

## **5 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ЭЛЕМЕНТАМИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ АСУ I ОЧЕРЕДИ ЛЕВО-ЕГОРЛЫКСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

Наиболее эффективной работы оросительной системы можно добиться лишь путем автоматизации всего комплекса технологических операций, обеспечивающих управление водораспределением. Путь решения таких задач лежит через создание автоматизированных систем управления оросительными системами и регламентируется нормативными документами [234-236].

Однако специфика мелиоративных систем как объектов управления требует анализа их особенностей с тем, чтобы определить оптимальные точки воздействий, при которых максимально возможное значение критерия управления достигалось бы при минимальных затратах. Варианты решения подобных задач для различных регионов и условий рассмотрены в ряде работ [237-243]. Но диалектическая взаимосвязь технологий и обеспечивающих их средств требует неустанного их совершенствования и развития. В частности, появление в последние годы мощных и в то же время дешевых и простых в эксплуатации компьютерных средств позволяет применить их не только для управления магистральными и межхозяйственными каналами, но и для автоматизации отдельных орошаемых участков и гидротехнических сооружений. Кроме того, использование персональных компьютеров специалистами и службами управлений по мелиорации для решения различного рода оптимизационных задач, повышения их информационной обеспеченности, применения научно обоснованных методов эксплуатации ОС позволяет существенно повысить качество принимаемых ими решений.

В этой связи в соответствии с приказом Минводхоза РСФСР № 15-пр от 14.01.1986 г. для разработки типовых решений при создании автоматизированных систем управления ОС было начато создание АСУ Лево-Егорлыкской оросительной системы (ЛЕОС) в Ставропольском крае. Головной научной организацией был ЮжНИИГиМ, а проектной – Севкавгипроводхоз. Соисполнителями НИОКР являлись ВЦ ЮжНИИГиМ, СевНИИГиМ (г. Ленинград), МГМИ (г. Москва), Узводприборавтоматика (г. Ташкент).

### **5.1 Характеристика объекта управления**

Лево-Егорлыкская оросительная система (рисунок 5.1) охватывает западную часть Ставропольского края, на которой размещается 10 хозяйств Новоалександровского, Красногвардейского и Изобильненского районов. Источником питания ЛЕОС служит р. Кубань с водозабором из нее у г. Невинномысска. Далее вода подается по Невинномысскому каналу и сбрасывается в р. Егорлык через Сенгилеевское и Новотроицкое водохранилища.

Среднегодовой сток р. Кубань в створе Невинномысского гидроузла равен 4588 млн м<sup>3</sup>, а в год 75 % обеспеченности – 4185 млн м<sup>3</sup>.

Схемой генплана ЛЕОС за счет выделенных водных ресурсов намечено орошение земель на площади 46,05 тыс. га, в том числе I очередь – 20,7 тыс. га с водопотреблением 113 млн м<sup>3</sup>.

Территория ОС с запада на восток, а затем на север расчленяется двумя реками – Ладовская Балка и Горьковская Балка. В целом рельеф ее относительно спокойный, уклоны колеблются от 0,007 до 0,08, микрорельеф – сложный. Валовая площадь ОС – 147,1 тыс. га, из которых ирригационный фонд составляет 116,37 тыс. га, или 79,1 %.



**Рисунок 5.1 – Схема Лево-Егорлыкской оросительной системы**

Коэффициент фильтрации водовмещающих пород составляет 0,5 м/сут. Глубина залегания грунтовых вод на проектируемых площадях орошения в пределах от 5 до 20 м и более. Преобладающая минерализация грунтовых вод 5-10 г/л. Химический состав изменяется от натриево-магниевого в юго-западной части территории до сульфатно-хлоридного и натриево-магниевого в северной и восточной частях территории.

Почвенный покров представлен черноземами обыкновенными, которые обладают благоприятными агротехническими и водно-физическими свойствами. Они не засолены, не солонцеваты. Мощность гумусовых горизонтов – 80-110 см, содержание гумуса – 4 %, пористость – 47-50 %, водопроницаемость – 2,6-5,5 м/сут.

Магистральный канал ЛЕОС начинается от водовыпускного сооружения, расположенного на юго-западной окраине ст. Баклановской. Протяженность его составляет 8,86 км. Канал облицован железобетонными плитами, уложенными на полиэтиленовой пленке. Он рассчитан на пропуск рабочего расхода 16 м<sup>3</sup>/с. Расход I очереди – 10 м<sup>3</sup>/с.

В ЛЕОС имеется пять бассейнов суточного регулирования (БСР). Из них БСР-3 и БСР-4 работают по принципу сообщающихся сосудов (при открытых затворах) с магистральным каналом (МК). БСР-1, БСР-2 и БСР-5 расположены в хозяйствах на значительном удалении от МК.

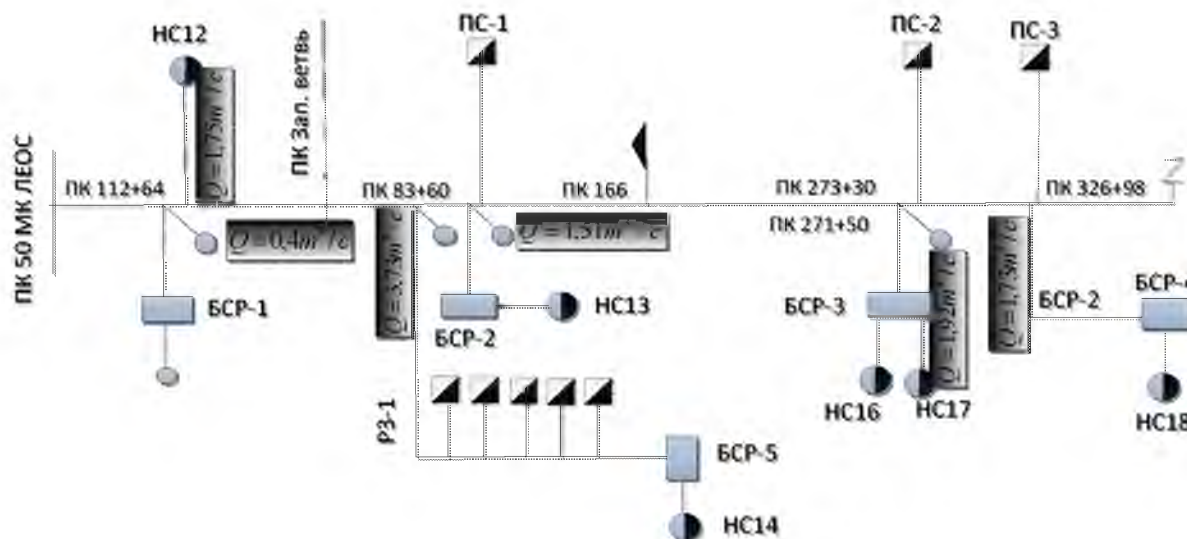
Головная насосная станция (ГНС) оборудована центробежными насосами. Подача в магистральный канал осуществляется по напорному трубопроводу длиной 4030 м и выполнена в одну нитку из стальных труб диаметром 2040 мм. На ОС имеется шесть подкачивающих насосных станций (ПНС).

Как объект управления ЛЕОС имеет следующие особенности.

Прежде всего данная оросительная система характеризуется незначительными запасами воды в бьефах каналов, небольшими ее запасами в бассейнах суточного регулирования, жесткими ограничениями на режим работы ГНС. Поэтому для обеспечения планового водозабора водопользователи ограничены в сверхплановом водопотреблении.

Рассмотрим особенности ЛЕОС с точки зрения возможности управления водо-

распределением. Линейная схема МК ЛЕОС представлена на рисунке 5.2. Из бассейнов суточного регулирования, расположенных на территории колхозов «Правда», «Победа», «Нива» и др. (БСР-2-БСР-5), осуществляют водозабор насосные станции НС13, НС14, НС16-НС18. Потребители, связанные с БСР, в определенной степени обеспечены резервами: НС имеют возможность забирать из них воду практически до дна. Для обеспечения самотечного орошения (колхоз «Правда») в БСР-1 необходимо поддерживать минимальную глубину 0,8 м.



**Рисунок 5.2 – Линейная схема магистрального канала ЛЕОС**

Орошение с помощью ДМ «Кубань», водоснабжение которых осуществляется из межхозяйственного водораспределителя РЗ-1, можно также считать обеспеченным резервом, так как у него имеется возможность перехвата стока в БСР-9. Однако чтобы вода нормально поступала в водоемы БСР-3 и БСР-2 (проектный уровень воды в них находится примерно на одной отметке с уровнем воды в МК), а также в РЗ-1 и РЗ-2, необходимо поддерживать высокий уровень перед ПС-1, ПС-2 и в створе водозабора РЗ-2. В связи с этим все перегородки на канале должны регулироваться по верхнему бьефу с защитой от переполнения, а локальная автоматика должна отрабатывать уставки, стабилизирующие уровень перед перегораживающими сооружениями.

Насосная станция НС12 и ДМ «Кубань», забирающие воду в концевой части Западной ветви (потребители  $Q_1$ ,  $Q_8$ ), не имеют никаких резервов, поэтому находятся в наихудшем положении. Водораспределением по РЗ-1 и концевому участку Западной ветви, из которых берут воду ДМ «Кубань», предполагалось управлять из локальных пунктов управления.

Водозабор в РЗ-1 и БСР-1 не регулируется из диспетчерского пункта, командой из центра можно только прекратить водозабор в РЗ-1. Это позволяет рассматривать РЗ-1 как обобщенный водопотребитель, плановый водозабор которого равен сумме заборов воды НС14 и ДМ «Кубань». Перегораживающее сооружение ПС-3 также не управляется из центра, а регулируется из локального пункта управления; из центра можно лишь закрыть ПС-3. Водозабор в БСР-1, РЗ-2 и НС12 осуществляется непосредственно из канала, поэтому для его нормального обеспечения нужен некоторый уровень в соответствующем створе. Он может быть достигнут пропуском по каналу некоторого транзитного расхода, поэтому общий расход в определенных случаях должен быть увеличен до требуемой величины.

Головная насосная станция имеет три насосных агрегата производительностью: два по  $2,3 \text{ м}^3/\text{с}$  и один  $7,6 \text{ м}^3/\text{с}$ . Электродвигатели, приводящие их в действие, не имеют

плавной регулировки производительности, поэтому регулировать водоподачу в ОС можно лишь путем включения-отключения агрегатов. Однако большой насосный агрегат допускает всего 20 пусков за сезон, а маленькие – до 120. Мощность большого насоса составляет 8000 кВт, он является одним из самых крупных потребителей электроэнергии в Ставропольском крае, что может негативно сказываться на стабильности электросети. Поэтому допустимая частота его пусков составляет один раз в декаду. Несомненно, что все это накладывает достаточно жесткие условия на гибкость управления подачей воды в ЛЕОС.

## **5.2 Назначение АСУ ТП ЛЕОС**

Целью управления при создании АСУ ТП ЛЕОС было повышение эффективности использования оросительной воды при производстве продукции растениеводства на орошаемых землях. В качестве критерия управления была определена максимизация производства продукции в денежном выражении при выполнении таких условий, как:

- поддержание влажности корнеобитаемого слоя в биологически оптимальных пределах;
- учет сложившегося организационно-технического уровня эксплуатации дождевальной техники, учет технологических операций агрокомплекса, проводимых на поле, а также учет плановых заданий на выпуск основных видов сельскохозяйственной продукции;
- планирование водораспределения в пределах технических и технологических ограничений на забор и подачу воды хозяйствам.

АСУ ТП ЛЕОС представляет собой человеко-машинную систему, в которой человек непосредственно входит в контур управления и, используя современные средства обработки информации, вырабатывает решения, способные воздействовать на систему в целом. Это позволяет ОС функционировать на качественно новом уровне, которого без применения АСУ достигнуть невозможно.

Основной смысл автоматизированного управления ОС заключается в том, чтобы помочь эксплуатационным службам принять обоснованное решение, свести к минимуму опасность ошибочных действий. Для этого все участки ЛЕОС оснащаются датчиками количественной информации с автоматическим вводом этой информации в ЭВМ. С помощью разработанной системы обеспечивается контроль точности выполнения технологического процесса во времени по операциям и участкам, фактического выполнения плана водопользования. Система позволяет наглядно отображать ход технологического процесса по участкам и оперативно оповещать об аварийных ситуациях.

При реализации АСУ ТП ЛЕОС был использован принцип системного подхода, заключающийся в анализе объекта управления в целом с учетом возможных взаимосвязей и всех аспектов его функционирования.

По назначению циркулирующей информации АСУ ТП ЛЕОС может быть подразделена на отдельные подсистемы функционального назначения. Для нее характерна иерархичность структуры, которая выражена в устойчивом порядке внутренних пространственно-временных связей между отдельными элементами структуры. Принцип иерархии предусматривает подчиненность подсистем более низкого уровня подсистеме более высокого уровня. При этом выдерживается также принцип разумного сочетания централизации и децентрализации в управлении.

Подчиненность выражается как в структурном местоположении отдельных подсистем, так и в распределении управляющих функций. На каждом организационном уровне решаются задачи соответствующей компетенции и на верхнюю ступень пере-

дается только достаточная для ее нормального функционирования интегрированная информация. Это способствует живучести системы.

Применение иерархической структуры позволяет значительно увеличить надежность системы за счет использования избыточности и перехода к функционально-безотказной схеме, которая даже при наличии неисправности выполняет основные функции.

Отдельные подсистемы АСУ ТП ЛЕОС, а также и вся система в целом характеризуются наличием той или иной степени адаптации и организации. В структуре системы была заложена возможность ее совершенствования и адаптации как к внутренней, так и к внешней среде. Адаптация касается не только организационных составляющих, но и ее технического обеспечения, что способствует надежности функционирования технических средств.

АСУ ТП ЛЕОС является комплексной системой управления, основанной на применении электронно-вычислительной техники и экономико-математических моделей для решения основных задач управления технологическим процессом. Она строилась по принципу единства и взаимосвязи, означающему, что все составляющие части АСУ базируются на общей экономико-организационной модели. В основу АСУ был положен также принцип новых задач, согласно которому система обеспечивает решение качественно новых многовариантных и оптимизационных задач с использованием математических моделей. При разработке АСУ был заложен и принцип непрерывного развития системы. Он предусматривает, что по мере расширения ЛЕОС, ввода новых очередей возникнут новые задачи управления и новые критерии при выборе решений. АСУ ТП и ее программное обеспечение разрабатывалось с таким расчетом, чтобы с минимальными затратами обеспечить перестройку системы.

В основу АСУ ТП ЛЕОС легли и другие принципы:

- максимальной типизации, означающей широкое использование типовых проектных решений в отношении технического, методологического, математического, информационного обеспечения;

- минимизации ввода-вывода информации. Этот принцип используется при корректировке информационной базы данных, когда достаточно один раз ввести корректирующую информацию, чтобы преобразовать ее в различных массивах базы;

- применения в системе программно-информационно совместимых инструментальных программных средств, что обеспечивает единообразие представления и понимания данных и программ;

- установления единого графика решения планово-экономических задач и выполнения операций информационного процесса. Соблюдение этого принципа позволяет эффективно загрузить весь комплекс технических средств системы управления. Графиком для каждой единицы оборудования определен на каждый момент времени характер и объем выполняемых операций по обработке информации.

Основные функции системы:

а) информационные:

- создание и введение в систему баз данных о полях, внутрихозяйственной и межхозяйственной оросительной сети, базы метеоданных;

- оценка эффективности подачи воды по точкам водовыделов; передача проекта заявки на полив в хозяйство; передача на ЦДП предложений от хозяйства к проекту заявки;

- составление сводки выполнения поливных режимов и передача ее в ФГБУ;

- составление плана водопользования по хозяйству и передача его в хозяйство и ФГБУ, а также плана водопользования по ФГБУ и передача его в ФГБУ и департамент по мелиорации;

- контроль метеопараметров и передача их на ЦДП;
- контроль состояния оборудования, ПНС и ДМ и передача информации на ЦДП;
- измерение, оперативное отображение и регистрация значений технологических параметров, характеризующих состояние объекта управления и передача их на ЦДП;
- обнаружение, оперативное отображение, регистрация и сигнализация отклонений контролируемых параметров и показателей от установленных пределов и передача этой информации на ЦДП и локальные регуляторы;

б) управляющие:

- расчет проекта заявки на полив;
- определение потерь урожайности, связанных с отклонением сроков и норм поливов от биологически оптимальных;
- расчет оперативного плана водопользования хозяйств и ФГБУ;
- прием от ЦДП команды разрешения на полив в заданном интервале времени;
- автоматическое управление ПНС с регулированием подачи;
- автоматическое управление дождевальными машинами;
- выработка управляющих воздействий и передача их исполнительным органам гидротехнических сооружений (ГТС);
- выдача рекомендаций по оперативному управлению регулирующими ГТС в технических и аварийных режимах работы каналов.

Технология принятия решений проводится в следующей последовательности:

- расчет плана водопользования выполняется в ЦДП на имеющейся там ЭВМ на основе информации, поступающей из ФГБУ;
- план водопользования передается из ЦДП в ФГБУ и после утверждения возвращается в ЦДП для исполнения;
- при составлении плана водопользования и его реализации учитываются лимиты на водозабор в ЛЕОС, устанавливаемые управлением по мелиорации. При оперативном планировании лимиты уточняются на каждый период планирования.

АСУ ТП водопользования и водораспределения на ЛЕОС планировалась с учетом использования ее как подсистемы в составе Ставропольского департамента по мелиорации.

### 5.3 Функциональное обеспечение АСУ ТП ЛЕОС

Рассматривая гидромелиоративную систему как технологический объект управления, можно выделить две группы подобъектов различного функционального назначения, связанных единым технологическим процессом:

- межхозяйственную оросительную сеть с соответствующими ГТС, необходимыми для забора, транспортирования, распределения и учета воды;
- внутрихозяйственную оросительную сеть – орошаемые участки с необходимой оросительной сетью и поливной техникой.

Такое решение позволяет АСУ ОС подразделить на две подсистемы: межхозяйственное водораспределение и внутрихозяйственное водопользование.

Автоматизация подсистемы межхозяйственного водораспределения включает:

- текущее и оперативное планирование водораспределения и водопотребления с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур, улучшения использования поливной техники, водных и энергетических ресурсов;
- оперативное управление водораспределением на каналах оросительной системы;
- автоматическое управление НС, ГТС и исполнительной поливной техникой;
- водоучет и автоматический контроль состояния параметров оросительной системы;

- автоматизация анализа и расчета технико-экономических показателей ФГБУ и его подразделений.

Автоматизация подсистемы внутрихозяйственного водопользования включает:

- сбор и обработку метеорологической информации по орошаемым участкам;
- определение оптимальных сроков проведения агромероприятий;
- реализацию агромероприятий имеющимися средствами с учетом ограничений, накладываемых материальными, водными и другими ресурсами;
- информационный обмен с подсистемой межхозяйственного водораспределения.

В связи с этим при проектировании АСУ ТП ЛЕОС были выделены следующие функциональные подсистемы:

- управление орошением по агрометеопараметрам (расчет сроков и норм полива);
- оперативное планирование водопользования;
- централизованное управление межхозяйственным водораспределением;
- информационно-управляющая;
- внутрихозяйственная (управление внутрихозяйственным водораспределением).

Они легли в основу функциональной схемы АСУ ТП ЛЕОС, представленной на рисунке 5.3.

Управление осуществляется от поля (конкретной сельскохозяйственной культуры) до головного водозабора из источника орошения.

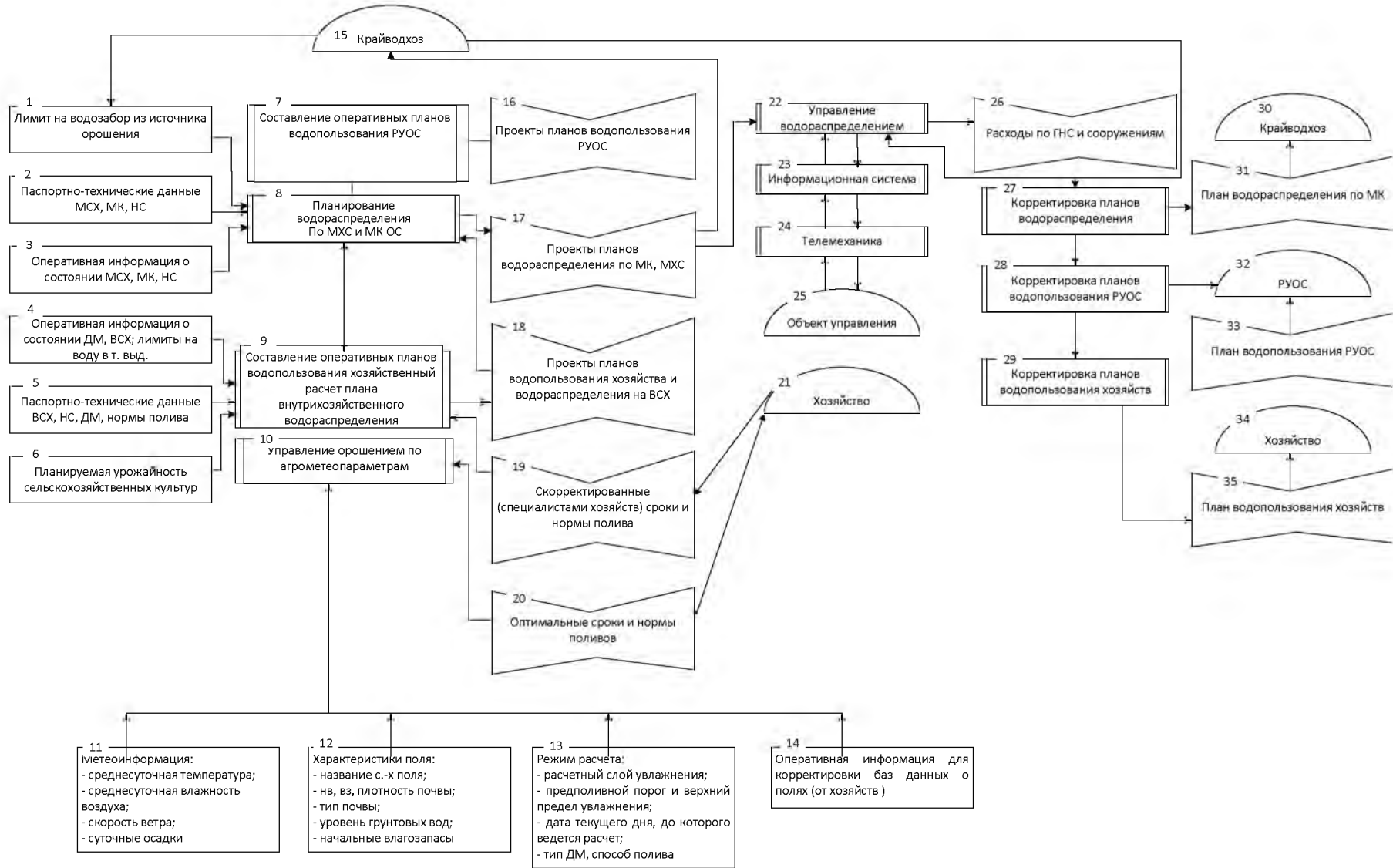
Подсистема управления орошением (блок 10) предназначена для обоснования поливных режимов сельскохозяйственных культур в зависимости от индивидуальных особенностей полей и динамики метеорологических условий. Входной информацией для нее служит условно постоянная характеристика полей, оперативные данные о состоянии поля (фактические влагозапасы, фаза развития сельскохозяйственной культуры, число проведенных поливов), метеоинформация (блоки 11-14).

Выходным документом блока управления орошением является заявка на полив (блок 19), которая содержит сроки, нормы, продолжительность поливов и потери урожайности при несоблюдении оптимальных режимов орошения. Этот документ поступает в хозяйства (блок 20), где специалисты имеют право скорректировать сроки полива культур с учетом технологических операций агрокомплекса, проводимых на поле (блок 18). Заявка от хозяйства с информацией о сроках, нормах полива поступает в подсистему оперативного планирования водопользования (блок 9). Здесь проводится расчет оперативных планов водопользования как ФГБУ, так и хозяйств, а также расчет планов внутрихозяйственного водораспределения.

Расчет оперативных планов водопользования по хозяйствам выполняется на основании условно постоянной информации по паспортно-техническим данным внутрихозяйственной сети, НС, техники полива (блоки 4-6). Расчет ведется с учетом технологических норм полива, характерных для данной поливной техники, оперативной информации о состоянии ДМ, внутрихозяйственной сети, лимитов на подачу воды в точки водовыделов в хозяйства из межхозяйственной сети.

Оперативный план водопользования хозяйств является основанием для составления оперативного плана водопользования по ФГБУ и плана водораспределения по межхозяйственной сети и МК оросительной системы (блоки 7, 8).

Расчет оперативного плана водораспределения выполняется с учетом лимитов на водозабор из источников орошения, ежедекадно корректируемых с бассейновыми управлениями (блок паспортно-технических данных по межхозяйственной сети, МК, НС), с учетом режима работы НС, межхозяйственной сети, МК (блоки 1-3). В процессе расчета плана водораспределения уточняется проектный объем подачи воды в точки выдела хозяйств, пропускной способности сооружений и каналов оросительной системы.



**Рисунок 5.3 – Функциональная схема АСУ ТП ЛЕОС**



Результатом расчетов являются планы водопользования ФГБУ и водораспределения по МК и межхозяйственной сети (блоки 16, 17), которые передаются водопользователям, где они могут подвергаться оперативной корректировке (блоки 27-35). План водораспределения по МК поступает также в ЦДП, где решается задача оперативного управления межхозяйственным водораспределением (блок 22, 26).

На нижнем уровне выполняется локальное регулирование ГТС при помощи местной автоматики, на верхнем функционирует подсистема централизованного управления, с помощью которой осуществляется увязка автономных систем, заключающаяся в расчете уставок локальным регуляторам, расчете расходов ГНС, контроле за уровнем водопользования, и сигнализацию о необходимости ограничения потребителя, превысившего план водозабора.

Управление локальными регуляторами, передачу им уставок, реализацию управления и связь с телемеханикой, организацию вычислительных процессов в реальном масштабе времени на ЦДП выполняет информационно-управляющая система (блок 23).

По каналам телемеханики (блок 24) от этой подсистемы передаются сигналы по управлению исполнительными механизмами ОС (блок 25).

Внутрихозяйственной подсистемой осуществляется управление ПНС, а также локальными автоматизированными участками с открытой и закрытой оросительной сетью.

Краткая постановка задач управления по каждой из подсистем АСУ ТП ЛЕОС приводится ниже.

#### **5.4 Постановка задач управления орошением по агрометеопараметрам**

Объектами управления данной подсистемы являются орошаемые поля и обслуживающая их техника. Подсистема предназначена для решения комплекса задач обоснования поливных режимов сельскохозяйственных культур в зависимости от индивидуальных особенностей полей и динамики метеорологических условий.

Решение этих задач является одним из главных методов обеспечения высокой эффективности орошения при рациональном использовании водных ресурсов и сохранении почвенного плодородия. Согласно общей функциональной схеме АСУ ТП ЛЕОС (рисунок 5.3) необходимость обоснования поливных режимов реализуется на двух этапах выработки управляющих решений:

- при составлении предварительной заявки на воду от хозяйства для некоторого периода планирования без учета технических ограничений со стороны ОС;

- при составлении окончательных графиков полива в ходе оперативной корректировки плана водопользования на этот же период с учетом технических ограничений.

Технико-экономическая сущность такого обоснования состоит в следующем.

В первом случае необходим такой график полива, который обеспечивает выполнение критерия субоптимальности орошения – поддержание влажности почвы на конкретном поле в допустимом диапазоне с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур, метеоусловий, характеристик почвы и поливной техники.

Во втором случае дополнительно вырабатывается оценка возможной потери урожайности от невыполнения субоптимального графика поливов, которая используется в ходе укомплектования графиков полива на разных уровнях оросительной системы.

Целесообразность такого подхода к управлению орошением определяется необходимостью устранения существующих в производстве значительных потерь оросительной воды и восстановления плодородия мелиорированных земель при достижении проектных значений урожайности.

Входной информацией подсистемы являются:

- постоянные характеристики полей и поливной техники (определяются до начала оросительного сезона);
- информация о проведении па обслуживаемых полях рекомендованных поливов (вводится до начала очередного периода планирования);
- данные метеопостов (вводятся каждые сутки).

Выходная информация подсистемы должна обеспечивать:

- доведение до каждого хозяйства предварительной заявки на подачу воды, что необходимо для ее согласования с планом прочих мероприятий агрокомплекса;
- передачу согласованной заявки на воду в подсистему планирования водопользования для выработки укомплектованного графика поливов;
- выдачу справок о выполнении графиков полива на обслуживаемых полях;
- информирование подсистемы планирования водопользования о возможных потерях урожайности из-за невыполнения графика поливов.

### **5.5 Постановка задач оперативного планирования водопользования**

Целью данной подсистемы является повышение эффективности использования водных ресурсов, урожайности сельскохозяйственных культур при выполнении следующих условий:

- эксплуатационный режим орошения выбирается с целью поддержания влагозапасов в пределах, обеспечивающих получение урожайности сельскохозяйственных культур не ниже плановой, с учетом фактического состояния их на поле, типа почвы, ее водно-физических свойств, способа и техники полива, особенностей ее эксплуатации в хозяйстве, сроков проведения технологических операций агрокомплекса на поле, технических характеристик оросительной сети;
- согласование плана водопотребления с режимом водоподдачи водопользователям осуществляется в рамках технических и технологических ограничений на условия эксплуатации межхозяйственной оросительной сети, МК, ГТС, НС с учетом возможностей оперативного управления водораспределением и режимом работы НС.

Критериями планирования водопользования являются:

- минимизация непроизводительных сбросов оросительной воды;
- обеспечение равномерной загрузки ДМ;
- сокращение числа перерегулировок по НС;
- минимизация отклонений плана водопотребления от плана водоподдачи.

Поскольку задача планирования водопользования – многоуровневая, то и решается она на уровне хозяйства, ФГБУ, департамент по мелиорации, а в соответствующем режиме с привлечением специалистов к принятию решений.

Выходная информация подсистемы – планы водопользования хозяйства и ФГБУ, планы водораспределения по хозяйствам, ФГБУ, МК, которые предназначены соответственно хозяйствам к исполнению, ФГБУ к исполнению и контролю забора и подачи воды.

Комплекс этих задач решается один раз в декаду или по требованию за сутки до расчетного периода.

Входная информация от пользователя должна предоставляться за сутки до проведения расчетов на ЭВМ.

По информации комплекс задач планирования водопользования связан с комплексами задач управления орошением по агрометеопараметрам и централизованного управления водораспределением.

Условия изменения срока решения задач планирования определяются центральным диспетчером по согласованию с отделами водопользования ФГБУ, управляющим водораспределением по МК.

## **5.6 Постановка задач централизованного управления межхозяйственным водораспределением**

При разработке АСУ ТП ЛЕОС целью оперативного управления водораспределением на межхозяйственной сети было максимально возможное обеспечение запросов водопотребителей (с учетом плана водопотребления культур). Критерием управления стала минимизация конечного сброса в пределах интервала управления.

Основными функциями подсистемы являются:

- оценка технологической выполнимости плана водопользования;
- координация систем локального автоматического управления регулирующими сооружениями: расчет уставок и расходов локальным регуляторам, а также расхода ГНС;
- сигнализация о необходимости ограничения потребителя, превысившего план водозабора, при неблагоприятных условиях.

