

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Департамент мелиорации

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ДИНАМИЧЕСКОМУ
УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССАМИ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ
НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Новочеркасск
2015

Методические указания по динамическому управлению процессами водораспределения на оросительных системах с использованием автоматизированных систем управления подготовлены сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ»: академиком РАН, доктором технических наук, профессором В. Н. Щедриным; кандидатом технических наук А. А. Чураевым; кандидатом технических наук Т. А. Погоровым; кандидатом технических наук А. Е. Шепелевым; Л. В. Юченко; М. В. Вайнберг; В. В. Митровым; В. М. Школьной.

Методические указания по динамическому управлению процессами водораспределения на оросительных системах с использованием автоматизированных систем управления одобрены на заседании секции мелиорации 27 ноября 2014 года, утверждены и введены в действие приказом директора ФГБНУ «РосНИИПМ» № 16 от 3 апреля 2015 года.

Содержание

Введение.....	5
1 Область применения	6
2 Термины и определения	6
3 Сбор исходной информации для построения модели динамического управления водораспределением на оросительной сети	7
3.1 Сбор данных об оросительной сети	7
3.2 Сбор данных о работе головного водозаборного сооружения.....	8
3.3 Сбор данных о системном плане водопользования	12
3.4 Сбор данных о хозяйственном плане водопользования	13
4 Построение модели динамического управления водораспределения на каналах оросительной сети.....	15
4.1 Построение плановой схемы оросительной сети	15
4.2 Построение продольных профилей и поперечных сечений каналов оросительной сети.....	16
4.3 Разбивка продольного профиля канала на расчетные участки	19
4.4 Определение коэффициента полезного действия оросительной сети по расчетным участкам	19
4.5 Определение значений расходов, глубин и средних скоростей движения воды по расчетным участкам	22
4.6 Определение продолжительности перерегулировки глубин на границах расчетных участков канала.....	24
4.7 Построение теоретических и экспериментальных зависимостей продолжительности перерегулировки по расчетным каналам.....	27
5 Калибровка модели динамического управления водораспределением.....	28
6 Реализация модели динамического управления водораспределением с помощью автоматизированных систем управления.....	32
6.1 Исходная информация по управлению водораспределением	32
6.2 Описание функциональной структуры автоматизированной системы управления.....	34
6.3 Технические средства использования командной информации и воздействия на объект управления.....	37
6.4 Формирование структуры информационного обеспечения	45
6.5 Формирование состава программного обеспечения	48
7 Проведение сценарных исследований применения модели динамического управления процессами водораспределения при реализации цели оптимизации использования оросительной воды.....	52

Заключение	66
Список использованных источников	67
Приложение А Пример построения модели динамического управления водораспределением на канале Р-1 Райгородской оросительной системы.....	68
Приложение Б Основные положения по правилам эксплуатации оросительной сети на примере Райгородской оросительной системы.....	90

Введение

Повышение эффективности управления водораспределением на оросительной системе является одним из основных вопросов орошаемого земледелия.

В настоящее время к недостаткам управления водораспределением на оросительной системе можно отнести:

- технологически необоснованное завышение заборов воды в оросительную сеть, что приводит к излишним затратам на ее транспортировку, образованию дефицита для потребителей и непроизводительным сбросам, а также возможности возникновения аварийных ситуаций, связанных с возможными переливами или опорожнениями каналов;

- поддержание в бьефах каналов завышенных командных уровней, способствующих увеличению фильтрационных процессов, приводящих к повышению уровня грунтовых вод и подтоплению прилегающих территорий;

- низкую оперативность управления подачей воды водопользователям, приводящую к нарушению сроков и норм полива и в конечном итоге к снижению урожайности или гибели сельскохозяйственных культур.

Управлением водораспределения на оросительных системах занимается диспетчерская служба. Современные гидромелиоративные системы могут иметь от нескольких десятков до нескольких сотен хозяйственных водовыделов, требующих своевременной и с заданным объемом подачи оросительной воды. При таком управлении из-за ограниченности физических и физиологических возможностей человека практически не учитываются динамические свойства оросительной системы, инерционность протекающих в ней процессов, время добегающих расходов, перерегулировки командных уровней на водовыделах и т. п. По той же причине трудно обеспечить оперативность управления большим количеством территориально разбросанных субъектов управления. Сведение потерь оросительной воды к минимуму, обеспечение соответствия объемов водозабора и водопотребления возможно при условии существенного повышения качества управления процессами водораспределения путем автоматизации узловых сооружений.

Новизна работы заключается в разработке алгоритма построения имитационной модели динамического управления процессами водораспределения на оросительных системах и обосновании требований по ее реализации с помощью автоматизированных систем управления.

1 Область применения

Настоящие методические указания могут применяться при разработке специализированного программного обеспечения по созданию имитационной модели системы управления технологическими процессами водораспределения на основе прогнозирования значений его контролируемых параметров при эксплуатации магистральных и распределительных каналов на оросительной сети с использованием автоматизированных систем управления.

2 Термины и определения

В настоящих методических указаниях применяются следующие термины с соответствующими определениями:

- водопользование – использование различными способами водных объектов для удовлетворения потребностей Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, физических лиц, юридических лиц [1];

- план водопользования – порядок пользования водным объектом в течение года или сезона, установленный на основе научно обоснованных норм и режимов водопользования [2];

- водопользователь – физическое лицо или юридическое лицо, которым предоставлено право пользования водным объектом [1];

- водопотребление – потребление воды из систем водоснабжения [1];

- водораспределение – забор воды из источника в соответствии с установленным лимитом, транспортировки и распределение ее между водопотребителями [2];

- водоизмерение – определение параметров водного потока с использованием средств измерений (гидрометрических устройств, уровнемеров, измерителей скорости водного потока и т. п.);

- математическая модель – система математических соотношений, описывающих изучаемый процесс или явление [3];

- математическое моделирование – процесс составления математической модели [3];

- имитационное моделирование – процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить (в рамках ограничений, накладываемых некоторым критерием или совокупностью критериев) раз-

личные стратегии (сценарии), обеспечивающие функционирование данной системы [3].

3 Сбор исходной информации для построения модели динамического управления водораспределением на оросительной сети

Для построения модели динамического управления водораспределением на оросительной сети необходимы данные:

- оросительной сети (геодезические, гидрометрические и др.);
- технических возможностей головного водозаборного сооружения (дискретность графика водоподачи в пределах производительности головного сооружения, ограничения на частоту включения оборудования головного водозаборного сооружения);
- системного плана водораспределения (расход в голове системы, план забора, полива и распределения воды по системе).

3.1 Сбор данных об оросительной сети

Сбор данных об оросительной сети должен начинаться с определения оросительной способности системы и ее источника орошения. Под оросительной способностью системы понимают площадь земель, которая может быть обеспечена водой в данном году за определенный период (декада, месяц) при самом высоком дефиците водопотребления [4].

Оросительную способность устанавливают для лет разной обеспеченности по дефициту водопотребления. Расчеты проводятся специалистами управления водного хозяйства для пяти характерных лет (95, 75, 50, 25 и 5 %-ой обеспеченности). Для каждого года строятся укомплектованные графики гидромодуля и находятся максимальные и средневзвешенные их значения для декад и месяцев с последующим вычислением расходов, которые необходимо забрать в систему для обеспечения водой сельскохозяйственных культур, с учетом всех потерь в элементах оросительной сети [4].

Оросительная система должна быть рассчитана на подачу и распределение оптимального объема воды, достаточного для получения высоких и устойчивых урожаев с.-х. культур, и объемов воды, необходимых для удовлетворения хозяйственных потребностей.

К каждой оросительной системе подходят индивидуально, чтобы максимально использовать существующие ресурсы системы и полнее ис-

пользовать ее функциональные возможности в конкретных условиях.

Сбор данных по характеристике оросительной сети должен включать: плановое расположение (плановая схема), топографические данные, площадь обслуживания, геометрические, гидравлические и технические данные основных объектов эксплуатации, а также особенности данной оросительной сети, если таковые имеются.

В плановую схему оросительной сети необходимо включить ситуационный план, сформированный на картографической (инженерно-топографической) основе, взятой из проектной документации на конкретную оросительную систему или по результатам аэрофотосъемки (спутниковых снимков).

На схеме должны быть отражены:

- рельеф местности (горизонтали);
- источник орошения;
- водозаборное сооружение;
- линейные сооружения (магистральный канал и распределители различных порядков);
- узлы сетевых гидротехнических сооружений (подпорных, регулирующих, сопрягающих, сбросных и т. п.);
- углы поворота, координаты углов, длины прямых участков каналов.
- водовыделы с соответствующими орошаемыми площадями;
- для всех сооружений должна быть нанесена разбивка по пикетам.

Основными исходными данными для построения модели динамического управления водораспределением на оросительной сети являются проектные материалы. При их отсутствии или длительности эксплуатации системы используют данные вновь проведенных натурных исследований.

Значения расходов, глубин и средних скоростей движения воды по каналам оросительной сети могут определяться как на основе теоретических гидравлических расчетов, исходными данными для которых являются значения геодезических, геометрических характеристик, и уклонов участков канала, так и на основе данных гидрометрических измерений (данные градуировок сооружений на сети и участков канала).

3.2 Сбор данных о работе головного водозаборного сооружения

Головное водозаборное сооружение служит для забора воды из источника орошения и подачи ее в оросительную сеть. Объем забора воды сооружением определяется на основании утвержденных лимитов и необ-

ходимым расчетным объемам водопотребления водопользователей с учетом потерь в магистральной и распределительной сети.

Для расчета графика водоподдачи головного водозабора необходимы данные хозяйственного и системного планов водораспределения водопользователей, регулирующих емкостей на системе и расчетной обеспеченности источника орошения, а также показатели технических возможностей головного водозабора.

К показателям технических возможностей головного водозабора относят [5]:

- тип насосной станции (количество агрегатов, производительность насосов, мощность электродвигателей);
- дискретность графика водоподдачи в пределах производительности головного сооружения (шлюза-регулятора, насосных агрегатов головной насосной станции и т. д.);
- ограничения на частоту включения оборудования головных сооружений;
- периодичность технического обслуживания и затраты времени на обслуживание.

Регулирующие емкости обеспечивают плавную регулировку водоподдачи на оросительной сети и сглаживают несогласованность между объемом водоподдачи и водопотребления. К сбору данных по регулирующим емкостям необходимо отнести условие их использования и объем регулирования.

При использовании регулирующих емкостей в структуре оросительной системы должно выполняться условие [6]:

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

где V_{\min} и V_{\max} – минимально и максимально допустимые объемы регулирования воды в канале или регулирующей емкости, м^3 ;

Q_i – расход i -го агрегата головной насосной станции, $\text{м}^3/\text{с}$;

n и m – число соответственно одновременно работающих агрегатов головной насосной станции и потребителей, ед.;

Q_j – расход j -го потребителя, $\text{м}^3/\text{с}$.

Основным показателем регулирующей емкости является регулируемый объем, который находится из общего объема емкости.

Общий объем $V_{\text{общ}}$, м^3 , определяется по формуле [5]:

$$V_{общ} = V_M + V_{пол}, \quad (2)$$

где V_M – мертвый объем с учетом заиления и обеспечения командных горизонтов потребителю, м³;

$V_{пол}$ – полезный объем, м³, который определяется по формуле:

$$V_{пол} = V_{н.н} + V_{сут} + V_{рег}, \quad (3)$$

где $V_{н.н}$ – объем воды, необходимый для работы потребителя с учетом времени переходных процессов, м³;

$V_{сут}$ – объем для перерегулирования суточной подачи воды водопотребителю, м³, находится с учетом продолжительности работы потребителя (дождевальной техники) во времени суток и расхода потребителя;

$V_{рег}$ – объем регулирования, м³, необходимый для перерегулирования воды непосредственно при управлении процессом «водоподача-водопотребление».

Объем регулирования $V_{рег}$, м³, находится по формуле:

$$V_{рег} = V_{общ} - (V_M + V_{пол}). \quad (4)$$

Возможность забора воды головным водозаборным сооружением определяется расчетной обеспеченностью расхода источника орошения, которая рассчитывается проектными и научно-исследовательскими институтами на основании водоземельных балансов за 10–15 лет.

Расчетный режим крупных источников орошения, питающих несколько крупных оросительных систем, устанавливается на основе указаний соответствующих Министерств сельского хозяйства республик, а по системам межреспубликанского значения – Министерством сельского хозяйства Российской Федерации [7].

Расчетный режим небольших источников орошения устанавливается областным или краевым управлением водного хозяйства. Основой для расчета служат декадные данные по опорному гидрометрическому посту источника, приведенные к голове системы.

Для нахождения декадных расчетных расходов года 50 % обеспеченности необходимо:

- расположить величины декадных расходов воды в ряд в убывающем порядке от 1 до n -го числа (при числе лет, равном n);

- найти порядковый номер декады 50 % обеспеченности по формуле:

$$m = 0,5n + 0,5; \quad (5)$$

- округлить число m до целого числа.

Расчеты составляют на каждую декаду для всего планируемого пе-

риода забора воды из источника орошения. По этим данным определяют возможную подекадную подачу воды в голове магистрального канала.

Для оросительных систем определение расчетных расходов для характерных лет заданной обеспеченности следующее [7]:

- наряду с установлением расчетных декадных расходов по опорным гидрометрическим постам определяются соответственно и горизонты воды в источнике орошения;

- расчетные декадные горизонты по опорному посту приводятся к горизонтам к голове магистрального канала способами, принятыми при гидрологических расчетах;

- по установленным расчетным декадным горизонтам воды и имеющейся зависимости расходов магистрального канала от горизонта воды в источнике орошения, определяют расчетные расходы, в магистральном канале по декадам планируемого периода.

Результаты предварительного расчета режима источника орошения и определения возможных расходов в голове системы сводят в ведомость расчетных расходов (горизонтов) источника орошения, пример которой приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Пример ведомости расчетных расходов (горизонтов) источника орошения [7]

Период подачи*		Характеристика источника орошения			Необходимые расходы в голове магистрального канала по плану распределения, м ³ /с	Разница между необходимыми расходами и возможной подачей	
						м ³ /с	%
месяцы	декады	водоносность, м ³ /с	горизонты, м	возможная подача в систему из источника орошения, м ³ /с			
май	I	70,0	20,0	10,0	10,0	0,0	0,0
	II	73,0	21,0	11,0	11,5	0,5	4,3
	III	75,0	21,5	12,0	13,0	1,0	7,6
* Период подачи соответствует декадам месяца поливного периода.							

Баланс водораспределения считается увязанным, когда величина отклонения, выраженная в процентах от потребности в оросительной воде в данную декаду, не превышает ± 5 %. При недостатке воды (не свыше

20-25 %) увязка баланса производится за счет сокращения водопотребления; при больших недостатках воды, кроме сокращения водопотребления, устанавливается очередная водооборот между хозяйствами на каждом межхозяйственном распределителе.

3.3 Сбор данных о системном плане водораспределения

Системный план водораспределения составляют на основе планов водопользования отдельных хозяйств, увязывая их с режимом водоисточника орошения, пропускной способностью магистральных каналов, мелиоративными условиями системы [8].

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

При составлении плана водораспределения используются следующие материалы:

- план и подробная схема системы в масштабах 1:25000 или 1:50000 (указываются все магистральные, межхозяйственные и распределительные каналы до точек выдела воды в хозяйство с технической их характеристикой, границы хозяйств, все узлы распределения и узлы командования, границы эксплуатационных участков, створы балансовой гидрометрии и мелиоративной службы, дороги, линии связи);

- внутрихозяйственные планы водопользования;

- план и схемы системы с почвенно-мелиоративными характеристиками (почвы, глубина залегания уровней грунтовых вод, рельефные особенности);

- декадные расходы (горизонты) воды в источнике орошения в месте забора воды в систему;

- сведения о фактических потерях воды из магистральных каналов и распределительной сети, привязанные к отдельным узлам системы;

- установленные государственным планом площади посевов на орошаемых землях.

План водораспределения должен включать:

- ведомость расчетных расходов (горизонтов) источника орошения и

возможных расходов в голове системы;

- план забора, полива и распределения воды по системе;
- план эксплуатационных мероприятий.

План начинают составлять с установления расчетных расходов (горизонтов) источника орошения для характерных лет заданной обеспеченности и определения возможной подачи воды в оросительную систему.

Для составления плана забора воды в систему систематизируют данные о наличии орошаемых земель в разрезе хозяйств и анализа причин их неиспользования в сельхозпроизводстве. Составляют ведомость размещения сельскохозяйственных культур по оросительной системе. На основе этих данных составляют календарный план проведения поливов и водоподачи хозяйствам.

Определение возможных расходов (брутто) в оросительную систему производится с учетом величин коэффициентов полезного действия каналов. В конечном итоге определяется общий водозабор в систему по декадам и увязывается с расходами (горизонтами) водоисточника (таблица 1).

Коэффициенты полезного действия каналов определяются специалистами Управления оросительных систем по данным балансовой гидрометрии, полученным в результате фактических замеров расходов воды в течение вегетационного периода по имеющимся стандартным методикам.

Имея уточненные данные и сводную ведомость водозабора, водоподачи и полива сельскохозяйственных культур (нарастающим итогом для всех хозяйств), рассчитываются окончательные данные по водораспределению и сводятся в календарный план проведения поливов в разрезе водовыделов из межхозяйственных каналов.

План распределения воды по системе составляется на основе плана водозабора из источника орошения. Все расчеты ведут от головы системы через участки и узлы распределения к точкам выдела воды хозяйствам.

3.4 Сбор данных о хозяйственном плане водопользования

Хозяйственный план водопользования является первичным документом, в котором отражается потребность хозяйства в оросительной воде как общая, так и по определенным периодам. Он составляется для водообеспечения каждого поля в соответствии с требуемыми режимами орошения сельскохозяйственных культур и учетом организации территории и труда [8].

Хозяйственный план водопользования должен включать [4, 7]:

- план подачи воды в хозяйство;
- план полива и распределения оросительной воды по внутривладельческой сети;
- план эксплуатационных мероприятий.

Для составления хозяйственного плана необходимо иметь [7]:

- план орошаемого участка хозяйства в горизонталях (масштаб 1:10 000 или 1:25000), на котором нанесены оросительные и сбросные каналы с гидротехническими сооружениями на них. При наличии закрытой сети – план водоводов с гидрантами, границы севооборотных участков, отдельных полей, их площади;

- почвенно-мелиоративную характеристику орошаемого участка с указанием глубины залегания уровня грунтовых вод (1–2, 2–3 и более 3 м) и их минерализацию за последние один-два года, ведомость размещения культур и насаждений на орошаемых землях с указанием площадей;

- рекомендуемый поливной режим орошения сельскохозяйственных культур, разработанный научно-исследовательскими учреждениями и утвержденный соответствующими организациями администрации зоны расположения массивов орошения;

- данные о наличии орошаемых земель и их использовании, пропускной способности, протяженности и КПД каждого внутривладельческого канала, сведения о водомерах на хозяйственных водовыделах и пропускной способности сооружений;

- данные о количестве поливных агрегатов, их марках и производительности; наличии обученных кадров; мелиоративной техники по созданию и уходу за оросительной сетью;

- развернутый календарный план эксплуатационных мероприятий на текущий год по реконструкции, ремонту и уходу за каналами и гидросооружениями на них.

Если хозяйство самостоятельно забирает воду непосредственно из источника орошения, то для составления внутривладельческого плана водопользования дополнительно необходимо иметь:

- расчетный режим или полезный объем источника орошения при различной обеспеченности на весь вегетационный период;

- сведения о конструкции, типе и характеристике режима работы в целом всего водозаборного сооружения, а также данные о количестве и производительности насосов (если они имеются), подающих воду на систему;

- характеристику энергетической части водозаборного сооружения и

его эксплуатационные данные.

Для составления хозяйственного плана водопользования необходимо иметь лимит воды для полива с.-х. культур, хозяйственных и производственных расходов, устанавливаемый руководством оросительной системы.

План подачи воды в хозяйство составляется на основе плана размещения с.-х. культур для каждого водовыдела из межхозяйственной сети с выделением площадей, засеянных культурами и подлежащих поливу. Используя эти данные, специалисты хозяйства составляют календарный план полива и забора воды по каждой с.-х. культуре с указанием номера полива, физической площади орошения, числа поливаемых гектаров и необходимого для данных условий объема оросительной воды. Затем за каждую декаду вегетационного периода нарастающим итогом суммируют как вышеуказанные показатели, так и водопотребление на орошение (нетто, брутто), водоподачу на хозяйственные и производственные нужды [4]. В конечном итоге получают средний расход воды брутто, который необходимо подать хозяйству.

Расход воды (брутто) для подачи в хозяйство на декаду определяют с учетом всех потерь на орошаемом поле, потерь на внутриводопользовательской оросительной сети, расходов на хозяйственные и производственные нужды. Общий расход за месяц и вегетационный период равен сумме декадных расходов. Полученные расходы должны быть обязательно соизмерены с лимитом воды, выделенному хозяйству, и увязаны с пропускной способностью оросительных каналов. Если в отдельные декады расчетные расходы превышают лимит, то их пересчитывают в сторону уменьшения [4].

Определение и суммирование декадных объемов дает возможность построить календарный план водопользования хозяйства. Все данные плана хозяйственного водопользования заносят в таблицы, описание которых дается в утвержденных инструкциях для эксплуатационных организаций.

4 Построение модели динамического управления водораспределением на каналах оросительной сети

4.1 Построение плановой схемы оросительной сети

Плановая схема оросительной сети является исходным материалом для построения продольных профилей и поперечных сечений входящих в нее каналов различных порядков, количество которых определяется в зависимости от задач имитационного моделирования.

Схема должна включать ситуационный план, сформированный на картографической (инженерно-топографической) основе, взятой из проектной документации на конкретную оросительную систему или по результатам аэрофотосъемки (спутниковых снимков).

На схеме должны быть отражены:

- рельеф местности (горизонтали);
- источник орошения;
- водозаборное сооружение;
- линейные сооружения (магистральный канал и распределители различных порядков);
- узлы сетевых гидротехнических сооружений (подпорных, регулирующих, сопрягающих, сбросных и т. п.);
- углы поворота, координаты углов, длины прямых участков каналов.
- водовыделы с соответствующими орошаемыми площадями;
- для всех сооружений должна быть нанесена разбивка по пикетам.

Другие необходимые данные указывают в зависимости от задач моделирования.

За нулевой пикет линейного сооружения оросительной сети принимают:

- для магистрального канала – начало водовыпускного сооружения напорного трубопровода насосной станции или пересечение оси канала с осью закладной детали нижнего уплотнения рабочего затвора головного сооружения (узла);
- для каналов второго и последующих порядков – пересечение оси канала с осью канала высшего порядка.

Узлы и элементы линейных сооружений должны обозначаться на выносных линиях, располагаемых в сторону движения воды в канале.

4.2 Построение продольных профилей и поперечных сечений каналов оросительной сети

Для проведения машинных имитационных экспериментов построение продольных профилей следует вести согласно линейной схемы оросительной сети с увязкой их в вертикальной плоскости с одной вертикальной шкалой отметок поверхности земли и одним основанием, включающим показатели отметок поверхности земли, отметок глубины траншеи (выемки), отметок дна траншеи (канала), уклонов, расстояний, пикетов, планов.

В случае использования проектной документации моделируемой

действующей оросительной сети для удобства отображения геометрических параметров каналов горизонтальный масштаб принимается равным масштабу планов орошаемых участков (1:5000, 1:10000), а вертикальный в сто раз больше. Профили строятся падением слева направо, начиная с головы канала. Для увязки уровней устанавливается только отметка уровня воды в голове канала. Все отметки и размеры должны отображаться под профилем.

В результате использования ЭВМ при построении продольного профиля канала должны быть отображены:

- линия фактической поверхности земли;
- продольный профиль трассы канала, на котором указаны обозначения осей водовыделов и всех линейных сооружений;
- на осях водовыделов и линейных сооружений указаны отметки максимальных уровней воды и точки командования максимального уровня воды канала;
- геодезические знаки (реперы, пункты геодезических сетей местного значения), определяющие исходные высоты;
- положения минимальных уровней воды на водовыделах.

Другие данные указывают с учетом специальных требований к построению математической имитационной модели.

Для исключения ошибок моделирования необходимо произвести увязку следующих отметок:

- максимальных уровней воды, $Z_{ув, \max}$ по формуле:

$$Z_{ув, \max} = Z_{ув, \partial m} \pm i_k L_{\partial m}, \quad (6)$$

где $Z_{ув, \partial m}$ – отметка уровня воды в диктующей точке, м;

i_k – уклон дна канала;

$L_{\partial m}$ – расстояние от диктующей точки до следующего расчетного сечения, м;

- дна канала, $Z_{дна}$, м:

$$Z_{дна} = Z_{ув, \max} - h_{увв, \max}, \quad (7)$$

где $h_{увв, \max}$ – максимальная глубина воды на водовыделе, м.

Превышение гребня дамбы канала над максимальным уровнем воды должно соответствовать СНиП 2.06.03-85 [9].

Вычисленные отметки, расстояния и уклоны отображаются в соответствующих графах под профилем. Дополнительно отображается форсированный уровень воды, относительно которого увязываются отметки

гребня дамб.

Перечень вышеуказанных данных должен быть отображен в виде таблицы (сетки), помещаемой под продольным профилем, в которую входят следующие:

- отметка поверхности земли;
- отметка бермы или дамбы;
- отметка дна канала;
- отметки уровня воды (при минимальном, максимальном и форсированном расходах);
- отметки дна водовыделов из канала;
- отметки уровня воды (при минимальном и максимальном расходах на водовыделах);
- глубина выемки;
- высота насыпи;
- пикет (через 100 м);
- развернутый план.

При использовании ЭВМ для построения продольного профиля допускается применять другие формы таблиц (сеток), удобные для математического моделирования.

Поперечные сечения канала строятся для всех характерных сечений при изменении геометрических параметров канала по длине с указанием пикета и основных параметров.

На поперечном сечении линейного сооружения должны отображаться:

- линия фактической поверхности земли;
- контур линейного сооружения;
- размеры элементов сооружения;
- крутизна откосов;
- конструкция укрепления канала (схематично) с учетом требований;
- геологические разрезы с элементами гидрогеологии.

Перечень вышеуказанных данных должен быть отображен в виде таблицы (сетки), помещаемой под поперечным сечением, в которую входят следующие:

- отметки поверхности земли;
- уклоны и длины;
- отметки бермы;
- расстояния;
- пикеты.

Поперечные сечения линейного сооружения отображаются в характерных точках по каждому расчетному участку. Для одинаковых участков линейных сооружений отображается типовое поперечное сечение. На поперечном сечении отображается пикетное значение сооружения, к которому он относится.

4.3 Разбивка продольного профиля канала на расчетные участки

Для проведения экспериментов при осуществлении имитационного математического моделирования необходима разбивка продольного профиля канала на расчетные участки. Расчетным участком при этом является такой, для которого задается определенная закономерность изменения геометрических, гидравлических и гидрометрических характеристик по всей рассматриваемой длине канала.

При разбивке следует руководствоваться следующими общими принципами:

- характерные сечения должны располагаться в местах существенного изменения ширины сечения, уклона, а также шероховатости дна и откосов канала для создания возможности интерполяции его линейных характеристик;

- в пределах участка не должно быть резкого (ступенчатого) изменения геометрических характеристик сечения, иначе рассматриваемый участок в таких местах разбивается на два участка;

- при резко выраженном неустановившемся движении в створе возмущения (например, после регулирующих или сопрягающих сооружений) целесообразно назначать длину участков вблизи этого створа в несколько раз меньшей, чем в зонах меньшей нестационарности течения;

- на водовыделах, подпорно-регулирующих сооружениях, сбросах, пунктах водоучета (где происходит изменение расхода канала) и в местах поворотов канала обязательно назначаются границы участков;

- в характерные сечения следует включать створы, для которых имеются материалы наблюдений за уровнями и расходами воды или кривые расходов.

