (КД-10 «Тимирязевец»), расположенными через 50 м. Работа может осуществляться в прямоугольной, шахматной или полушахматной схеме.

Дождевальный шлейф ШД 20/600, ШД 20/800 (123) [152] (приложение Б). Используется для полива при большой длине участков, с целью экономии труб подводящей сети. Длина одного шлейфа может составлять 600 или 800 м. Расход одного шлейфа составляет 20 л/с. Давление на входе в шлейф – 3-4 атм. Ширина захвата группы шлейфов 600-800 м. Представляет собой разборный или цельный трубопровод с расположенными на нем двумя карусельными дождевателями карусельного типа (КД-10 «Тимирязевец»), расположенными через 390 м. На трубопроводе, через 50 м, располагаются водоприемные муфты, обеспечивающих надежное перекрытие дождем.

Двухпозиционный дождевальный шлейф ШД 2П-30/600 (124) [152] (приложение Б). Отличительной особенностью шлейфа является наличие двух пар карусельных дождевателей (КД-10 «Тимирязевец»), которые благодаря гидравлическому реле поочередно включаются в работу. Такая работа дождевателей позволяет снизить интенсивность дождя, общую относительную материалоемкость и уменьшить производственные затраты при поливе.

Отечественный опыт автоматизации процессов полива сельхозкультур, характерный для оросительных систем **третьего поколения** связан с использованием в 70-80-х годах в ряде областей систем программированного выращивания урожаев (СПВУ) и информационно-советующих систем оперативного планирования орошения (ИСС ОПО) (286) [33] (приложение Б). Компьютерные технологии СПВУ и ИСС ОПО в информационном аспекте основывались на точечных (термостатно-весовых, радиационных и тензиометрических) способах измерения влажности почвы и расчетных методах определения норм удобрений под планируемый урожай; исходные почвенные данные по содержанию гумуса, NPK и других элементов определялись в лабораторных условиях.

Зарубежная практика планирования поливов с 90-х годов оперирует данными спутникового зондирования почв и растительного покрова для управления сетями дождевальных машин; так, компания Valley (113) использует сейчас эти технологии на площади порядка 6 млн га [139] (приложение Б). Спутниковые данные применяются для формирования и текущей корректировки полевых технологических процессов орошения, обеспечивающих своевременные и комплексные воздействия на условия произрастания культур. По показателям оперативности, автоматизированности и комплексности воздействий интернет-технологии обладают неоспоримыми преимуществами перед компьютерными технологиями СПВУ и ИСС ОПО, что служит основанием для ориентации на них при разработке поливных систем новых поколений.

Поливная техника **4-5-го поколений** должна, прежде всего, быть ориентирована на выполнение высокорентабельных технологий орошения сельскохозяйственных культур.

Прогнозируется, что в орошаемом секторе сельского хозяйства будут использоваться три типа технологий по интенсивности орошения сельскохозяйственных культур (рисунок 3.15)