В случае, если водопотребитель забирает воды больше, чем предусмотрено планом, система при наличии свободных водных ресурсов разрешает этот сверхлимитный водозабор. Если же резервов воды в ОС нет, то сверхплановый водозабор будет ограничиваться.

К объектам управления были отнесены ГНС, межхозяйственная оросительная сеть ЛЕОС, ГТС (ПС, водовыпуски в БСР), НС.

В качестве входной информации использовались значения планов водозаборов по водовыделам; информация о состоянии объекта управления, условно постоянная информация о конструктивных параметрах каналов и сооружений, уставках и т. п.

Выходная информация представлена в виде управляющих сигналов и справочных таблиц ЭВМ, которые используются информационно-управляющей системой АСУ ТП ЛЕОС. Она содержит следующие сообщения:

- средние за интервал управления и поливной период отклонения фактической водоподдачи от плана;
- средние за интервал управления и поливной период отношения объемов конечного сброса к водозабору в МК;
- объемы конечного сброса за интервал управления и поливной период.

Для выбора интервала управления на системе установлены следующие условия:

- к моменту генерации нового управления на ОС должны закончиться все переходные процессы, вызванные предыдущим управлением;
- интервал управления должен быть больше, чем максимальное время добегания возмущающего действия по ОС, а также минимально допустимого интервала времени между переключениями насосных агрегатов ГНС;
- желательно, чтобы время интервала управления было меньше, чем время сработки суммарных резервов воды в ОС, а также меньше интервала планирования;
- интервал управления должен быть выбран минимальным из возможных.

Указанные требования определили интервал времени управления на ЛЕОС, равным 12 ч.

## **5.7 Постановка задач внутрихозяйственной подсистемы**

Управление внутрихозяйственного водопользования должно обеспечивать:

- своевременную доставку необходимого количества воды в нужную точку оросительной сети;
- пропуск транзитных расходов для нужд нижележащих хозяйств;
- минимизацию непроизводительных сбросов;
- водоучет;
- соблюдение положенных ограничений на максимальный водозабор из МК

в соответствии с графиком водоподачи в конкретную внутрихозяйственную сеть;

- оптимизацию работы исполнительных средств и средств контроля и управления;

- ведение протоколов водораспределения;

- контроль аварийных и нештатных ситуаций.

При этом применительно к локальным участкам автоматизации были определены следующие требования:

- схема их автоматизации не должна вносить изменений в существующую идеологию управления водораспределением на ОС в целом, она должна восприниматься как рядовой водопользователь;

- схема должна позволять в любой момент времени полностью или частично осуществлять переход на режим работы, заложенный в исходном проекте;

- выход из строя элемента или группы автоматизации не должен повлечь за собой остановку работы системы или возникновение аварийных ситуаций.

В соответствии с выбранной идеологией АСУ ТП ЛЕОС внутрихозяйственной сети предоставляются права автономной работы при соблюдении следующих накладываемых на нее ограничений:

- со стороны межхозяйственного канала – по максимальным заборам воды в систему в соответствии с графиком водоподачи;

- со стороны нижележащих внутрихозяйственных сетей – по обеспечению им необходимого транзитного расхода.

Информация о заборе воды в систему должна передаваться по системе телемеханики на ЦДП управления МК через КП, установленный на водозаборном сооружении.

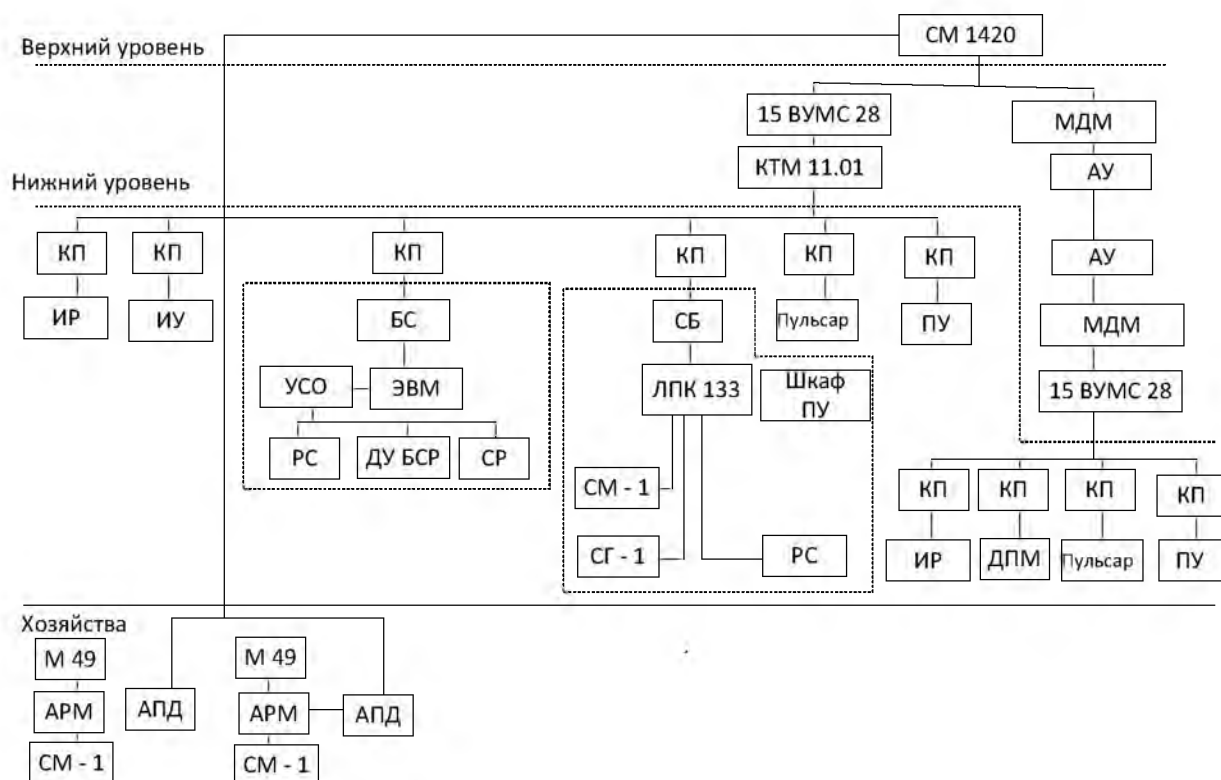
### **5.8 Основные технические решения по созданию АСУ ТП «ЛЕОС-І»**

Техническое обеспечение АСУ ТП «ЛЕОС-І» было разработано в соответствии с основными принципами построения комплексов технических средств АСУ ТП с учетом полноты реализации ими заданных функций, а также обеспечения эффективности их функционирования [157, 160, 244-247].

Структура комплекса технических средств АСУ ТП «ЛЕОС-І» приведена на рисунке 5.4. Она представляет собой двухуровневую иерархическую структуру, включающую управляющий вычислительный комплекс (УВКС), выполненный на базе СМ 1420 (на верхнем уровне) и комплекс технических средств (КТС) телемеханики, включающий в себя КТМ 11.01 и 15 ВУМС 28-025 (на нижнем). Для обеспечения надежной работы телемеханики более удаленной второй очереди ЛЕОС в КТС телемеханики включена дополнительная аппаратура, состоящая из двух модемов (МДМ) и аппаратуры уплотнения (АУ), связывающая СМ 1420 с КТС телемеханики второй очереди ЛЕОС.

В качестве средств сбора, первичной обработки и регистрации информации предусматривается подключение к КП телемеханики следующих устройств: авторегуляторов (типа «Пульсар»); шкафов управления насосными станциями (ШУ); датчиков уровня (ДУ); датчиков положения затвора (ДПЗ); индукционных расходомеров (ИР); аппаратуры КТС локальных типовых участков, входящих в локальные системы управления (ЛСУ).

В проекте предусмотрены два локальных типовых участка (для открытой и закрытой оросительной сетей с применением широкозахватных ДМ «Кубань» и «Фрегат»). На этих участках запроектированы локальные системы управления ЛСУ-1 и ЛСУ-2 соответственно для участков с открытой и закрытой оросительной сетью.



**Рисунок 5.4 – Структура комплекса технических средств АСУ ТП «ЛЕОС-І»**

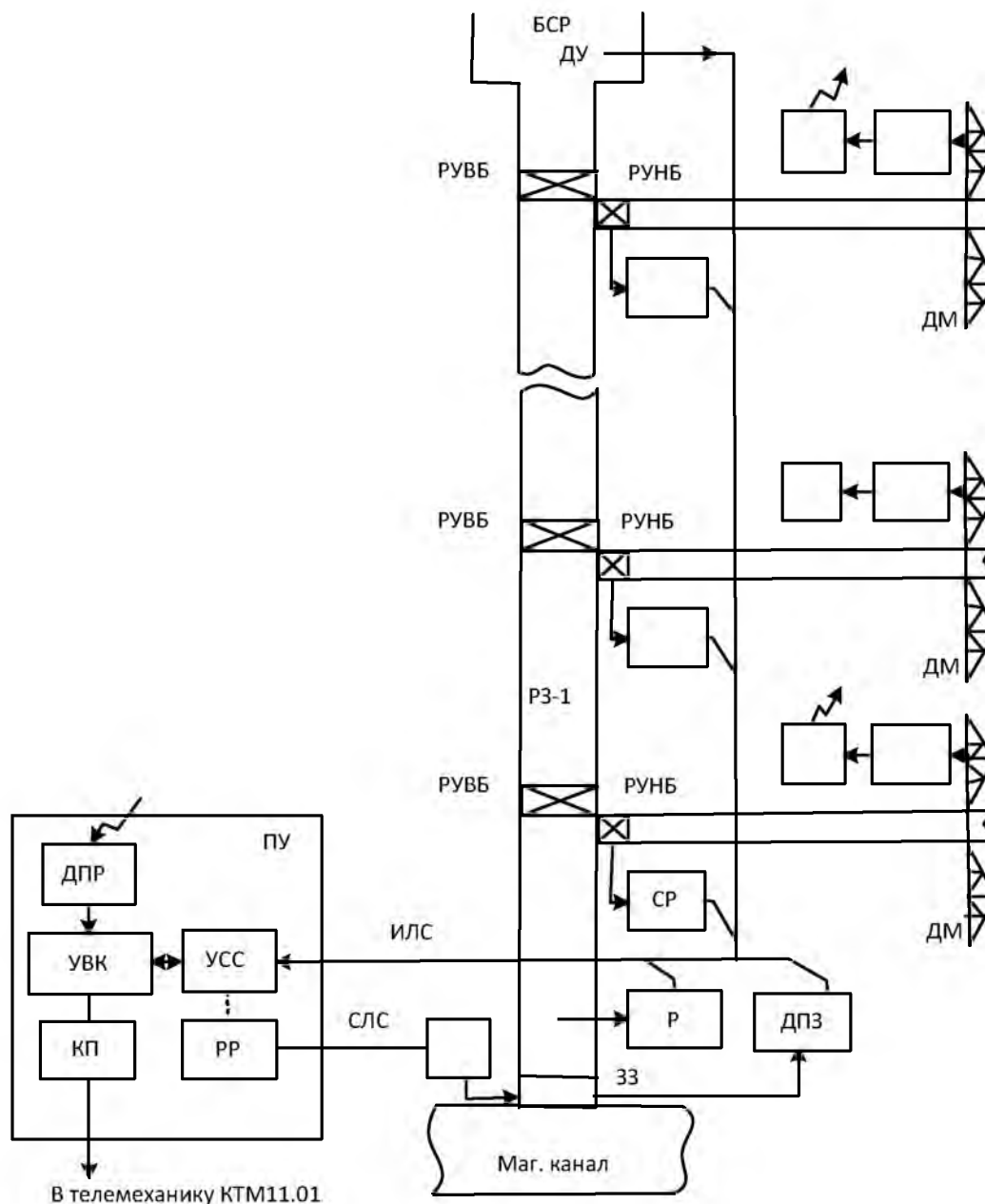
В КТС ЛСУ-1 входит управляющая микроЭВМ, которая через блок согласования (ЕС) подключается к КП телемеханики. Для связи с внешними устройствами применяется устройство связи с объектами (УСО). Необходимая информация с датчиков уровня, сигнализаторов расхода (СР) и радиосигнализаторов (РС) вводится в микроЭВМ и используется ею для управления водораспределением на данном участке. В КТС ЛСУ-2 входит локальный телемеханический вычислительный комплекс (ЛПК-133), который через сопрягающий блок (СБ) подключается к КП телемеханики. Информация с осадкомера (ОМ-1), а также стойки градиентной (СГ-1) поступает в ЛПК-133. Управление агрегатами НС осуществляется с помощью пульта управления (ПУ), а управление ДМ «Фрегат» – через радиосигнализаторы (РС). Более подробное описание работы подсистемы приведено в разделе 5.8.1.

Для предварительной обработки агрометеопараметров в хозяйствах была предусмотрена установка автоматизированного рабочего места (АРМ) агронома и гидротехника. Входной информацией для АРМ являются сведения, поступающие с метеопостов М49 и осадкомеров ОМ-1, установленных в хозяйствах. Результаты вычислений подаются на ЦДП при помощи аппаратуры передачи данных АПД (телефон, телетайп и т. п.).

### **5.8.1 Локальные системы управления водораспределением**

Схема автоматизации массива, орошаемого с помощью ДМ «Кубань» в совхозе «Нива», представлена на рисунке 5.5. Она включает головное водозаборное, подпорные и водосбросные сооружения, а также водовыпуски в оросители. Работа системы состоит в следующем. Изменение водопотребления в одном из оросителей (например, включение ДМ) приводит к срабатыванию сигнализаторов расхода на дождевальных машинах (СРДМ) и изменению уровня непосредственно у входа в ороситель. Для поддержания заданного уровня регулятор уровня нижнего бьефа (РУНБ) открывается и начинает пропускать определенный расход. Открытие РУНБ фиксируется сигнализатором расхода СР РУНБ. Информация о включении ДМ по информационной ли-

нии связи (ИЛС) и по каналу системы радиотелемеханики (КПР и ДПР) передается на пункт управления участком, где через устройство связи с объектом вводится в управляющий вычислительный комплекс УВК. В соответствии с характером изменения режима работы ДМ в данном оросителе УВК рассчитывает и передает регулятору расхода РР уставку расхода. Запасы воды в БСР контролируются с помощью установленного в нем уровнемера (У), также обеспечивающего передачу на пульт управления ПУ информации об уровне воды в БСР. УВК следит за динамикой изменения уровня и, исходя из фактического состояния системы, обеспечивает выдачу задания регулятору расхода РР для поддержания в БСР заданного уровня.



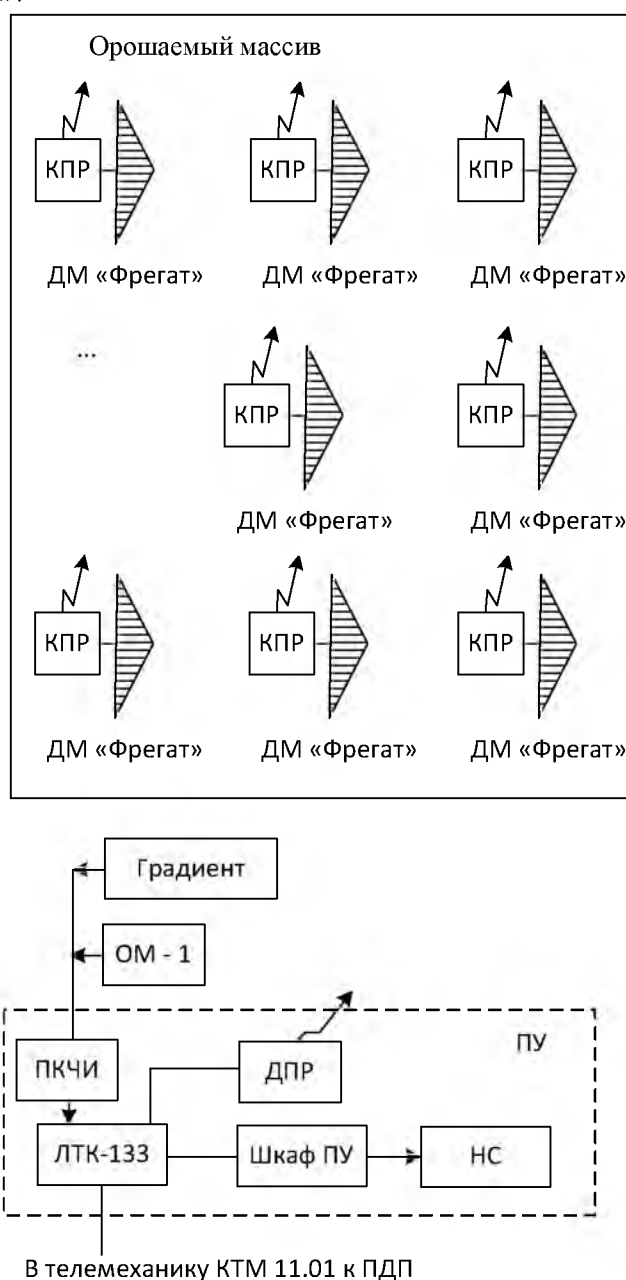
**Рисунок 5.5 – Схема автоматизации орошаемого массива с ДМ «Кубань»**

Регулирование расхода воды на головном водозаборном сооружении участка проводится с помощью комплекса технических средств, включающих электрифицированный затвор ЭЗ со шкафом управления ШУ, датчик положения затвора ДПЗ, расходомер Р и электронный регулятор расхода РР. Информация о расходе и положении затвора поступает на ПУ по информационной линии связи ЛСИ, а команды управле-

ния – по силовой линии ЛСС. Задание регулятору РР выдается через УСО, а также при необходимости вручную.

Управляющий вычислительный комплекс УВКС обеспечивает опрос состояния ОС, расчет задания регулятору и выдачу ему уставки на управление. Им же проводится прием с ЦДП через КП системы ограничений по допустимым расходам и объемам, обусловленным дисциплиной водораспределения на АСУ ЛЕОС. Одновременно с этим им решаются вопросы водоучета, ведения протокола хода технологического процесса, контроля аварийных ситуаций.

Технологическая схема автоматизации орошаемого массива с ДМ «Фрегат» приведена на рисунке 5.6. На схеме представлен участок закрытой оросительной сети с площадью орошения 1453 га (17 ДМ «Фрегат»). Подкачивающая насосная станция № 13 осуществляет водозабор из Западной ветви. Для телемеханического управления ПНС № 13 на ней устанавливается ЛТК-133. Для осуществления связи ЛТК-133 и ДМ «Фрегат» используется система телемеханики для управления рассредоточенными объектами ТМ «Роса».



**Рисунок 5.6 – Схема автоматизации орошаемого массива с ДМ «Фрегат»**

Для приема данных о температуре и относительной влажности воздуха, средней скорости ветра от стойки градиентной («Градиент») и датчика жидких осадков (ОМ-1) предусмотрен преобразователь кодовой и частотной информации (ПКЧИ).

Система ЛТК-133 для автоматизации участка, орошаемого с помощью ДМ «Фрегат», обеспечивает:

- оптимальное управление производительностью ПНС по трем параметрам – расходу, давлению и потребляемой мощности;
- связь с ЦДП с помощью системы телемеханики (СТ);
- передачу полученной от датчиков и обработанной метеоинформации через систему телемеханики (СТ) на ЦДП, где проводится расчет сроков и норм поливов;
- прием от ЦДП таблицы назначения поливов по участкам;
- автоматическое дистанционное управление ДМ «Фрегат» через систему телемеханики «Роса»;
- выдачу по запросам ЦДП через систему телемеханики информации о водозаборе ПНС № 13 и политых площадях ДМ «Фрегат»;
- передачу информацию на ЦДП при отказах технологического оборудования ПНС и ДМ «Фрегат».

Таким образом, ЛТК-133 обеспечивает оптимальное управление расходом ПНС при частичных отказах технологического оборудования, связь с верхним уровнем системы (ЦДП), ведет учет информации о числе работающих ДМ.

Применение ЛТК-133 способствует снижению электропотребления на 3-5 % и увеличению срока службы насосных агрегатов на 5-10 %.

#### **5.8.2 Требования к созданию ОС, сформулированные по результатам исследований при разработке АСУ ТП «ЛЕОС-І»**

Работы по созданию АСУ ТП ЛЕОС позволили оценить и сформулировать комплекс задач, требующих дальнейшей разработки.

Переход страны и, естественно, АПК и водохозяйственного комплекса (ВХК) к рыночным отношениям потребовали пересмотра системы взаимоотношений между различными собственниками АПК и ВХК и разграничения их интересов и сфер ответственности. К тому же за последние годы активно заявили о себе природоохранные организации, которые по большинству вопросов также взаимодействуют с водохозяйственными организациями и сельхозпотребителями водных ресурсов.

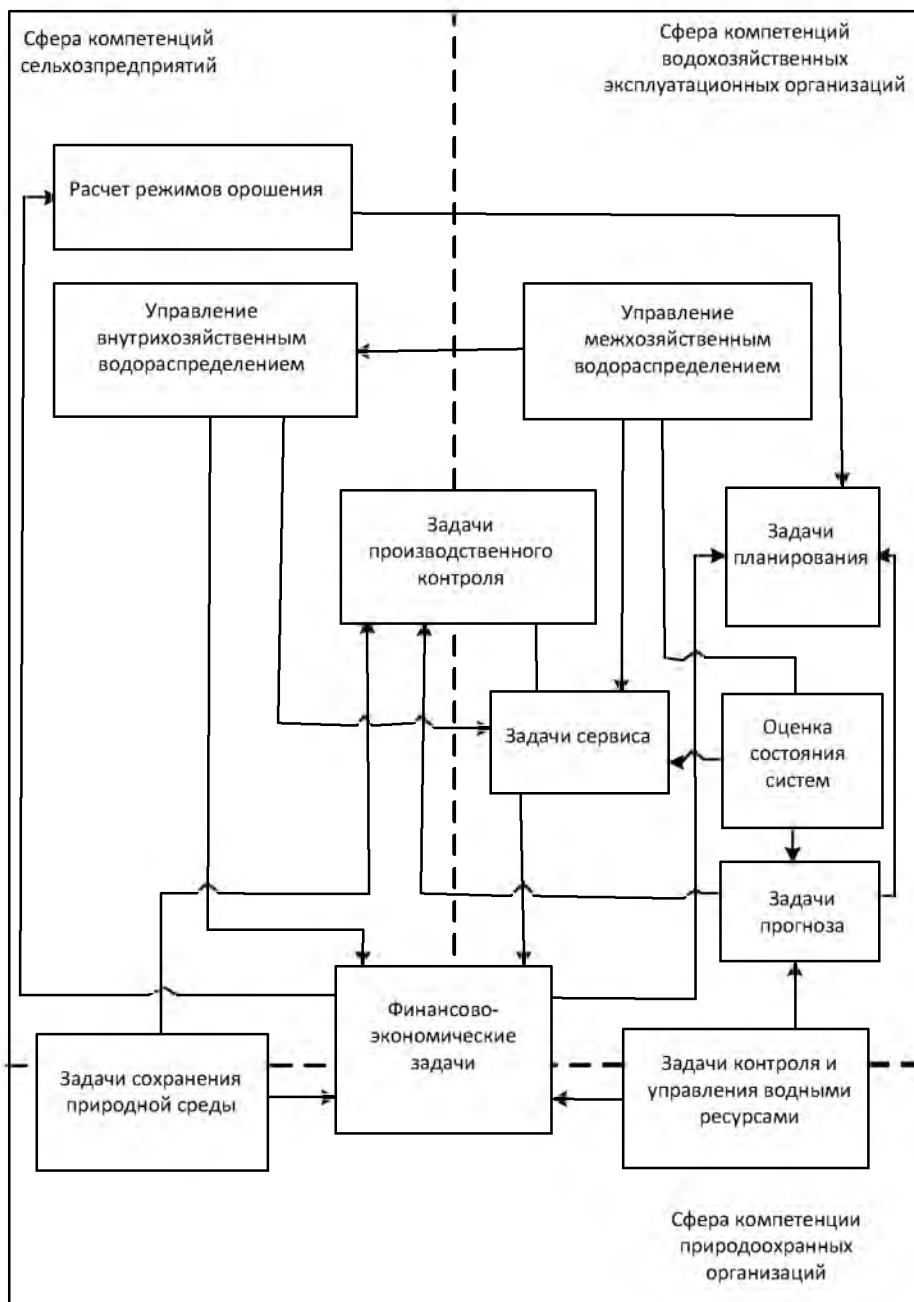
Структура задач, решаемых упомянутыми субъектами, и взаимосвязи между ними при управлении оросительными системами с учетом реалий сегодняшнего дня приведена на рисунке 5.7.

В сферу компетенции сельхозпредприятий входит решение следующих комплексов задач:

- определения режимов орошения сельскохозяйственных культур (оценка водопотребления; расчет динамики влажности корнеобитаемого слоя почвы; анализ метеоданных; расчет сроков и норм полива; оценка урожайности);
- управления внутрихозяйственным водораспределением (регулирование расходов во внутрихозяйственной сети и технологии полива; управление насосными станциями);
- производственного контроля (за расходами воды во внутрихозяйственной сети и на поле; сбросами воды; влажностью корнеобитаемого слоя; проведением поливов и за изменением водно-физических свойств почвы);
- сохранения природной среды (контроль за химическим составом оросительной воды и трансформацией свойств почвы; оценка мелиоративного состояния орошаемых земель; разработка рекомендаций по повышению почвенного плодородия);



- экономической оценки эффективности орошения (расчет издержек, связанных с возделыванием конкретной культуры при орошении; оценка конкурентоспособности культур и целесообразности их возделывания при орошении; экономическая оценка альтернативных вариантов технологий орошения).



**Рисунок 5.7 – Структура задач, решаемых различными субъектами, и взаимосвязей между ними при управлении оросительными системами**

Сфера компетенции водохозяйственных эксплуатационных организаций включает следующие комплексы задач:

- планирование (годовое и сезонное планирование межхозяйственного и хозяйственного водопользования; оперативное планирование водопользования и водораспределения);
- оценка состояния системы (автоматический сбор данных о состоянии объекта управления во всех контролируемых точках и оценка его текущего состояния; определение технологических параметров объекта управления);
- управление межхозяйственным водораспределением (оперативное управление

водораспределением; управление работой головной насосной станции; управление при аварийных технологических ситуациях; управление техническим состоянием и эксплуатацией оросительной системы);

- прогноз стока источников орошения; хода водопотребления и водораспределения; непродуктивных сбросов оросительной воды из системы;

- производственный контроль (за расходами оросительной воды в межхозяйственной сети каналов; за сбросами из межхозяйственной сети; анализ качества управления водораспределением, расчет показателей качества);

- контроль использования водных ресурсов и управление ими (управление водозабором из природных источников; управление сбросами в природные водоемы; анализ выполнения планов водозабора и водоподачи сельхозпредприятиям);

- сервисное обслуживание (организация диалога между оператором и комплексом технических средств; автоматизация документооборота; организация и ведение баз данных; обеспечение запусков оросительной системы в начале оросительных сезонов; обеспечение возможности корректировки плановой и нормативно-справочной информации, выдача справок по запросу);

- комплекс задач финансово-экономической службы (расчет платежей за водозабор из природных источников; расчет с сельхозпредприятиями за услуги по водоподаче; оценка расходов на водоподачу; расчеты с госбюджетом или местным бюджетом).

К сфере компетенции природоохранных организаций относятся:

- комплекс задач сохранения природной среды (контроль за содержанием токсичных солей в почве, химическим составом грунтовых и дренажных вод, за уровнем грунтовых вод; оценка степени воздействия оросительной системы на экологическое состояние прилегающих земель);

- задачи контроля и управления водными ресурсами (планирование забора воды различным водопотребителям; составление балансов водоисточников);

- финансово-экономические задачи (оценка ущербов от сверхнормативных водозаборов; оценка ущербов от загрязненных вод; обоснование ставок платы за водозабор и штрафов за нарушение нормативов водопользования).

## **5.9 Оснащение ЛЕОС средствами водоучета и водоизмерения**

При реализации проектов и программ, имеющих общепромышленное (региональное) значение, в результате которых могут быть увеличены объемы сельскохозяйственного производства в социально значимых масштабах, функции заказчика выполняет государство. В то же время работы и услуги водохозяйственных организаций, обеспечивающих достижение определенных коммерческих интересов сельхозпредприятий, должны оплачиваться непосредственно ими и они же должны выступать в качестве заказчиков.

Основным продуктом, реализуемым или передаваемым исполнителем заказчику, является вода, которая относится к категории природных ресурсов государства. Отсюда основным измеряемым параметром, учитываемым при взаиморасчетах, является объем или сток воды. При необходимости может применяться дополнительный параметр – интенсивность водоотбора из природных источников или водоподачи потребителю, выраженный в форме расхода воды. Следует отметить, что расход воды в данном случае не является экономической категорией.

При осуществлении технологических операций по организации водоподачи потребителю могут использоваться такие параметры, как уровень воды, перепад уровней, скорость воды в водотоке, давление (напор), относящиеся к группе гидравлических параметров. Кроме того, возникает необходимость введения временных параметров: время добегания волны, интенсивность изменения уровня воды, расхода и др.

Исходя из изложенного, рационально разделить все виды измеряемых параметров на две группы [248, 249]: учетные (коммерческие) и технологические.

В связи с этим на первую группу измеряемых параметров в полной мере распространяется действие закона РФ «Об единстве измерений» и требований Госстандарта, так как они являются основой экономических взаиморасчетов между государственными водохозяйственными организациями и потребителями – сельскохозяйственными предприятиями и др.

В соответствии с принятым разделением измеряемых параметров целесообразно введение следующих понятий: система водоучета и система водоизмерения.

Под системой водоучета понимается система, предназначенная для сбора, анализа и переработки информации в границах рассматриваемой оросительной системы с целью выполнения учетных (контрольных) операций, преследующих балансовые, отчетные, а в условиях платного водопользования и коммерческие цели. Первичным звеном системы водоучета является пост водоучета с соответствующим приборным и иным обеспечением.

Под системой водоизмерения понимается система, предназначенная для сбора, анализа и переработки технологической информации для целей оптимального управления водозабором и водораспределением на ОС. При этом система водоизмерения функционирует как подсистема управления. Первичным звеном системы водоизмерения является измерительный створ или точка измерения с соответствующим приборным и иным обеспечением.

Системы водоучета и водоизмерения, получающие идентичную входную информацию, но отличающиеся видом выходной информации, могут применяться как раздельно, так и совместно в виде multifunctional измерительного комплекса, выполненного на единой элементной базе.

Предлагаемая концепция организации водоучета и водоизмерения на ОС требует изменения традиционных подходов к выбору методов и средств измерений, технологическому и техническому обоснованию выбора типов и мест размещения гидрометрических сооружений и устройств, метрологического и организационного обеспечения эксплуатации ОС.