4.4 Определение коэффициента полезного действия оросительной сети по расчетным участкам

Коэффициенты полезного действия (КПД) каналов и оросительной

сети являются основными показателями работы системы и ее звеньев.

Значение коэффициента полезного действия зависит от величины следующих непроизводительных потерь в сети:

- потерь из оросительных каналов на фильтрацию и испарение с водной поверхности;
- потерь с орошаемых полей на фильтрацию и испарение;
- эксплуатационных потерь (утечки, непроизводительные сбросы);
- технологических потерь (в зависимости от типов орошения).

При создании имитационной модели гидродинамических процессов необходимо использовать как КПД оросительной сети в целом, так и КПД отдельных каналов с привязкой к расчетным участкам водораспределения (рисунок 1).

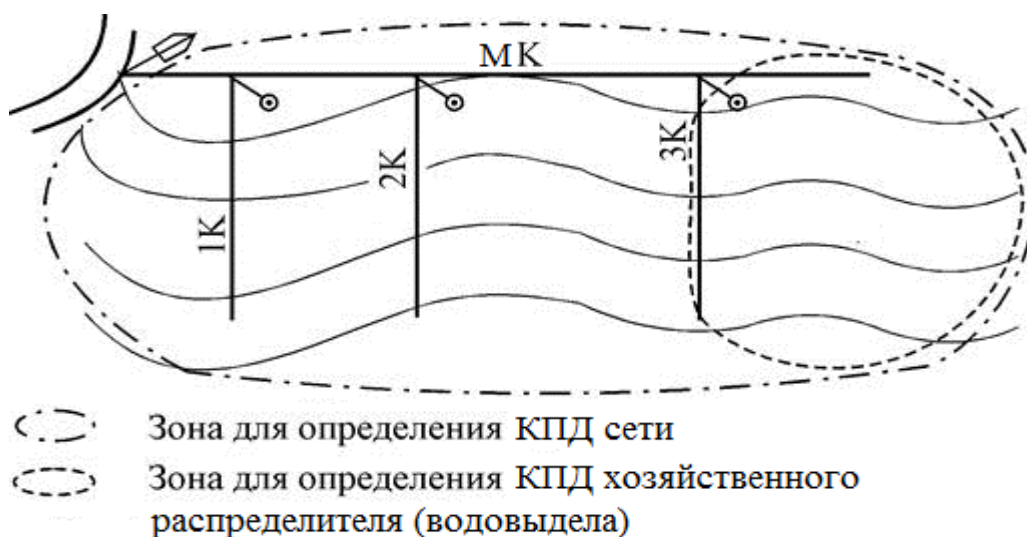


Рисунок 1 – Схема оросительной сети с выделением зон определения КПД для имитационного моделирования

Значение коэффициента полезного действия оросительной сети $KПД_{ос}$ определяется по зависимости:

$$KПД_{ос} = \frac{W_{пол}}{W_{вз} - W_{повт}}, \quad (8)$$

где $W_{пол}$ – полезно используемый объем воды, $м^3$;

$W_{вз}$ – объем воды, забираемый в голове системы, $м^3$;

$W_{повт}$ – объем воды, используемый на системе повторно, $м^3$.

Объем воды, забираемый в голове системы $W_{вз}$, $м^3$, находится по следующей формуле:

$$W_{вз} = W_{пол} + W_{фи} + W_{он} + W_з + W_{тех} , \quad (9)$$

где $W_{фи}$ – потери из оросительных каналов на фильтрацию и испарение с водной поверхности, м³;

$W_{он}$ – потери с орошаемого поля на фильтрацию и испарение, м³;

$W_з$ – эксплуатационные потери (утечки, непроизводительные сбросы), м³;

$W_{тех}$ – технологические потери (в зависимости от типов орошения), м³.

Полезно используемый объем (нетто) $W_{пол}$, м³, можно определить как:

$$W_{пол} = \sum_i Q_{i,nt} t_i , \quad (10)$$

где $Q_{i,nt}$ – расход нетто, поданный на i -ый водовыдел, м³/сут;

t_i – продолжительность подачи расхода на i -ый водовыдел, сут.

Объем, забираемый в голове (брутто) $W_{g,br}$, м³, определяется:

$$W_{g,br} = Q_{g,br} t_g , \quad (11)$$

где $Q_{g,br}$ – расход (брутто) в голове системы, м³/сут;

t_g – продолжительность подачи расхода в голове системы, сут.

При водопользовании, осуществляемом без непроизводительных сбросов:

$$КПД_{ос} = \frac{\sum Q_{i,nt}}{Q_{g,br}} . \quad (12)$$

Аналогично определяется коэффициент полезного действия сети отдельных каналов (распределителей).

Коэффициент полезного действия канала $КПД_{кан}$ равняется:

$$КПД_{кан} = \frac{Q_{к,кон}}{Q_{к,нач}} , \quad (13)$$

где $Q_{к,кон}$ – расход в конце канала, л/с;

$Q_{к,нач}$ – расход в начале канала, л/с.

При создании имитационной модели гидродинамических процессов действующей оросительной сети для определения КПД сети по расчетным участкам в качестве исходных данных должны использоваться материалы отчетности по планированию водопользования на системе. Для приемлемости данных представленных материалов к использованию необходима их корректировка до и после перерегулировки с учетом времени добегания

до наблюдаемых створов и изменения горизонтов в бьефах в пределах интервалов наблюдений.

Определение фактических значений КПД оросительной сети по расчетным участкам производится на основе использования данных эксплуатационной гидрометрии в следующей последовательности:

- производится оперативный сбор информации по параметрам водозмерения на всех водовыделах, регулирующих и других ГТС, расположенных на сети;

- показания по всем гидрометрическим створам вносятся в соответствующие журналы наблюдений при каждом изменении режима водоподачи до осуществления маневрирования затворами и после с указанием времени производимых перерегулировок.

4.5 Определение значений расходов, глубин и средних скоростей движения воды по расчетным участкам

Значения расходов, глубин и средних скоростей движения воды по каждому расчетному участку канала должны определяться как на основе теоретических гидравлических расчетов, исходными данными для которых являются значения геодезических, геометрических характеристик, и уклонов расчетных участков, так и на основе данных гидрометрических измерений (данные градуировок сооружений на сети и участков канала).

Это необходимо для уточнения параметров математической модели, производимого решением обратной задачи с определением необходимых поправочных коэффициентов (коэффициентов расхода сооружений, шероховатости линейных участков) с целью ее применения для расчета конкретной оросительной сети, канала или участка канала.

В условиях рассматриваемой задачи должны быть выполнены гидравлические расчеты всех бьефов канала в условиях установившегося и неустановившегося режимов течения воды.

Необходимость моделирования неустановившегося движения в каналах оросительных систем связана с определением их гидродинамических параметров при эксплуатации, что дает возможность разработки и внедрения автоматизированных систем управления водораспределением.

При неустановившемся (нестационарном) движении воды по каналу характеристики потока в любом створе изменяются с течением времени, а в каждый момент времени они не одинаковы по длине участка. Неустановившееся движение наблюдается при регулировании расходов в гидроузлах и является общим случаем движения воды в каналах, а установившееся

(равномерное и неравномерное) – его частным случаем. Задачей расчета неустановившегося движения является определение двух характеристик, описывающих состояние одномерного потока (расхода и глубины) как функции длины и времени. По значениям расхода и глубины могут быть определены и другие характеристики, например скорости течения.

Математическое моделирование неустановившегося режима потока основано на разработке и решении математических зависимостей, реализующих известные законы гидравлики, заложенные в работах Сен-Венана и Буссинеска, практическое применение которых заложено в специализированном программном комплексе моделирования гидродинамических процессов MIKE 11.

Исходными данными для моделирования в программном комплексе MIKE 11 являются диапазоны максимальных и минимальных расходов в канале, топографические данные (отображенные на продольном профиле) и геометрические размеры характерных поперечных сечений участков канала, водовыделов и других сетевых сооружений. Это необходимо для определения граничных условий работы программного комплекса при калибровке модели – уточнении расходных характеристик и других гидравлических параметров, которые невозможно определить на основе лишь топографических данных.

Результаты определения основных гидравлических параметров программным комплексом MIKE 11 для построения модели динамического управления процессами водораспределения должны быть представлены в следующем виде (таблица 2), позволяющем строить соответствующие теоретические и эмпирические зависимости полученных параметров для их сопоставления и сравнения.

Для максимального исключения ошибок математического моделирования и создания возможности построения шкалы гидравлических показателей необходимо принять условия транзитного прохождения расходов воды по расчетным участкам в соответствии с их максимальной пропускной способностью при минимизации подпора, создаваемого сетевыми сооружениями.

При сопоставлении и сравнении значений, представленных в таблице 2 по каждому расчетному створу, необходимо построение совмещенных теоретических и эмпирических зависимостей в виде графиков $Q = f(h)$ и $V_{cp} = f(h)$.

Таблица 2 – Основные гидравлические параметры расчетных створов

Расчетный створ	Гидравлические параметры расчетных створов					
	Определенные теоретически (по MIKE 11)			Определенные по результатам гидрометрических измерений		
	Расход Q , м ³ /с	Глубина h , м	Средняя скорость V , м/с	Расход Q , м ³ /с	Глубина h , м	Средняя скорость V , м/с
Створ 1 (ПК...)	$Q_{1\min}$	$h_{1\min}$	$V_{1\min}$	$Q_{1\min}$	$h_{1\min}$	$V_{1\min}$

	$Q_{1\max}$	$h_{1\max}$	$V_{1\max}$	$Q_{1\max}$	$h_{1\max}$	$V_{1\max}$
Створ 2 (ПК...)	$Q_{2\min}$	$h_{2\min}$	$V_{2\min}$	$Q_{2\min}$	$h_{2\min}$	$V_{2\min}$

	$Q_{2\max}$	$h_{2\max}$	$V_{2\max}$	$Q_{2\max}$	$h_{2\max}$	$V_{2\max}$
Створ n (ПК...)	$Q_{n.\min}$	$h_{n.\min}$	$V_{n.\min}$	$Q_{n.\min}$	$h_{n.\min}$	$V_{n.\min}$

	$Q_{n.\max}$	$h_{n.\max}$	$V_{n.\max}$	$Q_{n.\max}$	$h_{n.\max}$	$V_{n.\max}$

Определение значений глубин на водовыделах $h_{вод}$, м, определяется по топографическим данным:

$$h_{вод} = h_{кан} - \zeta_{дна(вод)} - Z_{дна(кан)}, \quad (14)$$

где $h_{кан}$ – глубина воды в канале в месте водовыдела, м;

$Z_{дна(вод)}$ – отметка дна водовыдела, м;

$Z_{дна(кан)}$ – отметка дна канала в месте водовыдела, м.

Определение значений расходов воды на водовыделах осуществляется с использованием их градуировочных зависимостей $Q = f(h_{вод})$.

4.6 Определение продолжительности перерегулировки глубин на границах расчетных участков канала

Неустановившееся движение в открытых каналах оросительных систем проявляется в виде длинных волн в продольном сечении потока, длина которых во много раз больше глубины потока. Оно может возникать в случае нарушения первоначального установившегося движения в результате изменения расхода в некотором створе, который называется створом возмущения. Если расход в створе возмущения только возрастает или только

убывает, то волну, возникшую при этом, называют волной одного направления. Такая волна, распространяясь вдоль бьефа, вовлекает в состояние неустановившегося движения все большую длину бьефа с некоторой скоростью, называемой скоростью распространения возмущения. Если волна распространяется по течению потока, она называется прямой, если против течения – обратной. При возрастании уровня волна называется положительной (волна повышения), при убывании уровня – отрицательной (волна понижения).

Скорость распространения (добегания) гребня волны определяется делением расстояния между створами на разность моментов времени, в которые уровень воды в створах имеет наибольшее значение. Время добегания начального возмущения есть время, в продолжение которого фронт волны возмущения проходит заданный путь между фиксированными створами в прямом или обратном направлениях (в зависимости от того, где располагается створ возмущения).

Продолжительность перерегулировки глубин $t_{пер}$, с, на границах расчетного участка при создании имитационной модели складывается из времени добегания начального возмущения между створами и времени, затрачиваемом на переход неустановившегося режима движения в канале к установившемуся, т. е. определяется по формуле:

$$t_{пер} = t_{доб} + t_{реж}, \quad (15)$$

где $t_{доб}$ – время добегания фронта волны начального возмущения между створами, с;

$t_{реж}$ – время перехода неустановившегося режима движения воды между створами к установившемуся режиму движения, с.

Результаты определения продолжительности перерегулировки уровней программным комплексом МИКЕ 11, необходимые для построения модели динамического управления процессами водораспределения, должны быть представлены в следующем виде (таблица 3), позволяющем строить соответствующие теоретические и эмпирические (по данным натурных наблюдений) зависимости полученных параметров для их сопоставления и сравнения.

Для построения диаграммы суммарной продолжительности перерегулировки глубин на водовыделах в зависимости их расстояний от головы канала результаты определения продолжительности перерегулировок суммируются по расчетным участкам и представляются в таблице 4.

Таблица 3 – Продолжительность перерегулировки глубин между расчетными участками

Расстояние между створами, м	Глубина на расчетном участке, м			
	h_{\min}	h_1	$h_2 \dots$	h_{\max}
По результатам расчетов программным комплексом МИКЕ 11				
S_1 (ПК0–ПК...)	$t_{S1h \min}$	t_{S1h1}	$t_{S1h2 \dots}$	$t_{S1h \max}$
S_2 (ПК...–ПК...)	$t_{S2h \min}$	t_{S2h1}	$t_{S2h2 \dots}$	$t_{S2h \max}$
...
S_n (ПК...–ПК n)	$t_{Snh \min}$	t_{Snh1}	$t_{Snh2 \dots}$	$t_{Snh \max}$
По данным натуральных наблюдений				
S_1 (ПК0–ПК...)	$t_{S1h \min}$	t_{S1h1}	$t_{S1h2 \dots}$	$t_{S1h \max}$
S_2 (ПК...–ПК...)	$t_{S2h \min}$	t_{S2h1}	$t_{S2h2 \dots}$	$t_{S2h \max}$
...
S_n (ПК...–ПК n)	$t_{Snh \min}$	t_{Snh1}	$t_{Snh2 \dots}$	$t_{Snh \max}$

Таблица 4 – Суммарная продолжительность перерегулировки глубин

Расстояние между створами, м	Глубина на расчетном участке, м			
	h_{\min}	h_1	$h_2 \dots$	h_{\max}
По результатам расчетов программным комплексом МИКЕ 11				
S_1 (ПК...)	$t_{S1h \min}$	t_{S1h1}	$t_{S1h2 \dots}$	$t_{S1h \max}$
$S_1 + S_2$ (ПК...)	$t_{S1h \min} +$ $+t_{S2h \min}$	$t_{S1h1} +$ $+t_{S2h1}$	$t_{S1h2 \dots} +$ $+t_{S2h2 \dots}$	$t_{S1h \max} +$ $+t_{S2h \max}$
...
$\dots + S_n$ (ПК...)	$\dots + t_{Snh \min}$	$\dots + t_{Snh1}$	$\dots + t_{Snh2 \dots}$	$\dots +$ $t_{Snh \max}$
По данным натуральных наблюдений				
S_1 (ПК...)	$t_{S1h \min}$	t_{S1h1}	$t_{S1h2 \dots}$	$t_{S1h \max}$
$S_1 + S_2$ (ПК...)	$t_{S1h \min} +$ $+t_{S2h \min}$	$t_{S1h1} +$ $+t_{S2h1}$	$t_{S1h2 \dots} +$ $+t_{S2h2 \dots}$	$t_{S1h \max} +$ $+t_{S2h \max}$
...
$\dots + S_n$ (ПК...)	$\dots + t_{Snh \min}$	$\dots + t_{Snh1}$	$\dots + t_{S1h2 \dots}$	\dots $+t_{Snh \max}$

Как показал анализ гидравлических переходных процессов для различных режимов и условий эксплуатации открытых каналов, время добега расхода от створа возмущения до фиксированного створа (место водоотбора, перегораживающего сооружения и т. п.) зависит не только от величины начального наполнения канала, но и от качества режима течения и величины подпора, если имеет место подпорный режим течения на рассматриваемом участке. В связи с этим определение продолжительности перерегулировки по данным натурных наблюдений является обязательным.

4.7 Построение теоретических и экспериментальных зависимостей продолжительности перерегулировки по расчетным участкам

Представление результатов определения продолжительности перерегулировки глубин на границах расчетных участков теоретическими методами (применяемыми в программном комплексе МИКЕ 11) и экспериментальными (по данным натурных наблюдений) для удобства их сравнения и последующей калибровки имитационной модели необходимо представить для каждого расчетного участка в виде таблицы 5.

Таблица 5 – Результаты определения продолжительности перерегулировки глубин на границах расчетных участков

Расчетный створ	Суммарная продолжительность перерегулировки глубин, с			
	Определенная теоретически (по МИКЕ 11)	Определенная опытным путем		
		Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
1	2	3	4	5
Расход в голове канала $Q_{\min} = \dots \text{ м}^3/\text{с}$				
Створ 1 (ПК...)	$t_{1 \min}$	$t_{on1 \min}$	$t_{on1 \min}$	$t_{on1 \min}$
Створ 2 (ПК...)...	$t_{2 \min} \dots$	$t_{on2 \min} \dots$	$t_{on2 \min} \dots$	$t_{on2 \min} \dots$
Створ n (ПК...)	$t_{n \min}$	$t_{on.n \min}$	$t_{on.n \min}$	$t_{on.n \min}$
Расход в голове канала $Q_1 = \dots \text{ м}^3/\text{с}$				
Створ 1 (ПК...)	t_{11}	t_{on11}	t_{on11}	t_{on11}

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5
Створ 2 (ПК...)...	$t_{21} \dots$	$t_{on21} \dots$	$t_{on21} \dots$	$t_{on21} \dots$
Створ n (ПК...)	t_{n1}	$t_{on.n.1}$	$t_{on.n.1}$	$t_{on.n.1}$
Расход в голове канала $Q_2 = \dots \text{ м}^3/\text{с}$				
Створ 1 (ПК...)	t_{12}	t_{on12}	t_{on12}	t_{on12}
Створ 2 (ПК...)...	$t_{22} \dots$	$t_{on22} \dots$	$t_{on22} \dots$	$t_{on22} \dots$
Створ n (ПК...)	t_{n2}	$t_{on.n.2}$	$t_{on.n.2}$	$t_{on.n.2}$
Расход в голове канала $Q_{\max} = \dots \text{ м}^3/\text{с}$				
Створ 1 (ПК...)	$t_{1\max}$	$t_{on1\max}$	$t_{on1\max}$	$t_{on1\max}$
Створ 2 (ПК...)...	$t_{2\max} \dots$	$t_{on2\max} \dots$	$t_{on2\max} \dots$	$t_{on2\max} \dots$
Створ n (ПК...)	$t_{n\max}$	$t_{on.n.\max}$	$t_{on.n.\max}$	$t_{on.n.\max}$

По данным таблицы 5 строятся графики зависимости теоретических и экспериментальных результатов определения продолжительности пере-регулировки глубин для каждого расчетного створа при выбранном расходе в голове канала, соответствующему диапазону рабочих расходов канала на всем его протяжении в условиях транзитного пропуска (без подпор, создаваемых сетевыми гидротехническими сооружениями).

5 Калибровка модели динамического управления водораспределением

Калибровка модели – это процесс подбора эмпирических гидравлических коэффициентов и размеров упрощенных гидравлических элементов для того, чтобы воспроизводимое поведение реального потока было представлено в модели возможно достовернее по сравнению с сопоставляемыми явлениями в натуре. При этом необходимо ясно представлять реакцию модели на различные действия, например на изменение коэффициентов шероховатости при теоретическом определении расхода на расчетных уча-

стках канала.

Возможности модели по воспроизведению и прогнозу реальных явлений в потоках и возможное качество ее калибровки зависят от количества и качества топографических, геометрических, гидрометрических и гидравлических исходных данных. Поэтому калибровка модели и необходимые исходные данные зависят друг от друга.

Геометрические и гидравлические характеристики участков канала обычно представляются в одномерных схематизациях тремя функциями уровня воды:

- шириной $b(h)$, м;
- площадью живого сечения $\omega(h)$, м²;
- расходной характеристикой $Q(h)$.

Это позволяет воспроизвести весь происходящий процесс в любом расчетном створе канала при условии, что сопротивление можно представить расходной характеристикой, соответствующей равномерному установившемуся течению. При создании имитационной гидродинамической модели необходимо учитывать два экстремальных варианта такого случая:

- в первом варианте предполагается, что указанные функции отражают не одно поперечное сечение, а несколько между двумя расчетными точками;

- во втором варианте для построения этих функций используют составные поперечные сечения, хотя скорость воды по всему сечению предполагается равномерной, а само течение – полностью одномерным.

Если приведенные допущения приемлемы, одномерную схематизацию применять можно, в противном случае следует строить двумерную модель.

Выбор модели основывается, прежде всего, на инженерной интуиции с учетом цели моделирования и гидравлической ситуации, однако, он ограничивается самим процессом калибровки: может выявиться невозможность калибровки одномерной модели с заданной точностью, и тогда потребуется двумерная схематизация.

Калибровка при установившемся течении. Калибровка моделей одномерного установившегося движения заключается в систематической корректировке расходной характеристики $Q = f(h)$ (коэффициентов шероховатости) в расчетных точках с целью получения совпадения между наблюдаемыми и полученными расчетом величинами. Уровни и соответствующие им расходы измеряют для построения кривых расходов в расчетных створах. Эти кривые строятся как однозначные зависимости между

расходами и уровнями воды (при свободном течении по участкам канала) и не всегда соответствуют реальным неустановившимся, а значит многозначным условиям.

Тем не менее, полученные зависимости $Q = f(h)$ являются основными, а иногда и единственными исходными данными. На основе их анализа строятся продольные профили для установившегося течения, которые отражают общие гидравлические характеристики участков каналов.

Граничное условие для нижнего створа при установившемся течении определяется на модели соответствующей кривой расходов $Q = f(h)$; в верхнем створе задается граничное условие семейством – рядом расходов от Q_{\min} до Q_{\max} . Выполняется ряд прогонов с длительностью, достаточной для достижения условий установившегося течения вдоль канала до конечного участка рассматриваемого продольного профиля. Получаемые в результате прогонки продольные профили свободной поверхности сопоставляют с профилями, полученными с помощью результатов гидрометрических натурных измерений вдоль канала, и фиксируют очевидные ошибки модели.

При равномерном течении кривые свободной поверхности должны быть параллельны друг другу, а при неустановившемся условии параллельности нарушается и заметное нарушение уклона свободной поверхности может быть связано также с ошибками в исходных данных, поэтому требуется тщательная проверка результатов градуировочных зависимостей. Рекомендуется строить графики $Q = f(h)$ для всех расчетных створов, чтобы выявить ошибки в данных и причины отклонений кривых свободной поверхности.

После устранения очевидных ошибок следует выполнить калибровку путем изменения расходной характеристики, чтобы откорректировать исходные, в достаточной степени, согласующиеся с данными натурных измерений для установившегося течения. Если полученные результаты не согласуются с исходными данными, то для получения уточненной расходной характеристики уточняются коэффициенты шероховатости.

Если при реальных коэффициентах шероховатости не удастся получить необходимого соответствия между теоретически рассчитанной расходной характеристикой и характеристикой, полученной в результате натурных гидрометрических измерений, то следует уточнить дискретизацию модели, топографические, геометрические и гидрометрические исходные данные.

Одна из основных трудностей калибровки модели для установивше-

гося течения связана с недостатком данных для расчетных точек между гидрометрическими створами, для которых известны кривые расходов. При калибровке шероховатость будет откорректирована лишь вблизи этих створов, и точность модели между ними не будет повышена.

Поскольку коэффициенты шероховатости могут существенно изменяться во времени (в течение поливного сезона) и в пространстве при расчетах уровней и расходов в течение длительного периода, калибровку необходимо выполнять для нескольких моментов времени, а в промежутках между ними коэффициенты шероховатости интерполировать линейно во времени и пространстве между характерными створами.

Калибровка при неустановившемся течении. Если моделируемый канал удовлетворял бы всем предпосылкам одномерного течения, то калибровка модели для неустановившегося течения была бы несложной, так как состоит в подборе элементов модели, при котором достигается совпадение наблюдаемых и расчетных водомерных графиков.

Целесообразность использования водомерных графиков для условий неустановившегося течения определяется тем, что измеренные расходы никогда не бывают точными и никогда не измеряются непрерывно при осуществлении перерегулировки уровней, но зафиксированные изменения уровня являются достаточно надежными исходными данными для расчетов.

Для призматических русл с концентрированным потоком геометрические характеристики расчетных створов можно представить с достаточной точностью. С помощью соответствующего корректного метода интегрирования можно получить относительно надежную аппроксимацию решения полного динамического уравнения неразрывности. В таких условиях в калибровке нуждается только корректировка коэффициента шероховатости русла канала при неустановившемся течении по сравнению с установившимся.

Форма кривых расходов для сечений с концентрированным потоком зависит от характера изменения уклона линии энергии при неустановившемся течении. В зависимости от ускорения течения во времени и пространстве, продольного уклона русла канала, шероховатости или расходной характеристики, изменения уровней воды ниже по течению в результате подпора петля кривой расхода может быть более или менее растянутой относительно кривой расходов для установившегося течения.

Если численный метод, применяемый для интегрирования уравнений Сен-Венана, использован правильно, то само уравнение, используемое

программным комплексом гидродинамического моделирования MIKE 11, достаточно точно должно отражать неустановившийся характер потока.

6 Реализация модели динамического управления водораспределением с помощью автоматизированных систем управления

6.1 Исходная информация по управлению водораспределением

Реализация модели динамического управления водораспределением с помощью автоматизированных систем управления (АСУ) должна осуществляться на основе использования общей шкалы продолжительности перерегулировок глубин на границах расчетных участков в местах расположения водовыделов из канала и сетевых сооружений (регулирующих, сопрягающих, сбросных и т. п.). Шкала разрабатывается в результате обработки данных продолжительности перерегулировок глубин, полученных при проведении натурных исследований и на основе результатов моделирования гидродинамических процессов с определением времени добегающего по расчетным створам.

В зависимости от конкретных задач управления с привязкой к определенным сетевым сооружениям исходные данные для построения шкалы могут меняться. В настоящих методических указаниях предполагается использование результатов определения продолжительности перерегулировок, приведенных в таблице 4.

Все сетевые регулирующие сооружения автоматизированной оросительной системы должны быть оснащены соответствующим технологическим оборудованием по изменению положений затворов, командных уровней с помощью исполнительных механизмов, а также средствами дистанционной передачи измеряемых и регулируемых параметров в центральный диспетчерский пункт управления.

Наиболее эффективно автоматизация водораспределения осуществляется на каналах оросительных систем, характеризующихся наличием обратной гидравлической связи и необходимых резервных объемов регулирования в бьефах. Это возможно только в том случае, когда каналы всей цепочки бьефов оросительной системы без исключения имеют уклоны дна, значительно меньшие критических уклонов.