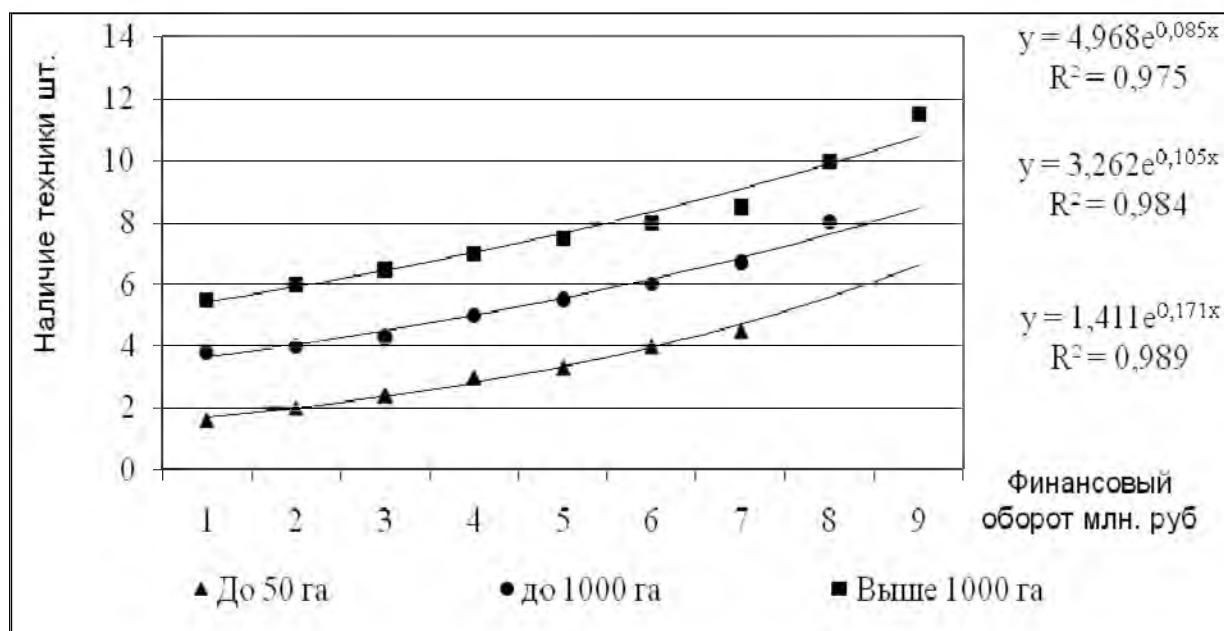


Рисунок 3.15 – График перехода технологий

Первый тип – простые технологии орошения, которые предусмотрено использовать в хозяйствах с низким уровнем доходности, кадрового обеспечения, и как правило, они рассчитаны для регионов (природно-климатических зон) с невысоким сельскохозяйственным потенциалом. Потенциальные возможности технологий по площади орошения – до 50 га. Техника простых технологий ориентируется на периодическое

(циклическое) орошение без внесения удобрений с поливной водой, как правило, при неблагоприятных погодных условиях и невозможности выращивания культуры без орошения. На первых этапах при выполнении простых технологий следует рассчитывать на более дешевые агрегаты старых поколений машин, аналогичных по стоимости и технологическим возможностям новых машин, или технику с вторичного рынка. Переход хозяйств этой группы к более сложным технологиям будет продолжительным (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Переход по интенсивности технологий

Второй тип – интенсивные технологии, которые рассчитаны на орошаемые участки 100-1000 га с укрупненными севооборотами. Такие технологии предполагают использовать предпосевные, вегетационные и влагозарядковые поливы с одновременным внесением различного типа удобрений, другие технологические возможности поливной техники. Этот тип технологий рассчитан на относительно благополучные сельскохозяйственные предприятия. Техника для орошения в таких предприятиях исполь-

зуются либо разработанная ранее, типа «Днепр», «Фрегат», «Кубань», либо аналогичная по классу («Ладога», ее модификации и вновь разрабатываемые). Переход этой группы хозяйств к высокоинтенсивным технологиям будет непродолжительным и не потребует значительных затрат.

Третий тип – высокоинтенсивные технологии – это стратегическое будущее конкурентоспособного орошаемого сектора сельского хозяйства России. Они рассчитаны на наиболее благополучные сельскохозяйственные предприятия страны с орошаемыми площадями от 1000 га и выше. Многие элементы этих технологий требуют доработки или адаптации современных типов поливной техники с учетом международных достижений и привязкой к местным условиям. Поливная техника для этих технологий должна обеспечивать прецизионное (точное) управление производственными процессами орошения сельскохозяйственных культур. Как правило, эта техника должна самоконтролировать качество выполняемых технологических операций в связи с изменяющимися условиями (погода, влажность почвы, вегетация).

Структурно парк поливной техники для различных групп технологий должен претерпеть существенную модернизацию, прежде всего, для гарантированного увеличения уровня технической и технологической надежности.

Полливой агрегат должен без поломок устойчиво работать в продолжении основного поливного цикла (сезона). Низкая надежность отечественных дождевальных машин (нередко до 7-10 ч на отказ) – основная проблема отечественных ДМ.