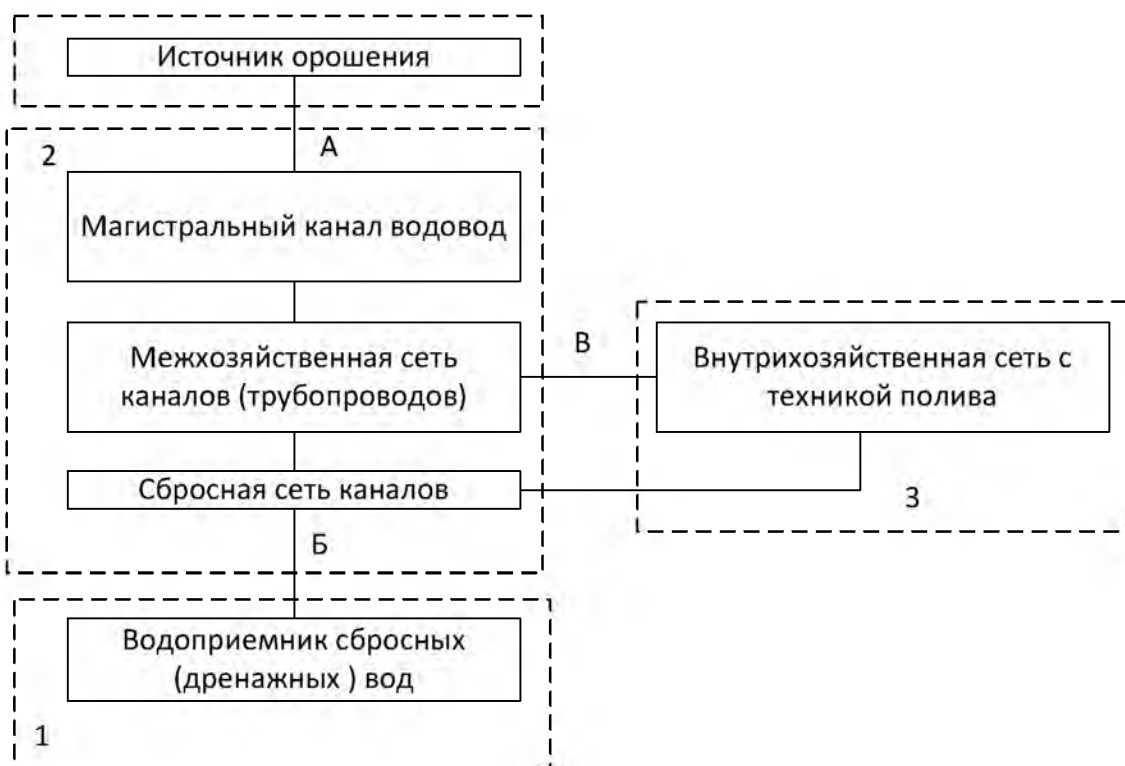
Современные крупные оросительные системы состоят, как правило, из нескольких однородных технологических звеньев, имеющих характерные функциональные и конструктивные особенности. К их числу относятся источник орошения, открытый магистральный канал, открытая межхозяйственная сеть каналов, открытая или закрытая внутрихозяйственная сеть с техникой полива; сбросная сеть каналов, водоприемник сбросных (дренажных) вод.

Определенные различия в конструкции внутрихозяйственной и в некоторой степени сбросной сети обусловлены способом орошения, технологией и техникой полива.

При рассмотрении вопросов организации водоучета целесообразно структурировать оросительную систему по сферам влияния взаимодействующих хозяйствующих субъектов (рисунок 5.8).

В точках А, Б, В должны предусматриваться посты водоучета, в полной мере отвечающие требованиям Госстандарта РФ к средствам измерений, так как они обеспечивают получение достоверной информации об объемах полученной, переданной и сброшенной воды, необходимой при осуществлении экономических взаиморасчетов и для применения штрафных санкций.

Структура организации водоизмерения, а в необходимых случаях и внутреннего водоучета в технологических звеньях ОС, входящих в компетенцию водохозяйственных организаций, инвариантна. Это связано с состоянием оросительной сети, уровнем ее технической оснащенности и принятым способом управления ОС.



1 – государственные органы управления; 2 – водохозяйственные организации;  
3 – сельхозпредприятия

**Рисунок 5.8 – Структурная схема разделения сфер влияния хозяйствующих субъектов на примере ЛЕОС**

Основные технологические требования к средствам водоучета и водоизмерения, актуальные при всех способах управления ОС:

- технические средства измерения должны обеспечивать получение визуальной информации на внутреннем дисплее и при необходимости передачу информации в закодированном виде по телемеханическим каналам связи на диспетчерский пункт для обработки;

- приборы обработки, кодирования и передачи первичной гидрометрической информации должны иметь блочное построение и автономное электропитание, обеспечивающее непрерывную работу прибора в течение поливного сезона без дополнительного сервисного обслуживания. При наличии системы энергосбережения на объекте электропитание приборов может обеспечиваться блоком питания, не входящим в состав основного прибора.

Для повышения эффективности управления и уменьшения объемов непроизводительных сбросов на ОС предусматриваются системы автоматического регулирования уровней и расходов воды в каналах.

Средства водоучета и водоизмерения на автоматизированных ОС трансформируются в подсистему информационного обеспечения общей АСУ ТП ОС. Соответственно изменяется состав контролируемых и измеряемых (учитываемых) параметров, места установки датчиков и приборов, размещение контролируемых створов и др. Более того, средства измерения могут являться компонентом технических средств регулирования и управления.

В соответствии с принятой в разделе 4.2 классификацией в таблице 5.1 проведен фрагментный анализ существующих схем регулирования водораспределения на ОС с целью выявления перечня измеряемых учетных и технологических параметров.

**Таблица 5.1 – Характеристика систем регулирования водораспределения на открытых ОС по составу измеряемых параметров водного потока**

Схема регулирования	Применяемые средства автоматизации	Измеряемые параметры					
		учетные			технологические		
		уровень	перепад уровней	сток	уровень	перепад уровней	сток
1	2	3	4	5	6	7	8
Схемы регулирования I класса							
Непосредственным отбором расходов воды	АРР на ВВ	-	-	+	-	-	+
Пропорциональным делением расходов воды	ПДР на ВВ	-	-	+	+	-	-
Схемы регулирования II класса							
По ВВ	АРУ ВВ на ПС АРР на ВВ	-	-	+	+	-	+
По НБ	АРУ НБ на ПС АРУ на ВВ АРУ на сбросах	-	-	+	+	-	+
Смешанное регулирование	АРУ на сбросах АРУ НБ на ПС АРУ Н-ВВ на ВВ АРУ на сбросах	-	-	+	+	+	+
Регулирование поддержанием постоянных перепадов	АРУ Н-ВВ на ПС АРУ НБ на ВВ	-	-	+	+	+	-
Схемы регулирования III класса							
Регулирование с перекрестными связями	АРУ Н-ВВ на ПС	-	-	+	+	-	-
Регулирование по принципу кулисообразных петель	АРР на ПС	-	-	+	+	-	+
Регулирование по норме расхода	АРР на ПС АРР на ВВ	-	-	+	+	-	+
Регулирование с перетекающими объемами	АРУ НБ на ПС АРУ НБ на ВВ	-	-	+	+	+	-
Регулирование методом постоянных объемов	АРУ НБ на ПС	-	-	+	+	-	+
Смешанное регулирование по объему и НБ	АРУ НБ на ПС	-	-	+	+	-	+
Смешанное регулирование по расходу и ВВ	АРУ ВВ на ПС АРУ НБ на ВВ	-	-	+	+	-	+

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Регулирование по расходу с бассейнами перерегулирования	АРР на ВВ	-	-	+	-	-	+
Примечание – АРУ – авторегулятор уровня воды; АРР – авторегулятор расхода воды; ПДР – пропорциональный делитель расхода воды; ПС – перегораживающее сооружение; ВВ – водовыпуск (точка водовыдела); ВБ – верхний бьеф; НБ – нижний бьеф.							

Анализ таблицы 5.1 показывает, что независимо от принятой схемы регулирования основным учетным параметром является сток воды, определяемый в точках водоподдачи в ОС и водовыдела потребителям. Основными измеряемыми технологическими параметрами являются уровень и расход воды. Три точки (створы) водоизмерения располагаются в зоне размещения авторегуляторов.

В составе ОС функционируют различные типы водоподъемных сооружений и оборудования. Наиболее распространены головные насосные станции, насосные станции перекачки и подкачки стационарного типа, а также временные (передвижные) насосные станции подкачки.

Временные насосные станции типа СНП и им подобные в технологическом отношении являются локальными водопотребителями, получающими воду на основах расчетного (платного) водопользования.

Стационарные насосные станции как объекты управления и регулирования входят в общий комплекс автоматизации технологических процессов водозабора и водораспределения на ОС. Вследствие этого перечень измеряемых технологических параметров, определяемый специфическими особенностями насосных станций и принятой системой регулирования, подразделяются на учетные параметры – сток воды и технологические параметры: давление, расход и уровень воды.

В зависимости от типа ОС, технологии полива и применяемой поливной техники технологические сбросы воды могут идти по сбросной сети открытых каналов или иной системе дополнительных безнапорных водоводов. Как правило, сбросная сеть выполняется без перегораживающих сооружений и работает в режиме свободного излива. В некоторых случаях на сбросной сети могут устанавливаться авторегуляторы уровня, функционирующие в комплексе АСУ ТП ОС, с целью уменьшения объемов непроизводительных сбросов воды. В точках организации технологических сбросов предусматриваются посты водоучета, на которых измеряемым учетным параметром является сток (сброс), а технологическим – уровень воды.

Дренажно-коллекторная сеть (ДКС) представляет собой независимую, но необходимую подсистему ОС. Прямая гидравлическая связь между оросительной и дренажно-коллекторной сетью во всех звеньях ОС отсутствует. Основной режим работы ДКС – свободный сток. Дренажные воды могут иметь различный состав и степень загрязнения, поэтому недопустимо совмещение сбросных сооружений ОС с аналогичными сооружениями ДСК. Для определения объема сброса дренажных вод в устье ДКС предусматриваются посты водоучета, измеряемым учетным параметром на которых является сток (сброс) дренажных вод.

В связи с четким разделением измеряемых параметров во всех звеньях ОС на учетные (сток воды в единицах объема) и технологические (уровень, расход, давление воды в соответствующих единицах) необходимо рассмотреть такой аспект организации водоучета и водоизмерения на ОС, как допустимая погрешность их измерения.

Декларированная выше цель организации водоучета обуславливает применение к процессу измерения учетных параметров всех требований Госстандарта по измерению расходов и количеств воды в открытых руслах. Следовательно, допустимая погрешность измерения стока не должна превышать  $\pm 5\%$ .

Основная цель организации оптимального водораспределения заключается в полном удовлетворении запросов потребителей воды и исключении или минимизации непроизводительных сбросов воды. Исходя из этого, допустимая погрешность измерения технологических параметров будет определяться соответствующими требованиями системы АСУ ТП ОС и может не соответствовать требованиям Госстандарта, достигая значений  $\pm 10-15\%$ .

И, наконец, также требующий рассмотрения аспект водоучета – организационные принципы, степень оснащения и рекомендуемые средства измерения учетных и технологических параметров на внутрихозяйственной сети и поливной техники.

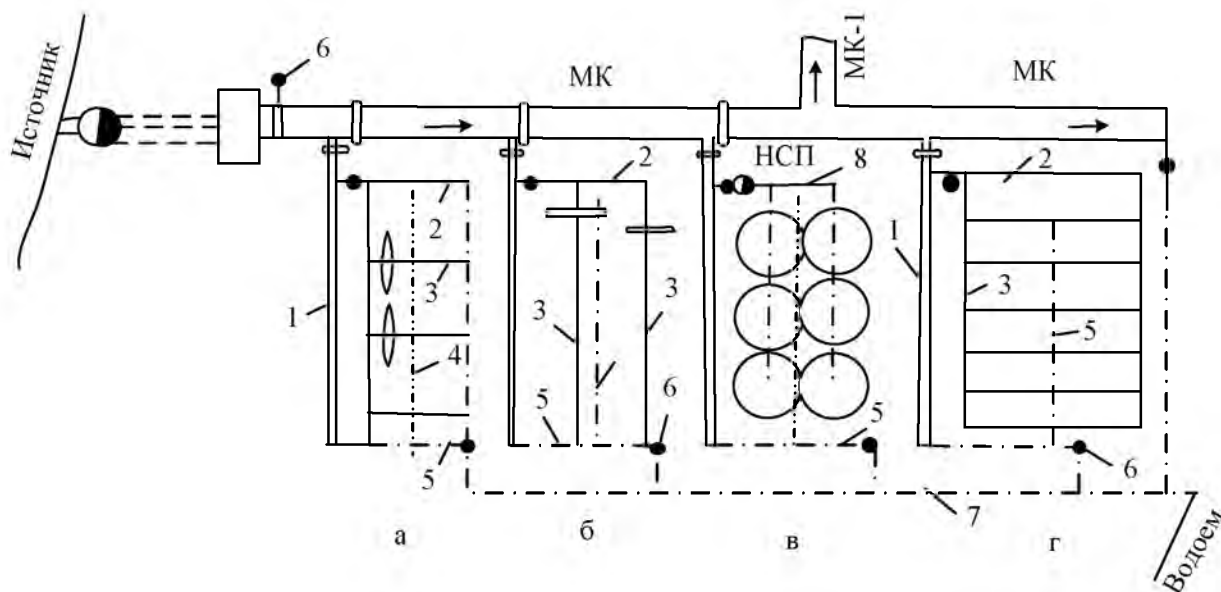
В связи с возможным введением платного водопользования, повышением требований к охране окружающей среды возникает необходимость организации коммерческого водоучета в точках водовыдела в хозяйство и сброса оросительных и дренажных вод за пределы внутрихозяйственной сети. Эти задачи в полной мере решаются постами водоучета межхозяйственного звена ОС.

Рациональное использование полученной из ОС воды полностью зависит от культуры земледелия, состояния оросительной сети и техники полива в каждом конкретном хозяйстве. Вследствие этого в новых условиях хозяйствования организация водоучета и технологического водоизмерения возлагается на объект-водопотребитель, который может воспользоваться услугами как государственной эксплуатационной организации, так и других гидрометрических служб. Технические средства водоучета и водоизмерения на внутрихозяйственной сети должны соответствовать аналогичным средствам межхозяйственной сети ОС.

Основные положения новой концепции оснащения ОС средствами водоучета и водоизмерения заключаются в следующем:

- необходимо четкое юридически закрепленное структурное разделение сфер влияния хозяйствующих субъектов на ОС;
- по выполняемым функциям рационально разделить традиционную систему водоучета на две взаимосвязанные системы: коммерческого водоучета и водоизмерения;
- на средства коммерческого водоучета в полной мере распространяются требования Госстандарта по допустимой погрешности измерения и другие требования;
- требования к допустимой погрешности водоизмерения технологических параметров определяются в проектах реконструкции (автоматизации) ОС при условии обеспечения оптимального водораспределения и рационального использования водных ресурсов;
- система водоучета на ОС должна включать комплекс стандартных гидрометрических постов, размещаемых в голове магистрального канала (в точке забора воды из вод источника), в точках водовыдела хозяйствующим субъектам на ОС, в точках технологических сбросов воды из ОС и в точках сброса дренажных вод;
- система водоизмерения на ОС может включать комплекс стандартных технических средств измерений, нестандартизованных средств измерения, технологических датчиков контроля измеряемых параметров, входящих в состав информационного обеспечения АСУ ТП ОС. Точки размещения средств водоизмерения определяются особенностями ОС и применяемыми системами управления и регулирования водораспределения;
- метрологическое обеспечение систем водоучета и водоизмерения обеспечивается единой метрологической службой.

На рисунке 5.9 представлена структурная схема организации водоучета на ОС в соответствии с принятыми принципами оснащения ОС средствами водоучета и водоизмерения. На схеме условно показаны хозяйствующие субъекты (хозяйства) с различной технологией и техникой полива. В дополнение к оросительной сети показаны сбросные сети оросительных и дренажных вод.



а – ДДА-100М (полив по бороздам); б – ДМ «Кубань» (самотечная сеть); в – ДМ «Фрегат»; г – рисовые ОС; 1 – межхозяйственный распределитель; 2 – хозяйственный распределитель; 3 – ороситель; 4 – сброс дренажный; 5 – сбросной коллектор; 6 – пост коммерческого водоучета; 7 – сбросной канал; 8 – хозяйственный трубопровод

**Рисунок 5.9 – Структурная схема водоучета на участках**

Вследствие инвариантности размещения точек постов водоизмерения на схеме они не показаны. Предполагаемые места установки средств измерения технологических параметров: ГНС, НБ, ПС и иные регулирующие ГТС, а также сооружения с авторегуляторами на водовыпусках в хозяйства и др.

Новая концепция развития и комплексного применения системы водоучета и водоизмерения во многом соответствует тенденциям третьего этапа развития гидрометрии за рубежом, рассмотренным в разделе 4.2, но вводит более четкое разграничение задач, решаемых эксплуатационной гидрометрией в новых экономических условиях.

Такой подход позволяет существенно снизить затраты на оснащение средствами измерений ОС и метрологическое обеспечение водохозяйственных организаций при сохранении высоких технологических и технических показателей функционирования ОС, а также методологически обосновать перспективы дальнейшего совершенствования единого комплекса: система водоучета (водоизмерения) – система управления и регулирования водораспределения на ОС.

### **5.10 Техническая реализация нового способа измерения расхода и стока воды в открытых каналах по методу «уклон-площадь»**

На открытых ОС для измерения технологических параметров с целью определения расхода воды, а в перспективе и водоучета может быть использован новый способ (по А. с. № 1659713. – Б.И. – 1991. – № 24) [250], технически реализующий метод, основанный на измерении уклона и площади живого сечения потока.

Способ основан на применении аналитического решения обыкновенного дифференциального уравнения неравномерного установившегося течения воды в откры-



том русле, преобразованного к виду:

$$Q = \sqrt{(i/p) W_f^2 h_f (1-e^A) / (1-e^A W_f^2 h_f / W_k^2 h_k)} \quad (5.1)$$

Параметр  $A$ , входящий в уравнение (5.1), определяется по формуле:

$$A = \frac{2L(2S+1)/(h_k+h_f) - (1/i) \ln |W_f^2 h_f / W_k^2 h_k|}{1/i - \alpha S / gp} \quad (5.2)$$

где  $S = 0,5(B_k h_k / W_k + B_f h_f / W_f)$ ;  $p = 0,5(h_k / C_k^2 R_k + h_f / C_f^2 R_f)$  – осредненные на рассматриваемом участке значения безразмерных величин  $Bh/W$  и  $h/C^2 R$ ;

$L$  – расстояние между сечениями  $k$  и  $f$ , м;

$Q$  – искомый расход, м<sup>3</sup>/с;

$h_k, h_f$  – глубины живого сечения потока в створах  $k$  и  $f$ , м<sup>2</sup>;

$C_k, C_f$  – коэффициенты Шези в створах  $k$  и  $f$ , м<sup>0,5</sup>/с;

$R_k, R_f$  – гидравлические радиусы в створах  $k$  и  $f$ , м;

$i$  – уклон дна канала (обратный или прямой);

$\alpha$  – коэффициент скорости, равный 1,1;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$e$  – основание натурального логарифма.

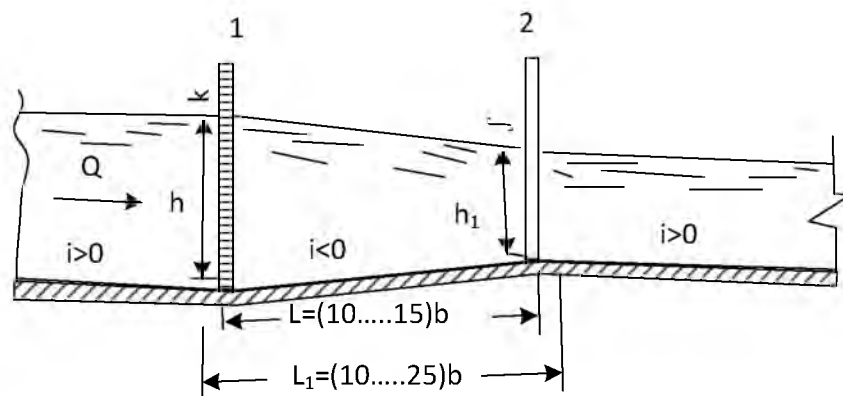
Новый способ измерения расходов воды обеспечивает:

- возможность измерения расходов воды при медленно изменяющемся режиме течения воды, что достигается созданием на участке канала между сечениями  $h_k$  и  $h_f$  (рисунок 5.10) кривой спада или кривой подпора (соответственно при докритическом и сверхкритическом режимах течения воды) с помощью создания обратного уклона дна  $i_{обр} < 0$  между указанными сечениями канала при условии его крепления;

- повышение точности определения расходов за счет использования в качестве расчетной формулы соотношения, являющегося аналитическим решением уравнения установившегося плавно-изменяющегося течения воды и при обратном уклоне дна канала;

- улучшение условий эксплуатации средств водоизмерения, благодаря близости друг к другу мерных створов.

Схема технической реализации предлагаемого способа измерения расходов воды приведена на рисунке 5.10.



**Рисунок 5.10 – Схема открытого водотока с призматическим руслом  
(к способу определения расхода воды по А. с. № 1659713)**

Весь канал имеет уклон  $i > 0$ . На участке  $L_1 = (20...25)b$  ( $b$  – ширина канала по дну). Канал имеет уклон  $i < 0$ . Рекомендуется принимать  $i_{обр} = -(0,001 ... 0,003)$ . На от-

резке  $L_1$  выбирается участок длиной  $L = (10 \dots 15)b$ , в начале и конце которого оборудуются створы  $k$  и  $f$ . На этих створах устанавливаются глубиномерные рейки 1 и 2 или иные, в том числе и автоматизированные, средства измерения глубины или уровня воды. Глубина в створах  $k$  и  $f$  равна соответственно  $h_k$  и  $h_f$ .

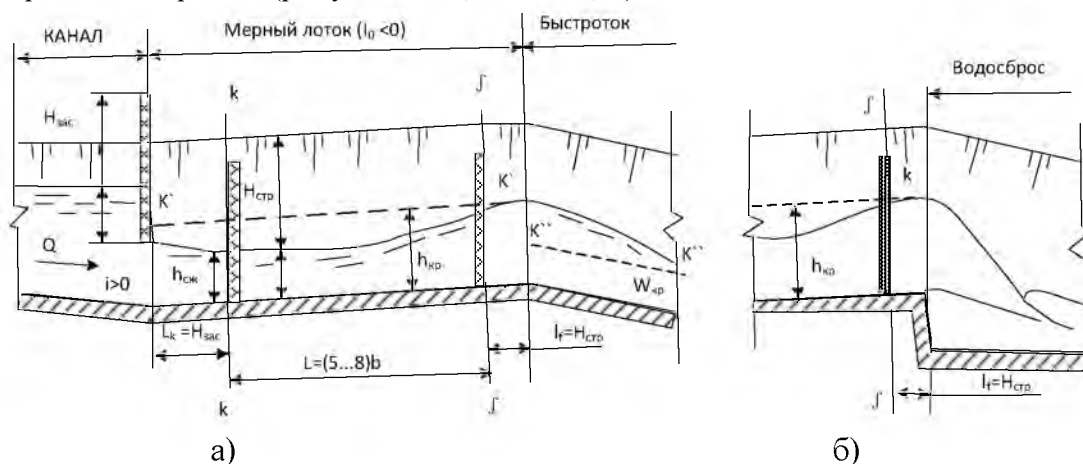
При определении расхода воды по предлагаемому способу сначала по рейкам 1 и 2 снимают показания глубин  $h_k$  и  $h_f$  в створах  $k$  и  $f$ . Затем при известных параметрах канала и потока ( $L, i_{\text{обр}}, n, b, m$  и т. д.) находят значения  $C_k, C_f, R_k, R_f$ ; далее вычисляют значения осредненных на участке безразмерных  $S, P$  и параметр  $A$ . Подставляя найденные и известные величины в расчетную формулу (5.1), вычисляют расход воды в канале.

Данный способ измерения расхода воды рекомендуется для открытых каналов с призматическим руслом. При этом участок, ограниченный водомерными створами, должен находиться вне зоны гидравлического воздействия на него перегораживающих и иных ГТС.

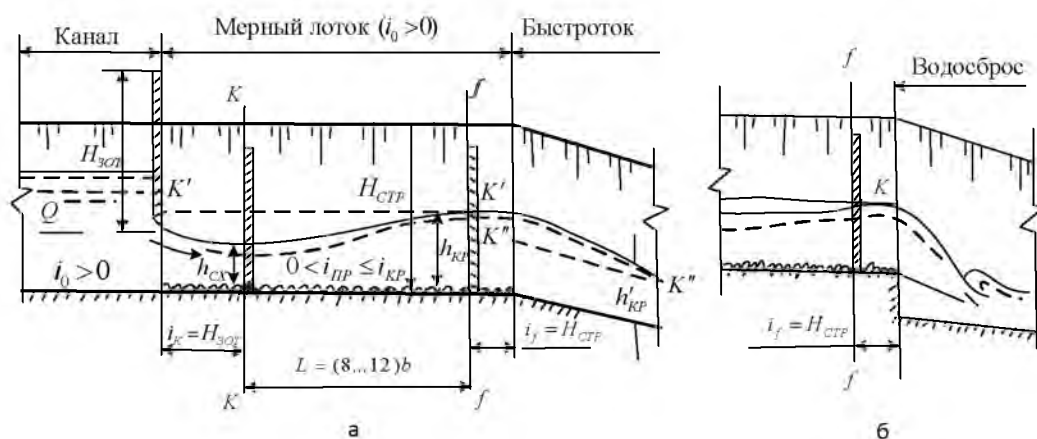
Для участков, находящихся в зоне гидравлического влияния ПС со шитовыми регуляторами и водовыпускных сооружений, нами предложен усовершенствованный способ измерения расходов воды (имеется положительное решение по заявке № 5034015) с помощью так называемого «мерного лотка».

При реализации данного способа измерения расходов первый по течению створ  $h_k$  располагают на расстоянии  $l_k = H_{\text{зат}}$  от затвора перегораживающего сооружения (здесь  $H_{\text{зат}}$  – полная высота затвора). Второй створ  $h_f$  размещают от перепада на расстоянии  $l_f = H_{\text{стр}}$  (здесь  $H_{\text{стр}}$  – строительная высота мерного лотка), а измерение проводят на образующей между затвором и перепадом кривой подпора со сверхкритическим режимом течения. При этом длину участка измерения (мерного лотка) выбирают в зависимости от уклона дна: при прямом уклоне  $L_{\text{пр}} = (8 \dots 12)b$ ; при обратном  $L_{\text{обр}} = (5 \dots 8)b$ . Дно и откосы участка измерения выкладывают из материала с повышенной шероховатостью.

На рисунках 5.11, а и 5.12, а приведены схемы взаимного расположения (компоновки) сооружений ОС для реализации предлагаемого способа определения расхода с мерным лотком, имеющим обратный и прямой уклоны дна, а также сопряжение с водосбросным порогом (рисунок 5.11, б и 5.12, б).



**Рисунок 5.11 – Схема мерного лотка с обратным уклоном  
(к способу определения расхода воды за перегораживающим сооружением)**



**Рисунок 5.12 – Схема мерного лотка с прямым уклоном  
(к способу определения расхода воды за перегородивающим сооружением)**

Участок водоизмерения (мерный лоток) располагается обязательно за затвором перегородивающего сооружения, но перед сопрягающим (на участке перепада местности – водосбросным сооружением: быстроток, порогом и др.). Конструктивные размеры мерного лотка, расстояния между фиксированными створами  $k$  и  $f$ , а также размер пограничных зон сверху (примыкает к затвору ПС) и снизу (примыкает к сопрягающему водосборному сооружению) показаны на рисунках 5.11, а и 5.12, а.

Уклоны дна мерного лотка принимают равными:

- обратный:  $0 > i_{обр} \geq -0,005$  ;

- прямой:  $0 < i_{пр} \leq i_{кр}$  ,

где  $i_{кр}$  – критический уклон при максимальном расходе на участке водоизмерения.

При известных параметрах мерного лотка  $L_{обр}, i_{обр}$  (или  $L_{пр}, i_{пр}$  – в зависимости от уклона) по замеренным значениям глубин  $h_k$  и  $h_f$  находят значения  $C_k, C_f, R_k, R_f$  и осредненных на участке безразмерных величин  $S$  и  $P$ . По формуле (5.2) определяют параметр  $A$ . Далее, подставляя найденные и известные значения в формулу (5.1), вычисляют искомый расход.

Расположение сопрягающего водосбросного сооружения непосредственно за мерным лотком имеет принципиальное значение. Это делается с целью обеспечения «чистоты» кривой подпора, так как только в этом случае будет справедливо использование для определения расхода расчетной формулы, являющейся решением дифференциального уравнения неравномерного установившегося течения воды. Любая из возможных глубин кривых подпора при этом всегда будет оставаться меньше той критической глубины  $H_{кр}$ , которая в условиях предложенной компоновки (взаиморасположения) сооружений водораспределительной сети ОС установится на гребне быстроточка. Тем самым, исключается вероятность подтопления кривой подпора со стороны ниже расположенного бьефа и повышается надежность и точность водоизмерения.

Определение расходов (стока) воды на основе метода «уклон-площадь» осуществляется посредством измерения двух параметров: глубины (уровня) воды в контрольных створах канала и площади живого сечения потока. Оба эти параметра могут определяться с помощью различных технических средств. Для измерения глубины (уровня) воды в мерном лотке могут рекомендоваться стандартизированные гидротехнические рейки РГ-01, самописцы уровня воды ГР-38, уровнемеры ДУЕ-М и РУС-М, уровнемеры акустические ЭХО-3, ЭХО-5 и др. [251-253]. Информацию об измеряемых параметрах получают визуально (непосредственно в точке измерения) или по каналам телемеханики в диспетчерском пункте.

### 5.11 Разработка интенсифицированных технологий и усовершенствование технических средств орошения

Дождь, создаваемый современными дождевальными машинами, отличается по своим параметрам от естественных осадков «средней» силы. Высокие энергетические показатели искусственного дождя приводят к разрушению почвенного покрова и образованию поверхностного стока, неравномерности полива, что способствует развитию ирригационной эрозии, переувлажнению почвы и вымоканию растений в одних местах, при недостаточном их увлажнении – в других, снижению плодородия орошаемых земель и неэффективному использованию водных, материально-технических, энергетических и земельных ресурсов. Поэтому значительное внимание следует уделять разработке технологий орошения и конструкций дождевальной техники, обеспечивающих при экономически целесообразном уровне производительности экономию воды, энергии, материально-технических и трудовых ресурсов без негативного воздействия на почву и окружающую среду. В частности, значительное внимание уделяется разработке модификаций дождевальных машин, работающих с рассредоточением водоподачи по площади и во времени.

За последнее время по данным В. Ф. Носенко [254] трудоемкость орошения снизилась у ДДА-100 МА с 3,6 до 2,2 чел.-ч на 1000 м<sup>3</sup> водоподачи, коэффициент полезного действия возрос до 0,85, коэффициент эффективности полива достиг 0,7, коэффициент земельного использования 0,92.

Для колесных дождевальных трубопроводов коэффициент земельного использования повысился до 0,98, а трудозатраты снизилась с 2,5 до 1,9 чел.-ч на 1000 м<sup>3</sup> воды. Средняя интенсивность дождя снизилась с 0,35 до 0,2 мм/мин. Однако энергозатраты на полив возросли с 122 до 160 кВт·ч на 1000 м<sup>3</sup>.

Для установок кругового действия трудоемкость снизилась с 1,5 на 1000 м<sup>3</sup> до 1,1 чел.-ч, коэффициент земельного использования увеличился до 0,98, энергозатраты остались неизменными в пределах 190 кВт·ч на 1000 м<sup>3</sup>. Это касается и качественного улучшения ресурсосберегающих параметров – интенсивности дождя и коэффициента эффективного полива.