Для звеньев каналов с последовательно расположенными насосными станциями перекачки (НС) и перегораживающими сооружениями (ПС) наиболее рациональными рекомендуются следующие схемы каскадного

регулирования:

- по нижнему бьефу (для НС перекачки – по верхнему бьефу);
- смешанного регулирования;
- с отнесенным датчиком в конце бьефа.

Для звеньев ПС – канал – ПС, ПС – канал – НС – канал – ПС, когда вышерасположенное по отношению к ПС сооружение не является насосной станцией, а последующий за звеном бьеф имеет относительно небольшую длину и малый уклон, рекомендуется применение схемы по нижнему бьефу. При регулировании водоподачи через перегораживающее сооружение звена НС – канал – ПС – канал – НС с относительно небольшой длиной и малым уклоном во втором бьефе звена рекомендуется использовать схему смешанного регулирования или схему регулирования по нижнему бьефу с защитой от перелива в верхнем бьефе.

Автоматическое регулирование водоподачи насосной станцией перекачки по верхнему бьефу насосной станции в звеньях НС – канал – ПС, НС – канал – ПС – канал – НС рекомендуется использовать при наличии достаточного объема регулирования в последующем за насосной станцией бьефе.

При отсутствии достаточного запаса уровня в канале бьефа, что чаще всего имеет место в длинных бьефах или в каналах с большим уклоном дна, в звеньях НС – канал – ПС, НС – канал – ПС – канал – НС рекомендуется использовать схему регулирования водоподачи с отнесенным датчиком в конце канала.

Для применения любой схемы каскадного регулирования по результатам натуральных и теоретических исследований параметров водораспределения необходимо иметь исходные данные, необходимые для программирования работы каждого регулирующего сооружения. Такими, прежде всего, являются градуировочные характеристики сетевых регулирующих сооружений и расчетных створов, полученные путем гидрометрических измерений. На основе этих характеристик уточняются параметры создаваемой модели и определяются параметры регулирования, используемые автоматизированной системой для их передачи в центральный диспетчерский пункт. При этом по каждому сооружению должна передаваться информация, содержащая следующие параметры:

- уровень воды в верхнем бьефе сооружения;
- уровень воды в нижнем бьефе сооружения;
- положение регулирующего элемента сооружения (величина открытия затвора);

- значение параметра контроля от переливов на сооружении (в случае оснащения датчиками контроля переливов);
- расход воды, проходящий через сооружение;
- объем воды, прошедший через сооружение (в случае использования средств водоучета (счетчиков стока));
- фактическое время добегания начального возмущения до сооружения от ближайшей верхней границы расчетного участка канала;
- фактическое время добегания начального возмущения до сооружения от ближайшей нижней границы расчетного участка канала;
- продолжительность перерегулировки глубин в бьефах сооружения с учетом фактического времени добегания начального возмущения от ближайшей верхней границы расчетного участка канала;
- продолжительность перерегулировки глубин в бьефах сооружения с учетом фактического времени добегания начального возмущения от ближайшей нижней границы расчетного участка канала;
- суммарная продолжительность перерегулировки глубин в бьефах сооружения с учетом фактического времени добегания начального возмущения от головного сооружения (начального створа).

Для работы модели динамического управления водораспределением с помощью автоматизированной системы управления указанные параметры должны передаваться дистанционно в центральный диспетчерский пункт в непрерывном режиме. Для создания программного обеспечения на диспетчерском уровне должна быть реализована возможность программирования алгоритмов функционирования системы в зависимости от перечисленных параметров водораспределения.

6.2 Описание функциональной структуры автоматизированной системы управления

Схема функциональной структуры автоматизированной системы управления водораспределением на оросительной сети приведена на рисунке 2.

На этапе подготовки АСУ к управлению заявки на водоподачу (блок 1) подаются в диспетчерскую службу оросительной системы. Здесь они вводятся в базу данных управляющей ЭВМ (блоки 5, 6) и хранятся до начала операции управления. Заявки подаются водопотребителями посуточно по каждому водовыделу с почасовой разбивкой. На основе введенных заявок рассчитывается план водораспределения (блок 4), анализирует-

ся диспетчером (блок 2) и, при необходимости, корректируется им (блок 7). После этого сформированный план водораспределения в виде диспетчерского журнала выводится на печать (блок 3). При наличии в базе данных управляющей ЭВМ плана водопользования (блок 10), предусматривается контроль за его соблюдением (блоки 6, 7).

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

По результатам работы системы управления водораспределением за сутки формируется итоговый файл (блок 14), который передается в блок подведения итогов для дальнейшей обработки.

На этапе подведения итоговых показателей делается расчет итогов за сутки (блок 21) выводится на печать итоговая ведомость работы (блок 22), а данные накапливаются в базе данных управляющей ЭВМ (блок 23). Они будут использоваться затем при подсчете итоговых показателей за декаду и месяц (блоки 24, 25). Этот подсчет сопровождается выводом документов с информацией о работе системы за отчетный период (блок 26) и ведомости показателей ее работы (блок 27). Вся информация контролируется диспетчером (блок 29) и, при необходимости, корректируется им (блок 28).

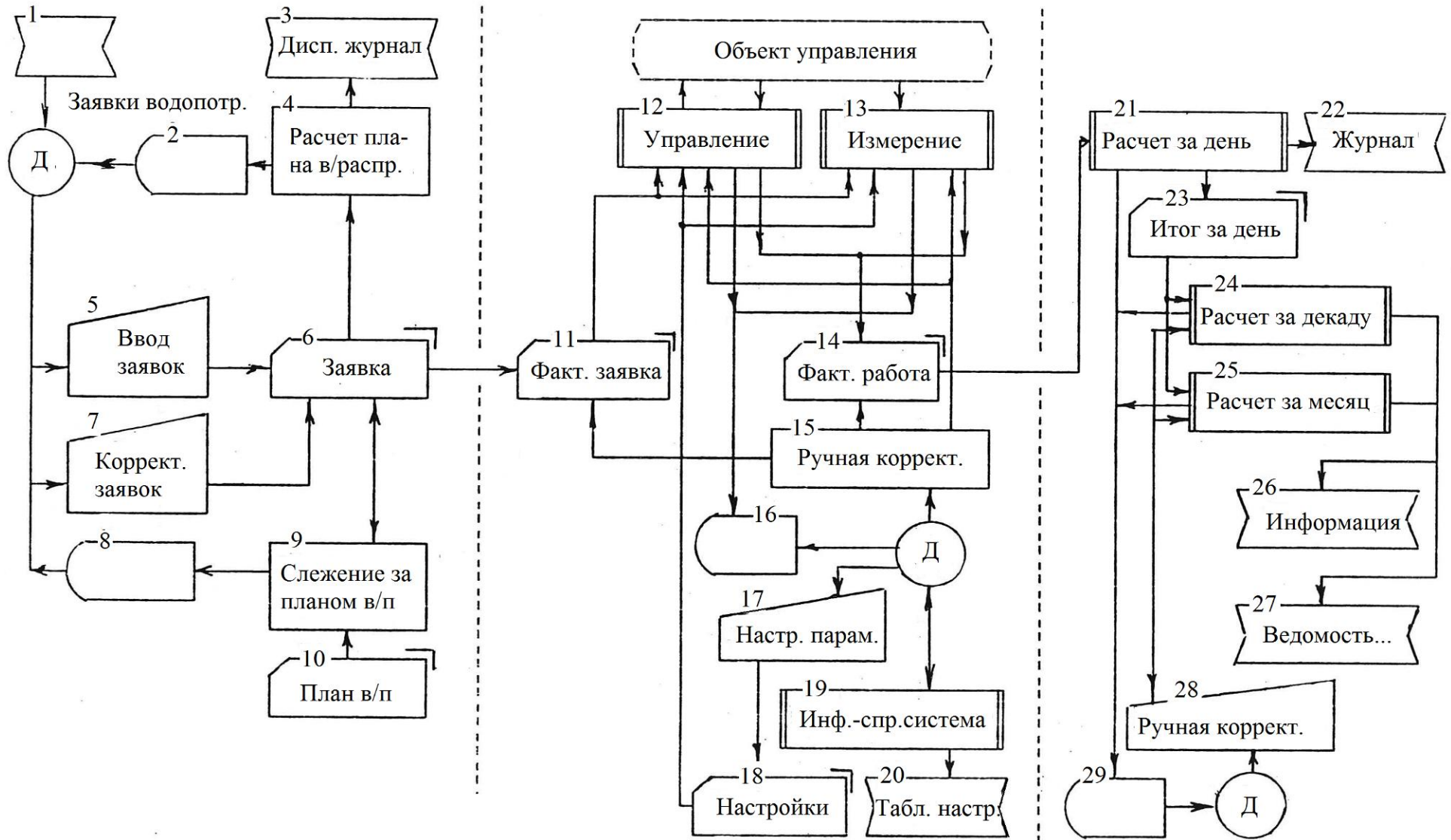


Рисунок 2 – Схема функциональной структуры автоматизированной системы управления водораспределением на оросительной сети

6.3 Технические средства использования командной информации и воздействия на объект управления

Исполнительные механизмы и устройства промышленных систем автоматики входят в функциональную группу устройств использования командной информации в целях воздействия на процесс и для связи с оператором.

Исполнительный механизм, работающий в системе автоматического регулирования, должен не только совершать работу по перемещению регулирующего органа, но и обеспечивать это перемещение с возможно меньшими искажениями законов регулирования, формируемых регулирующим устройством. Поэтому одним из основных требований, предъявляемых ко многим исполнительным механизмам, является требование обеспечения быстрого действия в работе (быстроты срабатывания) и необходимой точности. К исполнительным механизмам предъявляется также ряд требований конструктивного, эксплуатационного и экономического характера, которые выражаются в следующем:

- исполнительный механизм должен иметь минимальные габариты и вес, быть конструктивно простым, обладать высокой надежностью и коррозионной устойчивостью, а также обеспечивать плавность и равномерность движения приводного механизма;

- исполнительный механизм должен быть безопасен в эксплуатации, устойчив в работе, обеспечивать постоянство скорости перемещения приводного (рабочего) органа, а также возможность регулирования скорости и развиваемого им крутящего момента;

- исполнительный механизм должен иметь устройство защиты для предохранения приводного органа от перегрузок и поломок, а также систему ручного дублера на случай возможных отказов в схеме управления приводом или при нарушении энергоснабжения, обеспечивать возможность дистанционной передачи положения приводного органа, а также возможность контроля изменения его момента сопротивления.

Основными показателями исполнительных механизмов являются:

- номинальные значения вращающего момента на выходном валу исполнительного механизма или усилия на его выходном штоке (т.е. момент или усилие, при которых исполнительный механизм работает с отдачей максимальной полезной мощности);

- максимальные значения вращающего момента, на выходном валу исполнительного механизма или усилия на его выходном штоке. Эти зна-

чения определяют наибольшие нагрузки, которые данный исполнительный механизм вообще может преодолеть;

- КПД – отношение максимальной полезной мощности, получаемой на выходе исполнительного механизма, к мощности, отбираемой от источника энергии при оптимальном режиме работы;

- зона нечувствительности, в пределах которой изменение величины управляющего сигнала не вызывает движения исполнительного механизма;

- постоянная времени – параметр, характеризующий инерционное запаздывание начала срабатывания исполнительного механизма при подаче к нему управляющего сигнала. Этот показатель вместе с предыдущим определяет величину быстродействия исполнительного механизма в системе автоматического регулирования или управления;

- время оборота выходного вала исполнительного механизма или хода его штока;

- величина инерционного выбега выходного вала исполнительного механизма. Данный показатель определяет точность действия исполнительного механизма. На величину точности влияют также некоторые конструктивные факторы исполнительного механизма, например люфт, трение и др.

Помимо вышеперечисленных показателей для всех исполнительных механизмов одними из важнейших показателей являются их различные динамические и статические характеристики, которые для каждого типа исполнительного механизма определяются экспериментальным или расчетным путем. Знание этих показателей позволяет осуществить правильный выбор исполнительного механизма для конкретных систем автоматического регулирования или управления и обеспечить его высокоэффективную работу.

К основным блокам исполнительного устройства относятся исполнительный механизм и регулирующий орган, которые конструктивно могут быть объединены в едином изделии или собираются из индивидуально выпускаемых блоков. Под исполнительным механизмом в общем случае подразумевают блок исполнительного устройства (рисунок 3), преобразующий входной управляющий сигнал от регулирующего устройства в сигнал, который через соответствующую связь осуществляет воздействие на регулирующий орган или непосредственно на объект регулирования.

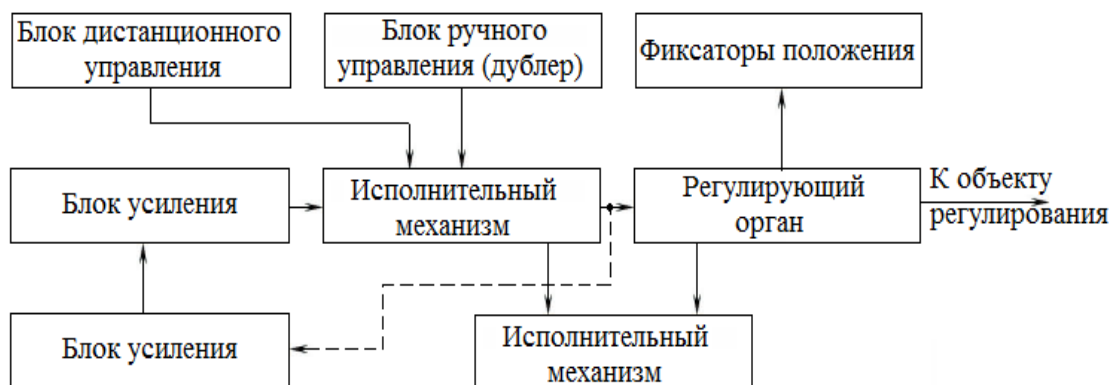


Рисунок 3 – Блок-схема исполнительных устройств

Регулирующим органом называют блок исполнительного устройства, с помощью которого производится регулирующее воздействие на объект регулирования. Кроме исполнительного механизма и регулирующего органа исполнительное устройство содержит ряд вспомогательных блоков, расширяющих область применения исполнительных устройств и обеспечивающих выполнение ряда дополнительных функций.

К вспомогательным блокам относятся блок ручного управления для механического (ручного) управления регулирующим органом, блок сигнализации конечных положений для выдачи информации о положении выходного элемента исполнительного механизма или затвора регулирующего органа, фиксаторы положения для фиксации положения выходного элемента исполнительного механизма или затвора регулирующего органа, блок дистанционного управления, блок обратной связи для улучшения статических и динамических характеристик исполнительного устройства или всей замкнутой системы регулирования.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом разработано и применяется большое количество разнообразных исполнительных механизмов, основанных на различных принципах действия и выполняющих различные функции в зависимости от требований, обуславливаемых характером технологического процесса или получением заданного закона изменения положения регулирующего органа.

Поэтому возникает необходимость в четкой и строгой классификации исполнительных механизмов как по виду потребляемой энергии, по их устройству, конструкции и принципу действия, так и по назначению и характеру их использования в автоматических системах.

Классификация исполнительных механизмов приведена на рисунке 4.

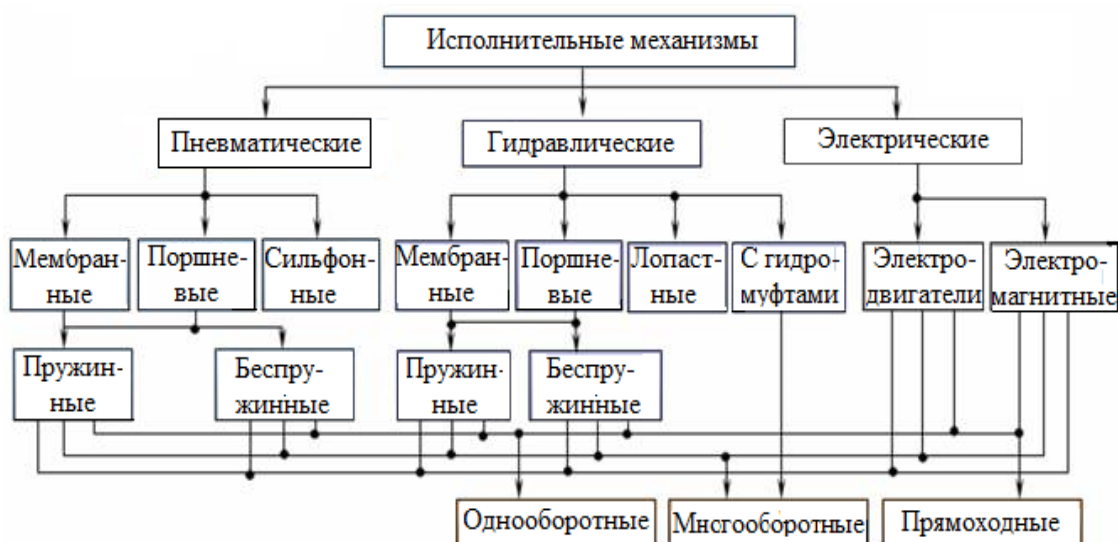


Рисунок 4 – Классификация исполнительных механизмов

По виду потребляемой энергии все исполнительные механизмы можно разделить на следующие группы:

- электрические, использующие для своего действия электрическую энергию;
- пневматические, использующие энергию сжатого воздуха или газа;
- гидравлические, использующие энергию жидкости (гидравлические приводы с рециркуляционной маслосистемой или гидроприводы, использующие в качестве энергоносителя транспортируемую по трубопроводам жидкость, например, нефть или воду);
- исполнительные механизмы, использующие энергию паров воды или легкокипящей жидкости;
- исполнительные механизмы, использующие энергию газов, образующихся при взрыве (механизмы взрывного действия).
- исполнительные механизмы с использованием энергии газов, образующихся при нормальном протекании химической реакции (механизмы химического действия).
- исполнительные механизмы, использующие потенциальную энергию падающего груза или сжатой пружины (грузовые и пружинные исполнительные механизмы).

По своему исполнению эти механизмы делятся на две категории:

- нормального исполнения;
- специального исполнения.

К последним относятся исполнительные механизмы взрыво- и водозащищенные, тропического и морского исполнения, вибро- и морозостойкие и т. д.

По характеру и назначению работы в автоматических системах исполнительные механизмы разделяются на:

- работающие по дискретному принципу («открыто-закрыто»);
- работающие по закону непрерывной функции. К ним относятся исполнительные механизмы позиционного действия, исполнительные механизмы пропорционального действия, осуществляющие регулирование системы по постоянному параметру (их задача – поддерживать постоянным один заданный параметр), а также некоторые специальные исполнительные механизмы дистанционного управления, работающие в комплексе с другими автоматическими устройствами (например, электронными регуляторами);
- исполнительные механизмы следящего и программного действия.

Следящий исполнительный механизм сообщает ведомому звену движение, согласованное с определенной точностью с ведущим перемещением, задаваемым исполнительному механизму маломощным устройством.

Программный исполнительный механизм обеспечивает изменение регулируемого звена по заранее заданному закону в зависимости от времени или какой-либо другой величины.

По скорости вращения или движения исполнительные механизмы могут разделяться на тихоходные и быстроходные.

Однако классификация по этому признаку является условной, так как для разных процессов одни и те же исполнительные механизмы при одной и той же скорости их выходных звеньев могут считаться и быстроходными и тихоходными.

По времени работы исполнительные механизмы могут быть разбиты на три основные группы:

- с продолжительным;
- с кратковременным;
- с повторно-кратковременным режимом работы.

Этот признак имеет существенное значение для электрических исполнительных механизмов, где режимы работы определяют их тепловые нагрузки.

По способу управления исполнительные механизмы можно разделить на механизмы:

- местного действия;
- дистанционного действия;
- телеуправляемые.

Регулирующие органы непосредственно воздействуют на процесс изменения количества подаваемого вещества или энергии в объекте управления.

При двухпозиционном регулировании (открыто-закрыто) затвор регулирующего органа быстро перемещается в одно из крайних положений. В этом случае регулирование параметра рабочей среды осуществляется за счет соотношения между промежутками времени, когда регулирующий орган закрыт или открыт.

При непрерывном регулировании пропускная способность регулирующего органа определяется степенью его открытия.

Регулирующие органы по виду воздействия на объект подразделяются на два основных типа: дросселирующие и дозирующие.

Дросселирующие регулирующие органы изменяют гидравлическое сопротивление в системе, воздействующее на расход вещества путем изменения своего проходного сечения.

В дозирующих регулирующих органах осуществляется заданное дозирование поступающего вещества или энергии или изменение расхода вещества путем изменения производительности агрегатов. В настоящее время широкое распространение в АСУ ТП получили дросселирующие регулирующие органы, хотя применение дозирующих регулирующих органов экономически более оправдано.

Регулирующие органы характеризуются многими параметрами, основными из которых являются: максимально допустимое давление на входе в регулирующий орган, минимальный расход среды, перепад давления на регулирующем органе, расход через полностью открытый клапан. Подбор регулирующего органа осуществляется по перечисленным параметрам.

По конструктивному исполнению для газообразных и жидких сред дросселирующие регулирующие органы (РО) подразделяются на односедельные, двухседельные, шланговые, диафрагмовые и заслоночные.

Односедельные РО представляют собой клапан, в котором изменение пропускной способности определяется поступательным перемещением затвора относительно прохода седла. Они применяются при больших перепадах давления, расходах и диаметрах условного прохода РО, (условный проход РО – это номинальный диаметр прохода присоединительных патрубков).

Шланговые и мембранные РО – это бессальниковые регулирующие органы, которые используются для изменения расхода агрессивных и загрязненных жидкостей.

Заслоночные РО применяются для управления потоками газовых сред. РО заслонка – это круглая, квадратная или прямоугольная пластина, закрепленная на оси и размещенная в корпусе.

Наибольшее распространение получили дроссельные регулирующие органы – клапаны и заслонки.

Электрические исполнительные устройства (ЭИУ) находят преимущественное распространение в системах автоматизации. При необходимости использовать пневматические и гидравлические исполнительные устройства последние дополняются электропнеumo- и электрогидропреобразователями.

Преимущества электрических исполнительных механизмов по сравнению с исполнительными механизмами, использующими для своей работы другие виды энергии, выражаются в следующем:

- неограниченный радиус действия и управления;
- возможность применения при отрицательной температуре окружающей среды;
- простота в эксплуатации;
- отсутствие сложной системы трубопроводов, требующих безукоризненной герметизации.

В зависимости от применяемого первичного двигателя электрические исполнительные механизмы можно разделить на две группы: электродвигательные (моторные) и электромагнитные (соленоидные).

В электродвигательных исполнительных механизмах, которые иногда называют электрическими приводами, силовым элементом является электродвигатель постоянного или переменного тока (асинхронный, синхронный или коллекторный).

В электромагнитных исполнительных механизмах (их часто называют электромагнитными приводами) силовым элементом является соленоид или электромагнит постоянного или переменного тока.

Электрические исполнительные устройства могут быть разделены на четыре группы:

- ЭИУ позиционного действия;
- ЭИУ постоянной скорости;
- ЭИУ переменной скорости;
- усилители мощности.

Исполнительные механизмы электрических исполнительных устройств позиционного типа, постоянной или переменной скорости состоят из электродвигателя и редуктора. Такой исполнительный механизм по сво-

им динамическим свойствам соответствует интегрирующему звену, если в качестве выходной переменной в исполнительном устройстве принят угол поворота (перемещение). Вследствие этого силовая часть может формировать интегральную составляющую таких законов регулирования, как пропорционально-интегрального и пропорционально-интегрально-дифференциального в структуре регулятора.

Другой способ использования исполнительных механизмов с электродвигателями состоит в охвате двигателя жесткой обратной связью, и в этом случае электрическое исполнительное устройство является пропорциональным звеном, положение выходного органа которого пропорционально входному сигналу.

Качество работы электрических исполнительных устройств с электродвигателями характеризуют такими показателями, как номинальный момент, время полного хода, выбег, люфт, гистерезис, импульсные характеристики, режим работы.

Время полного хода выбирают исходя из допустимого времени перестановки затвора регулирующего органа от начала до конца.

Выбег есть перемещение выходного органа исполнительного механизма после выключения механизма, работающего в установившемся режиме. Выбег желательно иметь таким, чтобы после выключения двигателя изменение сигнала обратной связи по регулируемому параметру было в пределах установленной зоны нечувствительности регулятора. Согласно требованиям ГОСТ 7192-89, величина выбега не должна быть более 1 % для электрических исполнительных устройств с временем полного хода 10 с, 0,5 % для механизмов с временем 25 с и 0,25 % для механизмов с временем 63 с и более.

Люфт и гистерезис характеризуют нелинейности статической характеристики электрического исполнительного устройства. Люфт образуется свободным ходом выходного органа при неподвижном вале электродвигателя из-за зазора в зацеплении кинематических узлов редуктора, износа контактирующих поверхностей. Согласно ГОСТ 7192-89, люфт выходного органа не должен превышать 1 мм для однооборотных электрических исполнительных устройств с номинальной нагрузкой 40 Н·м и менее; 0,75 мм для однооборотных электрических исполнительных устройств нагрузкой более 40 Н·м; 3 мм для многооборотных электрических исполнительных устройств; 0,2 мм для прямоходных электрических исполнительных устройств с нагрузкой до 1000 Н и 0,5 мм при нагрузке свыше 1000 Н. Гистерезис между положением выходного органа и сигналом датчика положе-

ния складывается из люфта механической передачи и вариаций показаний датчика. По стандарту гистерезис не должен быть более 1,5 % полной шкалы показаний датчика при нелинейности статической характеристики менее 2,5 %.

Импульсная характеристика электрического исполнительного устройства определяется как средняя относительная скорость S перемещения выходного органа. Для электрического исполнительного устройства постоянной скорости с импульсным сигналом управления рассматривается отношение величины перемещения выходного органа к длительности импульса, вызвавшего перемещение. Если это перемещение брать в долях от полного хода, а длительность – в долях времени полного хода, то соответственно их отношение даст значение S . Значение $S = f(\Delta t)$, где Δt – относительная длительность импульса управления, и образует импульсную характеристику. Для идеального электрического исполнительного устройства постоянной скорости $S = 1$. Реальное значение S отечественных электрических исполнительных устройств постоянной скорости лежит в диапазоне от 0,5 до 1,5.

Режим работы исполнительного устройства – повторно-кратковременный реверсивный, с частотой до 320 включений в час и продолжительностью до 25 % при нагрузке на выходном органе в пределах от номинальной противодействующей до 0,5 номинального значения сопутствующей. К электрическим исполнительным устройствам предъявляются требования к повышенной частоте включений: в течение часа 600 и более с интервалом времени между выключением и включением на обратный ход не менее 50 мс.

6.4 Формирование структуры информационного обеспечения

Основу информационной структуры системы составляет файловая система организации, создания, передачи, обработки и хранения информации. Условно информационное поле пакета можно разделить на три основные группы.

Первую информационную группу составляет группа файлов, обеспечивающих настройку системы на реальный объект. Она включает блоки файлов «параметры сооружений», «настройки технические», «настройки системные». Под блоками файлов при этом понимается набор файлов различного назначения (данных, индексных, памяти и т. п.), имеющих одинаковые имена и реализующих единые функции.