В перспективном парке поливной техники, многооперационные машины должны быть заменены универсально-комбинированными, способными адаптироваться к востребованным условиям орошения, даже на одном орошаемом участке, путем быстрой смены основных рабочих органов (дождевальных аппаратов, насосно-силового оборудования), площади одновременного полива, степени автоматизации и т. д. Такой метод позволяет сократить количество типоразмеров машин для орошения. Необходимо разработка всего нескольких (2-5) базовых моделей поливной техники, универсально адаптируемых к различным технологическим условиям. При этом в 1,5-2 раза снижаются капиталовложения в производство поливной техники.

Перспективное развитие парка поливной техники непосредственно влияет на решение проблемы повышения производительности труда в орошаемом секторе АПК. Известно, что производительность труда как величина продукции, производимой одним работником за единицу времени, определяется при машинном производстве, параметрами техники. Для России фактор производительности труда имеет решающее значение, поскольку низкое значение этого параметра делает неконкурентной отрасль. На рисунке 3.17 представлена структура информационных потоков при сетевой и автономной организации работы дождевальных машин и установок.

Состав представляемой пользователям информации дифференцируется в зависимости от сетевой или автономной организации работы дождевальных машин в хозяйствах. В крупных сельхозпредприятиях (с $S_{op} > 500$ га), имеющих десятки машин типа «Кубань-ЛК» (111), ДМФЕ «Фрегат-Н» (109), «Valley», «Zimmatic» (116), создаются сети орошения, оснащенные блоками дистанционного управления (типа Fild VISION, Fild BOSS и др.), реализующими следующие опции [136-137, 139, 142-144] (приложение Б):

- регулирование норм полива пролетами ДМ, синхронизация движения тележек и машин;

- раздельный режим полива отдельных участков, углов, обеспечение обратного хода ДМ;

- подача с поливной водой органических и минеральных удобрений, химмелиорантов, микроэлементов, средств борьбы с сорной растительностью (гербицидов), с вредителями растений;
- управление поливами в режиме малоинтенсивного дождевания нормами 80-120 м³/га (в режиме «дополива»).



Рисунок 3.17 – Структура информационных потоков при сетевой и автономной организации работы дождевальных машин и установок

Названные и другие опции реализуются с применением данных GPS и космоснимков, передаваемых ЦСД в хозяйства и(или) непосредственно в сети дистанционного управления дождевальными машинами (в блоки Fild VISION, Fild BOSS). По спутниковым данным об изменениях запасов питательных веществ и влаги в почве, об изменениях состояния растительного покрова и других показателей агробиоценоза центры обеспечивают хозяйства оперативными планами поливов для совокупностей полей в севооборотах, рекомендациями по корректировке планов при недостаточной водообеспеченности оросительной системы, планами очередности проведения поливов культур, находящихся в критических фазах развития (фазах налива зерна и других). Важным разделом материалов ЦСД являются региональные планы борьбы с вредителями растений (саранчой, клещами, слизнями), требующие согласуемого по времени исполнения всеми хозяйствами. Кроме того, на ЦСД может быть возложена поставка хозяйствам программного обеспечения к блокам дистанционного управления сетями ДМ, комплексная поставка необходимых удобрений, гербицидов и ядохимикатов.

Средние и малые предприятия (с площадями орошения 50-300 га) и в перспективе будут, видимо, использовать сравнительно недорогие шлангово-барабанные ДМ (119-124), дождевальные установки на основе быстросборных трубопроводов (96), системы микроорошения (127-130) и капельного орошения (125), дождевальную технику для мелкоконтурных участков порядка 1-5 га (119) [31-33, 38, 147-152] (приложение Б). Управление машинами этой группы производится автономно, с использованием штатных панелей управления; программирование опций осуществляется вручную по материалам системы GPS, также передаваемым центрами спутниковых данных. В состав данных, наряду с изменениями влагозапасов и питательных веществ в почве, оперативными планами поливов и другими, включаются данные аэро- и космоснимков по истории полей, особенно актуальные в условиях частой смены собственников (арендаторов) небольших орошаемых участков.