По сравнению с 1980-ми годами значительно снижены энергозатраты высокопроизводительных машин. Для ДДМ-100, ДМ «Фрегат», ДКШ-64 с 240, 180, 160 кВт·ч на 1000 м<sup>3</sup> до 190, 170, 165 кВт·ч на 1000 м<sup>3</sup>; для ДМУ-А «Фрегат», ДФ-120, ДКН-80, ДКГ-80 «Ока», МДЭФ «Кубань-М», МДЭФ «Кубань-Л» – до 160, 140, 120, а для низконапорной модификации «Фрегат-Н» до 115 кВт·ч на 1000 м<sup>3</sup>, т. е. технические средства медленного и низкоинтенсивного дождевания имеют довольно высокий показатель затрат около 250 кВт·ч на 1000 м<sup>3</sup>.

В США до 90 % широкозахватной техники переоборудовано низконапорными насадками. Снижение энергоемкости дождевания при этом может составить от 16 до 50 %, значительно повышается эффективность использования водных ресурсов [255].

Конструкции низконапорных дождевальных машин типа «Zimmatic», «Lera», «Linia», «Valley» [106] оборудуются низконапорными насадками с поливом по сектору, монтирующихся на водопроводящем поясе на коротких патрубках в один ряд с наклоном 45° к горизонтальной плоскости. В целом экономия оросительной воды при поливе этими установками составляет не менее 20 % по сравнению с обычным дождеванием, а энергозатраты на – 15-20 %. Эффективность орошения этой системы достигает 98-99 %. Выпускаются комплекты низконапорных дождевальных аппаратов, включающие короткоструйные дефлекторные насадки с плоскими или коническими дефлекторами; пластмассовые и латунные коромысловые дождевальные аппараты с низким углом вылета струи, оборудование для приземного дождевания, присоединяемое к водопроводящему поясу на гибких шлангах. Высокое качество дождя обеспечивается не только за

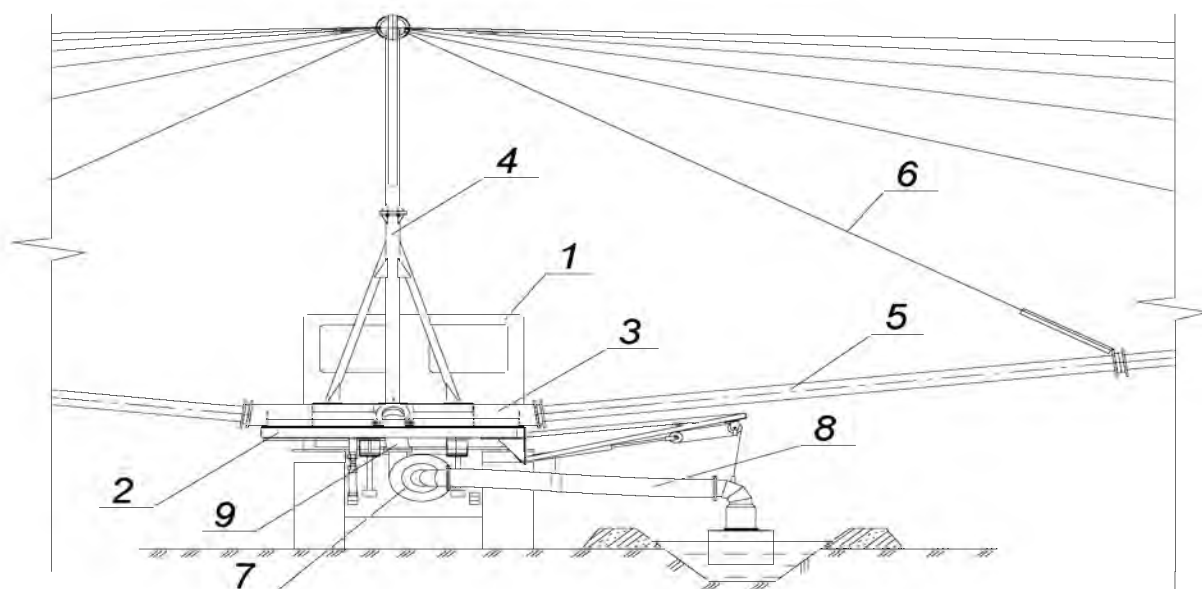
счет конструктивных особенностей аппаратов, но и оптимальной схемы их размещения, расчет которой осуществляется на ЭВМ с учетом параметров машины, требуемого расхода, давления, площади обслуживания, характеристики орошаемого участка.

В конечном итоге, все решения по совершенствованию технических средств для орошения направлены на создание высокопроизводительной поливной техники, обеспечивающей искусственный дождь, приближающийся по своим параметрам к качественным характеристикам идеала – естественных дождей средней силы, с каплями, падающими практически вертикально, при среднем диаметре 1-1,5 мм, с интенсивностью до 25 мм/мин и равномерностью распределения по площади не менее 0,9.

Анализ показывает, что при реализации оптимальных агротехнологий орошения большое значение приобретают вопросы выбора конструкций дождевальных машин, аппаратов и схем их размещения на водопроводящем поясе. Недостаточно высокие агротехнические характеристики искусственного дождя заставляют вести работы по совершенствованию конструкций дождевальных машин. Дальнейшее направление научных исследований заключается в значительном снижении энергетического воздействия искусственного дождя на культуры без ухудшения агротехнических характеристик дождя.

С учетом вышесказанного был сделан вывод, что наиболее целесообразным для полива овощных культур является использование поливной техники, работающей из открытых оросителей и автономными энергоносителями. В результате научных, теоретических и экспериментальных исследований была создана серия дождевальных машин серии ДФ, созданных в ФГБНУ «РосНИИПМ», (рисунок 5.13-5.18).

Дождевальная машина ДКДФ-1 (рисунок 5.13) «Ростовчанка» имеет две противоположно направленные консоли, которые состоят из пяти секций каждая. Каждая секция консоли подвешена на растяжках к центральной стойке. Агрегат забирает воду из оросителя через всасывающую линию, далее через напорную линию вода подается в поворотную раму, а затем в консоли и распределяется дефлекторными насадками и концевыми среднеструйными дождевальными аппаратами. В 2002 г. ДКДФ-1 «Ростовчанка» прошла государственные испытания на Зерноградской МИС (рисунок 5.14).



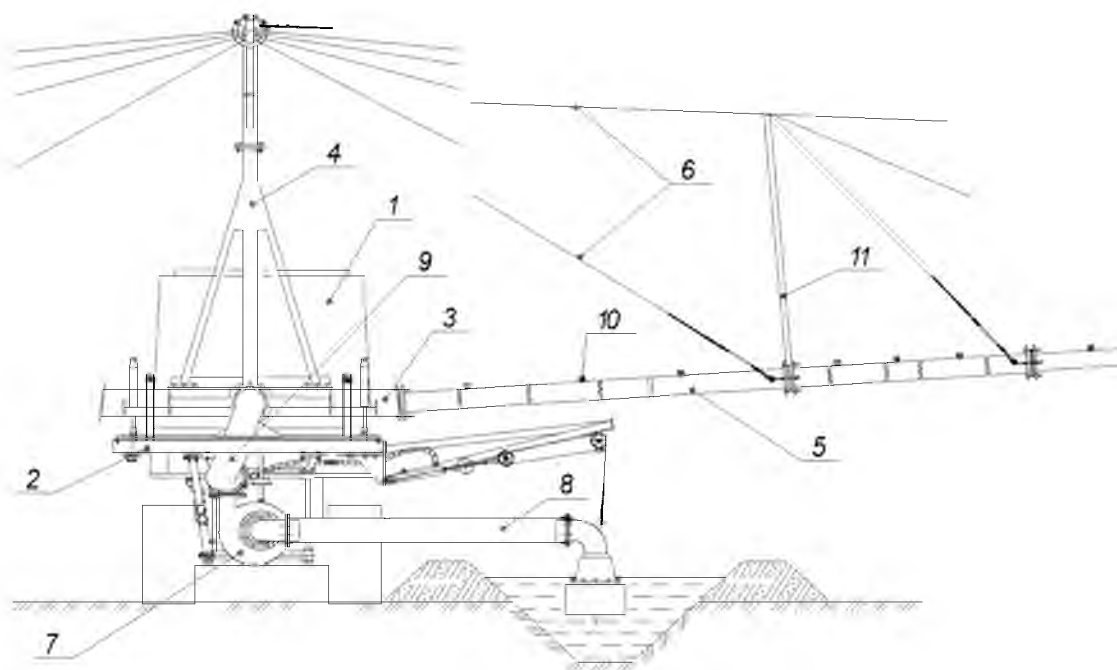
1 – трактор; 2 – основная рама; 3 – поворотная рама; 4 – центральная стойка; 5 – консоль;  
6 – растяжка; 7 – насос с приводом; 8 – всасывающая линия; 9 – напорная линия

**Рисунок 5.13 – Конструктивно-технологическая схема ДКДФ-1 «Ростовчанка»**



**Рисунок 5.14 – Дождевальная машина ДКДФ-1 «Ростовчанка» в работе (поле № 4, ООО «Агросфера» Азовский район Ростовской области)**

ДКФ-1П имеет две консоли с переменным сечением, которые состоят из 11-ти секций каждая (рисунок 5.15). Первая секция крепится к фланцам поворотной рамы, вторая к первой и т. д. Между 3 и 4, 6 и 7, 9 и 10 секциями устанавливаются распорные треугольники. Первые три секции консоли подвешены посредством растяжек напрямую к центральной стойке. Остальные секции подвешены к центральной стойке через распорные треугольники (рисунок 5.16).



1 – трактор; 2 – основная рама; 3 – поворотная рама; 4 – центральная стойка; 5 – консоль;  
6 – растяжка; 7 – насос с приводом; 8 – всасывающая линия; 9 – напорная линия;  
10 – секторная насадка; 11 – распорный треугольник

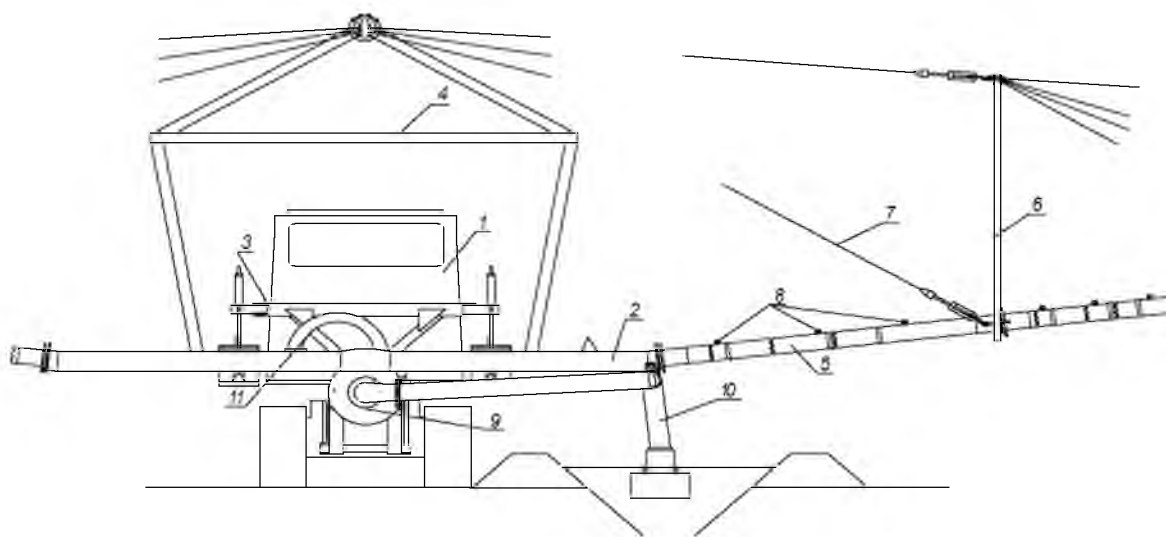
**Рисунок 5.15 – Конструктивно-технологическая схема ДКДФ 1П**





**Рисунок 5.16 – Дождевальная машина ДКДФ-1П в работе  
(поле № 1, ООО «Агросфера» Азовский район Ростовская область)**

Наиболее перспективной является ДКФ-1ПК (рисунки 5.17, 5.18).



- 1 – трактор; 2 – водопроводящее кольцо; 3 – стойки с гидравлической системой;  
4 – центральная стойка; 5 – консоль; 6 – распорные панели вантовой подвески;  
7 – растяжка; 8 – короткоструйные секторные насадки; 9 – насос с приводом;  
10 – всасывающая линия; 11 – напорная линия

**Рисунок 5.17 – Конструктивно-технологическая схема ДКФ-1ПК**



**Рисунок 5.18 – Дождевальная машина ДКФ-1ПК в работе  
(поле № 3, ИП «Пан», Азовский район Ростовской области)**

Эта машина обладает преимуществом вышеупомянутых типов дождевателей, но в отличие от них имеет возможность изменения высоты консоли над поверхностью орошаемого участка, что позволяет практически устранить вредное влияние ветра на дождь, уменьшить энергетическое воздействие дождя на растения, чем устраняется недостаток у предыдущих типов поливной техники. ДМ ДКФ-1ПК имеет относительно хорошие показатели по мобильности и работает с забором воды из открытых оросителей.

В конструкции дождевателя предусмотрено рабочее (когда консоли расположены перпендикулярно направлению движения трактора) и транспортное (когда консоли расположены параллельно движению трактора) положение консолей. Для удобства транспортировки и сборки водопроводящее кольцо разделено на три полусферы, соединяющиеся на фланцах. Откидная полусфера в передней части кольца, используемая для освобождения трактора, закреплена с одной стороны на поворотном пальце, с другой – на фланцах с отверстиями для крепежных элементов. Для установки дождевальной машины на хранение или выезда трактора на водопроводящем кольце предусмотрены откидные опоры.

В данной разработке внедрена возможность использования водопроводящих труб из полимерных материалов, что приводит к уменьшению веса дождевальной машины по сравнению с прочей поливной техникой. В отличие от металлических труб, полимерные стойки к коррозии, эластичны, долговечны и удобны при монтаже. Дождевальная машина ДКФ-1ПК оборудована низконапорными насадками секторного действия, дождевой поток которых ориентирован к земле, что дает стабильное дождевое облако под дождевальной машиной при воздействии ветра.

Однако при создании новой дождевальной машины ДКФ-1ПК встает необходимость обработки показателей лабораторно-полевых испытаний и анализа агротехнической оценки.



### 5.11.1 Гидравлические расчеты водопроводящих элементов дождевальных машин ДКФ

Параметры дождевальных машин определяются на этапах разработки исходных требований, технических заданий, конструкторской документации и отражают в основном преобладающие в конкретный период времени воззрения на техническое и технологическое совершенство дождевальных машин, а также достигнутый уровень научно-технического развития общественного производства. К примеру, в восьмидесятые годы особое внимание уделялось автоматизации полива, а уже в девяностые на первый план стало выходить энергосбережение. При всем этом требования к качественным показателям искусственного дождевания непрерывно повышаются. В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы оптимизации параметров дождевальных машин, исходя из необходимости соответствия их основных характеристик условиям размещения и возможности реализации экологически безопасных технологий полива при потребных уровнях урожайности. Особое значение следует придавать вопросам замены на дождевальной технике всех узлов и деталей, содержащих цветные металлы, ибо выход ее из строя по причине разукomплектования принял катастрофические масштабы. Так в последние годы в области водного хозяйства все более широкое применение находят трубы из полимерных материалов. В отличие от металлических они стойки к коррозии, легки, эластичны, долговечны, легко поддаются обработке, их удобно монтировать и перевозить. Меньшие потери напора в таких трубах позволяют значительно снизить напор и мощность насосов, уменьшить расчетные диаметры трубопроводов, то есть сэкономить значительное количество электроэнергии. Благодаря эластичности стенок пластмассовых труб гидравлические удары в них ослаблены.

Одним из основных показателей, определяющих параметры машины, является характеристика трубопровода [256-257]. Она представляет собой зависимость потребного напора, затрачиваемого на перемещение воды и образование искусственного дождя от расхода.

Для определения потерь напора водопроводящие узлы агрегата ДКФ были разделены на три участка: всасывающая линия, центральная часть и консоль фермы.

Величина напора может быть представлена зависимостью:

$$H = H_q + H_r + \sum h_r, \quad (5.3)$$

где  $H_q$  – напор, затрачиваемый на образование дождя, м;

$H_r$  – геометрическая высота подъема жидкости, м;

$\sum h_r$  – сумма гидравлических сопротивлений, м.

Как видно из сводного графика  $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = f(\lg Re)$ , представленного на рисунке 5.19, полиэтиленовые трубы работают в первой трети переходной области сопротивления. Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  для таких труб зависит как от числа Рейнольдса, так и от относительной шероховатости трубы ( $\bar{\Delta}$ ):

$$\lambda = f(Re, \bar{\Delta}) \quad (5.4)$$

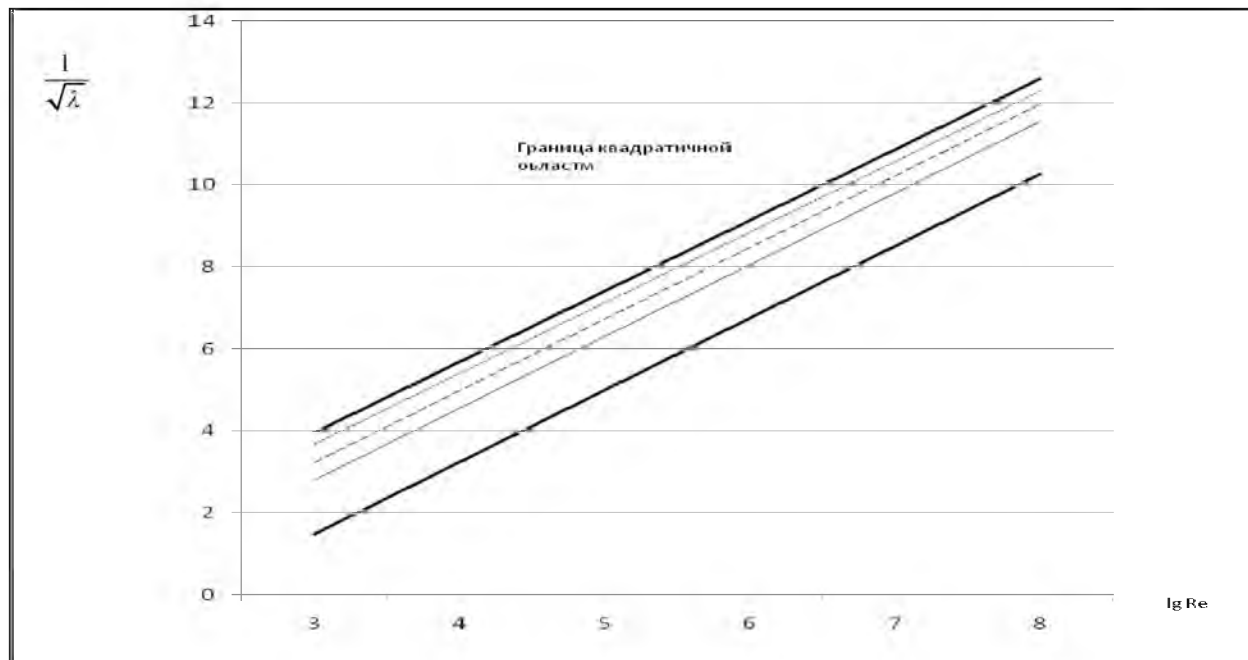
Согласно данному графику имеем следующую зависимость для определения коэффициента гидравлического трения в трубах ПНД:

$$\lambda = \frac{0,29 - 0,000238d}{Re^{0,22}}, \quad (5.5)$$

где  $d$  – внутренний диаметр, мм;

$Re$  – коэффициент Рейнольдса.

В приведенной формуле не учитывается потери напора в стыковых соединениях пластмассовых труб. Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  в полиэтиленовых трубах соответствует коэффициенту для гидравлически гладких труб. При определении потерь напора в таких трубах ( $4000 < Re < 400000$ ) использовались формулы для гидравлического расчета гладких труб с введением в них коэффициента запаса, равного 2-3 %.



**Рисунок 5.19 – Зависимость  $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = f(\lg Re)$  для определения полиэтиленовых труб**

По длине пластмассовых трубопроводов (консоль) имеется большое количество стыковых соединений. В связи с этим потери напора в стыках может быть значительным. В нашем случае при конструировании было принят фланцевый тип соединения.

Коэффициент местного сопротивления рассчитывался по формуле:

$$\xi = 0,147 - 0,344d \quad (5.6)$$

где  $d$  – внутренний диаметр стыкуемых труб, м.

Напор, расходуемый на преодоление гидравлических сопротивлений, является суммарной величиной потерь напора всех элементов системы, в данном случае элементов трубопровода центрального пролета и водопроводящего пояса с дефлекторными насадками секторного действия.

Входящие в формулы коэффициенты гидравлического трения  $\lambda$  и местного сопротивления  $\zeta$  учитывают влияние таких факторов, как вязкость жидкости, состояние внутренних стенок трубы, конструктивные особенности арматуры. Для нахождения значений коэффициентов  $\lambda$  и  $\zeta$  использовались справочные данные [258, 259].

Результаты расчетов гидравлических потерь в водопроводящих узлах ДМ ДКФ представлены в таблице 5.2 и на рисунках 5.20-5.22. Сравнительные данные аналогичной дождевальной машины ДДА-100М были взяты из исследований Н. И. Рычкова [260].

**Таблица 5.2 – Сравнительная оценка потерь напора в водопроводящих узлах ДДА-100М и ДКФ**

Расход, л/с	Потери напора, м вод. ст.											
	Всасывающая линия				Центральная часть				Консоль фермы			
	ДКДФ 1	ДКФ 1П	ДКФ 1ПК	ДДА- 100ВХ	ДКДФ 1	ДКФ 1П	ДКФ 1ПК	ДДА- 100ВХ	ДКДФ 1	ДКФ 1П	ДКФ 1ПК	ДДА- 100ВХ
60	1,21	1,24	1,27	1,33	1,02	1,21	1,40	1,77	1,9	2,3	3,1	4,0
70	1,28	1,32	1,36	1,40	1,40	1,52	1,86	2,46	2,8	3,3	4,2	4,9
80	1,39	1,43	1,47	1,52	1,68	1,92	2,47	3,37	3,9	4,4	5,6	6,3
92	1,52	1,55	1,61	1,66	2,22	2,81	3,49	4,47	4,9	5,6	7,2	8,1
100	1,65	1,70	1,76	1,85	3,20	3,85	4,60	5,54	6,3	7,1	8,9	9,8
110	1,87	1,96	2,04	2,14	4,27	4,55	5,83	7,03	7,6	8,6	11,1	11,9

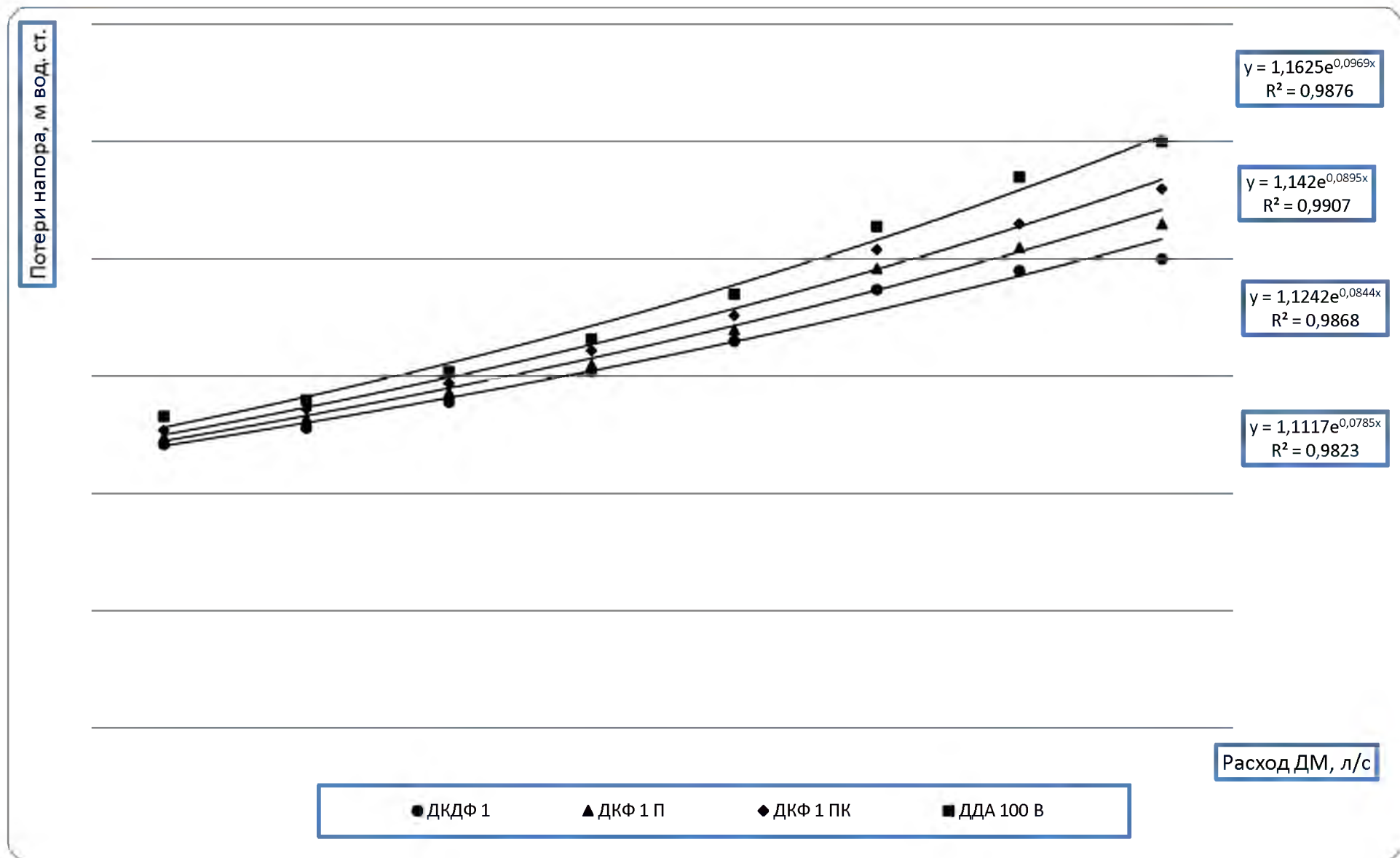


Рисунок 5.20 – График зависимости потерь напора всасывающих линий ДКФ и ДДА-100М

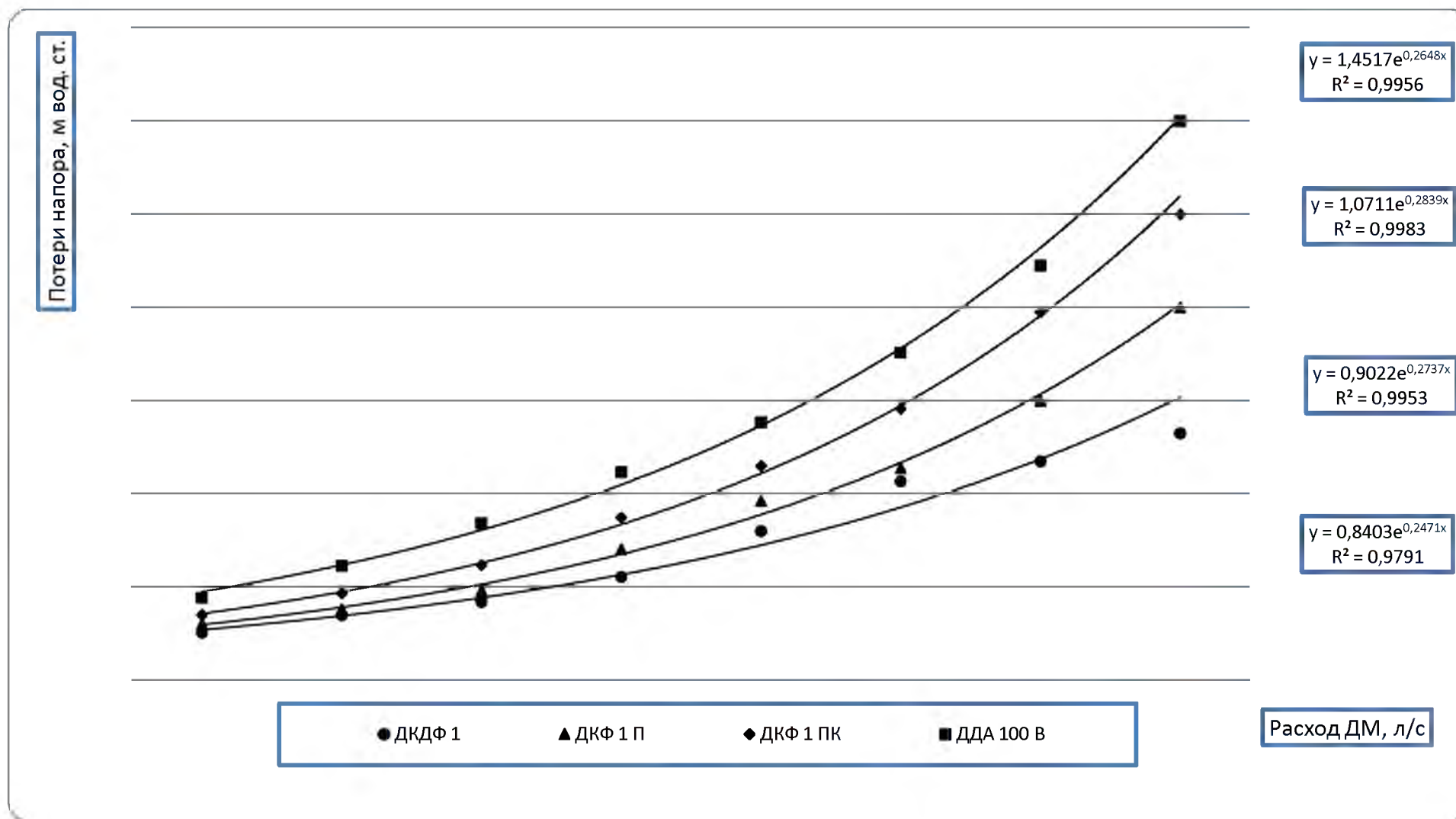


Рисунок 5.21 – График зависимости потерь напора в центральной части ДКФ и ДДА 100 В

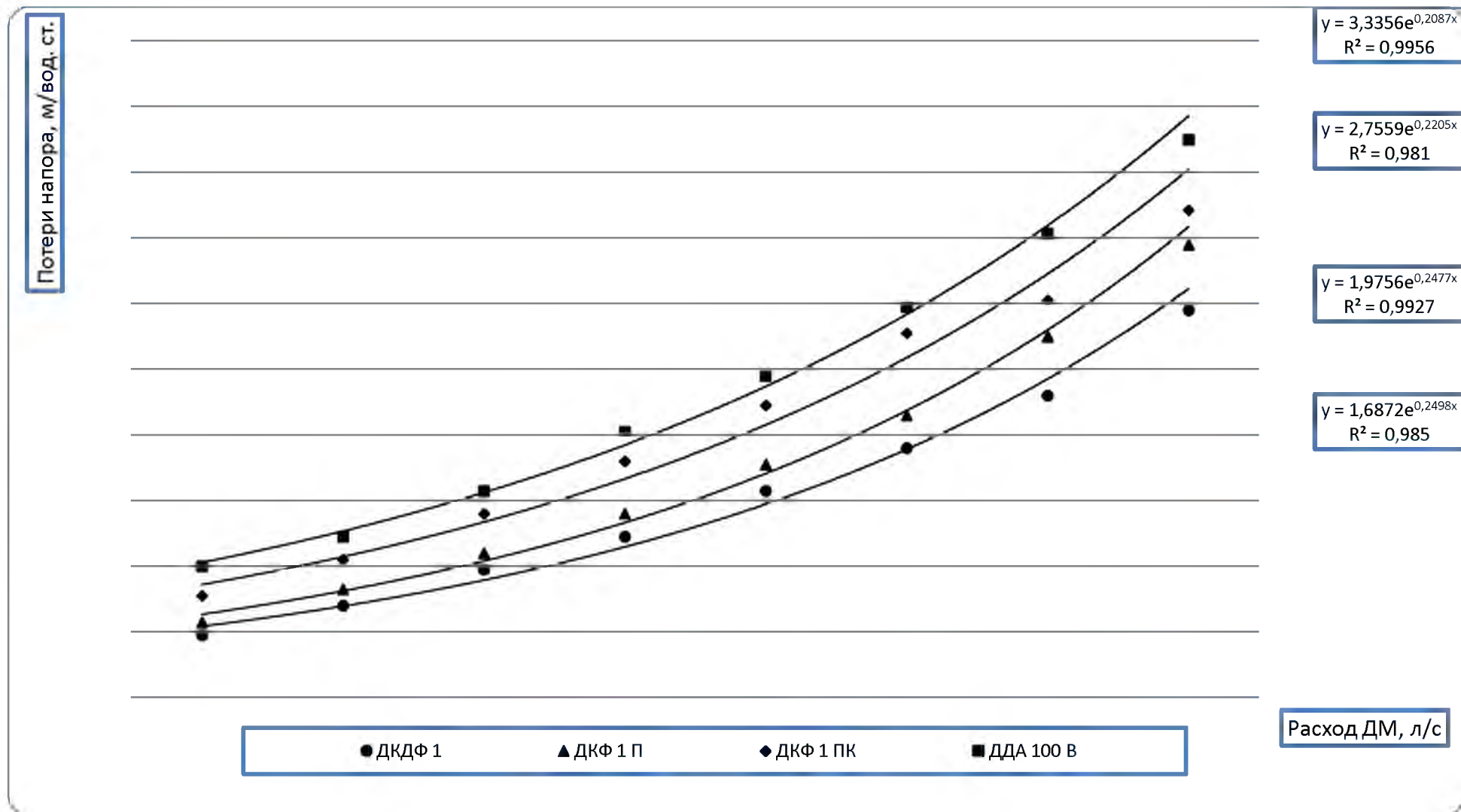


Рисунок 5.22 – График зависимости потерь напора в консолях ДКФ и ДДА-100 В

В результате обработки на ПЭВМ полученных гидравлических данных водопроводящих узлов двухконсольного дождевального агрегата ДДА-100М и ДКФ были получены следующие зависимости потерь напора:

а) для всасывающей линии:

$$\text{ДДА-100М: } H = 0,0003Q^2 - 0,0373Q + 2,4923, \quad (5.7)$$

$$\text{ДКФ: } H = 0,0003Q^2 - 0,0362Q + 2,303, \quad (5.8)$$

где  $H$  – потери напора, м вод. ст.;

$Q$  – расход, л/с.