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

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

Блок «настройки системные» призван содержать информацию о параметрах, обеспечивающих управление: подключенность того или иного элемента системы в контур управления, его работоспособность, признак возможности управления им, измерения или водоучета на нем. Здесь же содержатся сведения об элементах системы, обеспечивающих командование уровнями или расходами на определенных участках каналов, ранее рассчитанные или эмпирически определенные времена добега расходов до узловых точек системы и т. п. Информация, содержащаяся в файлах «настройки системные», будет подвергаться значительно более частым корректировкам, особенно на стадиях настройки системы на объект, во время пуско-наладочных работ и вводе системы в опытную эксплуатацию. Отметим, что она может корректироваться как диспетчером путем ручного вмешательства с клавиатуры ЭВМ, так и программно за счет уточнения тех или иных параметров в процессе фактической работы системы.

В целом информация, хранящаяся в блоках файлов «параметры сооружений», «настройки технические», «настройки системные», обеспечивает гибкую настройку системы на объект, является базисной для конкретной автоматизируемой системы и используется на всех этапах ее работы.

Вторая информационная группа представляет собой набор файлов для хранения оперативных данных о работе системы. Она включает блоки

файлов «план водопользования», «данные о фактической работе системы», «данные о поданных заявках на водоподачу».

В блоке файлов «план водопользования» содержатся данные о рассчитанном и утвержденном ранее годовом плане водопользования. Они задают те ограничения, которые накладываются на управление в рамках соблюдения принятой на данной системе дисциплины водопользования. Кроме этого они позволяют оценить фактическое и планируемое состояние дел по водопользованию по тому или иному водопотребителю. Блок «данные о поданных заявках на водоподачу» формируется на этапе подготовки к управлению на заданный временной интервал. Это связано с необходимостью оценки возможности фактической реализации заявок на водоподачу, проведения предварительных подготовительных операций по ее обеспечению (в том числе и средствами, не входящими в систему управления), проверки соблюдения водопотребителями дисциплины водопользования. Они вносятся диспетчером в виде заявок на водоподачу от потребителей. Затем производится расчет плана водораспределения с учетом ограничений, накладываемых в упомянутом ранее блоке файлов «план водопользования», а также оперативно складывающейся обстановки на объекте. В последующем эта информация используется системой как исходная на стадии оперативного управления в реальном масштабе времени.

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

Третья информационная группа включает в себя группу файлов, в которых хранится обработанная информация о результатах работы

системы за определенный временной отчетный интервал. Это блоки файлов «итог за день», «итог за декаду», «итог за месяц». В них записываются данные об итогах работы за соответствующий отчетный период: количество забранной в систему воды, количество воды поданной каждому потребителю, время работы каждого из потребителей и т. п. Эти данные используются для формирования информационно-справочных сообщений и отчетных документов.

Помимо файлового информационного пространства система должна предусматривать широкий спектр таблиц, сообщений, графиков и т. п. с тем, чтобы обеспечить информационную поддержку работы диспетчерской службы.

6.5 Формирование состава программного обеспечения

Представленная в подразделе 6.1 функциональная структура автоматизированной системы управления водораспределением на оросительной сети определяет состав программных средств, включающий следующие программные блоки:

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

Конкретная программная реализация каждого из блоков определяется спецификой применяемого в каждом конкретном случае общего программного обеспечения. Однако общие алгоритмы их работы могут быть сформулированы следующим образом.

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

В блоке программ «формирование плана водораспределения» диспетчер вводит в ЭВМ данные о поданных заявках на водоподачу «ввод заявок». После этого производится автоматизированный расчет плана водораспределения «расчет плана водораспределения», формируется и распечатывается диспетчерский журнал «формирование диспетчерского журнала», а данные рассчитанного плана сохраняются в базе данных управляющей ЭВМ «Запись данных».

Блок программ «управление системой» является основным в структуре программных средств. Он обеспечивает сбор информации с объекта «измерение» и на основе ее производит расчет решения на управление «расчет управления». Для обеспечения гибкого управления системой диспетчеру оставляется возможность ручной корректировки этого режима, после чего производится само «управление». В случае возникновения нестандартных и аварийных состояний система выводится на безопасный режим и выдается сообщение диспетчеру «авария». В процессе работы блока «управление системой» формируются фактические данные о работе системы за определенный период управления.

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

Для организации удобного интерфейса ЭВМ с оператором, обеспечивающим управление файловыми структурами, разработана многофункциональная таблица 6, включающая параметры, описывающие систему управления.

Как видно из таблицы 6, такая функциональная загруженность таблицы позволяет:

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

Таблица 6 – Назначение граф таблицы гибкой настройки на объект

Номер графы	Содержание	Назначение	Принимаемые значения
1	2	3	4
1	Шифры сооружений	Указывается номер и шифр сооружения, по которому введена информация	–
2	Тип	Принадлежность сооружения к числу управляющих или к числу водовыделов	1 – управляющее 2 – водовыдел
3	Работоспособность	Признак, дающий системе управления информацию о текущей работоспособности данного сооружения	1 – работоспособно 0 – неработоспособно
4	Разрешение управления	Признак, дающий системе производить управление данным сооружением	1 – разрешено 0 – не разрешено
5	Номер регулирующего ГТС	Определяет номер сооружения в системе, которое обеспечивает регулирование уровней воды на данном сооружении	Номер
6	Установка ВБ	Содержится значение уровня воды в верхнем бьефе, которое необходимо поддерживать для сооружения	Реальное значение, см
7	Максимальная погрешность ВБ	Заданная максимально допустимая погрешность поддержания уровня относительно установки	см
8	Коэффициент уровней	Определяет величину перерегулирования щита на единицу измерения уровня ВБ на данном сооружении	см/см
9	Коэффициент расходов	Определяет величину расхода на водовыделе по открытию щита на нем	л/с/см
10	Время добегания	Среднее значение времени добегания расходов от данного сооружения до обеспечивающего управление им	с/мин/час/ сут
11	Номер головного сооружения	Определяет номер вышележащего головного регулирующего сооружения в бьефе, где находится данное сооружение	Номер
12	Номер кнопки ВБ	Определяет закрепленный в системе номер канала для измерения уровня ВБ на данном сооружении	1, 2, ... n 0 – ВБ не измеряется

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4
13	Номер кнопки НБ	Определяет закрепленный в системе номер канала для измерения уровня НБ на данном сооружении	1, 2,... n 0 – НБ не измеряется
14	Номер кнопки открытия щита	Определяет закрепленный в системе номер канала для измерения открытия щита на данном сооружении	1, 2,... n 0 – открытие щита не измеряется
15	Номер кнопки расхода	Определяет закрепленный в системе номер канала для измерения расхода на данном сооружении	1, 2,... n 0 – расход не измеряется
16	Номер кнопки НА	Определяет закрепленный в системе номер канала для измерения количества насосных агрегатов	1, 2,... n 0 – количество НА не измеряется
17	Шкала ВБ	Определяет максимальное значение шкалы для измерения уровня воды в ВБ, установленное для данного сооружения на командном пункте	см
18	Шкала НБ	Определяет максимальное значение шкалы для измерения уровня воды в НБ, установленное для данного сооружения на командном пункте	см
19	Шкала открытия щита	Определяет максимальное значение шкалы для измерения открытия щита, установленное для данного сооружения на командном пункте	см
20	Шкала расхода	Определяет максимальное значение шкалы для измерения расхода, установленное для данного сооружения на командном пункте	л/с

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

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

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

Таблица заполняется и может корректироваться диспетчером с

клавиатуры дисплея как на предэксплуатационной стадии, так и стадии в процессе работы системы управления в зависимости от реально складывающейся обстановки на объекте, а также может быть выведена на печать и в дальнейшем использоваться как информационно-справочный материал при работе с системой управления. Приведенная выше структура является базисной и может корректироваться для реальных условий.

7 Проведение сценарных исследований применения модели динамического управления процессами водораспределения при реализации цели оптимизации использования оросительной воды

В реальных условиях эксплуатации оросительных систем план водопользования подлежит регулярной корректировке в зависимости от влияния различных факторов, в частности, от постоянно меняющихся погодных условий. В этом случае задача оптимизации использования оросительной воды сводится к непрерывной привязке к постоянно меняющимся условиям выращивания сельскохозяйственных культур для обеспечения их водопотребности, а в целом соблюдении водного баланса орошаемого участка.

Управление водораспределением на оросительных системах осуществляется диспетчерскими службами в соответствии с принятыми планами водопользования, рассчитанными на весь поливной период, в основные обязанности которых входит:

- формирование суточного графика водозабора и водораспределения по системе;
- оперативное управление водораспределением по реально складывающейся обстановке;
- ведение отчетной документации о работе системы;
- прием заявок на водоподачу от водопотребителей;
- проверку поданных заявок на соответствие их принятому плану водопользования, при необходимости проведение их согласования;
- определение расходов на водозаборном и сетевых регулирующих сооружениях (включая водовыделы водопотребителям);
- определение значений поддерживаемых уровней в каналах и открытых затворов на сетевых регулирующих сооружениях и водовыделах.

Заявки на водоподачу, как правило, подаются на декаду, в соответствии с принятым планом водопользования. Их прием осуществляется на бланках установленной формы, заверенных подписью гидротехника (или

другого ответственного лица) хозяйства. При их приеме диспетчер обязан проконтролировать их соответствие принятому плану водопользования, а также пропускным способностям каналов и производительности насосных агрегатов.

После приема заявок диспетчер должен просчитать планируемые расходы на головном и перегораживающих сооружениях системы с тем, чтобы определить их соответствие пропускным способностям каналов, требованиям неразмываемости русел и др.

Расходы водоподачи по участкам канала рассчитываются для каждого момента времени t от 0 до 24 часов. В простейшем случае расход, приведенный к голове системы, Q , м³/с, определяется следующим образом:

$$Q \text{ м}^3/\text{с} \cong \sum_{i=1}^n q_i \text{ м}^3/\text{с}, \quad (16)$$

где n – общее количество водопотребителей в системе;

i – порядковый номер водопотребителя в системе;

q – расход, забираемый i -м водопотребителем, м³/с.

Для расхода на любом регулирующем сооружении (водовыделе) системы формула (16) имеет вид:

$$Q_{pc} \text{ м}^3/\text{с} \cong \sum_{i=1}^m q_i \text{ м}^3/\text{с}, \quad (17)$$

где m – количество водопотребителей, забирающих воду с данного водовыдела.

По результатам расчетов определяются графики подачи воды на регулирующих сооружениях системы Q_{pc} м³/с. По ним контролируется их соответствие пропускным способностям каналов и сооружений и режимам их эксплуатации.

Такой режим расчета весьма трудоемок и требует произвести в общей сложности $n = k\Delta t$ измерений, где k – количество регулирующих сетевых сооружений, по которым проводится расчет; Δt – количество расчетных интервалов времени.

Для удобства и наглядности на практике такие расчеты производят табличным способом, что дает значительные преимущества применения модели динамического управления водораспределением. Данные поданных заявок вносят в соответствующие диспетчерские журналы по интервалам времени, а затем для каждого интервала пересчитывают суммарные расходы по каждому сооружению. Расчет начинается с конечных водопотребителей, и заканчивается показателями водоподачи в голове системы.

Затем, по градуировочным таблицам сооружений, определяются значения открытых затворов, которые соответствуют этим расходам, и заполняются журналы открытия затворов.

С учетом времен добегаания расход Q , м³/с, приведенный к голове системы, для каждого момента времени Δt может быть определен следующим образом:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i(t + t_{\text{доб}i}), \quad (18)$$

где $t_{\text{доб}i}$ – время добегаания расхода от головного водозаборного сооружения до i -го водовыдела, с.

Для любого из регулирующих сооружений (водовыделов) график расходов будет вычисляться следующим образом:

$$Q_{pc}(t) = \sum_{i=1}^m q_i(t + t_{\text{доб}i}), \quad (19)$$

где $t_{\text{доб}i}$ – время добегаания расхода от регулирующего сооружения (водовыдела) до нижерасположенного i -го водовыдела, с.

Игнорирование времен добегаания расходов будет приводить либо к появлению дефицитов в те моменты времени t , с, когда:

$$\sum_{i=1}^n (Q(t + t_{\text{доб}i}) - Q(t)) < 0 \quad (20)$$

или к непроизводительным сбросам, когда:

$$\sum_{i=1}^n (Q(t + t_{\text{доб}i}) - Q(t)) > 0. \quad (21)$$

Общий объем возникающих дефицитов $\Delta W_{\text{деф}}$, м³, за сутки может быть определен как сумма объемов за интервалы времени Δt , в которые возникали дефициты:

$$\Delta W_{\text{деф}} = \Delta Q_1 \Delta t_1 + \Delta Q_2 \Delta t_2 + \dots + \Delta Q_n \Delta t_n, \quad (22)$$

где $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_n$ – дефицит расходов, м³/с;

$\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ – интервалы времени, в которые эти дефициты возникли, с.

А общий объем сбросов $\Delta W_{\text{сбп}}$, м³, равен:

$$\Delta W_{\text{сбп}} = \Delta Q_1 \Delta t_1 + \Delta Q_2 \Delta t_2 + \dots + \Delta Q_m \Delta t_m, \quad (23)$$

где $\Delta Q_1, \Delta Q_2, \dots, \Delta Q_m$ – излишки расходов, м³/с;

$\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$ – интервалы времени, в которые эти излишки возникали, с.

Необходимым условием подачи воды в водовыделы является наличие рабочих (командных) уровней в бьефах распределительных каналов, т. е. таких уровней, при которых обеспечивается физическая возможность подачи воды в заданном количестве из каналов более высокого уровня в более низкие. В реальных эксплуатационных условиях текущие уровни могут быть как ниже рабочих, так и выше их.

Наличие более низких уровней может быть связано, например, с предшествующими режимами водораспределения (при отсутствии водопотребителей из данного бьефа нет необходимости поддерживать в нем рабочий уровень), проведением плановых или аварийных эксплуатационных мероприятий на системе с вынужденным опорожнением каналов, непроизводительными потерями, связанными с фильтрацией, утечками и т. п. Это означает, что подача воды потребителям не может осуществляться до тех пор, пока не будут наполнены до необходимых командных уровней бьефы распределительных каналов.

Более высокие уровни могут быть вызваны несанкционированным или аварийным отказом от воды одного или нескольких потребителей, выпавшими осадками и т. п. Игнорирование этого явления при формировании графика водораспределения может привести к непроизводительным вынужденным сбросам воды, а в отдельных случаях и к аварийным ситуациям, связанным с затоплением прилегающих территорий.

Таким образом, что при формировании графика водораспределения диспетчер обязан предусматривать подачу дополнительных объемов воды в систему, обеспечивающих заполнение каналов до командных уровней.

При формировании суточного диспетчерского графика водораспределения общий объем воды W , м³, который должен быть дополнительно подан в систему, может быть определен как сумма объемов w , м³, которые необходимо дополнительно подать в каждый из бьефов:

$$W = w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n. \quad (24)$$

Поэтому перед началом расчета суточного графика водораспределения диспетчер должен определить значения w_i для каждого из бьефов. С этой целью производится измерение текущих значений $h_{тек}$ в каждом из i -ых бьефов и, зная $h_{раб,i}$, определяются объемы:

$$\Delta W = w_{раб,i} - w_{тек,i}. \quad (25)$$

Объем заполнения канала является функцией от глубины заполнения

$w = f(h)$ и зависит от размеров канала, уклонов, режимов эксплуатации и т. п. Поэтому в условиях эксплуатации она может быть представлена в виде номограмм или градуировочных таблиц.

Расходы q , м³/с, необходимые для подачи дополнительных объемов w , м³, в каждый из бьефов могут быть определены из выражения:

$$q = w_i / \Delta t, \quad (26)$$

где Δt – интервал времени, в течение которого должен заполняться i -ый бьеф, с. Он определяется диспетчером исходя из пропускных способностей каналов $q_i < q_{\max,i}$, обеспечения их режимов эксплуатации.

Определенные таким образом расходы включаются в диспетчерский график водораспределения и, наравне с полезными расходами, подаваемыми водопользователям, должны учитываться при расчете и обеспечении графика водозабора и водораспределения.

Игнорирование учета начального заполнения каналов может привести в одних случаях к возникновению дефицитов у водопотребителей на величину:

$$\Delta W = W_{\text{раб}} - W_{\text{тек}} \quad \text{при } \Delta W < 0, \quad (27)$$

а в других – к непроизводительным сбросам:

$$\Delta W = W_{\text{раб}} - W_{\text{тек}} \quad \text{при } \Delta W > 0. \quad (28)$$

Сформированный и приведенный к голове системы суточный график водопотребления из системы $Q_{\text{потр}}$ должен быть согласован с графиком водоподачи $Q_{\text{под}}$ в нее головным водозаборным сооружением. Идеальным случаем при этом является вариант, когда для каждого момента времени t может быть выполнено условие:

$$Q_{\text{под}} = Q_{\text{потр}}. \quad (29)$$

При самотечных способах водозабора выполнение этого условия технически разрешимо, т. к. в этих случаях головное водозаборное сооружение, как правило, выполняется в виде электрифицированных щитовых сооружений, позволяющих плавно регулировать проходящий через них расход. Это позволяет обеспечить подачу в систему в любой момент времени практически любого допустимого значения расхода.

Иначе обстоит дело при машинных способах водозабора, осуществляемых с помощью насосных станций. Средства управления НС, как правило, слабо обеспечивают плавную регулировку производительности

насосных агрегатов, входящих в их состав. Поэтому расход в систему может подаваться только ступенчато, с дискретностью, равной производительности насосных агрегатов. В результате этого выполнение равенства (29) для каждого момента времени t не может быть обеспечено. В этих случаях, во избежание непроизводительных потерь воды из системы, диспетчер должен обеспечить такой режим водоподачи в систему, при котором бы выполнялось условие равенства поданных и забранных объемов воды за сутки, т. е.:

$$W_{nod} = W_{nomp}, \quad (30)$$

где W_{nod} – объем водозабора в систему, м^3 ;

W_{nomp} – объем, потребленный из системы, м^3 .

Или формулу (30) можно записать таким образом:

$$\sum_{t=0}^{24} Q_{nod} \Delta t = \sum_{t=0}^{24} Q_{nomp} \Delta t. \quad (31)$$

Достигнуть этого можно сглаживанием графика подаваемых расходов $Q_{nod} \Delta t$ путем использования имеющихся на системе резервных емкостей (бассейнов суточного регулирования, резервных объемов каналов и др.).

В тех случаях, когда:

$$Q_{nod} - Q_{nomp} \Delta t > 0, \quad (32)$$

эти емкости должны использоваться для накопления появившихся излишних объемов, а когда:

$$Q_{nod} - Q_{nomp} \Delta t < 0, \quad (33)$$

накопленные объемы должны быть направлены на ликвидацию возникающих дефицитов.

При этом для каждого момента времени должно соблюдаться условие:

$$W_{\min} < W_{тек} + (Q_{nod} - Q_{nomp}) \Delta t < W_{\max}, \quad (34)$$

где W_{\min} и W_{\max} – минимально и максимально допустимые объемы заполнения емкостей системы, м^3 ;

$W_{тек}$ – текущее заполнение бьефов системы, м^3 .

Исходя из приведенных выше условий, количество и состав одновременно работающих насосных агрегатов ГНС может быть определено следующим образом:

$$W_{\min} < W_{тек} + (q_1 n_1 + q_2 n_2 + \dots + q_n n_n - Q_{nomp}) \Delta t < W_{\max}, \quad (35)$$

где q_1, q_2, \dots, q_n – производительность насосных агрегатов, м³/с;

n_1, n_2, \dots, n_n – количество насосных агрегатов одинаковой производительности q .

В соответствии с положениями, изложенными выше, структура подсистемы процесса управления водораспределением, сводится к следующим этапам:

- этап 1 – формирование плана водораспределения;
- этап 2 – оперативное управление водораспределением;
- этап 3 – подведение итоговых показателей работы системы.

Этап 1 включает:

- ввод заявок водопотребителей;
- контроль за соблюдением системного плана водопользования;
- контроль за соблюдением планов водопользования хозяйств;
- расчет графиков водопотребления;
- расчет графиков водоподачи;
- определение режимов работы каналов и сооружений;
- расчет режимов работы головного сооружения.

Этап 2 включает:

- оперативную корректировку заявок водопотребителей;
- контроль за текущим заполнением каналов;
- определение рабочих уровней, расходов, величин открытий затворов на регулирующих сетевых сооружениях;
- оперативное управление головным сооружением;
- выработку решений при возникновении экстремальных и аварийных ситуаций;
- ведение протокола хода процесса водораспределения и текущей документации (журналов).

Дополнительно в подсистеме оперативного управления водораспределением условно были выделены две основные подсистемы:

- подсистема сбора и обработки информации о состоянии объекта;
- подсистема принятия решений по обеспечению управления всей системы в целом.

Этап 3 включает:

- формирование итогового диспетчерского журнала за прошедшие сутки;
- подведение итоговых показателей о работе системы за декаду, месяц, с начала поливного сезона;
- передачу необходимых данных вышестоящим организациям и

смежникам;

- организацию печати документов.

Основываясь на приведенных теоретических положениях для реализации цели оптимизации использования оросительной воды с учетом заявок на водоподачу по водовыделам (когда производится корректировка плана водопользования) для проведения сценарных исследований модели динамического управления процессами водораспределения необходимо иметь следующий набор данных:

- наименование водовыдела (с указанием пикета);
- орошаемая площадь, обслуживаемая водовыделом, га;
- заявленный объем воды по каждому водовыделу, м^3 ;
- гидромодуль водовыдела, л/с·га;
- расход на водовыделе, $\text{м}^3/\text{с}$;
- продолжительность подачи расхода, с;
- глубина на водовыделе, м;
- глубина в канале перед водовыделом (командный уровень в верхнем бьефе), м;
- время добегания расхода до водовыдела от предыдущего расчетного створа, с;
- суммарная продолжительность перерегулировки глубины на водовыделе, с;
- фактический средний КПД канала (сети).

Формирование сценарных расчетов производится на основе заявок водопотребителей (графиков водоподачи по участкам). Исходными данными для расчета являются площадь орошения и заявленный объем водоподачи по каждому водовыделу или гидромодуль водовыдела. Эти данные могут также представляться из пакета программ по расчету режимов орошения.

Для удобства проведения расчетов перечисленный набор данных необходимо представить в виде таблицы 7.

Выходными параметрами, полученными в результате расчета промежуточных параметров, приведенных в таблице 7, являются:

- КПД канала (сети);
- фактический расход в голове канала (брутто), $\text{м}^3/\text{с}$;
- фактический объем водоподачи (брутто), м^3 ;
- суммарная продолжительность перерегулировки глубин по всем водовыделам для удовлетворения всех заявок на водоподачу, с, мин, ч, сут;

- количество одновременно работающих насосных агрегатов (в случае машинного водозабора в голове канала).

Таблица 7 – Исходные данные и промежуточные расчетные параметры водораспределения для проведения сценарных исследований

Водовыдел	Исходные данные			Расчетные параметры водораспределения					
	Площадь, обслуживаемая водовыделом, га	Гидромодуль водовыдела, л/с·га	Заявленный объем водоподачи, м ³	Расход водовыдела, м ³ /с	Продолжительность подачи расхода, с	Глубина на водовыделе, м	Глубина в канале перед водовыделом, м	Время добегания расхода, с	Продолжительность перерегулировки, с
Створ 1 (ПК...)	F_1	q_1	W_1	Q_1	t_1	$h_{в1}$	$h_{к1}$	$t_{доб1}$	$t_{пер1}$
Створ 2 (ПК...)	F_2	q_2	W_2	Q_2	t_2	$h_{в2}$	$h_{к2}$	$t_{доб2}$	$t_{пер2}$
...
Створ n (ПК...)	F_n	q_n	W_n	Q_n	t_n	$h_{вn}$	$h_{кn}$	$t_{добn}$	$t_{перn}$

Применение математической модели расчета при различных сценариях позволят диспетчерской службе иметь в наличии прогнозные значения параметров водораспределения, позволяющие в оперативном режиме производить корректировку поданных заявок на водоподачу и осуществлять ее своевременно, т. е. исключаются факторы недоподачи воды в указанные сроки.

В результате использования при моделировании геометрических, гидравлических, топографических и гидрометрических параметров, определенных известными теоретическими методами в комплексе с натурными исследованиями исключаются факторы переливов на сооружениях по расчетным участкам.

Алгоритм программы реализации модели динамического управления процессами водораспределения на канале открытой оросительной сети с помощью ЭВМ приведен на рисунке 5.

Пример построения модели динамического управления водораспределением на канале Р-1 Райгородской оросительной системы приведен в приложении А.

Основные положения по правилам эксплуатации оросительной сети на примере Райгородской оросительной системы приведены в приложении Б.