Существенным признаком рассмотренной сетевой и автономной организации работы машин являются автоматическое или автоматизированное (во втором случае) управление поливной техникой с учетом изменений показателей агроценоза, устанавливаемых по материалам спутникового зондирования в режиме реального времени; по этому признаку предлагаемые схемы управления работой машин можно отнести к поливным системам перспективного пятого поколения. Временная динамика перехода к перспективным поливным системам **четвертого поколения** во многом определяется:

- социально-экономическими процессами интеграции сельхозпредприятий и повышением их инвестиционных возможностей;
- уровнями адаптируемости создаваемых образцов ДМ к условиям сетевой организации работы машин;
- ходом выполнения НИОКР, связанных с разработкой программного обеспечения и средств дистанционного управления сетями ДМ;
- ходом выполнения мероприятий по обеспечению доступности спутниковых материалов для распространенных категорий водопользователей.

Анализ общего состояния орошаемого сектора АПК России, как и проблем парка поливной техники регионов, позволяет выделить несколько этапов обновления:

Первый этап (3-5 лет) включает ближайшие действия по улучшению технической оснащенности орошаемого сектора АПК России поливной техники. На этом этапе не следует ожидать крупных изменений в структуре производства и эксплуатации поливной техники. В основном будут изготавливаться и применяться машины существующих конструкций. Однако некоторые из них могут быть модернизированы для улучшения качества работы, снижения материалоемкости, упрощения конструкции без снижения технологических возможностей, перевода их на автономную работу, повышения надежности и т. д.

Такая техника должна быть конкурентоспособной на отечественном рынке по ценовым характеристикам и обеспечивать поддержание уровня механизации полива, в основном, в хозяйствах с низкой экономикой производства.

Реализация этих мер позволит использовать существующие оросительные системы на их существующем техническом уровне, вернуть в строй действующих недавно законсервированные по причине отсутствия технических средств полива орошаемые участки. Кроме того, это позволит стабилизировать экономику сельскохозяйственных предприятий, использующих орошение.

Основной задачей этих лет для научно-исследовательских и опытно-конструкторских учреждений должно быть резкое ускорение работ по созданию принципиально новой поливной техники отечественного производства, предусмотренной Федеральной системой технологий и машин и перечнем приоритетной техники, утвержденным Минпромнауки России и Минсельхозом России на 2004-2008 гг. Этот этап является периодом ускоренной подготовки интенсификации отрасли.

Второй этап (5-10 лет) – начало производства приоритетной поливной техники для сельского хозяйства на отечественных предприятиях. Он будет происходить параллельно с производством модернизированной техники предыдущего поколения. Предполагается, поскольку приоритетная поливная техника будет производиться и приобретаться по более высокой стоимости, с более высокой их технологической надежностью и производительностью, она вначале будет приобретаться предприятиями с высоким уровнем доходности, а также предприятиями, поддерживаемыми инвесторами.

Приоритетные машины и оборудование. В этом периоде предусмотрено создать и поставить на производство основные приоритетные машины и оборудование, предусматривающие:

- 1 В области широкозахватной поливной техники создание:
 - дождевальных машин модульного типа;
 - работающих от стационарной и мобильной оросительной сети;
 - выполнение всех технологических операций, в том числе создание напора, перемещения и т. д., (должны выполняться с использованием одного энергоносителя);
 - широкого диапазона (не менее трех) дождеобразующих устройств;
 - расхода дождевальной машины в зависимости от направления движения (фронтальный, круговой или продольный), не должен превышать 10-50 л/с на 100 м длины крыла;
 - автоматизации основного технологического процесса;
 - возможности внесения различного вида удобрений и проведения химических обработок;
 - уменьшения требований к техническому уровню обслуживающего персонала;
 - исключаящих применение дорогостоящих цветных металлов.
- 2 В области дождевальных агрегатов создание:
 - агрегатов навесного и прицепного типа;
 - работающих с тракторами различного класса;
 - агрегатов с гибкими трубопроводами;
 - расхода дождевального агрегата в зависимости от площади мгновенного полива (не должен превышать 7-8 л/с на 10 м длины крыла);
 - возможности внесения различного вида удобрений и проведения химических обработок;
 - широкого диапазона (не менее трех) дождеобразующих устройств;
 - обслуживающего персонала при выполнении основного цикла (не должен превышать одного человека на агрегат).
- 3 В области поливной техники для поверхностного полива создание:
 - поливных агрегатов навесного и прицепного типа;