б) для центральной части:

$$\text{ДДА-100М: } H = 0,0011Q^2 - 0,0791Q + 2,6615, \quad (5.9)$$

$$\text{ДКФ: } H = 0,0003Q^2 - 0,0006Q + 0,0278, \quad (5.10)$$

в) для консоли фермы:

$$\text{ДДА-100М: } H = 0,0011Q^2 - 0,0254Q + 1,0646, \quad (5.11)$$

$$\text{ДКФ: } H = 0,0005Q^2 - 0,0345Q + 0,8816, \quad (5.12)$$

г) для суммарной кривой потерь напора:

$$\text{ДДА-100М: } H = 0,0025Q^2 - 0,1418Q + 6,2184, \quad (5.13)$$

$$\text{ДКФ: } H = 0,0011Q^2 - 0,0012Q + 1,3935. \quad (5.14)$$

Таким образом было установлено, что потери напора в водопроводящих узлах агрегатов ДКФ при расходе 100 л/с составляют 12,47 м вод. ст., которые складываются из потерь напора во всасывающей линии – 1,71 м вод. ст., в напорной линии от насоса до начала консолей фермы – 3,49 м вод. ст. и в консолях фермы – 7,27 м вод. ст. Это достигнуто применением полиэтиленовых труб, оптимизацией диаметра водопроводящего трубопровода и уменьшением числа фасонных деталей (местных сопротивлений).

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что потери напора по выбранным узлам машины меньше, чем у ДДА-100М. Это объясняется следующим:

- уменьшена длина всасывающей линии дождевальной машины ДКФ и исключены из конструкции шарнирные муфты, создающие дополнительные потери напора;
- увеличен диаметр напорного трубопровода до 220 мм, по сравнению с ДДА-100М ( $d = 135$  мм) и уменьшена длина консоли, что значительно уменьшило потери напора как местные, так и по длине;
- применена вантовая подвеска с одним трубопроводом большего диаметра из полиэтиленовых труб низкого давления;
- снижен коэффициент шероховатости, потерь напора по длине и коэффициент местных сопротивлений.

В результате малых потерь по длине в крыле консоли возможно применение насадок с меньшим количеством типоразмеров.

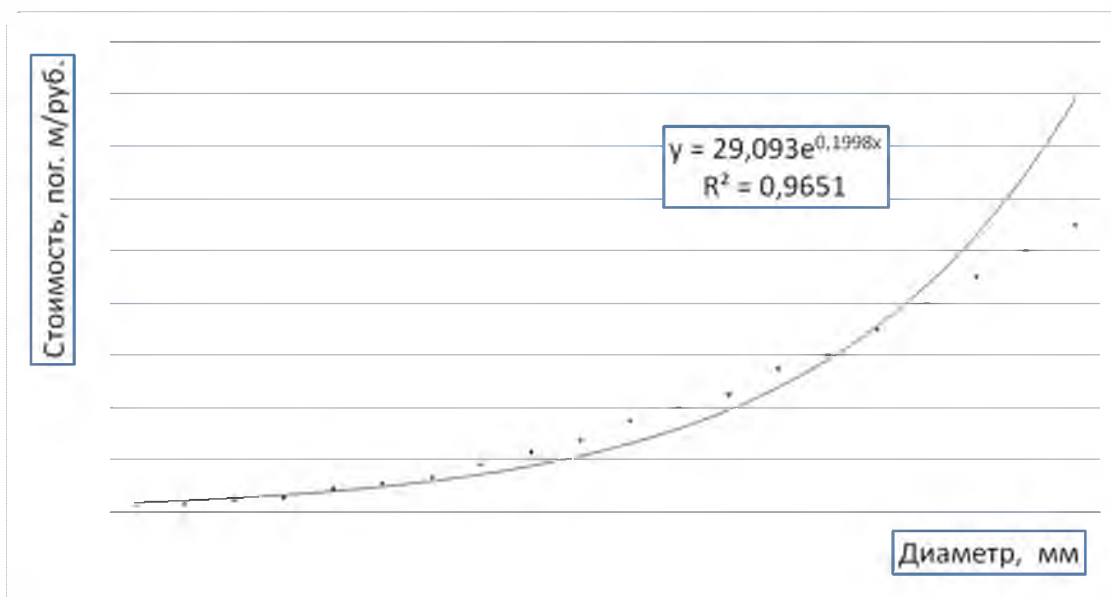
Получены зависимости потерь напора от расхода для участков: всасывающая линия, центральная часть и консоль фермы (рисунки 5.20-5.22).

### **5.11.2 Назначение диаметров полиэтиленового трубопровода дождевальных машин серии ДКФ**

Проблема целесообразности при установлении размеров трубопроводов с уменьшающимся сечением труб при равномерно распределенном по длине и транзитном расходе остается актуальной. Очевидно, что путем увеличения диаметра труб можно снизить потери напора, следовательно, и мощность, затрачиваемую на эти потери. Однако вес и стоимость труб при этом возрастает. Уменьшая же диаметры труб, можно снизить их вес, но при этом возрастут потери и, следовательно, возрастет потребляемая мощность для обеспечения заданных гидравлических характеристик. Не-

обходимо найти оптимальное соотношение между теряемой мощностью и эксплуатационными расходами по трубопроводу.

Вес и стоимость труб зависит главным образом от диаметра и толщины их стенки. Для тяжелых полиэтиленовых труб можно в среднем принять стоимость 1 метра в соответствии с графиком, изображенным на рисунке 5.23.



**Рисунок 5.23 – Зависимость средней стоимости 1 метра длины тяжелых полиэтиленовых труб от их диаметра**

Для труб диаметром от 20 до 400 мм можно считать, что стоимость меняется полиминально, что может быть выражено следующим выражением:

$$dc = (a_1 D^2 + a_2 D + a_0) \cdot dl, \quad (5.15)$$

где  $D = (20-400)$ .

Отсюда стоимость трубопровода:

$$c = \int_0^L (a_1 D^2 + a_2 D + a_0) \cdot dl, \quad (5.16)$$

где  $c$  – стоимость 1 м длины, руб.;

$D$  – диаметр трубы, мм.

Величины  $D$  и  $l$  при  $v = \text{const}$  связаны соотношением:

$$D = D_0 \sqrt{\frac{k + \frac{L-l}{L}}{k+1}}. \quad (5.17)$$

Следовательно,

$$c = \int_0^L \left( a_1 D_0^2 \frac{k + \frac{L-l}{L}}{k+1} + a_2 \sqrt{\frac{k + \frac{L-l}{L}}{k+1}} + a_0 \right) \cdot dl. \quad (5.18)$$

После интегрирования получим:

$$c = a_1 D_0^2 L - \frac{a_1 D_0^2 Z L^2}{2} + a_1 L - 1,5 a_2 D_0 Z \cdot \left( \sqrt{(1-ZL)^3} - 1 \right), \quad (5.19)$$

где  $Z = \frac{Q}{L(q+Q)}$ ,  $D_0$  – в мм;  $L$  – в м.



Эксплуатационные расходы по трубопроводу:

$$A = \frac{c(p_1 + p_2)}{100}, \quad (5.20)$$

где  $p_1$  – ежегодные отчисления на амортизацию, %;

$p_2$  – ежегодные расходы на ремонт, %.

Следовательно:

$$A = \frac{a_1 D_0^2 L}{5} - \frac{a_1 D_0^2 Z L^2}{10} - \frac{a_1 L}{5} - 0,3 a_2 D_0 Z \cdot \left( \sqrt{(1 - ZL)^3} - 1 \right). \quad (5.21)$$

Мощность, потерянная на трение в элементе трубы  $dl$ , при транзитном расходе  $q$ :

$$dN = \frac{\left( q + Q - \frac{Q}{L} l \right) \cdot \gamma \cdot d \cdot H}{75}, \quad (5.22)$$

где  $\gamma$  – удельный вес воды.

Но, как известно:

$$dH = \lambda \frac{dl}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (5.23)$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления трению при движении воды по трубам.

Кроме того:

$$v^2 = \frac{\left( q + Q - \frac{Q}{L} l \right)^2}{\left( \frac{\pi D^2}{4} \right)^2}. \quad (5.24)$$

С учетом этого после преобразования получаем:

$$dH = \frac{8\lambda\gamma \left( q + Q - \frac{Q}{L} l \right)}{75\pi^2 D^5 g}. \quad (5.25)$$

Так при условии  $v = \text{const}$   $D$  связано с  $l$  соотношением:

$$D = D_0 \sqrt{\frac{q + Q - \frac{Q}{L} l}{q + Q}}. \quad (5.26)$$

По после интегрирования получаем:

$$N = \frac{8\lambda\gamma (q + Q)^3}{75\pi^2 g D_0^5}, \quad (5.27)$$

где  $N$  – в л/с;  $L$  – в м;  $\gamma$  – в кгс/м<sup>3</sup>;  $q$  и  $Q$  – в м<sup>3</sup>/с;  $D_0$  – в м;  $g$  – в м/с<sup>2</sup>.

Стоимость потерянной энергии будет:

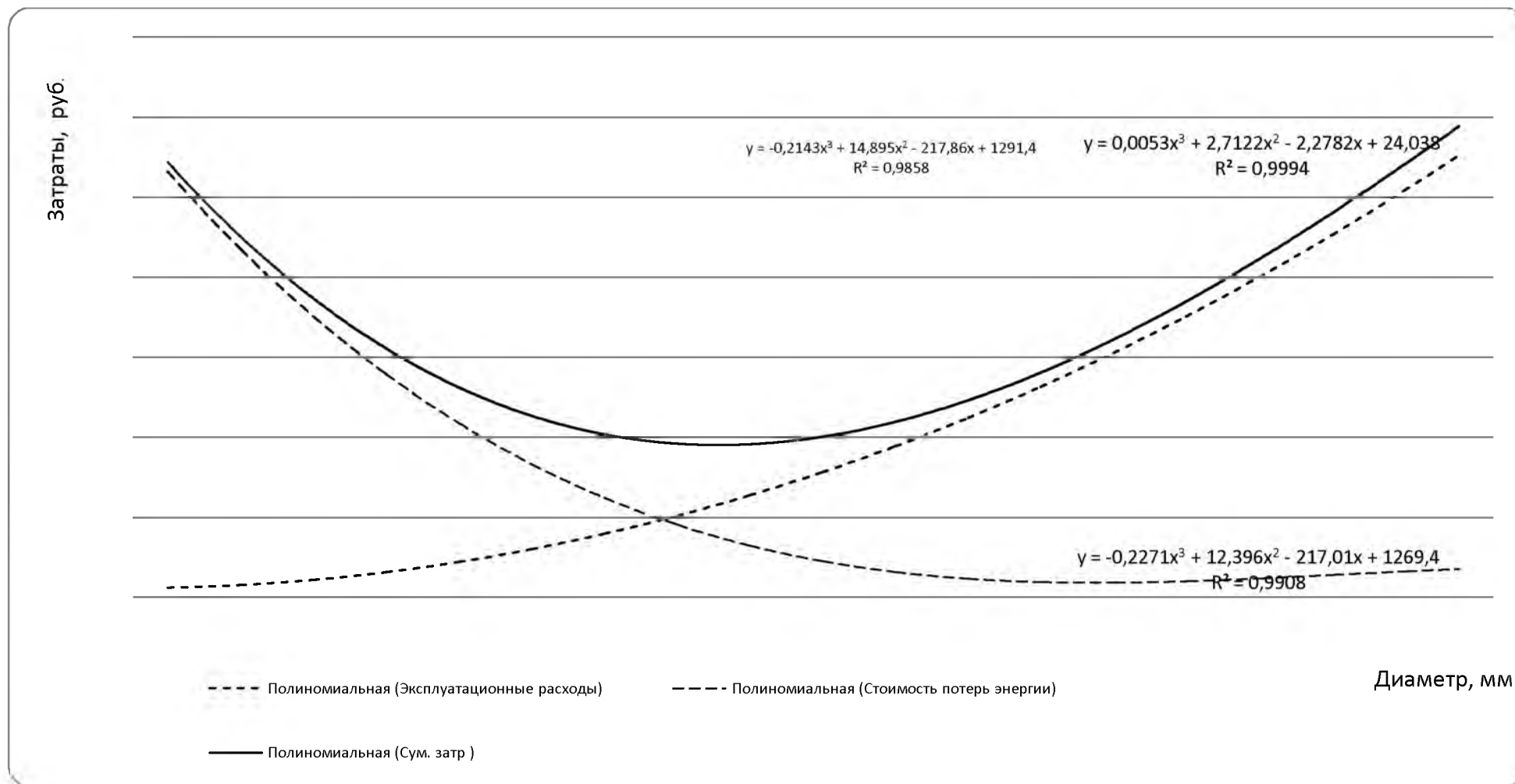
$$C_3 = zTN = \frac{8\lambda L \gamma (q + Q)^3}{75\pi^2 D_0^5 g} zT, \quad (5.28)$$

где  $z$  – стоимость 1 л с·ч используемой энергии;

$T$  – время работы установки в году, час.

Кривые, определяемые уравнениями эксплуатационных расходов по трубопроводу и стоимости потерянной энергии, обозначены на рисунке 5.24 цифрами 1 и 2.

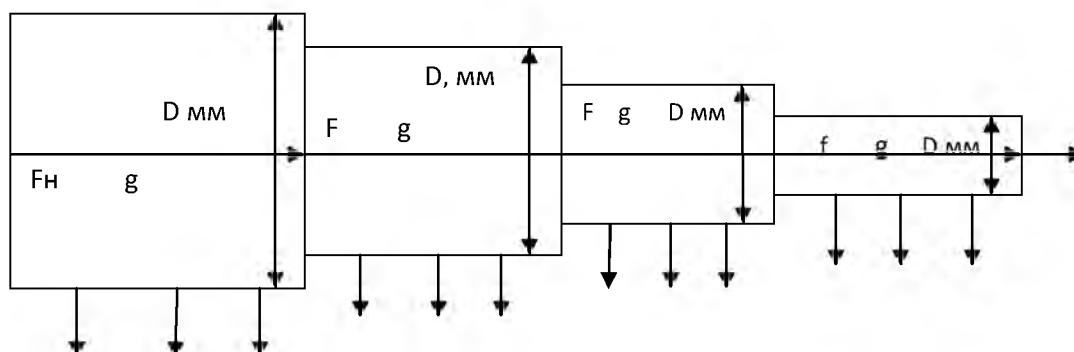
При рассмотрении суммарной кривой 3 видим, что экономически наиболее выгодный начальный диаметр труб равен 160 мм. Для дальнейших расчетов определения оптимальных размеров водопроводящих труб в консоли переменного сечения принимаем начальный диаметр, равный 160 мм, с толщиной стенки 9,1 мм.



1 – эксплуатационные расходы по трубопроводу; 2 – стоимость потерянной энергии;  
 3 – суммарная кривая эксплуатационных расходов и стоимости потерянной энергии по трубопроводу

**Рисунок 5.24 – Изменение стоимости эксплуатации трубопроводов и теряемой энергии**

Изменение внутреннего диаметра водопроводящей трубы (в зависимости от расстояния от центра фермы) может быть определен, исходя из постоянства скорости движения жидкости по трубам или гидравлического уклона (рисунок 5.25).



**Рисунок 5.25 – Схема трубопровода с равномерно распределенным и транзитным расходами**

По всей длине захвата дождем должно идти равномерное распределение расхода. Длина захвата ( $L_d$ ) определится как ширина полива концевыми насадками плюс конструктивная длина без этой части фермы, которая проходит над каналом и дорогой, как полоса отчуждения. Поделив длину машины на длину захвата, получаем очень важный параметр – удельный расход поливной воды на единицу длины:

$$q_{уд} = \frac{Q}{L_d} = \frac{0,050}{60} = 0,00083, \text{ (в м}^3/\text{с на 1 м);} \quad (5.30)$$

Так как мы имеем длину консоли, равную 22,5 м, то определим необходимый расход на консоли и транзитный расход:

$$\begin{aligned} Q &= 22,5 \cdot 0,00083 = 0,018675, \text{ м}^3/\text{с}; \\ q_{тр} &= 37,5 \cdot 0,00083 = 0,031125, \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned} \quad (5.31)$$

Так как для увеличения ширины захвата дождем на концах фермы предполагаем установку дождевальных аппаратов, то в этом случае транзитный расход будет равен  $q_{тр} = 0,031125, \text{ м}^3/\text{с}$ . Общий расход будет равен:

$$Q_m = Q + q_{тр} = 0,05, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5.32)$$

Отсюда скорость жидкости:

$$V = \frac{q}{f} + \frac{Q - \frac{Q}{L}l}{f} = \frac{4q}{\pi D^2} + \frac{4Q \cdot (L-l)}{\pi D^2 L}, \quad (5.33)$$

так как  $V = V_0 = \text{const}$ , то:

$$\frac{4q}{\pi D^2} + \frac{4Q \cdot (L-l)}{\pi D^2 L} = \frac{4(q+Q)}{\pi D_0^2}, \quad (5.34)$$

откуда:

$$D = D_0 \sqrt{\frac{q + Q \frac{L-l}{L}}{q + Q}}, \quad (5.35)$$

Если обозначить  $q/Q = k$ , то формула имеет вид:

$$D = D_0 \sqrt[k+1]{k + \frac{L-l}{L}} \quad (5.36)$$

Исходя из постоянства гидравлического уклона  $i$  по длине фермы, можно сделать следующие выводы:

$$i = \frac{h}{l} = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad (5.37)$$

где  $\lambda$  – коэффициент, определяющий потери напора по длине.

Величину  $\lambda$  для упрощения предполагаем постоянной для всех водопроводящих труб фермы:

$$i = \frac{h}{l} = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}, \text{ откуда } V = V_0 \sqrt{\frac{D}{D_0}} \quad (5.38)$$

При транзитном расходе:

$$\frac{4q}{\pi D^2} + \frac{4Q \cdot (L-l)}{\pi D^2 L} = \frac{4(q+Q)}{\pi D_0^2} \sqrt{\frac{D}{D_0}} \quad (5.39)$$

Откуда:

$$D = D_0 \sqrt[k+1]{\left( q + Q \frac{L-l}{L} \right)^2 \over (q+Q)^2} \quad (5.40)$$

Если обозначить  $q/Q = k$ , то формула приобретает вид:

$$D = D_0 \sqrt[k+1]{\left( k + \frac{L-l}{L} \right)^2 \over (k+1)^2} \quad (5.41)$$

Согласно расчету оптимального начального диаметра принимаем диаметр первой секции консоли полиэтиленовую трубу со следующими размерами:

- диаметр трубы в 160 мм;
- толщина стенки в 9,1 мм.

Исходя из технических показателей трубы, имеем внутренний диаметр  $D_0 = 141,8$  мм.

Дальнейший подбор диаметров труб по длине консоли представлен в таблице 5.3.

**Таблица 5.3 – Расчет диаметра трубопровода по длине консоли**

№ секции	Расстояние от начала консоли до начала секции $l$ , м	Расчетный внутренний диаметр $D_{\text{вн}}$ , мм	Наружный диаметр принятой трубы консоли $D_{\text{прин. нар}}$ , мм/толщина стенки, мм
2	5	120,72	133/4
3	10	118,44	127/4
4	15	115,97	127/4
5	20	113,27	121/4
6	25	110,29	121/4
7	30	106,94	114/4
8	35	103,11	114/4
9	40	98,62	108/4
10	45	93,11	104/4
11	50	85,87	95/3,5

### 5.11.3 Обоснование расстановки насадок на дождевальных машинах ДКФ

Одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность орошения дождеванием, является равномерность распределения слоя осадков по площади полива. Потери урожая от неравномерного полива прямо пропорциональна коэффициенту неравномерности [261]. При создании новой техники приходится иметь в виду, что, с одной стороны, достижение идеальной равномерности сопряжено с капитальными дополнительными и эксплуатационными затратами, а с другой – ограничено агротехническими требованиями, технологическими особенностями процесса полива конкретным видом техники и природно-хозяйственными условиями.

Сложность выбора оптимальной расстановки дождевальных аппаратов заключается в одновременном учете большого числа факторов, влияющих на равномерность. К их числу относятся конструктивные (тип аппаратов, расстояние между гидрантами, давление на входе в машину и т. д.) и природные (неуправляемые) – скорость и направление ветра относительно оси трубопровода. Агротехническими требованиями на дождевальные машины устанавливаются нижние границы равномерности полива: коэффициент эффективного полива  $K_{\text{эф}} \geq 0,7$ , коэффициент недостаточного полива  $K_{\text{ни}} \leq 0,15$  [262, 263]. Указанные параметры должны обеспечиваться при всех режимах работы и скоростях ветра при условии, что средняя интенсивность дождя не должна превышать 0,35 мм/мин, т. е.  $\rho_{\text{ср}} \leq 0,35$  мм/мин.

При решении задачи оптимальной расстановки следует также учитывать в случае применения одинаковых по рабочим параметрам аппаратов по всей длине консоли дождевальной машины, что они работают с различными напорами из-за потерь по длине трубопровода.

Таким образом, задача нахождения оптимальных расстояний между аппаратами и гидрантами состоит в нахождении такой области, в которой соблюдаются агротехнические требования к интенсивности и равномерности распределения дождя при всех сочетаниях факторов, неблагоприятно влияющих на распределение дождя.

Насадки на поливном крыле фронтальной машины могут расставляться по четырем возможным случаям:

- на всю длину поливного крыла расход насадки, расстояние между ними и диаметры сопел постоянны. Такой случай может представиться для водопроводящего трубопровода имеющего очень малые путевые потери и работающего на безуклонной местности;
- диаметр сопла насадок постоянный, а требуемый расход и расстояние между насадками переменные;
- диаметр сопла насадок различный с постоянным расходом и расстоянием между ними;
- на всей длине поливного крыла переменными являются расход, диаметр сопла и расстояние между ними.

В нашем случае при расстановке насадок по крылу дождевальной машины ДКДФ-1 был принят третий случай, то есть диаметр сопла насадок различный с постоянным расходом и расстоянием между ними.

Нами были рассмотрены установленные на дождевальной машине следующие комплекты дождеобразующих устройств: насадки секторного действия, разработанные в ФГБНУ «РосНИИПМ», патент № 2385192, (рисунок 5.26); насадки с подвижным конусным дефлектором, разработанные в СтавНИИГиМ (рисунок 5.27); дефлекторные насадки, разработанные в ВолжНИИГиМ (рисунок 5.28); насадка разработанная «ОрТех» (рисунок 5.29).

Направленность факела дождя – одна из особенностей, влияющих на выбор на-

садки. Если дождевой поток из насадки выбрасывается по касательной к поверхности земли, то капли, теряя вертикальную составляющую направления полета, становятся легко переориентированными ветром. Создавая мелкоструктурный дождь и ориентируя факел к земле, очевидно, можно получить более стабильное дождевое облако под дождевальными машинами при воздействии на него ветра.



**Рисунок 5.26 – Насадка секторного действия, разработанная в ФГБНУ «РосНИИПМ»**



**Рисунок 5.27 – Дефлекторная насадка с подвижным конусным дефлектором, разработанная в СтавНИИГиМ**



**Рисунок 5.28 – Дефлекторная насадка, разработанная в ВолжНИИГиМ**



**Рисунок 5.29 – Дефлекторная насадка разработанная «ОрТех»**

При этом энергетическое воздействие дождя на почву не должно приводить к разрушению структуры, коагуляции пор и снижению порозности поверхности почвы, что незамедлительно приводит к стоковым явлениям.

При выборе насадки возможны различные варианты их установки на трубопроводе. Важным параметром здесь является степень перекрытия ( $K_n$ ) дождя насадок на машине. Чем больше дождь насадки дифференцирован по интенсивности и структуре капель, тем выше должна быть степень перекрытия.

Согласно выбранной схеме, для установки на дождевальных машинах ДКФ насадки рассчитываем степень перекрытия ( $K_n$ ) при линейной расстановки по зависимости:

$$K_n = \frac{D}{a} = \frac{8}{4,5} = 1,78, \quad (5.42)$$

где  $D$  – диаметр или ширина контура смачивания одиночной насадки;

$a$  – расстояние между ближайшими насадками по линии трубопровода.

Полученное значение  $K_n = 1,78$  относится к средней степени перекрытия, которая лежит в пределах ( $K_n = 1,5-2$ ), что удовлетворяет нашим требованиям к расстановке насадок, так как большая часть участка поля поливается двумя насадками.

В соответствии с ранее разработанной методикой подбора сопел насадок по всей длине захвата дождем должно идти равномерное распределение расхода.

Расход насадки или аппарата можно определить по формуле:

$$q_n = q_{уд} \cdot l_a (м), \quad (5.43)$$

где  $l_a$  – зона влияния одного аппарата, условно равная:

$$l_a = (a_i + a_{i+1}) \cdot \frac{1}{2}, м, \quad (5.44)$$

где  $a_i$  и  $a_{i+1}$  – два смежных расстояния от  $i$ -ой насадки до ближайших.

В данном случае полученный расход насадки соответствует требуемому расходу насадки ( $q_m$ ), который идет в расчет потерь напора ( $\Delta h$ ) по длине крыла в каждой точке водораздачи:

$$\Delta h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, м, \quad (5.45)$$

где  $l$  – расстояние между водовыпусками, принимается по техническим характеристикам дождевальной машины;

$\lambda_i$  – коэффициент сопротивления трению на  $i$ -ом участке, определяемый по формуле:

$$\lambda_i = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{\text{Re}_i} \right)^{0,25}, \quad (5.46)$$

где  $\Delta$  – коэффициент шероховатости, равный 0,06 мм;

$d$  – внутренний диаметр трубы;

$\text{Re}_i$  – число Рейнольдса на  $i$ -ом участке:

$$\text{Re}_i = \frac{v_i \cdot d}{\nu}, \quad (5.47)$$

где  $\nu$  – вязкость воды при  $t = 15^\circ \text{C}$ , равная  $1,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$v_i$  – скорость воды в трубе на  $i$ -ом участке, равная:

$$v_i = \frac{Q_i}{\omega}, \text{ м/с}, \quad (5.48)$$

где  $Q_i$  – расход трубопровода на  $i$ -ом участке;

$\omega$  – площадь поперечного сечения трубопровода,  $\text{м}^2$ .

После определения потерь напора на каждом участке и перед каждой насадкой определяется рабочий напор соответственно:

$$H_{\text{раб.}i} = H_{\text{г}} - \Delta h_i, \text{ м}, \quad (5.49)$$

$$H_{\text{нас.}i} = \frac{H_{\text{раб.}i}}{2}, \text{ м}. \quad (5.50)$$

Далее определяется требуемый диаметр сопла насадки:

$$d_m = K \cdot \sqrt{\frac{q_m}{\sqrt{H}}}, \text{ м}, \quad (5.51)$$

где  $q_m$  – требуемый расход насадки, м;

$H$  – напор перед насадкой, м;

$K$  – коэффициент, сокращающий расчет, равен:

$$K = \sqrt{\frac{4}{\mu \cdot \Pi \cdot \sqrt{2q}}}, \quad (5.52)$$

где  $\mu$  – коэффициент пропорциональности расхода и напора.

Величина коэффициента расхода  $\mu$  определялась по следующей зависимости:

$$\mu = \frac{q}{w \cdot \sqrt{2qh}}, \quad (5.53)$$

где  $q$  – расход насадки или аппарата,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$w$  – площадь сечения отверстия истечения,  $\text{м}^2$ ;

$h$  – напор на входе в насадку или аппарат, м.

Коэффициент расхода дает качественную оценку насадки, он зависит от конструкции и качества изготовления.

После определения  $d_m$  подбирается сопло по размеру данного типа из выбранного нами ряда, в котором размер сопел идет в последовательности: 4; 4,5; 5; 5,5 мм и т. д.

Рекомендуемый расход для сопла не должен отличаться от требуемого расхода в пределах  $\in (+10\%; -10\%)$ .



$$\Delta q = \frac{q - q_m}{q_m} \cdot 100, \%. \quad (5.54)$$

Представление о среднем отклонении по всей машине рассчитывается по сумме модуля единичного отклонения:

$$\Delta q = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |\Delta q_i|, \%. \quad (5.55)$$

Поскольку отклонения неизбежны, то контролирование отклонений ведется путем суммирования ( $\Delta q_i$ ) с его знаком. Контрольная сумма ( $КС_1$ ) показывает как поддерживается требуемый расход по длине крыла от головы к концу и контрольная сумма ( $КС_2$ ) ведет контроль в обратном направлении. Желательно модуль контрольной суммы иметь не выше 50 %, то есть на какой-то насадке можно иметь отклонение в половину требуемого среднего расхода насадки. В противном случае неправомерно считать величину напора ( $H$ ) соответствующей для участка трубы. Таким образом подбирается расход к требуемому до тех пор, пока на каких-либо отрезках машины, например, пролете, не станет максимальное приближение рекомендуемого расхода к требуемому.