Обозначение расчетных параметров, приведенных в алгоритме на рисунке 5:

Q_{\min} – минимальный расход воды в канале, м³/с;

Q_{\max} – максимальный расход воды в канале, м³/с;

$Z_{\text{дна}}$ – отметка дна канала, м;

$Z_{h\max}$ – отметка максимального уровня воды в канале, м;

$Z_{\text{бр}}$ – отметка бровки канала, м;

$n_{\text{вод}}$ – количество водовыделов;

$L_{\text{мв}}$ – расстояние между водовыделами, м;

b – ширина канала по дну, м;

$h_{\text{стр}}$ – строительная высота канала, м;

h_{\min} – минимальная глубина воды в канале, м;

h_{\max} – максимальная глубина воды в канале, м;

$W_{\text{пол}}$ – полезно используемый объем воды, м³;

$W_{\text{вз}}$ – объем воды, забираемый в голове системы, м³;

$W_{\text{повт}}$ – объем воды, используемый на системе повторно, м³;

$\omega_{\text{уч}}$ – площадь живого сечения, м²;

$t_{\text{реж}}$ – время перехода неустановившегося режима движения воды между створами к установившемуся режиму движения, с;

$t_{\text{пер}}$ – продолжительность перерегулировки глубин между створами, с;

$t_{\text{доб}}$ – время добегания фронта волны начального возмущения между створами, с;



Рисунок 5, лист 1 – Алгоритм программы реализации модели динамического управления процессами водораспределения на канале открытой оросительной сети

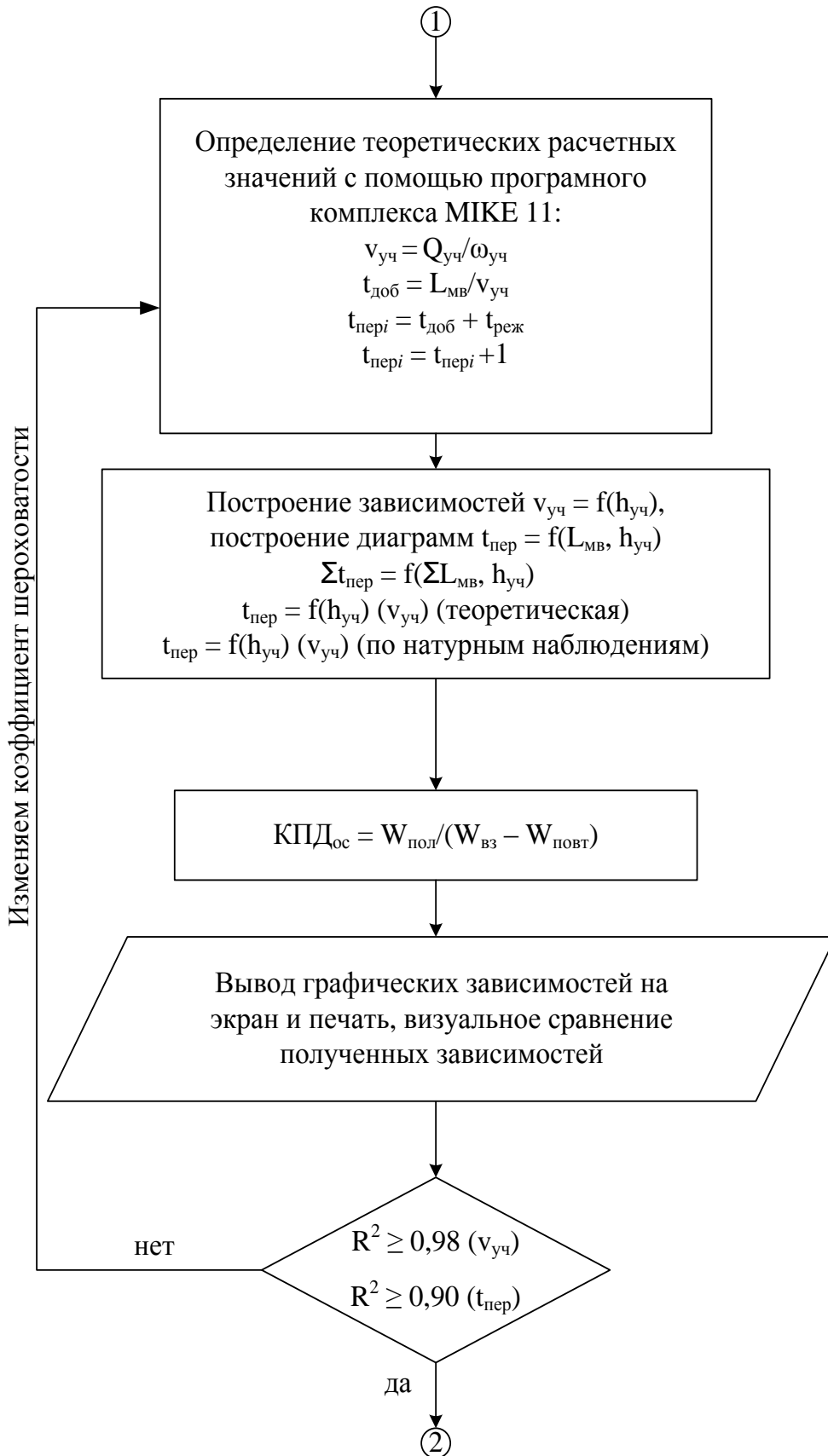
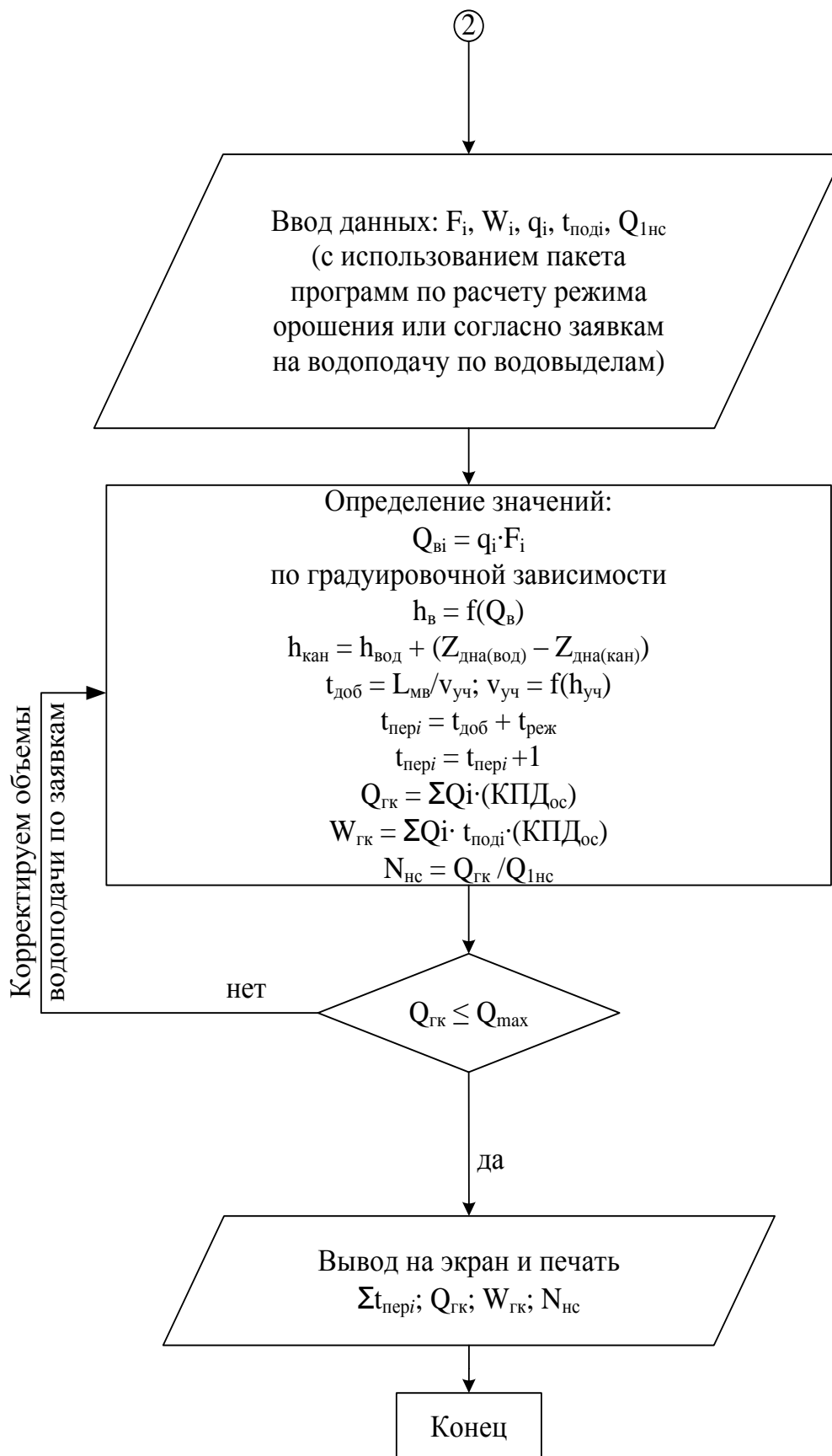


Рисунок 5, лист 2



Ри-

сунок 5, лист 3

$V_{уч}$ – скорость потока воды на участке, м/с;
 $i_{уч}$ – уклон участка;
 $KПД_{ос}$ – коэффициент полезного действия оросительной сети;
 R – величина достоверности аппроксимации;
 F_i – площадь, обслуживаемая водовыделом, га;
 W_i – объем воды на водовыделе, м³;
 q_i – значение гидромодуля на водовыделе, л/с·га;
 $t_{подi}$ – продолжительность подачи расхода на водовыделе, с;
 $Q_{нс}$ – производительность (расход воды) одного насосного агрегата, м³/с;
 Q_{vi} – расход воды на водовыделе, м³/с;
 $h_{вод}$ – глубина воды в водовыделе, м;
 $h_{кан}$ – глубина воды в канале перед водовыделом, м;
 $Q_{ГК}$ – расход воды в голове канала, м³/с;
 $W_{ГК}$ – объем воды в голове канал, м³;
 $N_{нс}$ – количество насосных агрегатов, ед.

Заключение

Качество и эффективность управления динамическими процессами водораспределения на оросительной системе может быть улучшено путем разработки и внедрения новых способов принятия решений, ориентирующихся на современные компьютерные средства и программные комплексы, обеспечивающие проведение научно обоснованного анализа факторов и процессов, происходящих на объекте управления.

В современных условиях эксплуатации оросительных систем особое значение должно придаваться средствам математического описания и алгоритмизации процессов, происходящих в системе водораспределения. С одной стороны, они должны обеспечивать возможность имитационного моделирования поведения системы в различных режимах работы, с другой – обеспечивать достаточную точность расчета уровней, расходов и других параметров управления, обладать достаточным быстродействием, учитывать особенности конкретной оросительной системы, быть простыми в реализации.

Использование алгоритма построения модели динамического управления процессами водораспределения при разработке специализированного программного обеспечения позволит решить ряд задач, направленных на улучшение системы управления процессом доставки оросительной воды на основе прогнозирования значений контролируемых параметров водораспределения.

Построенная имитационная модель водораспределения на канале оросительной системы в зависимости от заявленных объемов водоподачи по водовыделам позволит определить суммарный головной расход в голове канала, фактический объем водоподачи, время обеспечения расходов по всем водовыделам, а также количество одновременно работающих насосных агрегатов для обеспечения необходимых расходов

Использование методических указаний на практике позволит существенно повысить качество управления процессами водораспределения на оросительных системах, обеспечивающее оптимальное удовлетворение водой потребителей и снижение потерь на непроизводительные сбросы, а также едотвратить возможные аварийные ситуации.

Список использованных источников

1 Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ: по состоянию на 28 декабря 2013 г. // Гарант Эксперт 2014 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2014.

2 Мелиоративная энциклопедия. – М.: «Росинформагротех», 2003. – Т.1 (А-К). – 672 с.

3 Компьютерное моделирование речных потоков. Теоретические основы // Научная консалтинговая фирма «Волга». – М., 2013. – 79 с.

4 Натальчук, М. Ф. Эксплуатация гидромелиоративных систем / М. Ф. Натальчук, В. И. Ольгаренко, В. А. Сурин. – М.: Колос, 1995. – 320 с.

5 Временное руководство по проектированию и эксплуатации автоматизированных оросительных систем / В. Н. Щедрин [и др.]. – В 2 ч. – Ч. I – Новочеркасск: Югмелиорация, 1989. – 160 с.

6 Щедрин, В. Н. Совершенствование конструкций открытых оросительных систем и управления водораспределением / В. Н. Щедрин. – М.: Мелиорация и водное хозяйство, 1998. – 160 с.

7 Временные рекомендации по составлению и реализации планов водопользования на оросительных системах Ростовской области: утв. научно-техн. советом Управления «Ростовмелиоводхоз» 30.06.09, протокол № 1. – Коломна, 2009. – 105 с.

8 Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.

9 СНиП 2.06.03-85. Мелиоративные системы и сооружения. – Введ. 1986-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 96 с.

Приложение А

Пример построения модели динамического управления водораспределением на канале Р-1 Райгородской оросительной системы

А.1 Краткое описание Райгородской оросительной системы

Система орошения в Светлоярском районе в том виде, в каком она существовала в восьмидесятые годы прошлого столетия, прекратила существовать в 90-е годы. Реализация областной целевой программы по развитию мелиоративного комплекса Волгоградской области была начата в 2011 году. В данную программу было включено и СПК «Райгородское». Благодаря этой программе и собственным инвестициям сельхозтоваропроизводители реконструировали 1000 га орошаемых площадей, приобрели 9 единиц современной дождевальной техники. Оросительная система состоит из трех плавучих (понтонных) электрифицированных насосных станций, которые подают воду из р. Волга в каналы Р1, Р2 и Р3. СПК «Райгородское» получает воду непосредственно из канала Р3. Полив 1-й очереди осуществляется дождевальными машинами «Valley» в количестве 9 штук. Обеспечение передвижения дождевальных машин по орошаемому участку осуществляется подачей электрического напряжения по подземным кабелям к подстанциям машин. Общая протяженность закрытого трубопровода составляет 46,7 тыс. м. Для обеспечения работы орошаемого участка построено 15 ГТС, в том числе: опоражнивающих – 3 шт.; фильтрующих – 3 шт.; узлы подключения к ДМ – 9 шт., задвижки 30Ч6 – 3 шт. Кроме того установлены задвижки клиновые VAG ЕКО – 18 шт., глубинные скользящие затворы с ручным винтовым подъемником марки 2,5В – 6 шт. Валовая площадь участка 1-й очереди составляет 1000 га, а площадь орошения – 771,21 га. Валовая площадь участка второй очереди составляет 1000 га, из которых 816,57 га составляет площадь орошения. Схема и аэрофотоснимок орошаемого участка в СПК «Райгородское» представлены на рисунках А.1 и А.2.

А.2 Краткое описание головной насосной станции

Головная насосная станция плавучего типа состоит из трех понтонов, находится в ковше, который соединен подводным каналом с р. Волгой.

Понтон № 1 марки РН 6х1250 имеет габаритные размеры 60х1,8 м и общую производительность 18 м³/с, т. к. на понтоне установлено 6 насосных агрегатов. Основной насос марки Д 12500-24, производительностью 3 м³/с, КПД – 88 %.



Рисунок А.1 – Схема орошаемого участка в СПК «Райгородское»



Рисунок А.2 – Аэрофотоснимок орошаемого участка в СПК «Райгородское»

Электродвигатель СДНЗ 16-41-12УЗ мощностью 250 кВт каждый, КПД – 94,6 %.

В 2012 году понтон № 1 отработал всеми агрегатами 5189 агр/ч в результате чего забор воды из р. Волга составил 63430,8 тыс. м³. На забор воды было израсходовано 5897880 кВт/ч электроэнергии на сумму 15405494 руб. На собственные нужды было израсходовано 65280 кВт/ч электроэнергии на сумму 183116 руб.

Наработка агр/ч нарастающим итогом, начиная с ввода в эксплуатацию – 127702 агр/ч.

Понтон № 2 марки РН 6х1250 имени «50 лет Октября» имеет габаритные размеры 60х21,8 м и общую производительность 18 м³/с, т. к. на понтоне установлено 6 насосных агрегатов. Основной насос марки Д 12500-24, производительность 3 м³/с, КПД – 88 %, электродвигатель СДНЗ 16-41-12УЗ, мощностью 1250 кВт каждый, КПД – 94,6 %.

В 2012 году понтон № 2 отработал всеми агрегатами 12275 агр/ч, в результате чего забор воды из р. Волга составил 155944,7 тыс. м³. На забор воды было израсходовано 14484960 кВт/ч электроэнергии на сумму 39106007 руб. На собственные нужды было израсходовано 896760 кВт/ч электроэнергии на сумму 2594990 руб.

Наработка агр/ч нарастающим итогом, начиная с ввода в эксплуатацию, 438398,5 агр/ч.

Понтон № 3 марки РН-2Э габаритными размерами 29,75х8,15 м общей производительностью 3 м³/с. На понтоне установлено 2 насосных агрегата. Основной насос марки 32Д-19 производительностью 1,5 м³/с, электродвигатель марки А-133 мощностью 630 кВт каждый.

В 2012 году понтон № 3 отработал всеми агрегатами 605³⁵ агр/ч, в результате чего забор воды из р. Волга составил 3189,5 тыс. м³. На забор воды было израсходовано 450764 кВт/ч электроэнергии на сумму 1853781 руб.; на собственные нужды было израсходовано 15732 кВт/ч электроэнергии на сумму 67427 руб.

Наработка агр/ч нарастающим итогом, начиная с ввода в эксплуатацию – 99264,55 агр/ч.

А.3 Построение имитационной модели

Пример построения плановой схемы оросительной сети Райгородской оросительной системы приведен на рисунке А.3.

Пример представления продольного профиля канала Р-1 для вывода на экран и печать представлен на рисунке А.4.

Пример цифрового отображения поперечного сечения канала Р-1 Райгородской оросительной системы в расчетном створе 2 представлен на рисунке А.5.

По данным натуральных гидрометрических измерений строятся градуировочные зависимости для расчетных участков канала и водовыделов. Пример построения градуировочной зависимости для водовыдела из канала Р-1 в створе 2 Райгородской оросительной системы приведен на рисунке А.6.

В результате обработки гидравлических параметров расчетных участков канала Р-1, полученных при использовании специализированного программного комплекса МИКЕ 11 и проведении натуральных исследований, построены соответствующие графики зависимостей $V = f(q)$ (рисунок А.7).

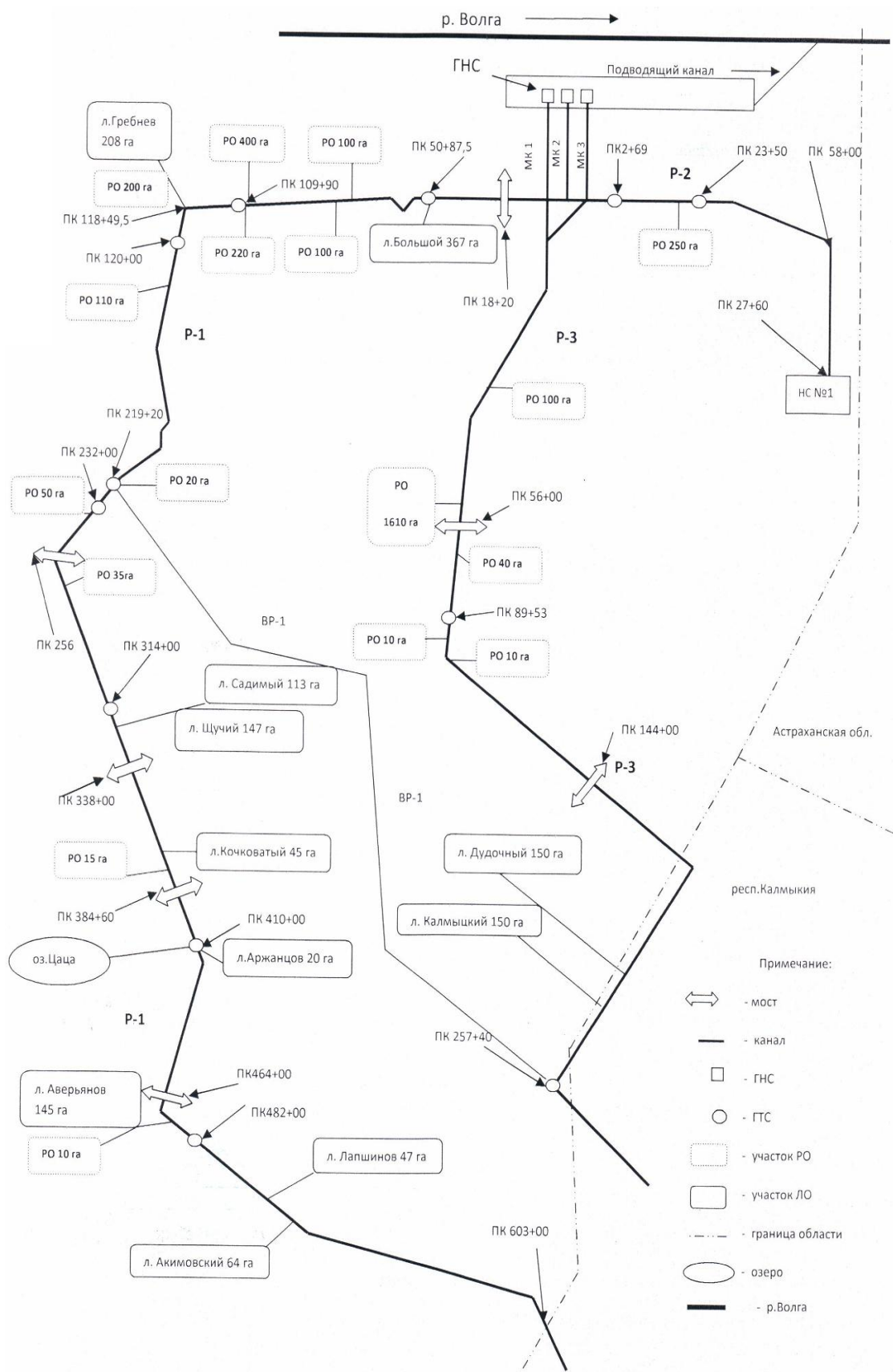


Рисунок А.3 – Плановая схема оросительной сети Райгородской оросительной системы

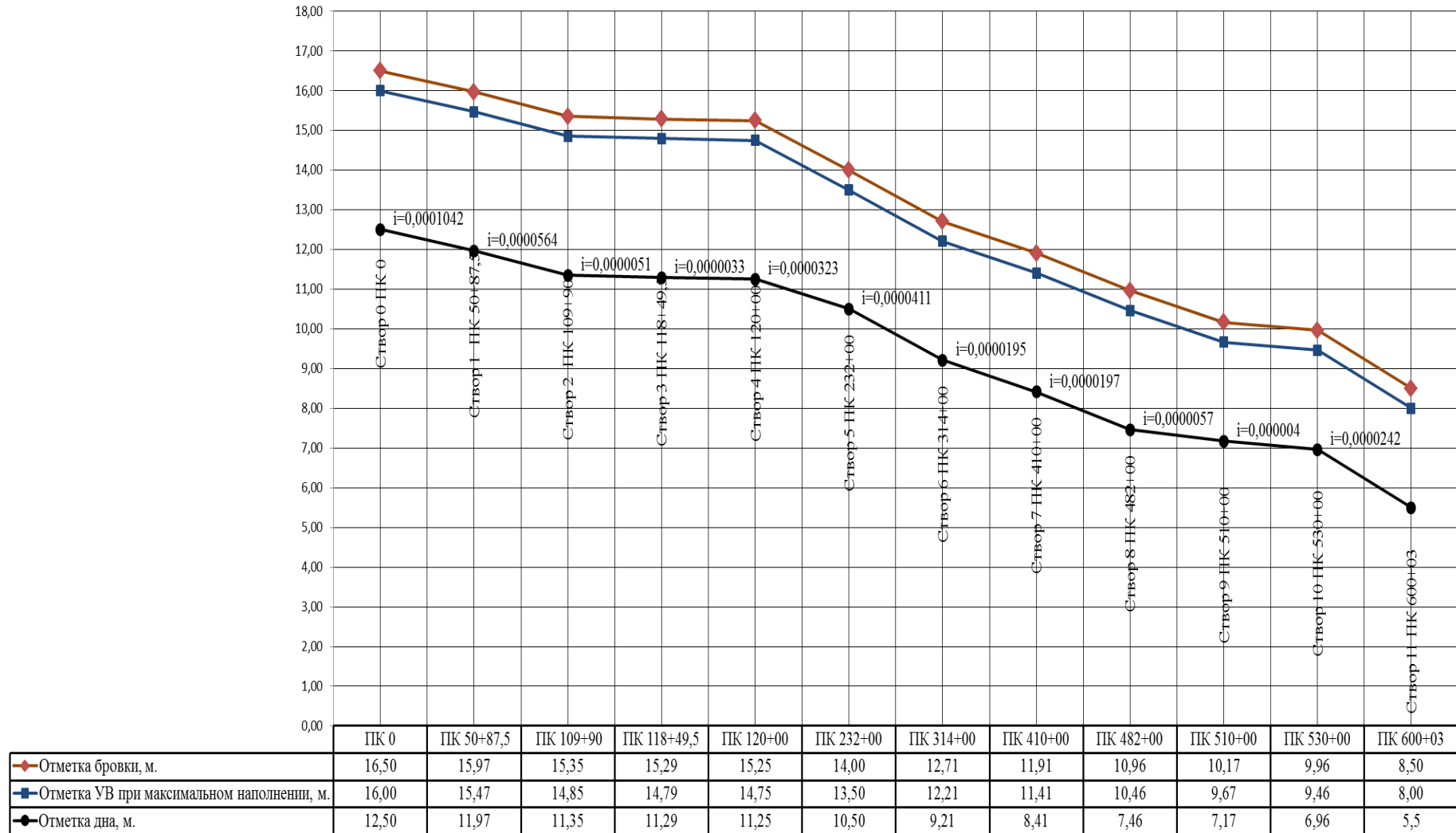


Рисунок А.4 – Пример цифрового оформления продольного профиля канала Р-1 Райгородской оросительной системы

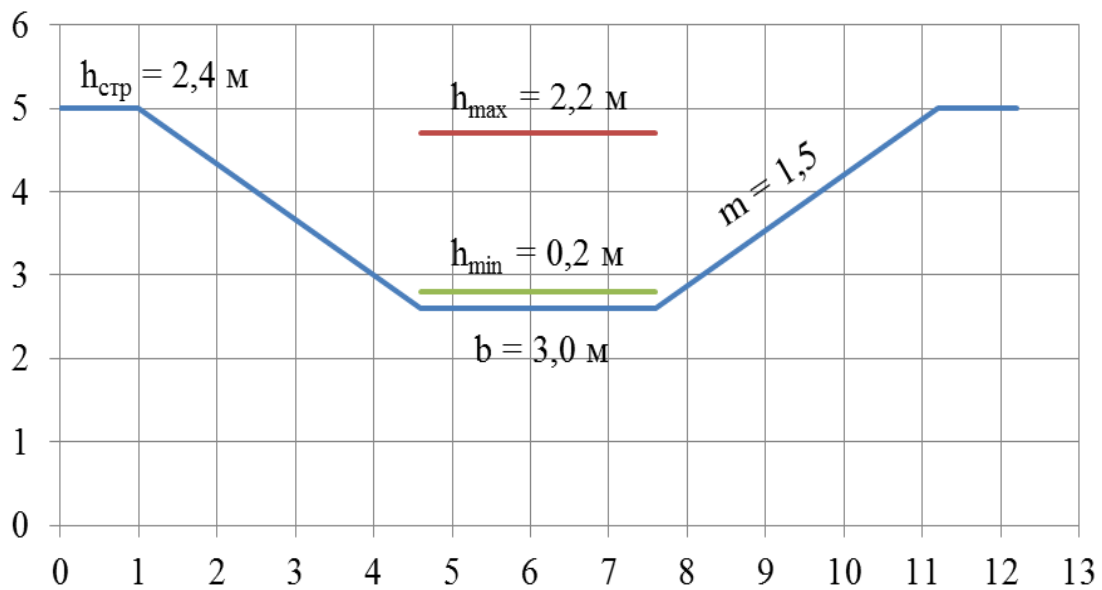


Рисунок А.5 – Пример цифрового оформления поперечного сечения канала Р-1 Райгородской оросительной системы в расчетном створе 2