- приспособления для перевода дождевальных машин и агрегатов на поверхностный полив;
- гибких трубопроводов;
- быстроразборных трубопроводов;
- телескопических трубопроводов.

Общее направление Концепции обновления парка поливной техники на втором этапе должно преследовать создание зональных технологических комплексов для высокоэффективных технологий орошения.

Третий этап (10-15 лет). После выполнения второго этапа к следующему периоду будут созданы новые технические средства орошения, реализующие новые технологии, обеспечивающие технико-экономические параметры эффективного производства сельскохозяйственной продукции в орошаемом секторе АПК России. Поэтому на третьем этапе ставится задача создания интеллектуальной поливной техники за счет качественно нового уровня автоматизации. К этому периоду сама механическая система должна быть подготовлена к этой работе, а именно:

Первое – все создаваемые технические средства полива, особенно сложные и высокопроизводительные, должны иметь высокую техническую и технологическую надежность.

Второе – поливная техника должна быть оснащена системами автоматизации, которые представляют собой базу или нижний уровень в многоуровневой системе интеллектуальной, т. е. самоконтролирующейся поливной техники.

Третье – создание крупных многооперационных поливных моноблоков, представляющих собой новые мобильные технологические агрегаты, служащие основой для обеспечения эффективной организационно-экономической базы, на которой должны быть созданы автоматизированные и даже автоматические процессы орошения. К ним можно отнести автоматическое вождение поливных моноблоков, саморегуляцию поливных норм, дифференцирование внесения удобрений, средств защиты растений и т. д.

Стоимость парка поливной техники нового поколения оценивается суммой около 3-6 млрд руб. ежегодно. Прогнозируется, что реализовать эту цель возможно к 2015-2017 гг., то есть за 12-15 лет. Все будет определяться, в конечном итоге, покупательной способностью сельских товаропроизводителей.

Конечным результатом реализации программы будет являться интенсификация и обновление парка поливной техники, что позволит эффективнее использовать орошаемые земли, что повлечет удвоение валового производства продукции сельского хозяйства. В результате удастся повысить объем реализации продукции сельскохозяйственными предприятиями до 100-110 млрд руб. При прогнозируемой рентабельности (20 %) из полученной прибыли на обновление парка машин может быть направлено ежегодно до 6 млрд руб. (около 25-30 % прибыли). До 3 млрд руб. составят амортизационные отчисления предприятий, направляемые на приобретение техники.

На первом этапе все источники финансирования инженерно-технической сферы не превысят 3-4 млрд руб.

Источниками финансового обеспечения будут:

- собственные средства сельхозтоваропроизводителей;
- бюджеты федеральных и региональных уровней;
- инвестиции частных внутренних и внешних структур.

На этапе освоения новой технической политики в области орошения важно изыскать стартовые средства. Они связаны, прежде всего, с участием государства в финансировании опытно-конструкторских работ, постановке на производство и приобретение базовой техники нового поколения. Эти затраты оцениваются по минимуму в 150-200 млн руб. в год.

Научное издание

Щедрин Вячеслав Николаевич
Колганов Александр Васильевич
Васильев Сергей Михайлович
Чураев Александр Анатольевич

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

В двух частях
Часть 1

Подписано в печать 19.11.2013. Формат 60×84 1/8.
Усл. печ. л. 32,9. Тираж 500 экз. Заказ № 92.

ООО «Геликон»

Отпечатано в ООО «Геликон».
346421, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190 «Е»