Как правило, оно достигается несколькими вариантами расчета, пока не выявится лучший вариант. Разница между  $КС_1$  любой строки и  $КС_2$  последующей строки расчета дает результат итогового значения  $КС$ .

Согласно данной методике была разработана программа расчета диаметров сопел насадок в программе «Microsoft Excel» для дождевальных машин ДКФ.

Расчетные данные диаметров сопел насадок отражены в таблице 5.4.

**Таблица 5.4 – Диаметры сопел насадок на ДКФ**

№ секции	№ насадок	Диаметр расчетный, мм	Диаметр стандартный, мм	Отклонение расхода, %
1	1-2	12,940	13,0	0,92
2	3-4	13,014	13,0	– 0,22
3	5-6	13,096	13,0	– 1,46
4	7-8	13,163	13,0	– 2,47
5	9-10	13,235	13,0	– 3,53
6	11-12	13,292	13,0	3,16
7	13-14	13,351	13,5	2,24
8	15-16	13,393	13,5	1,60
9	17-18	13,430	13,5	1,04
10	19-20	13,456	13,5	0,65
11	21-22	13,468	13,5	0,48
	Концевая	19,048	19,0	– 0,51

Программа представлена как пояснительными сведениями, так и математическими расчетами. При изменении вводимых величин соответственно идет изменение расчетных данных, отображенных в таблицах и графиках. Ячейки с расчетными величинами содержат необходимые формулы для их расчета. Графики отображают потери напора по длине и отклонения расхода по всей машине.

## 5.12 Совершенствование широкозахватной поливной техники

Широкозахватная модифицированная дождевальная машина ДФ-120 «Днепр-1М» является самоходной дождевальной машиной позиционного действия с фронтальным перемещением по полю (рисунок 5.30, таблица 5.5).



**Рисунок 5.30 – Модифицированная дождевальная машина «Днепр-1М»**

**Таблица 5.5 – Техническая характеристика модифицированной ДМ «Днепр-1М»**

Наименование показатели		Значения
Расход воды, л/с		120
Напор на гидранте, МПа		0,40-0,45
Ширина захвата, м		460
Интенсивность дождя средняя, мм/мин		До 0,3
Расстояние между гидрантами, м		54
Высота расположения оси водопроводящего пояса над землей, м		2,1
Высота расположения выходного сопла аппарата ДД-30, м		2,7
Максимально допустимый уклон орошаемого участка		До 0,03
Количество опорных тележек, шт.		16
Расстояние между тележками, м		27
Количество дальнеструйных дождевальных аппаратов, шт.		8
Рабочая скорость передвижения, с позиции на позицию, км/ч		0,49
Обслуживающий персонал, чел.	1 тракторист на 4-8 машин	
Привод опорных тележек	электрический	

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 может эффективно производить следующие виды поливов: влагозарядковые, предпосевные, посадочные (до посадки рассады, саженцев и после посадки их), вегетационные, противозаморозковые.

Вода для поливов забирается из гидрантов закрытой оросительной сети, в которую она подается стационарными или передвижными насосными станциями.

Дождевальная машина состоит из следующих основных узлов: подсоединительного трубопровода, опорных тележек, ферм, на которых установлены дальнеструйные аппараты, электропривода с системой управления и сигнализации. Подсоединительный трубопровод предназначен для подключения дождевальной машины к гидранту оросительной сети и подачи воды из оросительной сети в водопроводящий трубопровод машины.

Подсоединительный трубопровод представляет собой телескопическое соеди-

нение неподвижной и подвижной труб, соединенных с подсоединительной вставкой и подсоединительным коленом сферическими шарнирами. Сферические шарниры, телескопическое соединение и соединение подсоединительного колена с гидрантом оросительной сети уплотняются резиновыми манжетами. Телескопический трубопровод и сферические шарниры дают возможность подключать машину к оросительной сети при не совсем точной установке ее относительно гидрантов.

Для улучшения условий работы подсоединительный трубопровод опирается на специальную опору, представляющую собой консольную рессору, шарнирно закрепленную на кронштейне. При необходимости высота положения подсоединительного трубопровода регулируется винтом. Неработающий подсоединительный трубопровод (на крайней тележке) закрывается заглушкой.

Водопроводящий пояс состоит из соединительных труб с установленными на них сливными клапанами и опорных труб, скрепленных между собой фланцевыми соединениями, двух подсоединительных трубопроводов и системы поддерживающих тросов и уголков.

Водопроводящий пояс является магистральным трубопроводом, из которого вода по нижнему поясу ферм, выполненному из труб, поступает к дождевальным аппаратам.

Соединительная труба изготовлена из алюминия диаметром 180 и длиной 9000 мм с приваренными к ней двумя фланцами, а также двумя кронштейнами для монтажа тяг механизмов управления, проушиной для крепления поддерживающего троса и патрубком. На фланце патрубка соединительной трубы устанавливается сливной клапан, обеспечивающий автоматический слив воды из водопроводящего пояса после отключения машины от сети. Сливной клапан состоит из клапана, направляющего штока, пружины, корпуса и конуса.

Опорная труба изготовлена также из алюминия диаметром 180 и длиной 9000 мм с фланцами для соединения с соединительными трубами и содержит патрубок для установки на ней ферм, накладку с проушинами для соединения с желобом опорной тележки.

Опорная тележка состоит из пространственной рамы, двух металлических колес, устанавливаемых на *L*-образные оси. На горизонтальной балке рамы установлен мотор-редуктор, который через цепную и цилиндрическую зубчатую передачи приводит колеса во вращение. Натяжение цепей регулируется натяжными звездочками. Колеса опорной тележки снабжены почвозацепами, обеспечивающими хорошую проходимость при передвижении по политому полю.

Технология полива состоит в периодической смене рабочих стационарных позиций посредством последовательного перемещения опорожненной от воды машины на следующие позиции, а также с участка на участок.

С позиции на позицию перемещение производится фронтально при помощи электростанции, навешенной на колесный трактор ЮМЗ-6М.

Исходя из конкретных условий эксплуатации на участке, расположение дождевальных машин принимается таким, чтобы продолжительность переездов электростанции по их обслуживанию была минимальной. Для переездов электростанции от машины к машине вдоль линии гидрантов должна быть устроена грунтовая дорога шириной 3 м. В условиях групповой эксплуатации при обслуживании одной электростанцией нескольких дождевальных машин время полива одной из машин на позиции используется электростанцией на переезд к очередной, подлежащей передвижению на новую позицию.

Работу дождевальных машин следует планировать в две или три смены. Для четкой организации труда разрабатывается часовой график продолжительности поли-

ва, последовательности перемещения и перебазирования машин. Продолжительность полива одной позиции зависит от заданной нормы и может быть определена по таблице 5.6.

**Таблица 5.6 – Продолжительность полива дождевальной машиной «Днепр-1М» в зависимости от поливной нормы, мин (ч)**

Поливная норма, м <sup>3</sup> /га	Количество тележек	
	15	17
100	31 (0,52)	34 (0,57)
200	63 (1,05)	68 (1,13)
300	94 (1,57)	102 (1,70)
400	125 (2,08)	136 (2,27)
500	156 (2,60)	170 (2,83)
600	188 (3,13)	204 (3,57)
700	219 (3,65)	238 (3,97)
800	250 (4,17)	272 (4,53)
900	282 (4,67)	306 (5,10)
1000	313 (5,22)	340 (5,67)

Контроль за выполнением нормы полива обеспечивается постановкой специального водомера или самопишущего манометра.

Для эксплуатации дождевальных машин «Днепр-1М» применяется закрытая оросительная сеть, которая состоит из следующих элементов: насосной станции, магистрального трубопровода, распределительных трубопроводов, гидрантов и колодцев опорожнения.

Орошаемые участки должны быть равны ширине захвата машины. В связи с этим укладка распределительных трубопроводов производится на расстоянии 900 м друг от друга. Для подключения машины на распределительных трубопроводах устанавливаются гидранты через 54 м. Для впуска и выпуска воздуха из трубопровода в повышенных местах рельефа на распределительном трубопроводе устанавливаются два вантуза. Для удаления воды из трубопровода оросительной сети имеются колодцы опорожнения. Перед началом поливного сезона и по окончании его трубопровод оросительной сети, как правило, должен промываться.

При сопровождении машины оператор, дистанционно управляющий ею, должен внимательно наблюдать за прямолинейностью и направлением движения. На исходной позиции у первого гидранта и в последующих подъездах машины к очередным гидрантам ее водопроводящий трубопровод располагается перпендикулярно к линии гидрантов. При уводе трубопровода от линии гидрантов необходимо остановив первую опору, добиться нормального, под углом 90°, расположения оси трубопровода к линии гидранта.

При наезде на линию гидрантов трубопровод машины корректируется остановкой последней тележки.

При невозможности подключения машины к гидранту оросительной сети необходимо в первом случае перемещать машину «вперед», а во втором – «назад» до совмещения колонки машины с линией гидрантов, а затем производить корректировку трубопровода машины путем остановки крайней опоры.

При передвижении необходимо внимательно следить за контрольной лампой на пульте управления, каждый раз останавливая машину для устранения неисправностей. Не следует допускать натяжения присоединительных кабелей и при опережении или отставании трактора-электростанции необходимо приостанавливать движение трактора или машины.

Окончание передвижения ДМ «Днепр-1М» следует завершить следующим образом. У гидранта останавливается трактор-электростанция, а кнопкой «стоп» на пульте управления – дождевальная машина. ВОМ трактора выключается и отсоединяется от штепсельного разъема кабель, поворотная стрела устанавливается в транспортное положение, провода кабеля фиксируются. Подвижная труба подсоединительного трубопровода выдвигается, а колонка насаживается на гидрант и закрепляется. Гидрант открывается штурвалом в самом начале на несколько оборотов, а затем, после закрытия сливных клапанов на водопроводящем трубопроводе, – полностью. По манометру на подсоединительном колене проверяется давление воды. При этом нужно помнить, что нормальное давление – 45, а максимально допустимое – 60 мм вод. ст.

В производственных условиях были проверены наиболее часто применяемые при поливе сельскохозяйственных культур челночно-кольцевая и челночная технологические схемы.

Достоинством челночно-кольцевой схемы является возможность достижения поливной нормы за один проход машины. Недостаток ее в том, что 7-8-метровые полосы для перемещения машины надо готовить с двух сторон каждого участка, а это снижает коэффициент использования земельной площади. Кроме того, потери рабочего времени на перемещение машины с одного участка на другой (с учетом ожидания, пока подсохнет почва) составляют около двух суток. Вот почему эта схема применялась только для влагозарядковых или предпосевных поливов, а также после укоса многолетних трав.

При челночной схеме работы поливная норма (более 450 м<sup>3</sup>/га) достигалась за два последовательных прохода машины «Днепр-1М» – вперед и назад. Для сокращения непроизводительных потерь рабочего времени, на перемещение с одного участка на другой, полив из первых двух гидрантов производился полной нормой, а на остальных – половинной нормой. При обратном движении на уже политых ранее первых двух позициях полив не производился, машина «Днепр-1М» холостым ходом перемещалась на подготовленную полосу и подготавливалась к перемещению на другой участок. Перемещение машины при этом производилось в день окончания полива.

Наблюдения показали, что при челночной схеме полива и выдаче поливной нормы за два последовательных прохода улучшается проходимость машины, предотвращается поверхностный сток и образование устойчивых луж в замкнутых микропонижениях. Кроме того, коэффициент земельного использования (КЗИ) несколько выше по сравнению с челночно-кольцевой схемой, так как перемещение машины на другое поле производится только с одной стороны поливного участка.

Установлено также, что при норме полива 300-400 м<sup>3</sup>/га и работе машины «Днепр-1М» с переоборудованными равномерно вращающимися аппаратами ДД-30 средняя глубина колеи на влажной почве – 14-20 см, а ширина по верху – 38-45 см. Величина расхождения колеи при 4-кратном прохождении колеблется от 270 до 1420 мм. Механические повреждения растений в среднем составили 1,9 %.

### **5.13 Расстановка дождевальных аппаратов ДД-30 на дождевальной машине «Днепр-1М»**

Равномерность распределения слоя осадков по площади захвата является одним из основных агротехнических показателей дождевальных машин, установок, оросительных систем и зависит от качества дождя, создаваемого дождеобразующими устройствами, а также от схемы их расстановки по дождевальному крылу.

На равномерность распределения слоя осадков аппаратом ДД-30 в составе других конструктивных особенностей большое влияние оказывает степень заглубления турбинки в струю.

Равномерность полива характеризуется коэффициентом эффективного полива, представляющим отношение эффективно политой площади по всей площади захвата под аппаратом.

В конечном итоге задача сводится к нахождению оптимальных схем расстановки аппаратов ДД-30 ( $d_c = 26, 32, 34$  мм) с использованием карт распределения слоя осадков под аппаратами при различном заглублении турбинки в струе.

Место проведения опытных работ – территория ООО «Типчаковый» Мартыновского района Ростовской области. На участке была смонтирована дождевальная машина «Днепр-1М».

Определение коэффициентов эффективного полива, недополива и переполива проводилось по методике СТОА АИСТ. Схема расстановки дождемерных бачков по площади захвата аппаратами –  $2 \times 2$  м.

Степень ввода турбинки в струю определялась по количеству оборотов регулировочного винта, считая от его нулевого положения по отношению к струе. Один оборот винта соответствует вводу турбинки в струю на 1,24 мм.

Предварительно устанавливалось нулевое положение регулировочного винта, соответствующее полному выводу турбин из струи, до еле заметного касания турбинки и отсутствия движения аппарата.

Настройка аппаратов проводилась при регулировке давления в ДМ «Днепр-1М» на одной позиции, а затем машина перемещалась на следующий орошаемый участок и проводился опыт (рисунок 5.31).



**Рисунок 5.31 – Дождевальная машина «Днепр-1М» в работе**

Во время проведения опытов одновременно работали все аппараты ДД-30. Степень ввода турбинки в струю аппаратов применялась следующая: 1,25; 2,50; 3,75; 6,25; 8,75; 12,25; 17,5 мм. Опыты проводились в трехкратной повторности.

После сбора данных по водомерным бачкам, их обработки и построения карт распределения слоя осадков по площади захвата под аппаратом по длине машины, с использованием метода наложения карт дождя, определялись оптимальные схемы расста-



новки аппаратов ДД-30 при давлении на входе в ДМ 0,65 МПа. Соотношение  $H/d_c$  при этом составляет 2500-2000, т. е. при таком рабочем давлении обеспечивается качество дождя [264, 265], пригодное для большинства сельскохозяйственных культур.

Для получения равномерности орошения необходимо, чтобы отношение  $q/Q$  было в пределах  $(\frac{1}{6} - \frac{1}{9})$ , где  $q$  – отсекаемый турбинкой расход и  $Q$  – расход аппарата.

Ширина лопастей турбинки составляет 12-28 мм, т. е. несколько меньше диаметра струи и отсекает часть расхода, определяемую площадью перекрываемой лопастями. Следовательно, должно удовлетвориться условие, при котором перекрываемая часть площади по всей площади сечения сопла также должно быть в пределах  $(\frac{1}{6} - \frac{1}{9})$  или 0,11-0,17, что соответствует заглублению турбинки на 3,9-6,5 мм, т. е. практически надо заглублять турбинку на 3-5 оборотов регулировочного винта от нулевого положения.

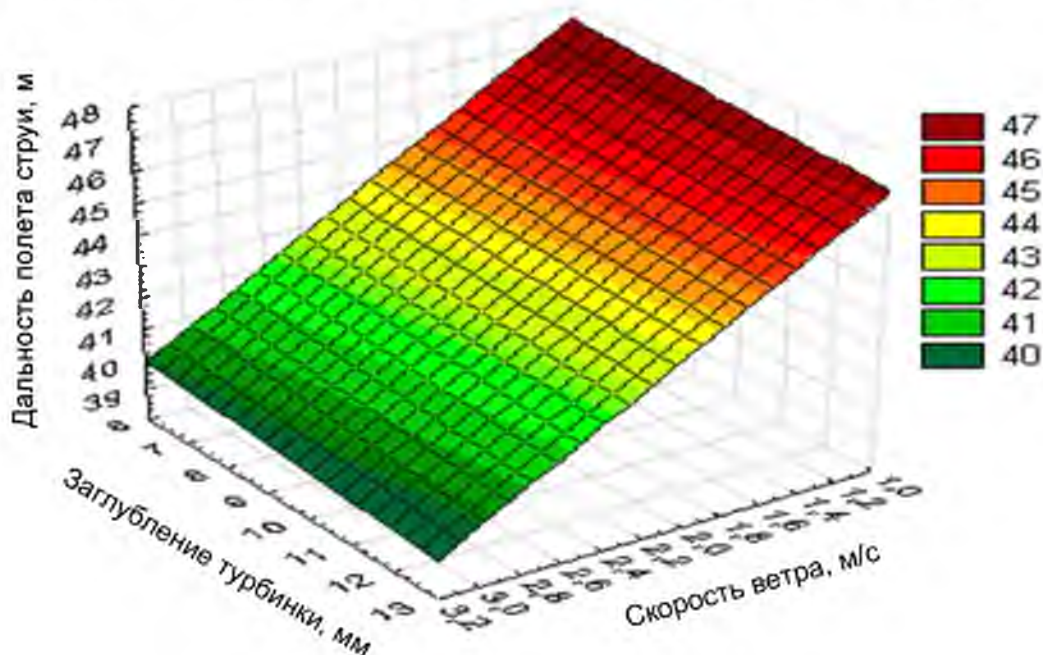
Результаты исследований по определению параметров аппарата ДД-30, ( $d_c=26$  мм,  $H = 0,55$  МПа) при различных заглублениях турбинки в струю помещены в таблице 5.7 и на графиках, где представлены зависимости дальности полета струи, коэффициента эффективного полива от степени заглубления турбинки в струю и др.

**Таблица 5.7 – Отношение  $q/Q$  от заглубления турбинки**

Заглубление турбинки, мм	Отношение основного и отсекаемого расходов
6,25	0,17
3,75	0,11
2,00	0,02

Влияние скорости ветра (в диапазоне  $1,2 \text{ м/с} \leq V \leq 3,0 \text{ м/с}$ ) на дальность полета струи у аппарата ДД-30 ( $d_c = 26$  мм) представлено на рисунке 5.32. Давление у аппарата поддерживалось на уровне 0,55 МПа.

Дальность полета струи, м =  $51,6372 - 3,4769 \cdot x - 0,097 \cdot y$



**Рисунок 5.32 – Зависимость дальности полета струи от скорости ветра и заглубления турбинки**

В этих условиях рассматриваемая зависимость может быть представлена прямой, ошибка аппроксимации составила 0,8 %. Дальность полета струи в зависимости от степени заглубления турбинки колебалась в следующих пределах:

1) при  $h = 12,5$  мм радиус действия аппарата колеблется в пределах:  $R = 46,3-38,5$  м,  $\Delta R = 7,8$  м и составляет 16,14 % от максимально возможной в данных условиях дальности полета струи;

2) при  $h = 6,25$  мм радиус действия аппарата колеблется в пределах:  $R = 49,2-41,4$  м,  $\Delta R = 7,8$  м и составляет 15,8 % от максимально возможной в данных условиях дальности полета струи.

Влияние скорости ветра (в диапазоне изменения от 1,2 до 3,0 м/с) на дальность полета струи при разных заглублениях турбинки в струю почти одинаково. При заглублении турбинки на 10,0 мм дальность полета струи у аппарата ДД-30 ( $d_c = 26$  мм;  $H = 0,55$  МПа) сокращается на 16,41 %, а при заглублении на 6,25 мм – на 15,80 % и в среднем может быть принято равным 16,0 %. Значение дальности полета струи (теоретическое) определенное по формуле Ф. И. Пикалова – 46,01 м.

В зависимости от скорости ветра сокращение радиуса действия (в соответствии с опытными данными) при ветре 1,5 м/с составляет 4 %, при  $V = 2,0$  м/с; при  $V = 2,5$  м/с и при  $V = 3$  м/с.

Анализ влияния степени заглубления турбинки в струю на радиус действия аппарата ДД-30 (при изменении ветра в диапазоне от 1,2 до 2,0 м/с) показал, что увеличение заглубления турбинки в струю с 3,75 мм до 17,50 мм приводит к уменьшению радиуса действия аппарата с 46,7 до 37,2 м, т. е. примерно на 9-10 м (таблица 5.8, рисунок 5.32,).

Уменьшение радиуса действия аппарата при увеличении заглубления турбинки в струю от 3,75 до 6,25 мм незначительно (46,7-46,1 м) и составляет всего 0,6 м, а в интервале изменения степени ввода турбинки в струю с 6,25 до 12,75 мм уменьшение радиуса действия составляет (46,1-42,4 м) уже 3,7 м.

Практически при анализе влияния степени ввода турбинки в струю на дальность полета можно как оптимальный вариант рекомендовать степень ввода турбинки в струю на 3,75-6,50 мм, что составляет 0,30-0,50 от радиуса сопла аппарата с диаметром  $d_c = 26$  мм для аппарата ДД-30.

На выбор величины заглубления турбинки в струю оказывает влияние не только дальность полета струи, но и равномерность распределения слоя осадков под аппаратом. Следует провести оценку этого положения по значению коэффициента эффективного полива.

Зависимость коэффициента эффективного полива от степени заглубления турбинки в струю для аппарата ДД-30, при рабочем давлении 0,55 МПа (диапазон изменения скорости ветра от 1,0 до 2 м/с) представлена гиперболической зависимостью.

Увеличение степени ввода турбинки в струю от 3,75 до 6,25 мм приводило к уменьшению коэффициента эффективного полива с 0,41 до 0,35, т. е. на 0,06. Это означает, что введение турбинки в струю, соответствующее одному обороту регулируемого винта, приводит к уменьшению коэффициента эффективного полива на 0,03.

В диапазоне изменения степени ввода турбинки в струю от 8,75 до 17,50 мм (соответствующее семи оборотам винта) коэффициент эффективного полива уменьшался всего на 0,03, и один оборот регулируемого винта в этом интервале изменению степени ввода турбинки в струю соответствует изменения коэффициента эффективного полива всего на 0,0042.



**Таблица 5.8 – Опытные данные по определению параметров аппарата ДД-30 ( $H = 0,55$  МПа) при различных заглублениях турбинки в струю (без учета перекрытия)**

Аппарат № 3											Аппарат № 4									
№ опы та	Скорость ветра, м/с	Заглубление т урбинки, мм	Дальность полета струи, м	Слой осадков, мм/мин		Коэффициенты				Среднее квадра- тичное отклоне- ние	Заглубление турбинки, мм	Дальность полета, м	Слой осадков, мм/мин		Коэффициенты				Среднее квадра- тичное отклоне- ние	
				сред.	макс.	К <sub>эф.</sub>	К <sub>н.</sub>	К <sub>п.</sub>	К <sub>в.</sub>				сред.	Макс.	К <sub>эф.</sub>	К <sub>н.</sub>	К <sub>п.</sub>	К <sub>в.</sub>		
1	3,0	12,5	39,9	0,39	0,71	0,23	0,67	0,09	1,05	0,20	12,50	37,0	0,45	0,70	0,22	0,72	0,06	0,90	0,19	
2	1,3	12,5	45,5	0,22	0,41	0,37	0,56	0,07	0,80	0,10	12,50	45,5	0,23	0,42	0,37	0,57	0,06	0,70	0,10	
3	1,2	12,5	46,7	0,23	0,42	0,40	0,57	0,03	0,70	0,09	12,50	46,8	0,23	0,43	0,41	0,56	0,06	0,69	0,09	
4	1,7	12,5	45,8	0,23	0,42	0,40	0,58	0,02	0,67	0,09	12,50	43,1	0,21	0,78	0,31	0,53	0,16	0,67	0,11	
5	2,1	12,5	42,9	0,25	0,45	0,40	0,52	0,08	0,68	0,11	12,50	37,0	0,42	0,78	0,30	0,63	0,07	0,92	0,21	
6	1,7	12,5	43,5	0,23	0,52	0,31	0,55	0,14	0,77	0,12	12,50	36,0	0,44	0,99	0,28	0,63	0,09	0,90	0,21	
7	2,7	6,25	42,0	0,19	0,55	0,31	0,46	0,23	0,73	0,12	8,75	43,3	0,30	0,46	0,29	0,62	0,09	0,80	0,12	
8	2,6	6,25	41,5	0,23	0,51	0,32	0,54	0,14	0,77	0,12	8,75	41,9	0,26	0,45	0,31	0,59	0,10	0,78	0,12	
9	1,3	6,25	45,8	0,18	0,39	0,45	0,44	0,11	0,58	0,08	8,75	48,8	0,16	0,36	0,38	0,46	0,16	0,66	0,08	
10	1,6	6,25	43,5	0,21	0,60	0,34	0,50	0,16	0,70	0,10	8,75	50,7	0,20	0,42	0,32	0,54	0,14	0,80	0,10	
11	1,7	6,25	46,7	0,20	0,46	0,35	0,52	0,18	0,72	0,10	8,75	46,5	0,19	0,42	0,36	0,47	0,17	0,70	0,09	
12	1,6	6,25	46,7	0,16	0,35	0,45	0,38	0,17	0,55	0,07	8,75	48,5	0,17	0,31	0,46	0,43	0,11	0,60	0,08	
Примечание – К <sub>эф.</sub> , К <sub>н.</sub> и К <sub>п.</sub> – коэффициенты эффективного полива, недополива, переполива; К <sub>в.</sub> – коэффициент вариации.																				

Оценка заглубления турбинки в струю по коэффициенту эффективного полива (наибольшее значение при  $h = 3,75$  мм) совпадает с оценкой по дальности полета струи (наибольшая при  $h = 3,75$  мм).

Увеличение скорости ветра с 1,25 до 3,0 м/с при заглублении турбинки в струю на 6,25 мм приводило к уменьшению коэффициента эффективного полива с 0,43 до 0,31, т. е. на 0,12.

Аппроксимация результатов проводилась по программе на ЭВМ.

Зависимость коэффициента недополива от степени заглубления турбинки в струю для аппарата ДД-30, при рабочем давлении 0,55 МПа и диапазоне изменения скорости ветра от 1,2 до 2,0 м/с представлена в виде логарифмической кривой. Ошибка аппроксимации составила 5,6. Направленность кривизны графиков зависимости коэффициентов эффективного полива и недополива взаимно противоположна.

Коэффициенты недополива значительно больше коэффициентов переполива, так как рассматривается площадь захвата аппаратами без учета перекрытия.

Из 24 проведенных опытов (в каждом по два варианта) наилучшим по равномерности распределения слоя осадков под аппаратом и по значению дальности полета струи является опыт 19:  $K_{эф} = 0,46$ ;  $K_n = 0,48$  и  $K_n = 0,11$ . При скорости ветра 1,6 м/с; коэффициент вариации составит 0,6, в среднем квадратичное отклонение – 0,06. Дальность полета струи составляет 49,1 м.

Данные опыта № 12:  $K_{эф} = 0,46$ ;  $K_n = 0,43$ ;  $K_n = 0,11$ . При скорости ветра 1,6 м/с коэффициент вариации составил 0,6, а среднее квадратичное отклонение – 0,08. Дальность полета струи составила 49,1 м.

График зависимости слоя осадков под аппаратом ДД-30, при рабочем давлении 0,55 МПа от степени заглубления турбинки в струю, представлен параболой (в диапазоне изменения скорости ветра от 1,2 до 2,0 м/с). Ошибка аппроксимации – 2,67.

При заглублении турбинки в струю на 6,75 мм средний слой осадков без учета перекрытия составлял 0,18 мм/мин, а при заглублении на 17,50 мм – 0,48 мм/мин., что уже превышает допустимое значение интенсивности дождя по агротехническим требованиям.

До значения среднего слоя осадков под аппаратом (0,18 мм/мин.) также можно признать оптимальным вариант с заглублением турбинки в струю на три оборота регулировочного винта, считая от нулевого положения.

Равномерность распределения слоя осадков по площади полива является одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность орошения дождеванием. Потери урожая от неравномерного полива прямо пропорциональны коэффициенту неравномерности [266, 267].

Процесс нахождения оптимальных расстояний между аппаратами можно укрупненно представить в виде двух этапов:

- математическое моделирование распределения слоя осадков при работе совокупности дождевальных аппаратов;
- Определение области допустимых расстановок, удовлетворяющих агротребованиям.

Математическое моделирование позволяет, используя минимальную информацию (результаты экспериментов над одним дождевальным аппаратом), с достаточной надежностью прогнозировать параметры распределения дождя при различных условиях работы машины, не прибегая к выпуску дорогостоящих экспериментальных натуральных образцов, что в конечном счете сокращает затраты времени и средств на создание и внедрение новой техники. Разработанные ранее математические модели служили или для обработки результатов испытаний, или обладали недостаточными возможностями для моделирования дождя. В процессе работы над алгоритмами и программами

были внесены следующие усовершенствования:

- возможность моделирования «тесных» расстановок (до  $R/2$ ), когда на элементарную площадку попадает дождь от 3-х аппаратов. Это позволяет реализовать такой путь достижения высокой равномерности, как использование «тесной» расстановки простых и, как следствие, дешевых дождевальных аппаратов;
- возможность моделирования изменения направления ветра;
- использование равнооточной прямоугольной сетки дождемеров, в отличие от применявшейся ранее радиальной сетки;
- увеличение объема исходных данных.

Таким образом, аппараты на дождевальном крыле фронтальной машины могут расставляться по одной из возможных схем (диаметр сопла насадок различный с постоянным расходом и расстоянием между ними) [268].

В нашем случае при расстановке дождевальных аппаратов по водопроводящему трубопроводу дождевальной машины «Днепр-1М» была принята схема, при которой диаметр сопла насадок дальнеструйного аппарата различный с постоянным расходом и расстоянием между ними, так как дождевальная машина не имеет малого путевого расхода, допускает работу на орошаемом массиве с определенным уклоном, а также расстояние между аппаратами обусловлено минимальными конструктивными изменениями (что связано с уменьшением затрат на переоборудование) водопроводящего пояса и непосредственно всей конструкции дождевальной машины.

Так как искусственный дождь, создаваемый аппаратами ДД-30, дифференцирован по интенсивности и структуре капель вдоль радиуса полива, то выше должна быть степень перекрытия ( $K_{\pi}$ ) дождя дождевальными аппаратами по машине.

Согласно выбранной для установки на дождевальной машине «Днепр-1М» линейной расстановки аппаратов ДД-30, рассчитываем степень перекрытия ( $K_{\pi}$ ) по зависимости (5.42):

$$K_{\pi} = \frac{D}{a} = \frac{95}{54} = 1,76,$$

где  $D$  – диаметр или ширина контура смачивания дождевальным аппаратом (принимая из вышеприведенных исследований,  $R = 47,5$  м);

$a = 54$  м – расстояние между ближайшими дождевальными аппаратами по линии трубопровода, так как конструктивно водопроводящий пояс состоит из секций по 9 м.

Значение  $K_{\pi} = 1,76$  относится к средней степени перекрытия, что удовлетворяет требованиям к расстановке дождевальных аппаратов, так как большая часть участка поля поливается двумя аппаратами.