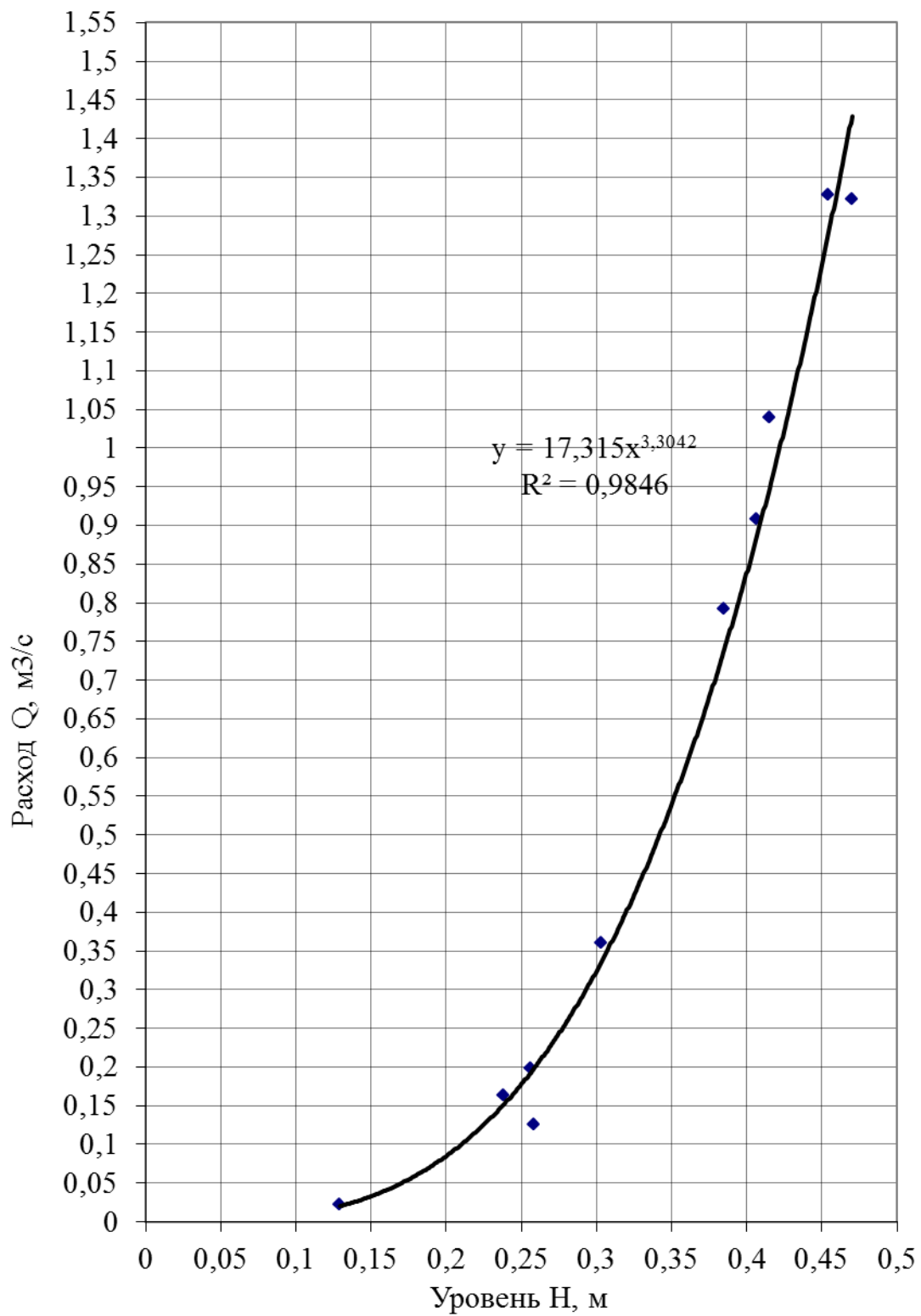


Рисунок А.6 – Пример цифрового оформления градуировочной зависимости для водовыдела из канала Р-1 в створе 2 Райгородской оросительной системы

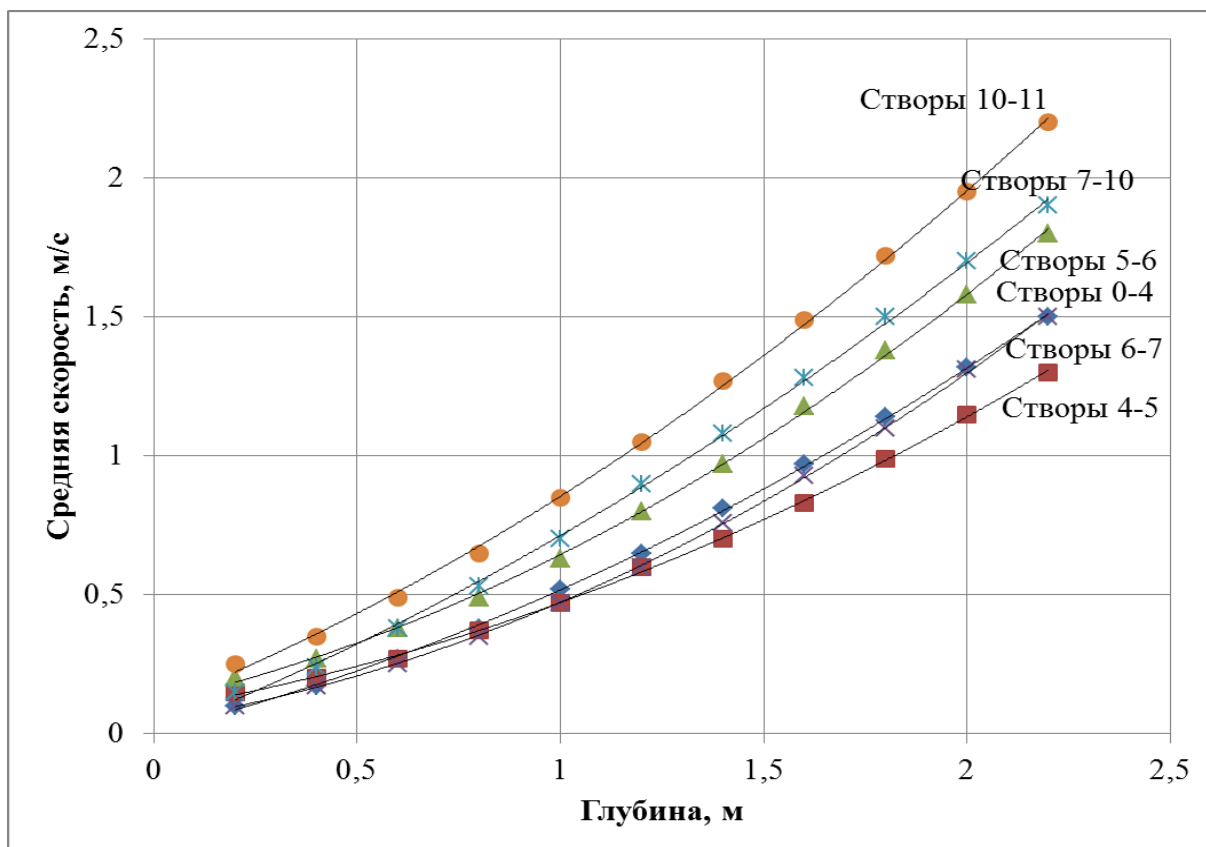


Рисунок А.7 – Графики зависимостей скорости от глубины наполнения расчетных участков канала в условиях транзитного прохождения расходов

Пример отображения табличных данных для расчета КПД канала Р-1 Райгородской оросительной системы приведен в таблице А.1.

Результаты определения продолжительности перерегулировки глубин между расчетными участками канала Р-1 программным комплексом МИКЕ 11, а также по данным натуральных наблюдений приведены в таблице А.2.

Результаты определения суммарной продолжительности перерегулировки глубин на расчетных участках канала Р-1 программным комплексом МИКЕ 11, а также по данным натуральных наблюдений приведены в таблице А.3.

При визуальном сравнении полученных результатов определения продолжительности перерегулировки глубин на расчетных участках канала Р-1 выявлено максимальное расхождение теоретических и опытных данных, составляющее 3049 с. Расхождение очевидно связано с влиянием различных эксплуатационных факторов, которые невозможно учесть при построении имитационной модели.

Таблица А.1 – Данные для расчета КПД канала Р-1 Райгородской оросительной системы

№ водо-выдела	Расход водовыдела, м ³ /с	Продолжительность подачи расхода, с	Объем водоподачи на водовыдел, м ³
1	0,50	259200	129600,0
2	0,90	259200	233280,0
3	0,80	259200	207360,0
4	0,70	259200	181440,0
5	0,95	259200	246240,0
6	0,50	259200	129600,0
7	1,50	259200	388800,0
8	0,60	259200	155520,0
9	0,85	259200	220320,0
10	0,95	259200	246240,0
11	0,08	259200	20736,0
Суммарный объем водоподачи по водовыделам, м ³			2159136,0
Суммарный объем подачи в голове канала Р-1, $W_{g.br} = 2799360$ м ³			
Коэффициент полезного действия канала Р-1, $КПД_{p-1} = 0,77$			

Таблица А.2 – Продолжительность перерегулировки глубин между расчетными участками канала Р-1

В секундах

Расстояние между створами, м	Глубина на расчетном участке, м							
	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
По результатам расчетов программным комплексом MIKE 11								
5087,5	29926	18843	13388	9784	7827	6281	5245	4463
5902,5	34721	21861	15533	11351	9081	7287	6085	5178
859,5	5056	3183	2262	1653	1322	1061	886	754
150,5	885	557	396	289	232	186	155	132
11200	56000	41481	30270	23830	18667	16000	13494	11313
8200	30370	21579	16735	13016	10250	8454	6949	5942
9600	56471	38400	27429	20426	16000	12632	10323	8727
7200	30000	18947	13585	10286	8000	6667	5625	4800

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2800	11667	7368	5283	4000	3111	2593	2188	1867
2000	8333	5263	3774	2857	2222	1852	1563	1333
7300	20857	14898	11231	8588	6952	5748	4899	4244
По данным натурных наблюдений (опыт 1)								
5087,5	29723	18639	13184	9580	7623	6077	5041	4259
5902,5	34807	21947	15619	11437	9167	7373	6171	5264
859,5	5048	3176	2254	1645	1315	1053	878	746
150,5	1071	743	582	475	418	372	341	318
11200	56096	41578	30367	23926	18763	16096	13590	11409
8200	30367	21576	16732	13013	10247	8451	6946	5939
9600	56272	38202	27230	20227	15802	12433	10124	8529
7200	30073	19021	13658	10359	8073	6740	5698	4873
2800	11769	7471	5386	4103	3214	2695	2290	1969
2000	8344	5273	3784	2867	2232	1862	1573	1344
7300	20836	14877	11210	8567	6931	5727	4878	4223
По данным натурных наблюдений (опыт 2)								
5087,5	29760	18676	13221	9617	7660	6114	5078	4296
5902,5	34586	21727	15399	11217	8946	7153	5951	5043
859,5	5045	3173	2251	1642	1312	1050	875	743
150,5	939	611	449	343	285	239	208	185
11200	56060	41541	30330	23890	18726	16060	13554	11373
8200	30437	21646	16802	13083	10317	8520	7016	6009
9600	56237	38166	27195	20192	15766	12398	10089	8493
7200	30116	19063	13701	10401	8116	6782	5741	4916
2800	11726	7428	5342	4059	3171	2652	2247	1926
2000	8310	5240	3751	2834	2199	1829	1540	1310
7300	20768	14809	11142	8499	6864	5659	4811	4155
По данным натурных наблюдений (опыт 3)								
5087,5	30126	19042	13588	9983	8026	6480	5444	4662
5902,5	34904	22045	15716	11535	9264	7471	6269	5361
859,5	5083	3211	2289	1680	1350	1088	913	781
150,5	1016	688	526	420	362	316	285	262
11200	56192	41674	30463	24022	18859	16192	13686	11505
8200	30264	21472	16628	12909	10143	8347	6842	5835
9600	56915	38844	27873	20870	16444	13076	10767	9171
7200	29907	18854	13492	10193	7907	6573	5532	4707
2800	11723	7425	5340	4057	3168	2649	2244	1923

Окончание таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2000	8268	5198	3708	2792	2157	1786	1497	1268
7300	20773	14814	11146	8504	6868	5664	4815	4160
7300	30126	19042	13588	9983	8026	6480	5444	4662

**Таблица А.3 – Суммарная продолжительность перерегулировки
глубин на расчетных участках канала Р-1**

В секундах

Расстояние между ство- рами, м	Глубина на расчетном участке, м							
	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
По результатам расчетов программным комплексом MIKE 11								
5087,5	29926	18843	13388	9784	7827	6281	5245	4463
5902,5	64647	40704	28921	21135	16908	13568	11330	9640
859,5	69703	43887	31183	22788	18230	14629	12216	10394
150,5	70588	44444	31579	23077	18462	14815	12371	10526
11200	126588	85926	61849	46907	37128	30815	25865	21839
8200	156959	107505	78584	59923	47378	39268	32814	27781
9600	213429	145905	106012	80348	63378	51900	43137	36509
7200	243429	164852	119597	90634	71378	58567	48762	41309
2800	255096	172221	124880	94634	74489	61159	50949	43175
2000	263429	177484	128654	97491	76712	63011	52512	44509
7300	284286	192382	139885	106079	83664	68759	57411	48753
По данным натурных наблюдений (опыт 1)								
5087,5	29723	18639	13184	9580	7623	6077	5041	4259
5902,5	65151	41208	29425	21639	17412	14072	11834	10144
859,5	70184	44368	31664	23269	18711	15110	12697	10875
150,5	71076	44932	32066	23564	18949	15302	12858	11014
11200	126578	85916	61839	46896	37118	30804	25855	21829
8200	156969	107515	78594	59933	47389	39279	32825	27792
9600	213081	145556	105664	80000	63030	51552	42788	36160
7200	243198	164621	119366	90402	71147	58335	48530	41077
2800	254805	171930	124590	94343	74199	60869	50659	42885
2000	263113	177168	128338	97175	76396	62695	52196	44193
7300	283891	191986	139489	105684	83268	68364	57016	48358
По данным натурных наблюдений (опыт 2)								
5087,5	29760	18676	13221	9617	7660	6114	5078	4296
5902,5	64842	40899	29116	21330	17103	13763	11525	9835
859,5	69901	44085	31381	22986	18428	14827	12414	10593
150,5	70876	44732	31867	23365	18749	15103	12659	10814
11200	126403	85741	61664	46721	36943	30630	25680	21654
8200	156531	107077	78156	59495	46951	38841	32387	27354
9600	212988	145463	105571	79906	62937	51458	42695	36067
7200	242894	164318	119063	90099	70843	58032	48227	40774
2800	254482	171607	124266	94020	73875	60545	50335	42561

Продолжение таблицы А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2000	262826	176880	128050	96887	76108	62407	51908	43905
7300	283651	191746	139249	105444	83028	68124	56776	48117
По данным натурных наблюдений (опыт 3)								
5087,5	30126	19042	13588	9983	8026	6480	5444	4662
5902,5	64672	40729	28946	21160	16933	13593	11355	9666
859,5	69709	43893	31189	22794	18236	14635	12222	10401
150,5	70700	44556	31691	23189	18573	14926	12483	10638
11200	126585	85923	61846	46903	37125	30812	25862	21836
8200	156964	107511	78590	59928	47384	39274	32820	27787
9600	213587	146063	106171	80506	63536	52058	43295	36667
7200	243590	165013	119758	90795	71539	58728	48923	41470
2800	255181	172305	124965	94719	74574	61244	51034	43260
2000	263425	177480	128650	97487	76708	63007	52508	44505
7300	284326	192421	139924	106118	83703	68798	57450	48792

По данным таблиц А.2 и А.3 строятся соответствующие диаграммы:

- шкала продолжительности перерегулировки глубин между расчетными участками (водовыделами) канала Р-1 (рисунок А.8);

- шкала суммарной продолжительности перерегулировки глубин между расчетными участками (водовыделами) канала Р-1 (рисунок А.9).

Результаты определения суммарной продолжительности перерегулировки уровней при заданных расходах в голове канала Р-1 представлены в виде таблицы А.4.

Примеры представления результатов вычислений имитационной моделью динамического управления водораспределением на канале Р-1 Райгородской оросительной системы для трех различных сценарных вариантов расчета (изменение объемов водоподачи по заявкам), представлены в таблицах А.5–А.7.

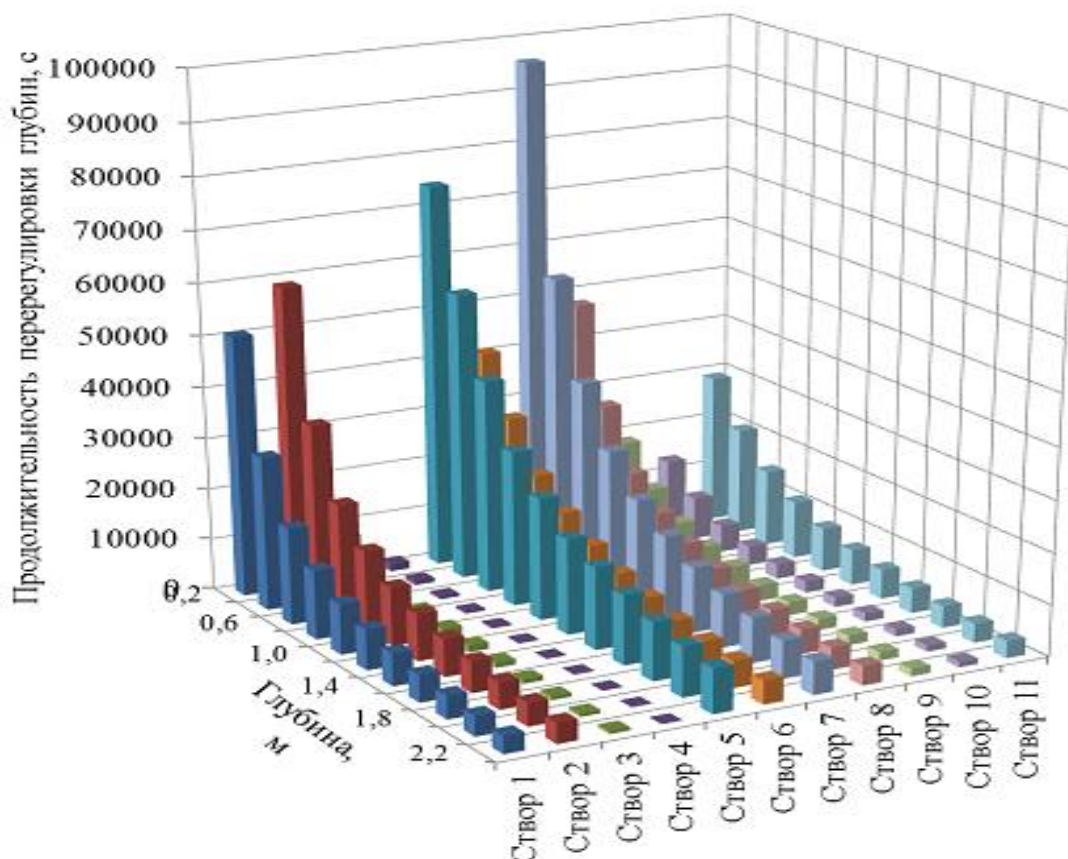


Рисунок А.8 – Шкала продолжительности перерегулировки глубин между расчетными участками (водовыделами) канала Р-1

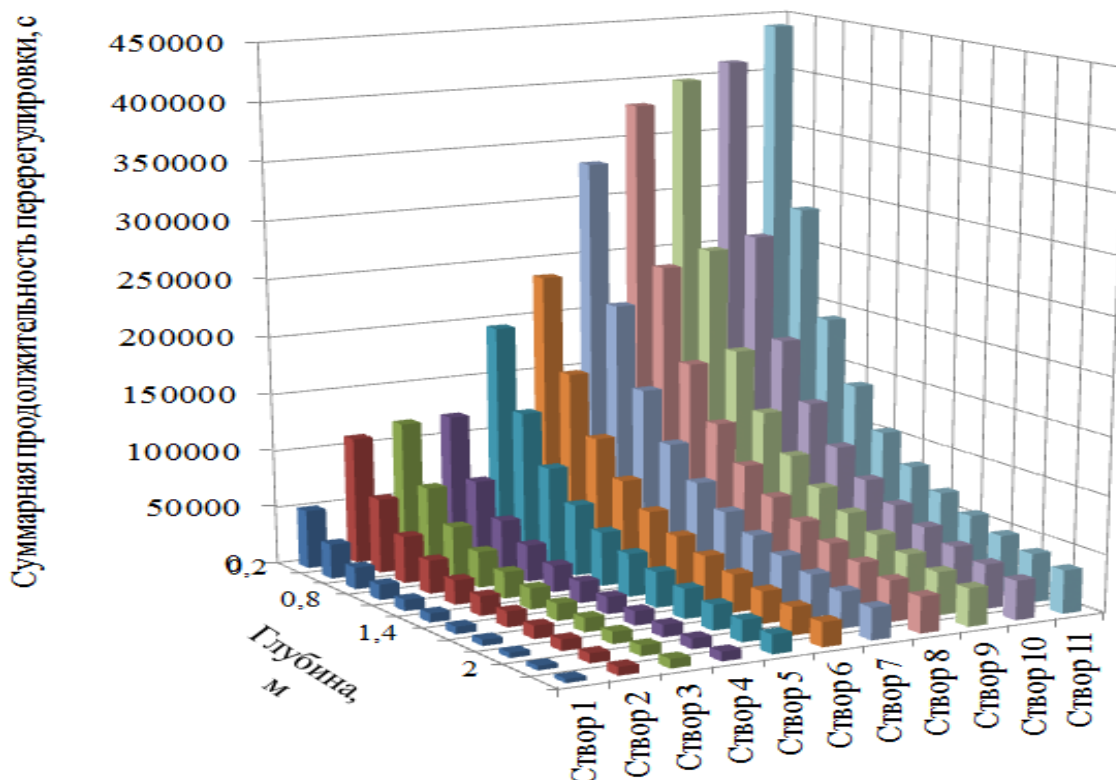


Рисунок А.9 – Шкала суммарной продолжительности перерегулировки глубин между расчетными участками (водовыделами) канала Р-1

Таблица А.4 – Суммарная продолжительность перерегулировки уровней при заданных расходах в голове канала Р-1

В секундах

Расчетный створ	Суммарная продолжительность перерегулировки глубин			
	определенная теоретически (по МИКЕ 11)	определенная опытным путем		
		Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
1	2	3	4	5
Расход в голове канала $Q_{\min} = 3 \text{ м}^3/\text{с}$				
Створ 1	29926	30035	29715	29884
Створ 2	64647	64541	64260	64813
Створ 3	69703	69637	69320	69882
Створ 4	70588	70715	70215	70805
Створ 5	126588	127135	125959	126375
Створ 6	156959	157489	156346	156771
Створ 7	213429	214472	213048	213001
Створ 8	243429	244437	242940	242904
Створ 9	255096	256000	254585	254673
Створ 10	263429	264296	262912	263024
Створ 11	284286	285288	283822	284003
Расход в голове канала $Q_1 = 6 \text{ м}^3/\text{с}$				
Створ 1	9741	10020	9790	9604
Створ 2	21300	21235	21237	21046
Створ 3	22967	22899	22869	22664
Створ 4	23294	23233	23149	23002
Створ 5	46694	46647	46937	46695
Створ 6	59735	59574	60006	59814
Створ 7	79920	80152	80920	79749
Створ 8	90108	90319	90933	89835
Створ 9	94211	94345	94885	93703
Створ 10	97086	97230	97813	96587
Створ 11	105796	105821	106421	105290
Расход в голове канала $Q_2 = 8 \text{ м}^3/\text{с}$				
Створ 1	5065	5204	5216	5130
Створ 2	11241	11220	11361	11066
Створ 3	12093	12073	12201	11963
Створ 4	12297	12350	12350	12198
Створ 5	25654	26034	25926	25959
Створ 6	32706	33182	32863	32997
Створ 7	42538	44037	42896	43042
Створ 8	47963	49456	48247	48886
Створ 9	50019	51610	50326	51058

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5
Створ 10	51608	53178	51879	52632
Створ 11	56622	58090	56878	57448
Расход в голове канала $Q_{\max} = 10,8 \text{ м}^3/\text{с}$				
Створ 1	3276	3489	3517	3405
Створ 2	7063	7468	7332	7257
Створ 3	7647	8056	7855	7870
Створ 4	7827	8314	8119	7972
Створ 5	16710	16468	16647	16643
Створ 6	21353	20944	21354	21287
Створ 7	27476	27794	28059	27419
Створ 8	31484	31870	31710	31242
Створ 9	32942	33253	33078	32785
Створ 10	34007	34273	34068	33807
Створ 11	37242	37710	37400	37175

Графики зависимости теоретических и экспериментальных результатов определения продолжительности перерегулировки глубин для каждого расчетного створа при выбранном головном расходе канала Р-1 ($Q = 6,0 \text{ м}^3/\text{с}$) представлены на рисунке А.10.

При визуальном сравнении полученных результатов определения продолжительности перерегулировки глубин на расчетных участках канала Р-1 выявлено максимальное расхождение теоретических и опытных данных, составляющее 3049 с. Оно связано с влиянием различных эксплуатационных факторов, которые невозможно учесть при построении имитационной модели. Максимальные значения коэффициентов асимметрии и вариации статистической совокупности теоретических и опытных данных составляют соответственно $C_s = 1,86$ ($C_s < 5$), $C_v = 0,15$ ($C_v < 3$).

Таблица А.5 – Результаты расчета параметров водораспределения на канале Р-1 по сценарию 1

Но- мер водо- вы- дела	Исходные данные			Расчетные параметры водораспределения					
	Площадь, обслуживаемая водовыделом, га	Гидромодуль водовыдела, л/с·га	Заявленный объем водоподачи, м ³	Расход водовыдела, м ³ /с	Продолжительность подачи расхода, с	Глубина на водовыделе, м	Глубина в канале перед водовыделом, м	Время добегания расхода, с	Продолжительность перерегулировки, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	367	0,6	190252,8	0,22	864000	0,27	1,17	7244	7377
2	620	0,5	267840,0	0,31	864000	0,30	1,15	8156	15400
3	208	0,4	71884,8	0,08	864000	0,20	0,97	1316	16717
4	110	0,5	47520,0	0,06	864000	0,18	0,81	236	16953
5	105	0,6	54432,0	0,06	864000	0,18	0,98	19567	36520
6	260	0,7	157248,0	0,18	864000	0,25	0,90	9736	46256
7	65	0,8	44928,0	0,05	864000	0,17	1,12	16351	62607
8	145	0,6	75168,0	0,09	864000	0,20	1,12	8097	70705
9	47	0,8	32486,4	0,04	864000	0,16	1,03	3299	74003
10	64	0,8	44236,8	0,05	864000	0,17	0,96	2319	76323
11	1200	0,2	207360,0	0,24	864000	0,27	0,82	6511	82834

Выходные параметры:

КПД канала Р-1, $KПД = 0,77$.

Фактический расход в голове канала (брутто), $Q_{g.br} = 1,79 \text{ м}^3/\text{с}$.

Фактический объем водоподачи (брутто), $W_{g.br} = 1547209,3 \text{ м}^3$.

Суммарная продолжительность перерегулировки глубин по всем водовыделам для удовлетворения всех заявок на водоподачу, $t_{пер} = 8284 \text{ с}$ или $1380,6 \text{ мин} \rightarrow 23 \text{ ч} \rightarrow 1 \text{ сут}$.

Количество одновременно работающих насосных агрегатов производительностью $0,9 \text{ м}^3/\text{с}$, $N_{нс} = 2 \text{ ед}$.

Таблица А.6 – Результаты расчета параметров водораспределения на канале Р-1 по сценарию 2

Но- мер водо- вы- дела	Исходные данные			Расчетные параметры водораспределения					
	Площадь, обслуживаемая водовыделом, га	Гидромодуль водовыдела, л/с·га	Заявленный объем водоподачи, м ³	Расход водовыдела, м ³ /с	Продолжительность подачи расхода, с	Глубина на водовыделе, м	Глубина в канале перед водовыделом, м	Время добегания расхода, с	Продолжительность перерегулировки, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	367	0,2	63417,6	0,07	864000	0,19	1,19	7853	7853
2	620	0,3	160704,0	0,19	864000	0,25	1,25	8523	16376
3	208	0,2	35942,4	0,04	864000	0,16	1,16	1372	17748
4	110	0,2	19008,0	0,02	864000	0,13	1,13	248	17996
5	105	0,3	27216,0	0,03	864000	0,15	1,15	20271	38267
6	260	0,3	67392,0	0,08	864000	0,19	1,19	10312	48579
7	65	0,3	16848,0	0,02	864000	0,13	1,13	17246	65825
8	145	0,2	25056,0	0,03	864000	0,14	1,14	8589	74414
9	47	0,3	12182,4	0,01	864000	0,12	1,12	3443	77857
10	64	0,4	22118,4	0,03	864000	0,14	1,14	2399	80256
11	1200	0,1	103680,0	0,12	864000	0,22	1,22	6832	87088

Выходные параметры:

КПД канала Р-1, $K_{ИД} = 0,77$.

Фактический расход в голове канала (брутто), $Q_{g.br} = 0,83 \text{ м}^3/\text{с}$.

Фактический объем водоподачи (брутто), $W_{g.br} = 717707,064 \text{ м}^3$.

Суммарная продолжительность перерегулировки глубин по всем водовыделам для удовлетворения всех заявок на водоподачу, $t_{nep} = 87088 \text{ с}$ или $1451,5 \text{ мин} \rightarrow 24,2 \text{ ч} \rightarrow 1 \text{ сут}$.

Количество одновременно работающих насосных агрегатов производительностью $0,9 \text{ м}^3/\text{с}$, $N_{nc} = 1 \text{ ед}$.

Таблица А.7 – Результаты расчета параметров водораспределения на канале Р-1 по сценарию 3

Но мер во- до- вы- де- ла	Исходные данные			Расчетные параметры водораспределения					
	Площадь, обслуживаемая водовыделом, га	Гидромодуль водовыдела, л/с·га	Заявленный объем водоподачи, м ³	Расход водовыдела, м ³ /с	Продолжительность подачи расхода, с	Глубина на водовыделе, м	Глубина в канале перед водовыделом, м	Время добегания расхода, с	Продолжительность перерегулировки, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	367	0,8	253670,4	0,29	864000	0,29	1,29	7065	7065
2	620	0,9	482112,0	0,56	864000	0,35	1,35	7697	14762
3	208	0,9	161740,8	0,19	864000	0,25	1,25	1240	16002
4	110	0,9	85536,0	0,10	864000	0,21	1,21	228	16230
5	105	0,9	81648,0	0,09	864000	0,21	1,21	19103	35333
6	260	0,9	202176,0	0,23	864000	0,27	1,27	9547	44879
7	65	0,9	50544,0	0,06	864000	0,18	1,18	16231	61110
8	145	0,9	112752,0	0,13	864000	0,23	1,23	7886	68996
9	47	0,8	32486,4	0,04	864000	0,16	1,16	3299	72295
10	64	0,8	44236,8	0,05	864000	0,17	1,17	2319	74614
11	1200	0,8	829440,0	0,96	864000	0,42	1,42	5745	80359

Выходные параметры:

КПД канала Р-1, $K_{ИД} = 0,77$.

Фактический расход в голове канала (брутто), $Q_{g.br} = 3,51 \text{ м}^3/\text{с}$.

Фактический объем водоподачи (брутто), $W_{g.br} = 3029111,4 \text{ м}^3$.

Суммарная продолжительность перерегулировки глубин по всем водовыделам для удовлетворения всех заявок на водоподачу, $t_{nep} = 80359 \text{ с}$ или $1339,3 \text{ мин} \rightarrow 22,3 \text{ ч} \rightarrow 0,9 \text{ сут}$.

Количество одновременно работающих насосных агрегатов производительностью $0,9 \text{ м}^3/\text{с}$, $N_{нс} = 4 \text{ ед}$.

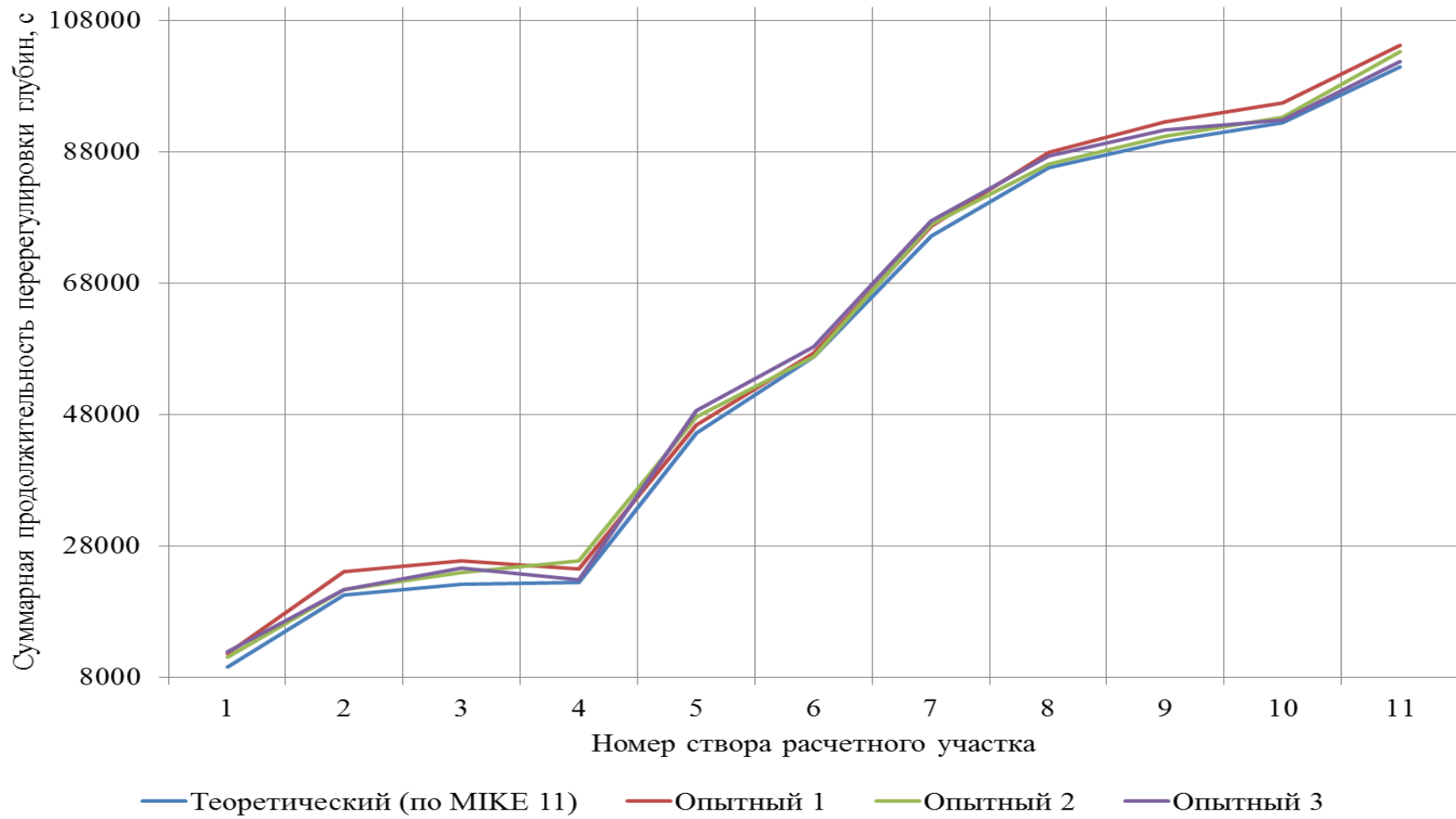


Рисунок А.10 – Графики зависимости теоретических и экспериментальных результатов определения продолжительности перерегулировки глубин на расчетных участках канала Р-1 при головном расходе $Q = 6,0 \text{ м}^3/\text{с}$

Таким образом, построенная имитационная модель водораспределения на канале Р-1 Райгородской оросительной системы в зависимости от заявленных объемов водоподачи по водовыделам позволяет определить суммарный головной расход в голове канала, фактический объем водоподачи, время обеспечения расходов по всем водовыделам, а также количество одновременно работающих насосных агрегатов для обеспечения необходимых расходов.

Приложение Б

Основные положения по правилам эксплуатации оросительной сети на примере Райгородской оросительной системы

В соответствии с приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 546 от 27 сентября 2012 года «Об утверждении Рекомендаций к содержанию правил эксплуатации гидротехнических сооружений (за исключением судоходных гидротехнических сооружений)» разработаны основные положения по правилам эксплуатации оросительной сети на примере Райгородской оросительной системы.

Б.1 Общие положения

Эксплуатирующей организацией оросительной сети Райгородской оросительной системы является Светлоярский филиал ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз».

Плановая схема оросительной сети приведена на рисунке Б.1.

Водозабор Райгородской оросительной системы расположен на р. Волга, на 528 км от устья. Река Волга соединена открытым самотечным каналом с ковшом, в котором установлены плавучие насосные станции, составляющие «Головную насосную станцию» (состоит из двух понтонов РН 6х1250 и дополнительного понтона РН-2Э).

По металлическому напорному трубопроводу вода подается в напорные бассейны, из которых поступает в магистральные каналы. Максимальная высота подъема воды насосной станцией – 31,1 м.

Б.1.1 Описание конструкции гидротехнических сооружений.

Оросительная сеть состоит из трех магистральных каналов (МК 1, МК 2, МК 3), трех распределительных каналов (Р-1, Р-2, Р-3); множества перегораживающих и регулирующих сооружений, оборудованных затворами; временных хозяйственных водовыделов.

Б.1.2 Состав, характеристики и назначение гидротехнических сооружений.

Первый магистральный канал (МК 1) был сдан в эксплуатацию в 1963 году. Его длина – 1,61 км, выполнен в земляном русле, облицовано 0,730 км, пропускная способность – 3,0 м³/с.

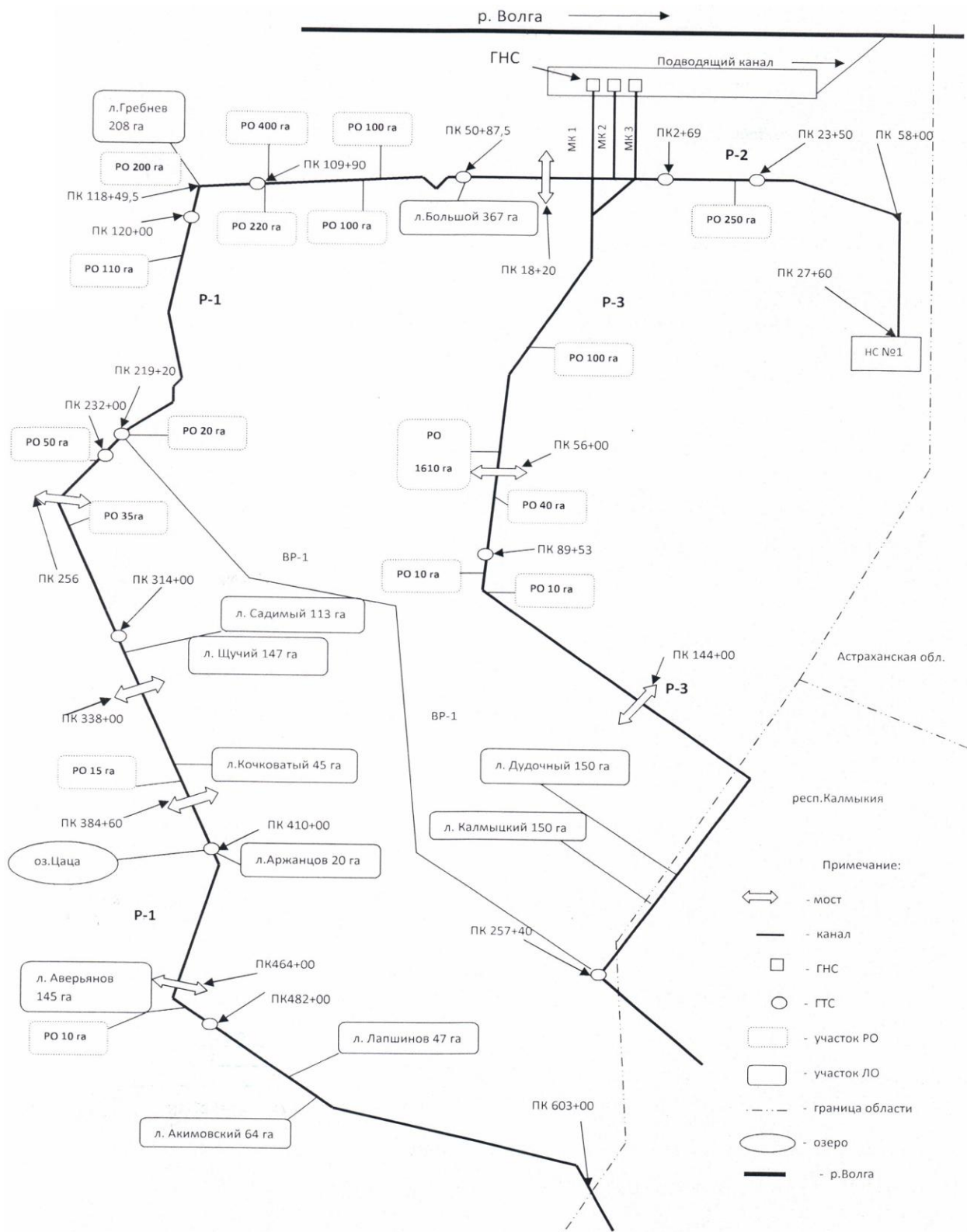


Рисунок Б.1 – Плановая схема оросительной сети Райгородской оросительной системы

Второй магистральный канал (МК 2) был сдан в эксплуатацию в декабре 1980 года, он также выполнен в земляном русле, облицовано 0,730 км, пропускная способность – 18,0 м³/с, протяженность – 1,61 км.

Третий магистральный канал (МК 3) был сдан в эксплуатацию в октябре 1987 года, он также выполнен в земляном русле, полностью облицован, протяженность – 1,61 км, пропускная способность – 18,0 м³/с.

В конце магистральных каналов построен узел гидротехнических сооружений, распределяющих воду в каналы Р-1, Р-2, Р-3.

Распределительный канал Р-1 проходит по всей протяженности в земляном русле, подает воду хозяйствам Волгоградской области и республики Калмыкия (таблица Б.1), пропускная способность форсированных расходов – 10,8 м³/с в голове и 7,2 м³/с в конце. Протяженность канала в пределах Волгоградской области – 60,3 км, к каналу привязаны земли регулярного орошения и лиманы.

Канал Р-2 проходит в земляном русле, протяженность 5,8 км, подает воду для хозяйств Волгоградской области (таблица Б.2), пропускная способность – 2,0 м³/с.

Таблица Б.1 – Площади земель, обслуживаемые каналом Р-1

В гектарах

Наименование хозяйства	Регулярное орошение	Естественные лиманы
СПК «Светлоярский»	–	155
КФХ Прохоров	–	53
ИП Хадисов	–	20
КФХ Магомедов Л.И.	–	367
ИП Живитько	–	113
КФХ Дадаев Х.У.	10	612
ООО «Степь»	51,3	–
ООО «Щинь Юань»	3,95	–
КФХ. ЛПХ, СН Г, ОПТ, Арендаторы	1114,01	–
Итого	1179,26	1320

Таблица Б.2 – Площади земель, обслуживаемые каналом Р-2

В гектарах

Наименование хозяйства	Регулярное орошение	Естественные лиманы
ООО «Цибулино»	15,1	–
КФХ, ЛПХ, СН Г, Арендаторы	242,6	–
Итого	257,7	–

Канал Р-3 проходит в земляном русле, подают воду хозяйствам Волгоградской области и Республике Калмыкия (таблица Б.3). Протяженность канала – 25,7 км, пропускная способность в голове – 25,0 м³/с, в конце – 24,0 м³/с.

Таблица Б.3 – Площади земель, обслуживаемые каналом Р-3

В гектарах

Наименование хозяйства	Регулярное орошение	Естественные лиманы
Ватлин	–	75
Парфирьев	–	75
Абдулхаликов	–	258
КФХ, ЛПХ, СН Г, Арендаторы	60	–
ООО «Райгород»	1610	–
Итого	1670	408

Основное назначение ГТС оросительной сети – транспортировка, регулирование и сброс воды.

Б.1.3 Технология эксплуатации гидротехнических сооружений

Б.1.3.1 Организация водопользования и водопотребления

В соответствии со статьями 26–28 и 85 «Водного кодекса Российской Федерации» от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ организации, осуществляющие эксплуатацию оросительных систем, являются водопользователями, которым предоставлены права пользования водными объектами. Они используют водные объекты для обеспечения нужд водопотребителей и осуществляют свою деятельность в соответствии с лицензией на водопользование и договором пользования водным объектом.

Светлоярский филиал ФГБУ «Управления «Волгоградмелиоводхоз», осуществляющий эксплуатацию оросительной сети, проводит специальное водопользование с применением сооружений, технических средств и устройств для изъятия воды из водных объектов и распределения ее между водопотребителями для нужд сельскохозяйственного производства и удовлетворения других потребностей.

Распределение воды между водопотребителями производится на основе лимитов водопотребления, графиков водоподачи и договоров с водопотребителями.

Лимиты водопотребления на определенный период времени (год, вегетационный сезон и т. п.) и календарный график подачи воды устанавливаются исходя из намеченной площади полива сельскохозяйственных культур, оптимального поливного режима применительно к природным условиям данной зоны, технического состояния оросительной сети и мелиоративного состояния орошаемых угодий и утверждаются соответствующими органами исполнительной власти, осуществляющими управление сельским хозяйством.

Объем изъятия (забора воды) из водного объекта в целом по оросительной системе определяется на основании утвержденных лимитов отдельных водопотребителей с учетом потерь в магистральной и распределительной до водовыдела оросительной сети и утверждается специально уполномоченным государственным органом в области мелиорации земель в зависимости от территориальной принадлежности оросительной системы.

Сводный план водопользования по оросительной сети Райгородской оросительной системы составляется на основании хозяйственных планов водопользования. Хозяйственные планы водопользования составляются гидротехниками хозяйств при участии специалистов обслуживающего филиала, утверждается руководителями хозяйств, а затем согласовываются с Администрациями районов.

При составлении планов водопользования на поливной период гидротехники хозяйств учитывают рекомендации гидрогеологической мелиоративной партии.

Эксплуатирующая организация (водопользователь) и водопотребители обязаны:

- рационально использовать водные объекты, соблюдать условия, установленные лицензией на водопользование и договором пользования водным объектом;

- не допускать нарушения прав других водопользователей и водопотребителей, а также нанесения ущерба хозяйственным и иным объектам;
- содержать в исправном состоянии оросительную сеть, гидротехнические и другие водохозяйственные сооружения и технические устройства;
- своевременно осуществлять мероприятия по предупреждению и устранению аварийных и других чрезвычайных ситуаций;
- вести в установленном порядке первичный учет забираемых, используемых и сбрасываемых вод и представлять отчетность в установленные сроки специально уполномоченному государственному органу управления использованием и охраной водного фонда, а по подземным водам – государственному органу управления использованием и охраной недр;
- соблюдать установленный режим использования водоохраных зон.

Б.1.3.2 Организация первичного учета воды

Одним из основных условий правильной эксплуатации оросительной сети и рационального использования воды является надлежащая организация системы первичного учета и измерения воды. Проведение работ по учету и измерению воды возлагается на специальную службу эксплуатационной гидрометрии (метрологическую службу) в составе эксплуатирующей организации.

Основными задачами метрологической службы эксплуатирующей организации являются:

- систематические наблюдения за расходами, уровнями и другими характеристиками водного потока в пунктах водозабора, распределения, выдела и сброса воды с представлением оперативных сведений руководству;
- составление гидрометрических таблиц, графиков и т. п. для контроля за режимом работы каналов и сетевых гидротехнических сооружений;
- ведение водного баланса по оросительной системе в целом и отдельным участкам с установлением величины потерь воды, коэффициента использования воды, коэффициента полезного действия системы и участков;
- осуществление эксплуатации, ремонта, градуировки и поверки пунктов водоучета, сооружений, оборудования и приборов.

Оросительная система имеет гидрометрическую сеть специальных постов, градуированных сооружений, водомерных устройств и приборов,

расположенных в соответствии с проектом или схемой.

На оросительной системе могут устраиваться следующие группы гидрометрических постов по функциональному назначению:

- опорные посты – для определения основных параметров гидрологического режима водного объекта в месте изъятия воды в оросительную систему (устанавливаются в случае отсутствия аналогичных постов органов управления использованием и охраной водного фонда или органов управления в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды);

- головные посты – для учета объема водозабора из водного объекта в оросительную сеть;

- распределительные посты – для учета объема подачи воды в головах ветвей магистрального канала и распределителей различных порядков на границах административных районов, субъектов Российской Федерации в пунктах выдела водопотребителям;

- сбросные (концевые) посты – для учета неиспользованных остатков оросительной воды.

Гидрометрическая сеть на оросительной системе должна удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать условия для оперативного управления водораспределением и составления водного баланса как по системе в целом, так и по отдельным ее звеньям;

- выдавать информацию по основным элементам водного баланса и характерным гидрологическим параметрам водного потока за любой период времени;

- обеспечивать совмещение на одном гидропосту различных функций (наблюдений за режимом работы канала и сооружения с регулированием подачи воды в распределитель, пункт выдела водопотребителю и т. п.);

- обеспечивать заданную точность измерения гидравлических параметров потока: уровней, расходов воды, суммарного стока и др.;

- создавать условия для безопасного проведения на воде гидрометрических работ.

Организация учета воды и оснащение оросительной сети техническими устройствами эксплуатационной гидрометрии производится силами и средствами собственника (владельца) системы (ее части) или за его счет специализированными организациями.

Для обеспечения требуемой оперативности и точности водоучета

специалисты эксплуатирующей организации используют русловой и гидравлический методы изменения параметров водного потока.

Русловой метод измерения параметров водного потока применяется:

- на опорных гидростоях в сочетании с лодочной или паромной переправой, гидрометрической люлькой, подвесными мостиками;

- на головных, распределительных гидростоях в крупных открытых каналах в сочетании с фиксированным (закрепленным) руслом, лодкой или мостиком;

- на открытой сбросной сети.

В основу руслового метода положено использование устойчивой функциональной зависимости величины расхода от уровня воды в данном сечении русла.

Гидравлический метод измерения параметров потока применяется на всех типах гидростоев, за исключением опорных. Он основан на использовании гидравлических законов истечения жидкости через градуированные гидротехнические сооружения или специальные стандартные гидрометрические сооружения и устройства, как-то: измерительные водосливы, водомерные пороги, лотки и насадки, регуляторы- водомеры, сужающие устройства внутри напорных трубопроводов и т. п.

Б.1.3.3 Учет качественного состояния орошаемых земель

Эксплуатирующая организация осуществляет учет качественного состояния орошаемых земель и земель, примыкающих к орошаемым массивам и испытывающим их непосредственное воздействие, являющийся составной частью учета всех земель, проводимого органами управления земельными ресурсами и землеустройством в порядке, утвержденном заместителем председателя Правительства Российской Федерации А. Х. Заврюхой от 07.08.96 № 2933п-П1.

Эксплуатирующая организация проводит сбор данных о гидрологических и иных характеристиках орошаемых земель по утвержденным в установленном порядке формам учета, системе учитываемых показателей и представляют их органам управления земельными ресурсами и землеустройством для занесения в государственный земельный кадастр.

Система учета качественного состояния орошаемых земель необходима для информационного обеспечения при принятии квалифицированного решения следующих задач:

- комплексной оценки и учета мелиоративного состояния орошаемых

земель, эффективности использования орошаемых угодий и водных ресурсов;

- прогнозирования тенденции развития негативных процессов и деградации орошаемых угодий, их воздействия на прилегающие территории, разработки предложений по их устранению и профилактике;

- повышения работоспособности оросительной сети, своевременного и качественного проведения профилактических и ремонтных работ;

- накопления банка данных текущей, ретроспективной и прогнозной информации о состоянии орошаемых земель и оросительной сети, являющихся основой мелиоративного кадастра.

Работы по ведению учета мелиоративного состояния орошаемых земель возлагаются на специализированную гидрогеолого-мелиоративную службу или мелиоративную службу эксплуатирующей организации, которые в этих целях осуществляют наблюдения за режимом подземных вод, солевым и водно-воздушным режимом, гидрофизическими свойствами почв, качеством поверхностных и подземных вод, эффективностью работы дренажа.

Наблюдения за режимом подземных вод в орошаемых районах обеспечиваются:

- определение характера сезонной, годовой и многолетней динамики уровня, минерализации и химического состава грунтовых вод;

- расчет баланса и прогноза режима подземных вод;

- установление влияния грунтовых вод на водный и солевой режим орошаемых почв и определения на этой основе оптимального режима орошения;

- решение практических задач по обоснованию гидротехнических, агро-мелиоративных и других мероприятий на орошаемых землях.

Наблюдения за режимом подземных вод проводятся с помощью режимной сети наблюдательных скважин гидрогеолого-мелиоративной службы или временной наблюдательной сети ведомства.

Наблюдения за солевым режимом почв устанавливаются: степень и тип засоления почв, связь между динамикой засоления и режимом грунтовых вод, направленность изменения засоленности в многолетнем разрезе, причины засоления почв.

Основными методами наблюдений за солевым режимом почв являются солевые съемки, наблюдения на стационарных площадках и ключевых опытно-производственных участках, рекогносцировочные обследования земель.

Наблюдения за водно-воздушным режимом и гидрофизическими свойствами почв ведутся в целях своевременного выявления признаков развития оглеения, заиления, ожелезнения и других неблагоприятных процессов, связанных с переувлажнением. Наблюдения за водно-воздушным режимом почв на орошаемых массивах предназначены для установления сроков и норм поливов, расчетов запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы, составления информации и прогнозов влагообеспеченности сельскохозяйственных культур. Указанные наблюдения проводятся в пределах каждого севооборотного массива на 1–2 площадках площадью 300–500 м².

Основными методами наблюдения за водно-воздушным режимом и гидрофизическими свойствами почв являются комплексные съемки, обследования и режимные наблюдения. Допускается использование расчетных методов по утвержденным в установленном порядке методикам и аттестованным средствам программного обеспечения.

Наблюдения за качеством поверхностных и подземных вод содержат информацию, необходимую для:

- оценки качества подземных и поверхностных вод, их пригодности для орошения сельскохозяйственных культур;
- выявления и предупреждения опасности засоления почв;
- выдачи рекомендаций по срокам и режиму промывок орошаемых земель и оценки эффективности промывок;
- контроля за степенью загрязнения сбросных вод с оросительной сети, выноса этими водами минеральных удобрений, пестицидов и других химических веществ.

При проведении наблюдений или сборе данных на практике гидрогеолого-мелиоративная служба и эксплуатирующая организация руководствуются специальными рекомендациями, инструкциями и другими нормативно-методическими документами, действующими в области использования и охраны недр, мелиорации земель.

Б.1.4 Текущее состояние гидротехнических сооружений

Техническое состояние гидротехнических сооружений определялось соответствием фактических параметров проектным.

Сведения о текущем состоянии ГТС на Райгородской оросительной сети приведены в таблицах Б.4 и Б.5.

Таблица Б.4 – Техническая характеристика каналов Райгородской оросительной сети

Наименование канала	В		в		L		КПД		Оценка соответствия
	проектные данные	фактические данные	проектные данные	фактические данные	проектные данные	фактические данные	проектные данные	фактические данные	
МК-1	18	18	10	10	1,61	1,61	0,9	0,9	соответств.
МК-2	18	18	7	7	2,4	2,4	0,9	0,9	соответств.
МК-3	18	18	7	7	2,4	2,4	0,9	0,9	соответств.
Р-1	12,85	12,85	8,85	8,85	1,44	1,44	0,83	0,77	не соответств.
Р-2	9	9	7	7	1,2	1,2	0,8	0,78	не соответств.
Р-3	27	27	15	15	1,7	1,7	0,84	0,76	не соответств.