В соответствии с методикой подбора сопел насадок, разработанной ВНИИМиТП, по всей длине захвата дождем должно идти равномерное распределение расхода [269]. Длина захвата ( $L_d$ ) определится как ширина полива концевыми насадками плюс конструктивная длина без этой части фермы, которая проходит над каналом и дорогой как полоса отчуждения. Поделив расход машины на длину захвата, получаем очень важный показатель – удельный расход поливной воды на единицу длины:

$$q_{уд} = \frac{Q}{L_d}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5.56)$$

Результаты теоретического расчета и назначения диаметров сопел дождевального аппарата ДД-30 отражены в таблице 5.9.

**Таблица 5.9 – Диаметры сопел дождевальных аппаратов ДД-30**

№ насадок	Диаметр расчетный, мм	Диаметр стандартный, мм	Отклонение расхода, %
1	21,2	22	2,71
2	22,2	22	2,59
3	23,5	26	2,36
4	24,8	26	2,15
5	26	26	1,94
6	227,3	30	1,75
7	29,15	30	1,32
8	30,7	30	1,12
Среднее отклонение по машине			1,99

Анализируя полученные данные, имеем, что среднее отклонение требуемого расхода насадок по водопроводящему поясу дождевальной машины «Днепр-1М» составляет (1,99 %), что не превышает предельного значения (10 %), и при значении контрольной суммы менее 50 %, можно говорить о целесообразности применения сопел дождевальных аппаратов с данными диаметрами.

#### **5.14 Разработка и исследования технологий работы и конструктивных решений дождевальных машин ДКФ**

На дождевальной машине ДКФ-1П применены дефлекторные насадки секторного действия трех типоразмеров. Испытания насадок проводилось на полигоне ФГБНУ с помощью лабораторной установки «РосНИИПМ» (рисунок 5.33).



**Рисунок 5.33 – Установка для исследования дождевальных насадок**

Обработка опытов произведена с получением следующих параметров:

$q_0$  – расход насадки при данном напоре по расходно-напорной характеристике, л/с;

$q_f$  – расход насадки по площади полива, л/с;

$\mu$  – коэффициент, показывающий зависимость расхода от напора;

$f$  – площадь полива, м<sup>2</sup>;

$f_{0,5p}$  – площадь, ограниченная изогией 0,5р, м<sup>2</sup>;

$r_n, r_k, r_{ш}$  – размеры контура смачивания: расстояние от насадки до начала контура смачивания, до конца и ширина контура смачивания, м;

$\rho$  – интенсивность дождя без перекрытия, мм/мин;

$\rho_{\max 5\%}$  – максимальная интенсивность для 5 % площади полива, мм/мин;

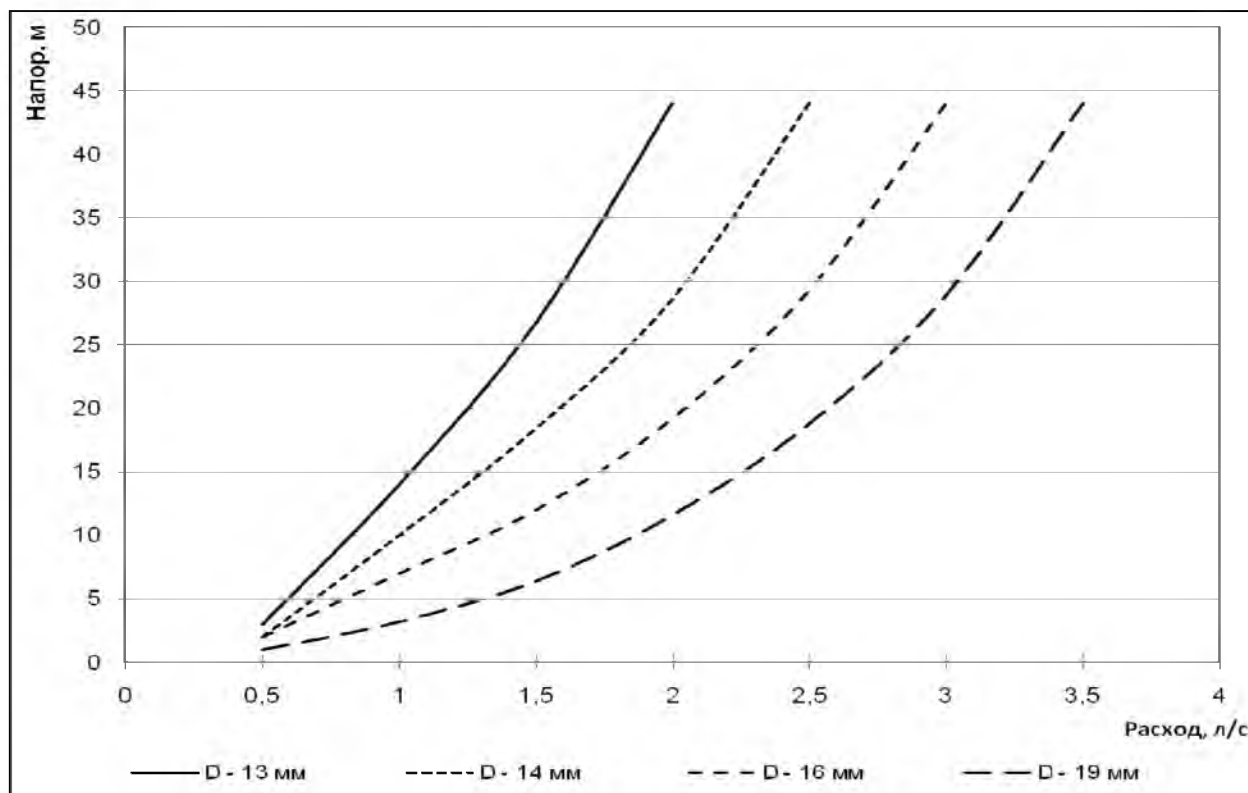
$\rho_{\max}$  – абсолютный максимум интенсивности, мм/мин;

$d_k$  – среднекубический диаметр капли, мм.

Построенная по опытным данным (таблица 5.10) графическая зависимость расхода насадки от напора представлена на рисунке 5.34.

**Таблица 5.10 – Экспериментальные данные расходно-напорных характеристик дефлекторной насадки секторного действия**

Н, МПа	$d_c = 13 \text{ мм},$ $\mu_{cp} = 0,940$	$d_c = 14 \text{ мм},$ $\mu_{cp} = 0,942$	$d_c = 16 \text{ мм},$ $\mu_{cp} = 0,945$	$d_c = 19 \text{ мм},$ $\mu_{cp} = 0,947$
	$Q, \text{ л/с}$			
0,12	1,87	2,02	2,85	3,75
0,16	2,16	2,33	3,84	4,33
0,20	2,42	2,61	3,77	4,84
0,24	2,65	2,86	3,91	5,30
0,28	2,86	3,09	4,33	5,72
0,32	3,06	3,30	5,13	6,12
0,36	3,25	3,50	5,36	6,49
0,40	3,42	3,69	5,79	6,84
0,44	3,59	3,87	6,01	7,18



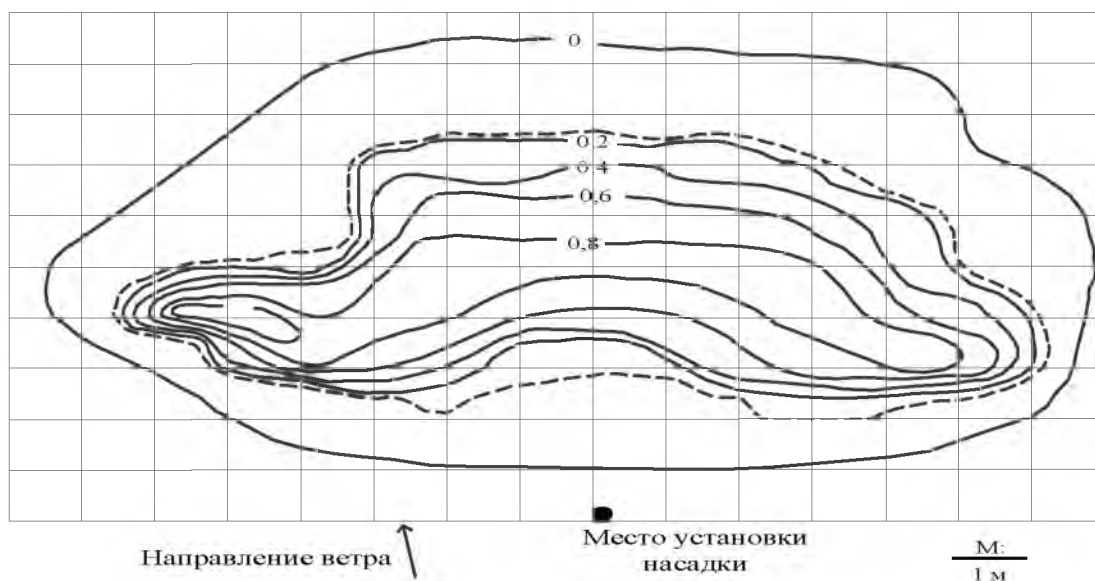
**Рисунок 5.34 – Расходно-напорная характеристика дефлекторных насадок секторного типа**

После обработки экспериментальных данных на ПЭВМ получены следующие зависимости для нахождения расходно-напорных характеристик насадок диаметром:

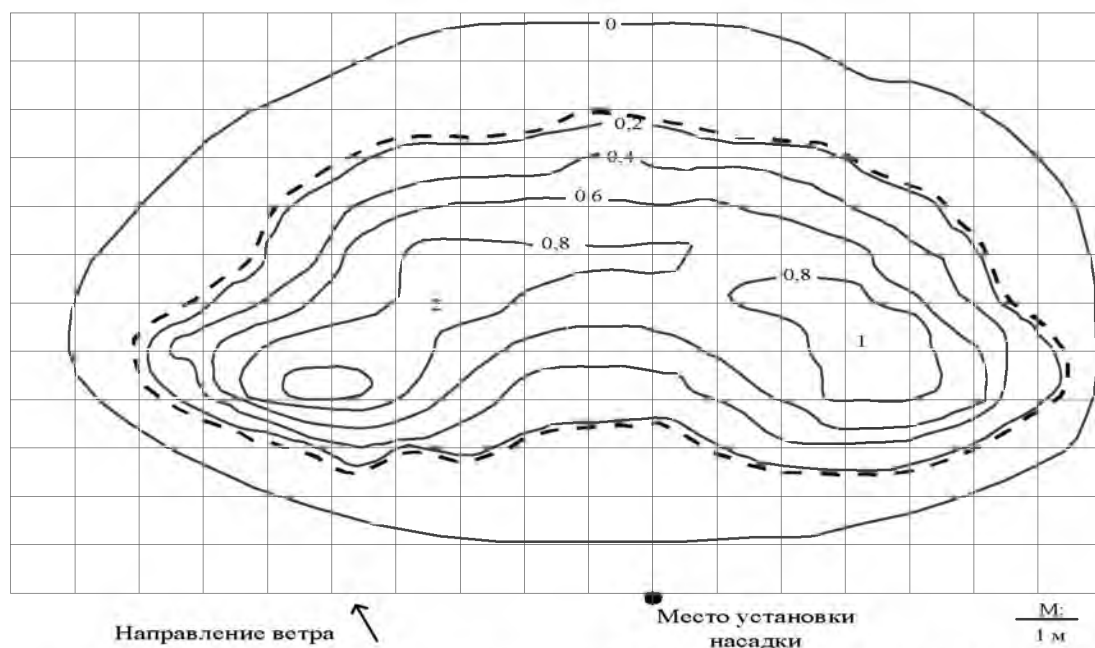
- для  $d = 13$  мм –  $h = 3 \cdot 10^6 \cdot q^2 - 9 \cdot 10^{-11} q + 2 \cdot 10^{-13}$ ;
- для  $d = 14$  мм –  $h = 3 \cdot 10^6 \cdot q^2 - 3 \cdot 10^{-10} q + 4 \cdot 10^{-13}$ ;
- для  $d = 16$  мм –  $h = 5 \cdot 10^6 \cdot q^2 - 3 \cdot 10^{-10} q + 4 \cdot 10^{-13}$ ;
- для  $d = 19$  мм –  $h = 8,5 \cdot 10^6 \cdot q^2 - 5 \cdot 10^{-11} q + 2 \cdot 10^{-13}$ .

Коэффициент расхода дает качественную оценку насадки, он зависит от конструкции и качества изготовления. Исследуемые насадки имели коэффициент расхода  $\mu_{\text{ср}} = 0,908-0,947$ .

Результаты исследования параметров, характеризующих одиночную дефлекторную насадку секторного действия с диаметром сопла 13 мм (разработана в ФГБНУ «РосНИИПМ»), представлены в таблице 5.11 и на рисунках 5.35 и 5.36.



**Рисунок 5.35 – Карта распределения дождя  $H=15$  м,  $V_B=0,8$  м/с**



**Рисунок 5.36 – Карта распределения дождя  $H=34$  м,  $V_B=1,30$  м/с**

**Таблица 5.11 - Результаты исследования дождя**

Параметры, характеризующие насадку и качество дождя							
Напор, м	Скорость ветра, м/с	Диаметр сопла, мм	$q_0$ , л/с	$q_f$ , л/с	$\mu$	$f$ , м <sup>2</sup>	$f_{0,5p}$ , м <sup>2</sup>
15	0,80	13	1,70	1,33	0,908	117,5	57,3
25	1,15	14	2,70	1,91	0,939	126,4	72,3
34	1,30	16	3,20	2,37	0,946	158,0	86,9
$r_n$ , м	$r_k$ , м	$r_{ш}$ , м	$\rho$ , мм/мин	$\rho_{\max 5\%}$ , мм/мин	$\rho_{\max}$ , мм/мин	$d_k$ , мм	
0,9	9,3	14,2	0,144	0,56	0,62	0,89	
1,0	10,4	15,4	0,281	0,84	1,07	0,61	
1,1	11,8	16	0,314	0,94	1,16	0,47	

Анализируя полученные данные показателей дождя дождевальной насадки, было установлено:

- увеличение напора перед насадкой в два раза незначительно влияет на площадь полива (площадь полива увеличивается на 34 %), и приводит к значительному увеличению интенсивности дождя на 120 %;
- диаметр капли также значительно изменяется при изменении напора, но находится в пределах агротехнически допустимого;
- качество дождя на исследуемых режимах работы данной насадки соответствует агротехническим требованиям;
- дождевальные машины, работающие в движении фронтально, целесообразно оснащать дефлекторными насадками секторного действия, применение которых обеспечивает, по сравнению со среднеструйными улучшение качества и агротехнической ценности дождя, повышение надежности их работы.

### 5.15 Эрозионно-безопасная длина бьефа при поливе ДКФ

Критерием оценки образования поверхностного стока может служить отношение скорости впитывания воды почвой к интенсивности дождя. Если интенсивность дождя ( $i$ ) будет равна скорости впитывания воды почвой ( $U$ ), то доля дождя, образующего полезный запас воды в почве, будет равна при этом величине выпавших осадков, т. е.:

$$\varphi = \frac{U}{i}. \quad (5.57)$$

В случае, когда  $\varphi > 1$ , интенсивность дождя превышает скорость впитывания воды почвой, на ее поверхности образуется слой воды, который частично впитывается почвой после прекращения дождя, а остальная его часть обращается в сток. Если принимать во внимание то положение, что сток образуется не от всех осадков, а от той их части, которая аккумулируется в слой воды, то коэффициент стока будет равен:

$$\nu_0 = \frac{C}{h - l_d}, \quad (5.58)$$

где  $\nu_0$  – коэффициент стока;

$h$  – слой дождя, мм;

$l_d$  – доля осадков, которые впитываются почвой во время полива, мм.

$$l_d = U t_d, \quad (5.59)$$

где  $U$  – скорость впитывания почвами, мм/мин;

$t_d$  – продолжительность полива, мин.

При известной величине  $v_0$  сток будет равен

$$C = v_0(h - l_d) = v_0(h - Ut_d). \quad (5.60)$$

Доля осадков, которые задерживаются на орошаемых полях, будет равна разнице между осадками и стоком. Обозначив ее через  $V_n$ , имеем:

$$V_n = h - C = h(l - v_0) + v_0 Ut_d. \quad (5.61)$$

Значение  $h(l - v_0)$  может быть названо поверхностным задержанием и показывает, какая часть воды задерживается на поверхности почвы, не образуя стока. Можно сказать, что поверхностное задержание характеризует потенциально возможный запас полезной воды, дополнительный к тому, который поступил в почву во время полива.

Со слоя поверхностного задержания идет испарение (как из чистой водной поверхности в случае, когда на поле нет растений; и как из затененной водной поверхности, когда на поле имеется густой растительный покров). Кроме того, часть воды, входящая в состав поверхностного задержания и оставшаяся на поле после испарения, поступает в почву путем инфильтрации уже после дождя, а поэтому будем ее называть последождевой инфильтрацией.

Уместно поставить вопрос, весь ли слой поверхностного задержания является полезной водой или к нему относится только последождевая инфильтрация?

Испарение некоторого объема поверхностного задержания служит как бы экраном, предотвращающим неизбежное расходование на испарение воды, содержащейся в почве. Поэтому нам представляется возможным всю величину поверхностного задержания считать полезным запасом воды на орошаемых полях.

Тем не менее, при водобалансовых расчетах величину поверхностного задержания целесообразно разделять на составляющие. Если обозначить поверхностное задержание через ( $G$ ), испарение, как его составляющую – через ( $e$ ), то после дождевая инфильтрация ( $I_n$ ) будет равна:

$$I_n = G - e = h(l - v_0) - e. \quad (5.62)$$

В формуле (5.61) выражение  $v_0 Ut_d$  показывает, сколько воды успело впитаться в почву во время полива и может быть названо дождевой инфильтрацией ( $I_d$ ).

Суммарная инфильтрация от осадков ( $I_0$ ) будет равна сумме дождевой и последождевой инфильтрации, т. е.:

$$I_0 = I_d + I_n. \quad (5.63)$$

В общем случае полезный запас воды от осадков представляет собой сумму поверхностного задержания и дождевой инфильтрации, т. е. он равен:

$$V_n = G + I_d = I_0 + e. \quad (5.64)$$

Вскрытая выше особенность перераспределения дождевой воды на орошаемых полях позволяет по-новому подойти и к оценке допустимой интенсивности искусственного дождя. Здесь и далее речь идет о действительной интенсивности дождя [270], которая является краеугольным камнем в развитии дождевания. Назначенная из условий впитывания воды почвой допустимая интенсивность искусственного дождя создает жесткие ограничения перед конструкторской мыслью на пути повышения производительности дождевальных машин [270, 271].

То представление о величине допустимой интенсивности дождя, которое полу-



чено на основе традиционного сопоставления последней величины со скоростью впитывания воды почвой, является в большинстве случаев заниженным. Происходит это прежде всего потому, что предполагается полезным запасом та величина инфильтрации воды в почву, которая происходит только во время выпадения дождя. Образование на поверхности почвы слоя воды считается недопустимым в силу того, что весь этот слой якобы полностью обращается в сток. Однако приведенные выше выкладки убеждают нас в возможности допустимую интенсивность искусственного дождя назначать из условий:

$$i_{\text{доп}} \leq \frac{V_n}{t_d} \quad (5.65)$$

где  $V_n$  – доля дождя, которая образует полезный запас воды на поле;

$t_d$  – продолжительность полива, мин.

Из формулы (5.65) видно, что интенсивность дождя может быть увеличена по сравнению с ее значением, установленным по скорости впитывания воды почвой, на величину поверхностного задержания, разделенного на продолжительность полива, т. е. на величину:

$$\frac{h(1-v_0)}{t_d} \quad (5.66)$$

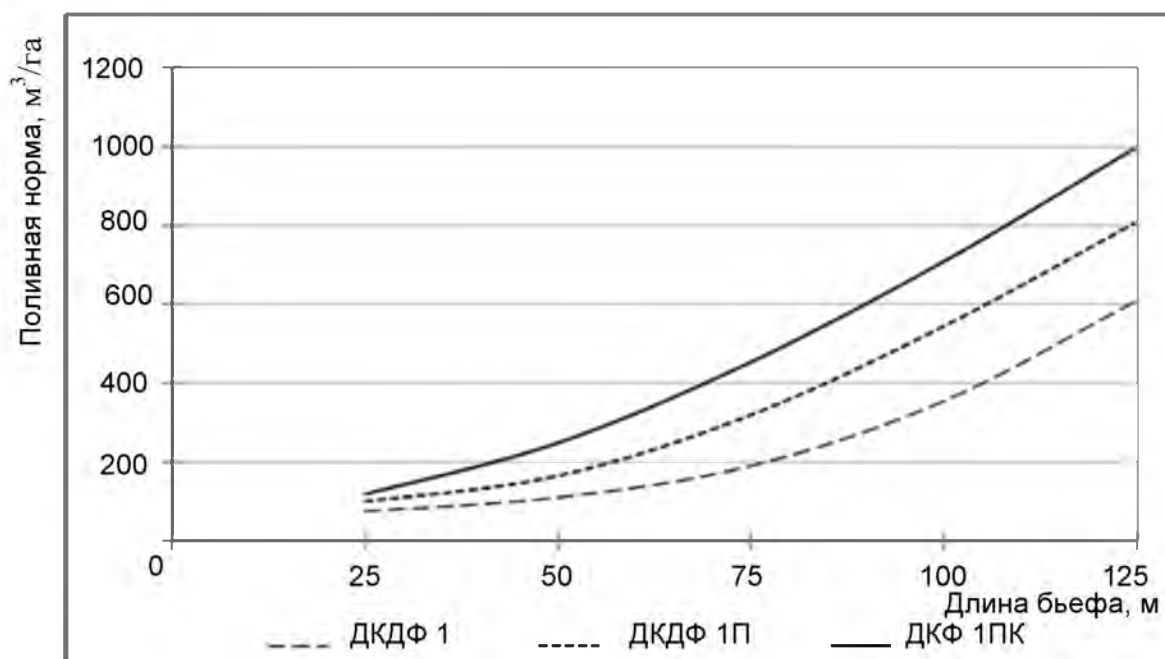
Таким образом, приведенные выше выкладки и производственные наблюдения убеждают нас в том, что образование на поверхности почвы луж нельзя считать поверхностным стоком. Кроме того, вода, содержащаяся в этих лужах, является продуктивной.

При проведении исследований времени впитывания слоя осадков после  $n$ -го прохода дождевальная машина ДКФ на различных длинах бьефов были получены опытные данные.

Для предотвращения образования поверхностного стока необходимо чтобы время, необходимое для впитывания воды после  $n$ -го прохода ДМ, было больше, чем среднее время между проходами машины. При этом после прохода машины допускается образование на поверхности почвы луж, которые должны впитаться в почву за время между проходами машины.

Анализируя полученные данные, приходим к выводу о том, что при длине бьефа 25 м среднее время между проходами – 2,5 мин достаточно для впитывания слоя воды, выданного после третьего прохода. На впитывание слоя воды после четвертого прохода машины необходимо 4,3 минуты, что больше среднего времени между проходами при длине бьефа 25 м. Поэтому при четвертом проходе происходит накопление и перемещение оросительной воды по поверхности почвы. Следовательно, при такой длине бьефа возможно сделать три прохода до образования поверхностного стока и выдать 141 м<sup>3</sup>/га. При длине бьефа 50 м среднее время впитывания между проходами составило 4,5 минуты. Это позволило сделать пять проходов до образования поверхностного стока и выдать поливную норму 235 м<sup>3</sup>/га. При поливе на бьефах длиной 75 м более и образование поверхностного стока наблюдалось после 11-го прохода.

Анализ полученных опытных данных позволяет построить кривую зависимости эрозионно-безопасной длины бьефа от поливной нормы, которая представлена на рисунке 5.37.



**Рисунок 5.37 – Зависимость эрозионно-безопасной длины бьефа для ДКФ от поливной нормы**

Аппроксимация данной кривой с помощью ПЭВМ позволила получить зависимость, которая описывает данную кривую с величиной достоверности  $R^2=0,99$ :

$$m = 70,5e^{0,0259L} \quad (5.67)$$

или

$$L = 38,35 \cdot \ln(m) - 162,81, \quad (5.68)$$

где  $m$  – поливная норма,  $\text{м}^3/\text{га}$ ,

$L$  – минимальная эрозионно-безопасная длина бьефа, м.

### **5.16 Показатели качества выполнения технологического процесса дождевальной машиной ДКФ**

При создании дождевальной техники наиболее важными элементами техники полива являются интенсивность дождя, размер капель и равномерность распределения его по орошаемому полю. Эти параметры регламентируются агротехническими требованиями к дождевальным машинам.

Полевые исследования агротехнических параметров дождевальных машин ДКФ проводились по методике, принятой в АИСТ СТО 11.1-2004 [262].

Показатели качества дождевальной машины (ширина захвата, интенсивность дождя и слой осадков) определяют с помощью дождемеров при поливе с перекрытием и без перекрытия, а диаметр капли – без перекрытия.

Интенсивность дождя ( $\rho_i$ ) в миллиметрах в минуту по каждому дождемеру вычисляют по формуле:

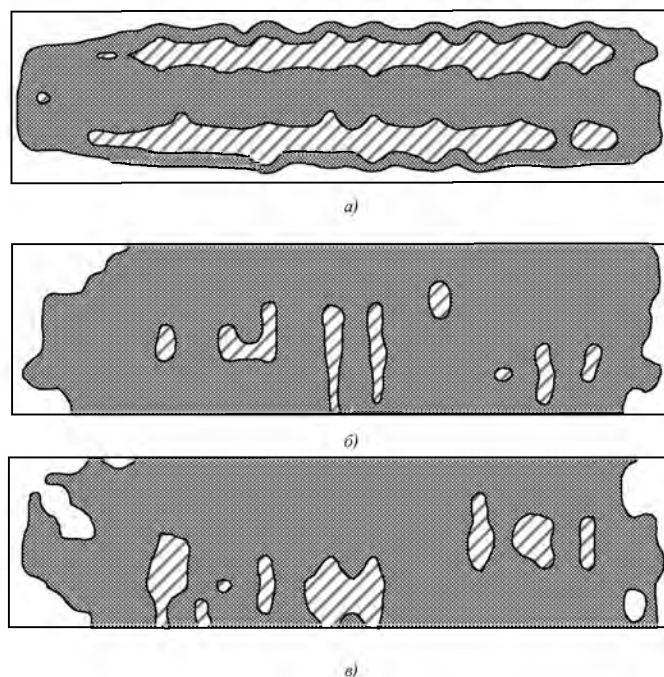
$$\rho_i = \frac{10 \cdot V_i}{F_d \cdot t_d}, \quad (5.69)$$

где  $V_i$  – объем воды в дождемере,  $\text{см}^3$ ;




$F_d$  – приемная площадь дождемера,  $\text{см}^2$ ;

$t_d$  – продолжительность заполнения дождемера, мин.

На основе полученных опытных данных были построены карты распределения дождя (рисунки 5.38 и 5.39).

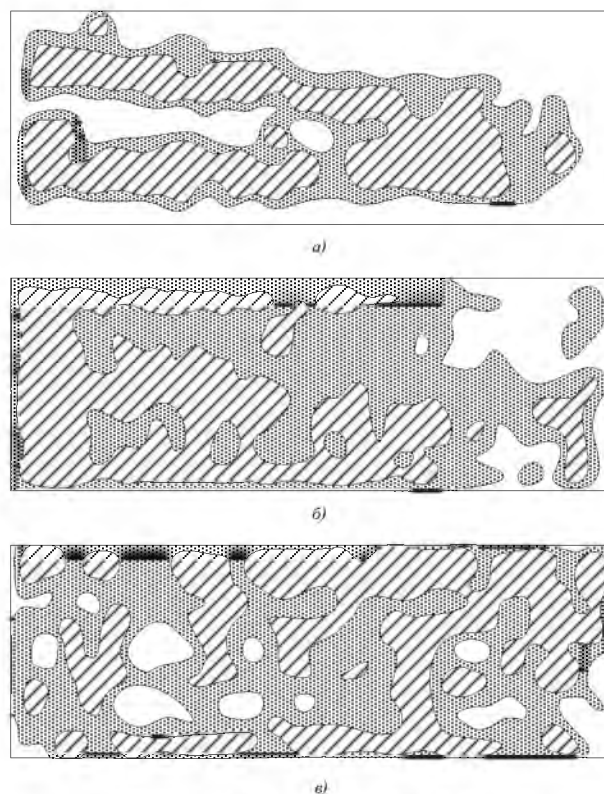





Условные обозначения:

 переполнив	 эффективный полив	 недополив
--	---	---

а) позиционная работа; б) проход вперед; в) проход назад

**Рисунок 5.38 – Карты распределения искусственного дождя дождевальная машины ДКФ**



 - недополив  - переполнив  - эффект. полив

а) позиционная работа; б) проход вперед; в) проход назад

**Рисунок 5.39 – Карты распределения искусственного дождя дождевальная машины ДДА-100МА**

Слой осадков за один проход ( $h_i$ ) в миллиметрах по каждому дождемеру вычисляют по формуле:

$$h_i = \frac{10 \cdot V_i}{F_d \cdot n} \quad (5.70)$$

где  $n$  – число проходов машины.

### 5.17 Техничко-эксплуатационные показатели дождевальной машины ДКФ

Уровень механизации полива сельскохозяйственных культур зависит от надежности конструкции дождевальной машины и рациональной организации ее работы, обеспечивающей высокий коэффициент использования рабочего времени агрегата на протяжении всего вегетационного периода.

Установление технико-эксплуатационных показателей дождевальной машины ДКФ и дождевальной машины-аналога ДДА-100МА велось как непосредственно при натурных исследованиях, так и при помощи камеральной обработки данных хронометражных наблюдений.

Определение технико-эксплуатационных показателей проводились по ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24057-88 и РД 10.11.1-89 [272-274].

Производительность ( $W_0$ ) за 1 час основного времени дождевальных машин в гектарах (без учета расхода воды на испарение и снос ветром) вычисляют по формуле:

$$W_0 = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{общ}}}{m_n} \quad (5.71)$$

где  $Q_{\text{общ}}$  – общий расход воды, измеренный водомером, дроссельным прибором или объемным способом, л/с;

$m_n$  – поливная норма (среднезональная или условная), м<sup>3</sup>/га.

Удельные затраты времени на технологические переезды ( $P_{22}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{22} = \frac{\overline{t_{22}} \cdot Q_{\text{общ}}}{1000 \cdot f_1 \cdot m_c} + \frac{10 \cdot l_m \cdot Q_{\text{общ}}}{B_1 \cdot l_r \cdot m_n \cdot v_m} \quad (5.72)$$

где  $\overline{t_{22}}$  – среднее время одного технологического переезда от гидранта к гидранту или от позиции к позиции на временном оросителе, с;

$l_m$  – среднее расстояние технологического переезда от оросителя к оросителю, м;

$f_1$  – площадь, орошаемая с одной позиции (одного гидранта), га;

$B_1$  – расстояние между оросителями, м;

$l_r$  – среднезональная нормативная длина гона, м;

$v_m$  – средняя транспортная скорость, м/с;

$m_c$  – норма полива до стока, м<sup>3</sup>/га.

Примечание: при  $m_c > m_n$  принимают  $m_c = m_n$ .

Удельные затраты времени на технологическое обслуживание ( $P_{23}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{23} = \frac{\overline{t_{23}} \cdot Q_{\text{общ}}}{1000 \cdot f_1 \cdot m_c} + \frac{10 \cdot \overline{t_{23}} \cdot Q_{\text{общ}}}{B_1 \cdot l_r \cdot m} \quad (5.73)$$

где  $\overline{t_{23}}$  – среднее время одного технологического обслуживания, связанного с технологическим переездом, с.

Удельные затраты времени на плановое техническое обслуживание ( $P_{31}$ ) вычис-

ляют по формуле:

$$P_{31} = \frac{T_{31}}{T_1'}, \quad (5.74)$$

где  $T_{31}$  – продолжительность планового технического обслуживания всех видов, ч;

$T_1'$  – наработка за период испытаний, ч.

Удельные затраты времени на подготовку к работе ( $P_{32}$ ) вычисляют по формуле

$$P_{32} = \frac{\overline{t_{32}} \cdot Q_{\text{общ}}}{1000 \cdot S_n \cdot m_n} + \frac{\overline{t_{32}} \cdot Q_{\text{общ}}}{1000 \cdot F_{\text{оп}} \cdot m_n}, \quad (5.75)$$

где  $\overline{t_{32}}$  – среднее время подготовки к транспортному переезду и к работе после транспортного переезда, с;

$S_n$  – среднезональный нормативный размер поля, га;

$F_{\text{оп}}$  – проектная обслуживаемая площадь орошения, га.

Удельные затраты времени на проведение наладок и регулировок ( $P_{33}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{33} = \frac{T_{33}}{T_1''}, \quad (5.76)$$

где  $T_{33}$  – общее время наладок и регулировок, ч;

$T_1''$  – время основной работы, в течение которого определено  $T_{33}$ , ч.

Удельные затраты времени на устранение технологических отказов ( $P_{41}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{41} = \frac{T_{41}}{T_1'}, \quad (5.77)$$

где  $T_{41}$  – общее время устранения технологических отказов за период испытаний, ч.

Коэффициент надежности технологического процесса ( $K_{41}$ ) вычисляют по формуле:

$$K_{41} = (1 + P_{41})^{-1}. \quad (5.78)$$

Удельные затраты времени на устранение технологических неисправностей ( $P_{42}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{42} = \frac{1 - K_r}{K_r}, \quad (5.79)$$

где  $K_r$  – коэффициент готовности.

Удельные затраты времени на транспортные переезды ( $P_6$ ) вычисляют по формуле:

$$P_6 = \frac{\overline{t_6} \cdot Q_{\text{общ}}}{1000 \cdot F_{\text{оп}} \cdot m_n} + \frac{l_n \cdot Q_{\text{общ}}}{1000 \cdot S_n \cdot m_n \cdot v_m}, \quad (5.80)$$

где  $\overline{t_6}$  – время переезда на исходную позицию (к исходному гидранту), с;

$l_n$  – среднезональное нормативное расстояние переезда с поля на поле, м.

Удельные затраты времени на ежесменное техническое обслуживание энергосредства ( $P_{71}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{71} = \frac{T_{71}}{T_1'''}, \quad (5.81)$$

где  $T_{71}$  – норматив времени на ежесменное техническое обслуживание энергосредства, ч;

$T_1^{III}$  – периодичность ежесменного технического обслуживания энергосредства, ч (принимается равным 10 ч согласно ГОСТ 20793-81).

Удельные затраты сменного времени ( $P_{см}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{см} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{41} + P_6 + P_{71}, \quad (5.82)$$

где  $P_1$  – удельные затраты основного времени ( $P_1=1$ );

$$\begin{aligned} P_2 &= P_{22} + P_{23}; \\ P_3 &= P_{31} + P_{32} + P_{33}. \end{aligned} \quad (5.83)$$

Коэффициент использования сменного времени ( $K_{см}$ ) вычисляют по формуле:

$$K_{см} = P_{см}^{-1}. \quad (5.84)$$

Производительность за 1 час сменного времени ( $W_{см}$ ) в гектарах за 1 час вычисляют по формуле:

$$W_{см} = W_0 \cdot K_{см}. \quad (5.85)$$

Удельные затраты эксплуатационного времени ( $P_{эк}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{эк} = P_{см} \cdot P_{42}. \quad (5.86)$$

Коэффициент использования эксплуатационного времени ( $K_{эк}$ ) вычисляют по формуле:

$$K_{эк} = P_{эк}^{-1}. \quad (5.87)$$

Производительность за 1 час эксплуатационного времени ( $W_{эк}$ ) в гектарах за 1 час вычисляют по формуле:

$$W_{эк} = W_0 \cdot K_{эк}. \quad (5.88)$$

Производительность за час основного времени больше у ДКФ, чем у ДДА-100МА, что достигается большим расходом.

Коэффициент надежности технологического процесса больше у ДКФ вследствие меньшего количества отказов и меньшего времени на их устранение.

За счет меньшего количества отказов и уменьшения времени на подготовку дождевальной машины к работе и переездам, коэффициенты использования сменного времени и использования эксплуатационного времени выше у исследуемой дождевальной машины.

Анализируя полученные данные показателей дождя дефлекторной насадки секторного действия конструкции ФГБНУ «РосНИИПМ», можно сделать следующие выводы:

- увеличение напора перед насадкой в два раза незначительно влияет на площадь полива (площадь полива увеличивается на 34 %) и приводит к значительному увеличению интенсивности дождя (на 120 %);

- диаметр капли также значительно изменяется при изменении напора, но находится в пределах агротехнически допустимого;

- качество дождя на исследуемых режимах работы данной насадки соответствует агротехническим требованиям;

- при увеличении напора коэффициент расхода исследуемых насадок увеличивается и составляет от 0,908 до 0,947;

- дождевальные машины, работающие в движении фронтально, целесообразно оснащать дефлекторными насадками секторного действия, применение которых обеспечивает по сравнению со среднеструйными улучшение качества и агротехнической ценности дождя и повышение надежности их работы.

Полевыми исследованиями установлено, что величина эрозионно-безопасной длины бьефа зависит от поливной нормы. На основании анализа полевых исследова-

ний получена зависимость эрозионно-безопасной длины бьефа при поливе ДКФ от поливной нормы.

Анализ полученных показателей качества выполнения технологического процесса показал следующее:

- расход воды по дождемерам дождевальной машиной ДКФ больше, чем ДДА-100МА на 8,6 %, что достигнуто подбором оптимальных диаметров секций консоли ДКФ;

- за счет использования дефлекторной насадки секторного действия конструкции ФГБНУ «РосНИИПМ» средний диаметр капель на 32,6 % меньше у ДКФ;

- за счет более рациональной расстановки дождевальных насадок по длине поливного крыла коэффициент эффективного полива на 16,2 % выше у ДКФ;

- ширина захвата разработанной машины составляет 125 м, что свидетельствует о применимости ДКФ-1П на поливной сети под ДДА-100МА.

Анализ производственных исследований технико-эксплуатационных показателей позволяет констатировать: производительность за час основного времени больше у ДКФ, чем у ДДА-100МА, что достигается большим расходом; коэффициент надежности технологического процесса выше у ДКФ вследствие меньшего количества отказов и меньшего времени на их устранение; за счет уменьшения количества отказов и уменьшения времени на подготовку дождевальной машины к работе и переездам коэффициенты использования сменного времени и эксплуатационного времени выше у разработанной дождевальной машины.

#### 5.18 Технико-экономическая оценка использования дождевальной машины на примере Днепр-1М

Определение эксплуатационно-технологических показателей проводилось по ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24057-88 и ОСТ 10.11.1-2000 [272, 273]

Эксплуатационно-технологические показатели рассчитаны по формулам (5.71)-(5.88) и представлены в таблице 5.12.

**Таблица 5.12 – Расчетные величины показателей дождевальных машин**

Показатель	Значение показателя	
	«Днепр» (базовый вариант)	«Днепр-1М» (новый вариант)
Расход, л/с	106	112
Производительность за 1 ч, га при $m_n = 600 \text{ м}^3/\text{га}$ :		
- основного времени	0,642	0,672
- сменного времени	0,526	0,571
- эксплуатационного времени	0,518	0,565
Эксплуатационно-технологические коэффициенты:		
- технологического обслуживания	0,89	0,93
- надежности технологического процесса	0,961	0,989
- использования сменного времени	0,821	0,853
- использования эксплуатационного времени	0,807	0,841

Анализ полученных данных позволил установить:

- производительность за час основного времени больше у «Днепр-1М», чем у «Днепр», что достигается большим расходом, определенным по натурным исследованиям;

- коэффициент надежности технологического процесса больше у «Днепр-1М» вследствие меньшего количества отказов (в частности, отказов дождевальных аппара-

тов) и меньшего времени на их устранение;

- за счет меньшего количества отказов и уменьшения времени на подготовку дождевальная машины к работе, а также за счет повышенной производительности «Днепр-1М» в сравнении с «Днепр» коэффициенты использования сменного и эксплуатационного времени выше у исследуемой дождевальной машины.

С учетом новых принципов хозяйствования в условиях рыночных отношений определение экономической эффективности технологии и сельскохозяйственной техники значительно усложняется. В предлагаемом расчете использовались как отдельные положения ранее действовавших методик и стандартов, так и современные рекомендации по определению экономической эффективности.

В качестве базового объекта экономической оценки была принята серийная дождевальная машина «Днепр», снабженная серийными дождевальными аппаратами и работающая в режимах, предусмотренных технической характеристикой. За новый вариант была принята исследуемая модифицированная дождевальная машина «Днепр-1М» с установленными дождевальными аппаратами ДД-30.

Расчет показателей экономической эффективности по новому и базовому варианту и выявление наиболее эффективного варианта по выбранным показателям ведем в следующей последовательности:

1 Определяем экономию металлозатрат новой дождевальной машины относительно базового варианта:

$$\Delta M = \frac{M_6 - M_n}{M_6} \cdot 100\% = \frac{13100 - 10940,89}{13100} \cdot 100\% = 16,5\%, \quad (5.89)$$

где  $M_6$  – масса базовой дождевальной машины «Днепр», кг;

$M_n$  – масса новой дождевальной машины «Днепр-1М», которую определяемая по формуле:

$$M_n = M_6 - \sum M_{иск}^{эл} + \sum M_{ап}^{сб} = 13100 - 2320,71 + 161,6 = 10940,89, \quad (5.90)$$

где  $\sum M_{иск}^{эл}$  – масса элементов исключенных из конструкции базового варианта (открылки в сборе, тележка в сборе, часть водопроводящего трубопровода с тросовыми растяжками и др.), кг;

$\sum M_{ап}^{сб}$  – масса устанавливаемых аппаратов (ДД-30) с устройствами подсоединения к водопроводящему трубопроводу, кг.

В результате расчетов имеем снижение металлоемкости новой дождевальной машины «Днепр-1М» в сравнении с базовым вариантом на 16,5 % или 2159 кг.

2 Находим балансовую стоимость новой дождевальной машины из расчета исключения неиспользуемых в модернизации конструктивных элементов:

$$B_n = (C_6 - \sum C_{иск}^{эл} + \sum C_{ап}^{сб}) \cdot e = (3010 - 390,80 + 37,52) \cdot 1,0 = 3188,06 \text{ тыс. руб.}, \quad (5.91)$$

где  $C_6$  – цена базовой машины, тыс. руб.;

$\sum C_{иск}^{эл}$  – цена исключенных конструктивных элементов, тыс. руб.;

$\sum C_{ап}^{сб}$  – цена устанавливаемых аппаратов (ДД-30) с устройствами подсоединения, тыс. руб.;

$e$  – коэффициент, учитывающий средние затраты на транспортировку и монтаж, а также на содержание сбытовых и снабженческих организаций.

3 Используя полученные технико-эксплуатационные характеристики базовой и новой дождевальной машины, определяем капитальные вложения ( $K$ ) на единицу работы:



$$K_6 = \frac{B_6}{W_{ЭК}^6 \cdot T_3} = \frac{3612000}{0,518 \cdot 1371} = 5086,05, \text{ руб./га}, \quad (5.92)$$

где  $\Pi_6 = \Pi_6 \cdot e = 3100 \cdot 1,2 = 3612$ , тыс. руб. – балансовая стоимость стандартной (базовой) ДМ «Днепр»;

$T_3 = 1371$  ч – норматив сезонной загрузки, принят для ДМ «Днепр» в соответствии с нормативами для Северо-Кавказского экономического района:

$$K_n = \frac{B_n}{W_{ЭК}^n \cdot T_3} = \frac{3188060}{0,565 \cdot 1371} = 4115,67, \text{ руб./га}. \quad (5.93)$$

4 Определяем прямые эксплуатационные затраты на единицу наработки (И) в рублях:

$$И = 3 + P + A + \Phi, \quad (5.94)$$

где  $3 = 11,9$  руб./га – затраты на оплату труда обслуживающего персонала, руб./ед. наработки;

$P$  – затраты на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт, руб./ед. наработки, для многоопорных дождевальных машин равно 28,5 %:

$$P_6 = \frac{0,285 B_6}{B_{зон}^6} = \frac{0,285 \cdot 3612000}{0,642 \cdot 1371} = 1169,55, \text{ руб./га}, \quad (5.95)$$

где  $B_{зон}^6 = W_0 \cdot T_3$  – зональная годовая наработка, ч;

$$P_n = \frac{0,285 B_n}{B_{зон}^n} = \frac{0,285 \cdot 3188060}{0,642 \cdot 1371} = 982,80, \text{ руб./га}, \quad (5.96)$$

$A$  – затраты на реновацию, руб./ед. наработки (при  $d = 14,2$  % для многоопорных машин:

$$A_6 = \frac{d \cdot B_6}{B_{зон}^6} = \frac{0,142 \cdot 3612000}{0,642 \cdot 1371} = 582,72 \text{ руб./га}, \quad (5.97)$$

$$A_n = \frac{d \cdot B_n}{B_{зон}^n} = \frac{0,142 \cdot 3188060}{0,672 \cdot 1371} = 491,37 \text{ руб./га}. \quad (5.98)$$

В результате расчетов имеем:

$$И_6 = (11,9 + 582,72 + 1169,55) \cdot 1,05 = 1852,38 \text{ руб./га}, \quad (5.99)$$

$$И_n = (11,9 + 491,37 + 982,80) \cdot 1,05 = 1560,37 \text{ руб./га}. \quad (5.100)$$

Тогда степень снижения эксплуатационных издержек равна:

$$C_{И} = \frac{И_6 - И_n}{И_6} \cdot 100\% = \frac{1852,38 - 1560,37}{1852,38} \cdot 100\% = 15,76\%.$$

5 Находим минимум приведенных затрат как показатель сравнительной эффективности вариантов внедрения. Он представляет собой сумму текущих (прямые эксплуатационные затраты) и единовременных (капитальные вложения) затрат:

$$\Pi = И + K \cdot E, \quad (5.101)$$

где  $И$  – прямые эксплуатационные затраты на единицу наработки, руб./ед. наработки;

$E = 0,11$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$K$  – капитальные вложения на единицу наработки, руб./ед. наработки.

$$\Pi_6 = И_6 + K_6 \cdot E = 1852,38 + 5086,05 \cdot 0,11 = 2411,85 \text{ руб./га}, \quad (5.102)$$

$$\Pi_n = И_n + K_n \cdot E = 1560,37 + 4115,67 \cdot 0,11 = 2013,09 \text{ руб./га}. \quad (5.103)$$

Тогда снижение приведенных затрат новой в сравнении с базовой дождевальной машиной составит 16,53 %.

6 Определим годовую экономию прямых эксплуатационных затрат новой (модернизированной) дождевальной машиной «Днепр-1М» в сравнении с базовой «Днепр»:

$$\Theta_{\text{н}} = (I_{\text{б}} - I_{\text{н}}) \cdot B_{\text{зон}}^{\text{н}} = (1852,38 - 1560,37) \cdot 921,31 = 269,03 \text{ тыс. руб.}, \quad (5.104)$$

где  $I_{\text{б}}$  и  $I_{\text{н}}$  – общие прямые эксплуатационные затраты соответственно по базовой и новой машинам, руб.;

$B_{\text{зон}}^{\text{н}}$  – зональная годовая наработка новой машины.

7 Определяем годовой приведенный экономический эффект от эксплуатации новой (модернизированной) дождевальнй машины «Днепр-1М», который составил:

$$\Theta_{\text{г}} = B_{\text{зон}}^{\text{н}} \cdot (P_{\text{б}} - P_{\text{н}}) = 921,31 \cdot (2411,85 - 2013,09) = 367,38 \text{ тыс. руб.}, \quad (5.105)$$

где  $P_{\text{б}}$  и  $P_{\text{н}}$  – приведенные затраты на единицу наработки по базовой и новой машинам соответственно, руб./ед. наработки.

### 5.19 Оценка экономической эффективности внедрения ДКФ-1ПК

После внедрения в орошаемых хозяйствах разработанных рекомендаций по совершенствованию технического обслуживания агрегата ДКФ-1ПК, включающих профилактическую замену изнашивающихся деталей, общее время простоев агрегатов в среднем уменьшается на 3-7 %, а значение коэффициентов использования рабочего времени увеличивается на 5-9 % (таблицы 5.13, 5.14). При этом в результате значительного снижения общего числа аварийных отказов уменьшился на 25-30 % объем непроизводительных сбросов оросительной воды.

**Таблица 5.13 – Распределение рабочего времени агрегата ДКФ 1ПК на поливе овощей**

№ агрегата	Элементы затрат времени по данным хронометра						Коэффициент использования рабочего времени
	Вал. время за период наблюдений		Время чистой работы		Общее время простоев		
	ч	%	ч	%	ч	%	
Базовый вариант							
1	864	100	683	79,0	181	21,0	0,790
2	848	100	687	81,0	161	19,0	0,810
3	863	100	684	79,3	179	20,7	0,793
4	857	100	672	78,4	185	21,6	0,784
5	868	100	684	78,8	184	21,2	0,788
Внедряемый вариант							
1	860	100	706	82,1	154	17,9	0,821
2	860	100	712	82,8	148	17,2	0,828
3	872	100	720	82,6	152	17,4	0,826
4	840	100	692	82,4	148	17,6	0,824
5	835	100	694	83,1	141	16,9	0,831

**Таблица 5.14 – Распределение рабочего времени агрегата ДКФ 1ПК на поливе люцерны в ЗАО «Мир»**

№ агрегата	Элементы затрат времени по данным хронометра						Коэффициент использования рабочего времени
	Валовое время за период наблюдения		Время чистой работы		Общее время простоев агрегата		
	ч	%	ч	%	ч	%	
1	2	3	4	5	6	7	8
Базовый вариант							
1	676	100	515	76,2	161	23,8	0,762
2	670	100	505	75,3	165	24,7	0,753
3	682	100	519	76,1	163	23,9	0,761

Продолжение таблицы 5.14

1	2	3	4	5	6	7	8
Внедряемый вариант							
1	583	100	484	83,1	99	16,9	0,831
2	567	100	475	83,7	92	16,3	0,837
3	569	100	457	80,3	112	19,7	0,803

В таблицах 5.13, 5.14 за базовый вариант принята существующая система технического обслуживания агрегата без проведения профилактической замены деталей до возникновения отказов в результате износа.

Для расчета экономической эффективности от внедрения рекомендаций использовались данные по орошаемым хозяйствам, приведенные в таблице 5.15.

**Таблица 5.15 – Исходные данные для расчета экономической эффективности**

Показатели	Принятые обозначения	Единица измерения	Базовый вариант	Внедряемый вариант
ООО «Агросфера»				
1 Количество агрегатов	$n$	шт.	5	5
2 Количество поливов	$x$	-	6	6
3 Поливная норма	$N_n$	м <sup>3</sup> /га	500	500
4 Среднее время работы агрегата на выполнение 1 полива овощей (сезонная нагрузка 80 га)	$t$	ч	113,68	109,07
5 Объем непроизводительных сбросов оросительной воды	$V$	$\frac{м^3}{\%}$	$\frac{5640}{100}$	$\frac{4150}{74}$
6 Коэффициент использования рабочего времени агрегата	$K_{т.и}$	усл. ед.	0,793	0,826
ЗАО «Мир»				
1 Количество агрегатов	$n$	шт.	3	3
2 Количество поливов	$x$	-	4	4
3 Поливная норма	$N_n$	м <sup>3</sup> /га	500	500
4 Среднее время работы агрегата на выполнение 1 полива люцерны на сено (сезонная нагрузка 90 га)	$t$	ч	128,21	118,11
5 Объем непроизводительных сбросов воды	$V$	$\frac{м^3}{\%}$	$\frac{3456}{100}$	$\frac{2524}{73,03}$
6 Коэффициент использования рабочего времени агрегата	$K_{т.и}$	усл. ед.	0,759	0,824

Определяем основные показатели при эксплуатации агрегата в ООО «Агросфера»:

1 Производительность работы агрегата ДКФ-1ПК:

- по базовому варианту:

$$П_{а\phi} = \frac{A_{\phi}}{t_{\phi}} = \frac{80}{113,68} = 0,704 \text{ га/ч}; \quad (5.106)$$

- по внедряемому:

$$П_{ар} = \frac{A_{в}}{t_{в}} = \frac{80}{109,07} = 0,733 \text{ га/ч}. \quad (5.107)$$

2 Площадь, которую может обслужить агрегат по внедряемому варианту, составляет:

$$A = \Pi_{ав} \cdot t_6 = 0,733 \cdot 113,68 = 83,33 \text{ га.} \quad (5.108)$$

3 Общая площадь в гектарополивах для 5 агрегатов:

- по базовому варианту:

$$A_{общ.б} = A_6 \cdot n \cdot x = 80 \cdot 5 \cdot 6 = 2400 \text{ га-пол.}; \quad (5.109)$$

- по внедряемому варианту:

$$A_{общ.в} = A \cdot n \cdot x = 83,33 \cdot 5 \cdot 6 = 2500 \text{ га-пол.} \quad (5.110)$$

4 Дополнительная площадь в гектарополивах, которую могут обслужить 5 агрегатов по внедряемому варианту, составляет:

$$A_{доп} = A_{общ.б} - A_{общ.в} = 2500 - 2400 = 100 \text{ га-пол.} \quad (5.111)$$

Например, при возделывании картофеля (проведении 4 поливов) дополнительная площадь составляет  $A_{доп} = \frac{100}{4} = 25 \text{ га.}$

Таким образом, проведение профилактической замены изнашивающихся деталей позволяет увеличить сезонную нагрузку агрегата, так как уменьшает время непроизводительных простоев поливной техники. В результате появляется возможность полива дополнительной площади.

Проведя 4 полива картофеля, возделываемого в хозяйстве на 20 ранее не орошаемых гектарах, урожайность увеличилась на 51,2 ц/га, т. е. в 1,7 раза.

Аналогичный расчет для агрегатов, эксплуатирующихся в ОПХ «Лиманское» на поливе люцерны, показал, что значение дополнительной площади, которую могут обслуживать три поливных агрегата, составляет 23 га. Фактически в хозяйстве было проведено 4 полива дополнительной площади в 15 га. Урожайность люцерны на сено увеличилась на 15 ц/га, т. е. в 1,5 раза по сравнению с вариантом без орошения.

Расчет годового экономического эффекта определялся по формуле:

$$\Xi = [(Ц_2 - З_2) - (Ц_1 - З_1)] A_2, \quad (5.112)$$

где  $\Xi$  – годовой экономический эффект, руб.;

$Ц_2$  – стоимость валовой продукции нового варианта, руб./га;

$З_2$  – затраты на производство продукции нового варианта, руб./га;

$Ц_1$  – стоимость валовой продукции базового варианта, руб./га;

$З_1$  – затраты на производство продукции базового варианта, руб./га;

$A_2$  – объем внедрения, га.

Результаты определения годового экономического эффекта приведены в таблице 5.16.

**Таблица 5.16 – Значения годового экономического эффекта от внедрения профилактической замены изнашивающихся деталей агрегата ДКФ 1ПК**

Наименование хозяйства, (возделываемой культуры)	Дополнительная площадь, га	Годовой экономический эффект, руб.	
		общий	на 1 агрегат
ООО «Агросфера»	Картофель, 20	230660	46132
ЗАО «Мир»	Люцерна на сено, 15	10742	3580,5

## 5.20 Методика и результаты прогнозирования рынка поливной техники

Специфика современной ситуации в российском сельском хозяйстве определяется переходом от плановой, регулируемой экономики к рыночным отношениям. Одним из центральных звеньев в цепи реформ является формирование в России рынка сельскохозяйственной техники, в том числе дождевальной, со всеми вытекающими отсюда по-

следствиями для производства и потребителей. В настоящее время в результате реформ и мирового кризиса в функционировании рынка дождевальной техники наблюдается прогрессирующий спад как производства, так и потребления данного вида техники.

Рассмотрение конкретных проблем, связанных со сложившимся положением на рынке дождевальной техники, необходимо начать с выделения основных понятий.

Каждая единица поливной техники перед непосредственным включением в процесс сельскохозяйственного производства преследует, по крайней мере, три основные цели: во-первых, через реализационную стоимость удовлетворяются потребности жизнеобеспечения как предприятия, создавшего ее, так и продавцов-посредников; во-вторых, в процессе проектирования и производства организации и предприятия реализуют свою потребность соединения профессиональной активности своих сотрудников с существующими средствами и материальными ценностями; в третьих, реализуются технические возможности и имеющиеся параметры дождевальных машин, которые побуждают сельскохозяйственных производителей приобретать именно эту технику.

Технические возможности и параметры являются лишь одной из предпосылок для включения данной поливной техники в процесс сельскохозяйственного производства. Существуют также и другие предпосылки и условия вовлечения дождевальных машин в процесс производства. Это, например, потребность в данной технике, т. е. в условиях рынка, наличие определенного спроса на сельскохозяйственную продукцию, производимую с помощью поливной техники, сочетание розничной цены и возможностей сельхозпроизводителя и, наконец, существование соответствующих социально-экономических механизмов и институтов, обеспечивающих необходимое соединение поливной техники с сельхозпроизводителями (кредитная политика, гарантированное техническое обслуживание и т. д.).

Прогнозирование рынка ДМ, по нашему мнению, должно начинаться и заканчиваться анализом спроса и предложения. Что касается спроса, существующего на рынке ДМ, то здесь представлены сельскохозяйственные предприятия различной формы собственности. Данные предприятия самостоятельно принимают решение о приобретении той или иной техники в зависимости от того состояния, в котором находится экономика данного предприятия.

Что касается предложения поливной техники, то здесь представлены, как правило, промышленные предприятия, выпускающие в настоящее время ДМ. Следует также иметь в виду и предприятия, выпускавшие ранее или предполагающие выпуск той или иной техники, так как они могут в любой момент предложить рынку свою продукцию. Промышленные предприятия также принимают самостоятельное решение, какой тип ДМ выпускать и в каком количестве.

В связи с вышесказанным необходимо постоянно помнить, что основные результаты функционирования рынка ДМ связаны со следующими факторами:

- условиями предложения ДМ (стоимость, условия поставки, технический уровень, сервисное обслуживание);
- уровнем потребности (востребованность в сельскохозяйственной продукции, экономический уровень сельскохозяйственного предприятия, предложения ДМ на рынке).

Анализируя и тот и другой факторы, нужно провести различие между отдельными видами дождевальной техники (широкозахватного, кругового и фронтального действия и т. д.).

В данной главе предложены основные положения и дана информация о построении простейшей модели рынка дождевальной техники, которая дает возможность заглянуть в механизм работы рынка дождевальной техники, что может быть весьма полезным для его прогнозирования развития поколений ОС на примере одного из важнейших их элементов.

Подводя итоги данной главы, можно сказать, что практическая реализация более высокого технического уровня оросительных систем предполагает модернизацию всех технических элементов мелиоративной системы, т. е. их приведение в соответствие с новыми требованиями и нормами, техническими условиями, показателями качества. Оно включает оснащение оросительных систем современной поливной техникой, средствами водоучета, автоматизации и телемеханизации, осушительных систем – техническими устройствами для регулирования водного режима в соответствии с потребностями сельскохозяйственных культур, а также обеспечение возможности применения ресурсосберегающих технологий. При реконструкции АСУ I очереди ЛЕОС до уровня пятого поколения предполагается изменение конструктивных решений с учетом новейших достижений науки и техники. Новое строительство должно обеспечивать возможность применения наукоемких и инновационных технологий в строительстве, эксплуатации и функционировании мелиоративных систем. Технические решения должны обеспечить реализацию комплекса агротехнических, организационных и экономических мероприятий по внедрению адаптивно-ландшафтной системы земледелия и современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур на орошении.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исторический процесс развития оросительных систем в нашей стране и за рубежом на данном этапе изучения позволил выделить некоторые предварительные характеристики поколений, к обоснованию которых необходима разработка комплексного инструментария критериальных оценок процесса развития. Специфика оросительных систем как объектов управления требует анализа их особенностей с тем, чтобы определить оптимальные точки воздействий, при которых максимально возможные значения всех выделенных критериев оросительных систем достигалось бы при минимальных затратах.

Следует отметить, что по каждому из функциональных элементов оросительных систем накоплен большой опыт исследований, проектирования, строительства и эксплуатации, известны достоинства и недостатки используемых конструкций, но примеров рассмотрения системы в целом очень мало. В недалеком прошлом это было связано с трудноразрешимыми проблемами теоретического и чисто технического плана – отсутствие нужного программного обеспечения и достаточной мощности ЭВМ. Каждое узкоспециализированное проектное подразделение выбирало наивыгоднейшее решение по своему элементу, но оросительная система в целом оставалась далека от совершенства.

Неравномерность развития элементов оросительной системы является причиной возникновения технических и физических противоречий и, следовательно, изобретательских задач. Но диалектическая взаимосвязь технологий орошения и обеспечивающих их средств требует неустанного их совершенствования и развития. В частности, появление в последние годы мощных и в то же время дешевых и простых в эксплуатации компьютерных средств позволяет применить их не только для управления магистральными и межхозяйственными каналами, но и для автоматизации групп орошаемых участков и гидротехнических сооружений. Кроме того, использование имитационного моделирования специалистами-мелиораторами для решения различного рода оптимизационных задач, повышения их информационной обеспеченности, применения научно обоснованных методов эксплуатации ОС позволяет существенно повысить качество принимаемых ими решений. Выдвижение интенсивных факторов развития поколений оросительных систем влечет за собой постановку совершенно новых задач, в ряду которых одной из важнейших является построение нового уровня современных технологических процессов, что может быть обеспечено созданием таких методов и подходов, которые позволят наиболее рациональным способом распределить возлагаемые на них функции, обеспечивая эффективность оросительных мелиораций без отрыва от требований окружающей среды.

То обстоятельство, что основное производственное звено в орошаемом земледелии отделено организационно и юридически от основной части оросительной системы, создает весьма существенные трудности в проведении эффективной технической политики по внедрению инноваций и заставляет искать более гибкие и зачастую противоречивые методы, свойственные рыночной экономике. В качестве примера можно назвать внедрение в практику такого термина как наилучшие доступные технологии. Для одного региона такими технологиями могут служить более дорогие и наукоемкие технологии, а для другого совсем наоборот. Поэтому весьма затруднительно в данной ситуации планировать прогресс в развитии и становлении более совершенного поколения ОС, который напрямую связан с эффективным использованием оросительной воды. Государство для решения этой проблемы сможет создать резерв водных ре-

сурсов для дальнейшего развития орошаемого земледелия и одновременно решить достаточно сложные проблемы водоотвода и загрязнения источников благодаря более экономному и эффективному использованию водных ресурсов в самой водоемкой отрасли народного хозяйства.

Таким образом, задача совершенствования поколений ОС на первом этапе сводится к выбору для систем оптимального, в хозяйственном плане, сочетания конструктивных решений отдельных функциональных элементов, отвечающего конкретным природным условиям, сообразуясь с экономическими возможностями конкретного региона и опираясь на схемы комплексного использования водных ресурсов.