Таблица Б.5 – Техническая характеристика соответствия проектных и фактических данных размеров сетевых ГТС

ПК	Наименование сооружения	Характеристика		Оценка соответствия
		проектные данные	фактические данные	
1	2	3	4	5
Канал Р-1				
ПК 0	Перегораживающее сооружение с переездом РОП	ширина 2 м высота 1,5 м	ширина 2 м высота 1,5 м	соответствует
ПК 0+16	Перегораживающее сооружение с переездом РОП	ширина 2 м высота 2 м	ширина 2 м высота 2 м	соответствует
ПК 0+55	Перегораживающее сооружение с переездом РТП	ширина 2,5 м высота 2,5 м	ширина 2,5 м высота 2,5 м	соответствует
ПК 50+87	Сооружение № 4. Перегораживающие сооружение с переездом РОП	ширина 2 м высота 2 м	ширина 2,5 м высота 2 м	соответствует
ПК 109+90	Сооружение № 6. Перегораживающие с переездом РОП	ширина 2 м высота 1,5 м	ширина 2 м высота 1,5 м	соответствует
ПК 120+00	Сооружение № 8. Перегораживающие с переездом РТП	ширина 2 м высота 1,5 м	ширина 2 м высота 1,5 м	соответствует

Продолжение таблицы Б.5

1	2	3	4	5
ПК 219+20	Шахтный перепад	ширина 100 см высота 100 см	ширина 100 см высота 94 см	не соответств.
ПК 315+00	Перегораживающие сооружение с переездом РОП	ширина 2 м высота 1,5 м	ширина 2 м высота 1,5 м	соответствует
ПК 232+00	Перегораживающие сооружение № 11 с переездом РОП	ширина 2 м высота 1,5 м	ширина 2 м высота 1,5 м	соответствует
ПК 410+00	Перегораживающие сооружение с переездом РОП	ширина 2 м высота 1,5 м	ширина 2 м высота 1,5 м	соответствует
Канал Р-2				
ПК 2+69	Перегораживающие сооружение с переездом РТП	ширина 1 м высота 1,25 м	ширина 1 м высота 1,20 м	не соответств.
ПК 2+69	Перегораживающие сооружение с переездом РТП	ширина 100 см высота 1,5 м	ширина 100 см высота 1,5 м	соответствует
ПК 23+50	Перегораживающие сооружение с переездом РТП	ширина 100 см высота 125 см	ширина 100 см высота 125 см	соответствует
Канал Р-3				
ПК 1+35	Перегораживающие сооружение с переездом РОП	ширина 2 м высота 1,5 м	ширина 2 м высота 1,5 м	соответствует
ПК 89+53	Перегораживающие сооружение с переездом РТП	ширина 2,5 м высота 2,5 м	ширина 2,5 м высота 2,5 м	соответствует

Текущее состояние ГТС оросительной сети Райгородской оросительной системы в целом – работоспособное.

Б.2 Информация о службе эксплуатации

Б.2.1 Укомплектованность персоналом согласно штатному расписанию.

Сведения о численности и квалификации работников эксплуатирующей организации (Светлоярского филиала ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз») приведены в таблице Б.6.

**Таблица Б.6 – Сведения о численности и квалификации работников
эксплуатирующей организации**

Наименование должности	Кол-во единиц	Образование	Специальность
1	2	3	4
1 Директор	1	Высшее	Инженер-гидротехник
2 Главный инженер	1	Высшее	Инженер-гидротехник
3 Главный механик	1	Средне-техническое	Механик
4 Главный энергетик	1	Высшее	Инженер-электрик
5 Главный гидротехник	1	Высшее	Инженер-гидротехник
7 Главный мелиоратор	1	Высшее	Инженер-гидротехник
8 Начальник насосных станций	1	Средне-техническое	Техник-механик
9 Начальник участка	4	Высшее Средне-техническое	Инженер Техник-гидротехник
10 Ведущий инженер энергетик	1	Средне-техническое	Техник-электрик
11 Ведущий гидротехник	2	Высшее Средне-техническое	Агроном Инженер-строитель
12 Ведущий инженер-мелиоратор	2	Высшее Средне-техническое	Инженер Техник-гидротехник
13 Ведущий гидротехник	2	Высшее	Инженер
14 Ведущий инженер-механик	3	Высшее Средне-техническое	Инженер Техник-механик
15 Ведущий инженер по ремонту	1	Высшее	Экономист менеджер
16 Инженер-мелиоратор 1 категории	3	Высшее Средне-техническое	Товаровед-эксперт Техник-гидротехник

Б.2.2 Квалификационный уровень персонала, в том числе аттестация в органе надзора.

Уровень квалификации персонала службы эксплуатации соответствует требованиям правил технической эксплуатации и действующего законодательства по техногенной и экологической безопасности.

Сотрудники Светлоярского филиала прошли обучение и курсы повышения квалификации в следующих организациях:

- Коломинский ИППК (строительство, реконструкция и ремонт объектов капитального строительства) – 2012 г.;
- Нижне-Волжское управление «Ростехнадзор» (эксплуатация, строительство и ремонт ГТС; безопасность ГТС; эксплуатация грузоподъемных кранов; проверка знаний и норм правил работы в электроустановках) – 2013 г., 2014 г.;
- МЧС России (пожаротехнический минимум) – 2013 г.;
- Управление Ростехнадзора (промышленная безопасность, охрана труда) – 2013 г.;
- Управление Росприроднадзор (обращение с отходами) – 2013 г.

Согласно штатному расписанию численность службы эксплуатации ГТС Светлоярского филиала ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз», привлекаемых для выполнения мероприятий при угрозе возникновения и ликвидации ЧС составляет 6 человек. Квалификация: 4 человека – инженер-гидротехник; 1 человек – инженер-механик; 1 человек – осмотрщик ГТС.

Б.2.3 Основные задачи службы эксплуатации.

Основными задачами службы эксплуатации оросительной сети являются:

- содержание в исправном состоянии, принятие мер по предупреждению повреждений оросительной сети с сетевыми сооружениями;
- распределение воды, изъятой из водных объектов, между водопотребителями в соответствии с установленными лимитами и графиками водоподдачи;
- ведение учета орошаемых земель, контроля за их мелиоративным состоянием и техническим состоянием оросительной сети;
- повышение технического уровня и работоспособности оросительной сети.

В соответствии с основными задачами на работников службы эксплуатации оросительной сети возлагаются следующие обязанности:

- организация, своевременное и качественное проведение постоянно-го надзора, осмотра и наблюдений за состоянием и работой сети с сетевыми сооружениями, их периодических обследований и ремонтов;
- разработка и осуществление графиков забора воды из водных объектов и подачи ее в пункты выдела водопотребителям;
- обеспечение рационального использования оросительной воды, борьба с ее потерями и непроизводительными сбросами;
- организация достоверного измерения и учета воды, изымаемой из водных объектов и подаваемой водопотребителям;
- предупреждение засоления и заболачивания орошаемых земель, осуществление мероприятий по улучшению их мелиоративного состояния;
- защита открытых каналов оросительной сети от размыва и заиления;
- участие в работе, проводимой органами управления земельными ресурсами и землеустройством по учету земель, в части сбора данных о качественном состоянии орошаемых земель для занесения их в государственный земельный кадастр, в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 25 августа 1992 г. № 622 (Собрание актов Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации № 9 за 1992 год, ст. 609);
- проведение паспортизации сооружений оросительной сети в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим управление сельским хозяйством;
- техническое совершенствование сооружений оросительной сети, внедрение механизации эксплуатационных работ, прогрессивных способов и техники полива, автоматизации и телемеханизации управления водораспределением;
- внедрение прогрессивных технологий, достижений науки и техники, отечественного и зарубежного опыта, обеспечивающих экономное расходование воды, энергии, материалов, трудовых и финансовых ресурсов при проведении полива сельскохозяйственных культур, ухода, содержания и ремонта оросительной сети с сооружениями на ней;
- разработка и проведение комплекса мероприятий по охране окружающей природной среды.

Б.2.4 Техническая вооруженность.

Служба эксплуатации Светлоярского филиала имеет в наличии средства инструментального измерения и контроля технологических парамет-

ров и технического состояния ГТС оросительной сети, а также средства обработки результатов измерений. Состав измерений и примерный перечень инструментов и приборов, используемых при обследовании сооружений приведены в таблице В.7.

Таблица В.7 – Состав измерений и примерный перечень инструментов и приборов, используемых при обследовании сооружений

Состав измерений	Наименование прибора
1	2
1 Геодезические измерения сдвигов и отклонений от вертикали	Теодолит, тахеометр
2 Для наблюдения динамики развития трещин	Щелемер стрелочный рычажной, щелемер конструкции ЛенГИДЕ-ПА, щелемер с мессурой
3 Для осмотра конструкций	Бинокль, монокль
4 Для отбора проб материалов	Сушильный шкаф
5 Документальная фотосъемка	Фотоаппарат, видеокамера
6 Изменение деформаций	Тензометры
7 Измерение вертикальных отметок, перемещений	Нивелир, тахеометр
8 Измерение глубины трещин	Щупы
9 Измерение давления	Цифровые манометры
10 Измерение деформации, прогиба	Мессура (мех.)
11 Измерение длины	Рулетки металлические, лазерный дальномер
12 Измерение линейных размеров	Штангенциркуль
13 Измерение линейных размеров	Микрометры
14 Измерение отклонения или смещения от вертикали	Отвесы, инклинометр
15 Определение прочности бетона	Дефектоскоп
16 Определение сечения элементов металлических конструкций	Штангенциркуль, микрометры
17 Определение расходов воды по участкам оросительной сети	Вертушка ГР-21М и штанга гидрометрическая

Учет воды проводится инженерами-гидрометристами отдела водопользования Светлоярского филиала. Замеры расходов воды на каждом водовыделе проводятся вертушками ГР-21М. По полученным данным из-

меренных расходов строятся кривые зависимости и составляются градуировочные таблицы, также проводятся контрольные замеры, результаты которых представляются в виде кривых зависимостей.

Б.2.5 Выполнение предписаний органов контроля и надзора.

Предписания органов надзора в адрес эксплуатирующей организации в части эксплуатации оросительной сети не выдавались.

Б.3 Документация, необходимая для нормальной эксплуатации

Б.3.1 Проектная и строительная документация.

У эксплуатирующей организации имеется в наличии проектная документация на гидротехнические сооружения оросительной сети, составленная в 1975 году.

Б.3.2 Документация, составляемая собственником или эксплуатирующей организацией.

В наличии имеются: графики планово-предупредительных ремонтов каналов и сетевых ГТС, журналы наблюдений за уровнями воды в течение поливного сезона, журналы наблюдений за техническим состоянием ГТС, дефектные ведомости.

Б.3.3 Разработанные и уточненные критерии безопасности гидротехнических сооружений.

Для сетевых сооружений оросительной сети Райгородской оросительной системы разработка критериев безопасности ГТС не требуется в связи с отсутствием на системе сооружений, подлежащих декларированию.

Б.3.4 Утвержденная декларация безопасности гидротехнических сооружений.

Утвержденная декларация безопасности ГТС не имеется в связи с отсутствием на системе сооружений, подлежащих декларированию.

Б.3.5 Утвержденное экспертное заключение декларации безопасности гидротехнических сооружений.

Утвержденное экспертное заключение декларации безопасности ГТС не имеется в связи с отсутствием на системе сооружений, подлежащих

декларированию.

Б.3.6 Разрешение на эксплуатацию гидротехнических сооружений.

В соответствии с действующим законодательством по безопасности ГТС разрешение на эксплуатацию оросительной сети не требуется.

Б.3.7 Регистрации в Российском регистре гидротехнических сооружений.

На оросительной системе отсутствуют ГТС, подлежащие регистрации в Российском регистре гидротехнических сооружений.

Б.3.8 Договора обязательного страхования гражданской ответственности за причинение вреда в результате аварии гидротехнического сооружения и страхового полиса.

Страхование гражданской ответственности за причинение вреда в результате аварии ГТС не требуется в связи с отсутствием на оросительной системе сооружений, подлежащих декларированию.

Б.4 Техническое обслуживание гидротехнических сооружений

Б.4.1 Эксплуатационный контроль за состоянием гидротехнических сооружений.

На сооружениях оросительной сети в течение поливного сезона силами эксплуатационного персонала ведутся непрерывные наблюдения, в состав которых входят:

- контроль за уровнями воды в каналах;
- обследование технического состояния каналов и сооружений;
- наблюдение за состоянием бетонных конструкций сетевых сооружений на предмет наличия трещин, повреждений и оголения арматуры;
- наблюдения за осадкой и деформациями грунтовых и бетонных сооружений;
- контроль работоспособности затворов регулирующих сетевых сооружений.

Б.4.2 Организация натуральных наблюдений

В связи с эксплуатационными особенностями оросительной сети ведутся ежедневные натурные наблюдения за техническим состоянием сетевых ГТС и технологическими параметрами работы оросительной сети.

Б.4.3 Методики инструментального контролирования параметров гидротехнических сооружений, их измерения и описание.

Инструментальный контроль и оценка технического состояния каналов и сетевых гидротехнических сооружений проводится в соответствии с СТО 17230282.27.010.001-2007 «Здания и сооружения объектов энергетики. Методика оценки технического состояния»

Определение и контроль расходов воды на каналах и сооружениях производится с использованием косвенных методов измерений в соответствии с ГОСТ Р 51657.2-2000 «Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Методы измерения расхода и объема воды. Классификация» с использованием МИ 1759-87 «ГСИ. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость-площадь».

Б.4.4 Графики осмотров гидротехнических сооружений

В связи с эксплуатационными особенностями оросительной сети ведется ежедневный контроль технического состояния сетевых ГТС.

Б.4.5 Предпаводковые и послепаводковые обследования гидротехнических сооружений.

В соответствии с особенностями эксплуатации ГТС оросительной сети проведение предпаводковых и послепаводковых обследований не требуется.

Б.4.6 Должностные лица, производящие наблюдения и измерения.

Производство наблюдений и измерений за техническим состоянием сетевых ГТС производится инженерно-техническим персоналом (специальными комиссиями специалистов, назначенными руководством эксплуатирующей организации), обслуживающим соответствующие эксплуатационные участки оросительной сети.

Б.4.7 Обработка и анализ результатов наблюдений и измерений.

Обработка и анализ результатов наблюдений и измерений производится главным инженером и главным гидротехником Светлоярского филиала ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз».

Б.4.8 Выполнение ремонтных работ согласно графику планово-предупредительных ремонтов.

Система планово-предупредительных ремонтов представляет собой комплекс организационно-технических мероприятий, осуществляемых в плановом порядке с целью содержания систем и сооружений в постоянной надлежащей эксплуатационной готовности, предупреждения преждевременного износа, повреждений, деформаций, отказов в работе и предотвращения аварий.

Б.4.8.1 Организация постоянного надзора, осмотра и наблюдений за состоянием и работой мелиоративных систем и сооружений.

Отдельные участки оросительной сети, каналы, гидротехнические сооружения закреплены за ответственными лицами из числа эксплуатационного персонала для проведения постоянного надзора за их сохранностью и работоспособностью, систематического контроля за соблюдением установленного эксплуатационного режима, устранения мелких неисправностей и дефектов, содержания закрепленных объектов в надлежащем эстетическом виде.

Текущие осмотры сетевых ГТС проводятся регулярно в плановом порядке инженерно-техническими работниками эксплуатационной службы с занесением результатов в специальный журнал.

В процессе постоянного надзора, осмотра и систематических наблюдений визуально проверяются: наличие пустот за стенками сооружений, степень заиления и зарастания открытых каналов и водоприемников, наличие повреждений креплений откосов, размывов в нижних бьефах сооружений, опасной фильтрации и утечек воды, состояние гидромеханического оборудования и др. элементов и конструкций.

Конкретный перечень мероприятий по надзору, осмотру и наблюдениям устанавливается руководством службы эксплуатации исходя из конкретных условий.

Мелкие дефекты и неисправности, обнаруженные при надзоре и осмотре, подлежат немедленному устранению, о серьезных дефектах и неисправностях срочно докладывается руководству эксплуатационной организации для принятия срочных мер.

Б.4.8.2 Организация периодических обследований.

После завершения вегетационного сезона инженерно-техническими работниками эксплуатационной службы проводится полное техническое обследование сетевых ГТС на предмет определения конкретных видов и объемов ремонтных работ, выполнение которых необходимо для обеспе-

чения готовности к следующему сезону.

Повторное обследование сетевых ГТС, в случае необходимости, проводится весной перед началом нового сезона в целях своевременного устранения допущенных в процессе ремонта недоделок и неблагоприятных последствий зимнего периода.

При техническом обследовании сетевых ГТС устанавливаются визуально или с помощью геодезических инструментов:

- высотное положение и геометрические размеры сооружений, продольный и поперечные профили дамб и каналов;
- степень заиления и зарастания открытых каналов, водоприемников дренажных систем;
- размеры повреждений конструктивных элементов, заиления верхнего и размыва нижнего бьефа сооружений;
- величина утечек воды и фильтрации из каналов, через дамбы и в обход сооружений, а также утечек в: напорных трубопроводах, водоводах, лотках и прочих элементах системы;
- степень повреждений и износа гидромеханического оборудования и металлоконструкций;
- состояние эксплуатационных дорог, линий связи и электропередачи, устройств автоматики, телемеханики и водоизмерения, других элементов системы.

Результаты обследования оформляются актом технического состояния гидротехнического сооружений, в котором указываются обнаруженные дефекты и повреждения, дается их количественная оценка, намечаются конкретные меры, последовательность и сроки проведения того или иного вида ремонта.

Б.4.8.3 Планирование и проведение ремонтных работ.

Поддержание или восстановление первоначальных эксплуатационных качеств сетевых ГТС осуществляется проведением комплекса технических мероприятий по ремонту. В зависимости от сложности проведения, физических объемов и стоимости плановый ремонт подразделяется на текущий и капитальный.

К текущему ремонту относятся работы по устранению небольших повреждений и неисправностей, проводимые регулярно в течение года, как правило, без прекращения работы системы по специальным графикам и не превышающие 20 % балансовой стоимости ремонтируемого объекта.

К текущему ремонту относятся наиболее распространенные на ме-

лиоративных системах и сооружениях работы: исправление повреждений в креплениях и одеждах каналов и сооружений (в объеме до 20 % общей их площади), заделки трещин, каверн, выбоин и пустот в земляных и бетонных конструкциях, восстановление защитного слоя изоляции, антикоррозионного покрытия и окраски конструкций, очистка русла канала, колодцев, дренажа от мусора, наносов, растительности, ремонт уплотнений затворов и т. п.

К капитальному ремонту относятся работы, при проведении которых полностью или частично восстанавливаются отдельные сооружения, конструктивные элементы и части, осуществляется замена их на более прочные и экономичные. Стоимость капитального ремонта не должна превышать 50 % балансовой стоимости ремонтируемого объекта. В противном случае объект подлежит реконструкции или восстановлению за счет специальных источников финансирования.

Одновременно с проведением капитального ремонта допускается за счет тех же средств устройство дополнительных объектов и конструкций, направленных на повышение технического уровня и эксплуатационной надежности оросительной сети, улучшение мелиоративного состояния орошаемых и осушенных угодий.

Ремонтные работы, относящиеся по своему характеру к текущему ремонту, но проводимые в процессе капитального ремонта, осуществляются за счет средств последнего.

Повреждения аварийного характера устраняются в первоочередном порядке.

Отдельные элементы сетевых гидротехнических сооружений должны постоянно иметь в доступных местах возобновляемый аварийный запас строительных материалов в объемах, устанавливаемых эксплуатационной службой или владельцем (собственником) системы, ее части или сооружения.

Планы и графики проведения ремонтных работ на мелиоративных системах должны быть увязаны с графиками проведения сельскохозяйственных работ и согласованы с сельхозпроизводителями в случаях, затрагивающих их интересы.

Для проведения сложных ремонтных работ обязательно предварительное составление проектно-сметной документации.

В соответствии с Федеральным законом от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ «О мелиорации земель» финансирование ремонтно-эксплуатационных работ, включая расходы на проектно-изыскательские работы, осуществляет-

ся за счет средств федерального бюджета.

Б.5 Основные правила технической эксплуатации гидротехнических сооружений

Б.5.1 Требования техники безопасности при эксплуатации гидротехнических сооружений.

Эксплуатация сетевых ГТС в части их технического обслуживания, ремонта, проведения градуировочных работ, снятия показаний с водоучитывающих приборов должна осуществляться с учетом обеспечения безопасности труда – по ГОСТ Р 12.0.001-82.

Б.5.2 Основные показатели технической исправности и работоспособности гидротехнических сооружений.

Основными показателями технической исправности и работоспособности ГТС оросительной сети являются:

- обеспечение проектной пропускной способности;
- отсутствие заиления и зарастания, обрушения и размывов земляных элементов;
- минимальные фильтрационные и технологические потери воды, недопущение подтопления фильтрационными и затопления поверхностными водами прилегающих земель;
- обеспечение транспорта наносов и неразмываемости русел при минимальных и максимальных скоростях течения воды;
- отсутствие размывов нижних бьефов, повреждений креплений рисберм и откосов;
- возможность градуировки и определения расхода воды через отверстия сооружений по гидравлическим параметрам (уровням воды, высоте открытия затворов и т. п.);
- безотказная работа гидромеханического оборудования;
- надлежащая культура производства эксплуатационных работ, эстетическое оформление и благоустройство сооружений.

Б.5.3 Мероприятия, проводимые в случае возникновения аварийных ситуаций, при катастрофических паводках, превышающих пропускную способность водосбросных сооружений.

На объекте разработан план-график мероприятий по обеспечению безопасности эксплуатации ГТС оросительной сети и план ликвидации

аварий, где указаны действия аварийной бригады в случае возникновения на ГТС предаварийных и аварийных ситуаций. В планах предусмотрены обучение и тренировка аварийной бригады эксплуатирующей организации по действиям в экстремальных и предаварийных ситуациях.

Для оперативного сообщения об аварийной ситуации имеются средства, обеспечивающие устойчивую связь с диспетчером, который оперативно передает информацию обслуживающему персоналу, осуществляющему контроль безопасности ГТС (ответственным за выполнение работ по ликвидации аварийных ситуаций и аварий).

Б.5.4 Наличие в организации финансовых и материальных резервов для ликвидации аварий гидротехнических сооружений

В эксплуатирующей организации для ликвидации аварий ГТС оросительной сети имеются средства аварийного открытия затворов и поддержания каналов и сооружений в рамках проектных параметров, технические средства и материальные резервы. Информация о материальных резервах и имеющихся технических средствах приведена в таблицах Б.8 и Б.9.

Таблица Б.8 – Информация о резерве материалов

Наименование материалов	Единица измерения	Количество
1 Цемент М500	т	8
2 Щебень	т	20
3 Песок	т	30
4 Бензин	т	2,0
5 Дизельное топливо	т	3,0

Таблица Б.9 – Наличие основных производственных фондов по Светлоярскому филиалу ФГБУ «Управление «Волгоградмелиоводхоз»

Наименование	Гос. рег. знак	Параметры	Год выпуска	Срок службы	Техническое состояние
1	2	3	4	5	6
1 Экскаваторы одноковшовые					
ЭО-2621	ВХ-1668	Емк. ковша 0,25 м ³	1998	15	Исправен
ЕК-14	ВМ-2953	Емк. ковша 0,8 м ³	2003	10	Исправен
ЭО-4112	ВМ-1380	Емк. ковша 0,65 м ³	2002	11	Исправен

Продолжение таблицы Б.9

1	2	3	4	5	6
2 Каналоочиститель					
ОКН	СС-2133	78 л.с.	2002	11	Исправен
3 Бульдозеры					
Д-606	ВХ-1736	90 л.с.	1990	23	Ремонт
ДЗ-42	ВА-8329	90 л.с.	1988	25	Исправен
ДЗ-42	ВА-8328	90 л.с.	1987	26	Исправен
ДЗ-171	ВР-1027	170 л.с.	1991	22	Исправен
4 Скреперы					
ДЗ-87	ВХ-1727	165 л.с.	1988	25	Исправен
ДЗ-87	ВХ-1730	165 л.с.	1988	25	Ремонт
5 Трактор гусеничный					
Агромаш 90 ТГ 2008 А	ВК-5709	90 л.с.	2013	1	Не исправен
6 Тракторы колесные					
МТЗ-80	ВХ-1723	75 л.с.	1990	23	Исправен
МТЗ-80	ВХ-1714	75 л.с.	1991	22	Исправен
МТЗ-80	ВХ-1719	75 л.с.	1985	28	Исправен
МТЗ-80	ВА-5199	75 л.с.	1990	23	Исправен
МТЗ-80	СТ-8578	75 л.с.	1985	28	Не исправен
Автотранспорт					
7 Автомобили грузовые бортовые					
КАМАЗ-55111С	Т-729 ВВ	240 л.с.	2002.	11	Исправен
КАМАЗ-65115	О-113 ТА	240 л.с.	2004	9	Исправен
УАЗ-39094	Е-483 НЕ	100 л.с.	2000	13	Исправен
ЗиЛ-5301 АО	Е-186 ХЕ	104 л.с.	2001	12	Ремонт
УАЗ-33099	Е-958 НС	100 л.с.	2000	13	Исправен
ГАЗ СА3 3507	Н-731 НВ	115 л.с.	1989	24	Исправен
ГАЗ СА3 3507	В-650 ЕС	120 л.с.	1988	25	Исправен
ГАЗ СА3 5312	В-519 УУ	115 л.с.	1988	25	Исправен
8 Специальные машины					
Автоцистерна ГАЗ-53-12	Н-193 РТ	120 л.с.	1990	23	Исправен
Автоцистерна ГАЗ-53-04	Н-564 СЕ	–	1983	30	Исправен
А/к МАЗ 5337 КС 3577	В-519 ЕА	180 л.с.	1984	29	Исправен
9 Автобусы и вахты					
ПАГ-2М	Н-568 СЕ	120 л.с.	1985	28	Исправен
УАЗ-220602 (микро)	Т-581 КХ	74 л.с.	2001	12	Исправен

Продолжение таблицы Б.9

1	2	3	4	5	6
10 Легковой автотранспорт					
ГАЗ-3102	Н-122 ОН	150 л.с.	–	–	Исправен
ГАЗ-31029	В-402 ЕА	90 л.с.	–	–	Исправен
УАЗ-31519	Н-048 ЕМ	84 л.с.	–	–	Исправен
УАЗ-220694-04	А-918 ВО	112 л.с.	–	–	Исправен
ВАЗ-21074	Р-602 ВМ	74,5 л.с.	–	–	Исправен
ГАЗ-31029	В-815 ЕС	90 л.с.	–	–	Исправен
ГАЗ-3102	О-577 УС	150 л.с.	–	–	Ремонт
Hundai-Elantra	А-968 ВХ	105 л.с.	–	–	Исправен
11 Камышекосилка с прицепом ПТК-1,3 «Медведка»	–	–	2009 г.	4	Исправен

Б.5.5 Порядок эксплуатации гидротехнических сооружений в нормальных условиях, в экстремальных ситуациях при пропуске паводков, половодий и при отрицательных температурах

Б.5.5.1 Порядок эксплуатации гидротехнических сооружений в нормальных условиях.

Наполнение и опорожнение каналов и подпертых бьефов сооружений осуществляется постепенно, с интервалом между отдельными ступенями перерегулирования не менее двух часов и величинами этих ступеней не более 10 % проектной пропускной способности для магистральных и распределительных каналов.

На стенках понурной части регулирующего сооружения наносится яркая красная линия катастрофического горизонта воды, поддержание уровня воды выше которой запрещается.

Превышение дамб каналов и верха подпорных стенок сооружений над форсированным уровнем воды соответствует величине, установленной проектом. Пропуск форсированных расходов по всем каналам в течение двух-трех месяцев после капитального ремонта не допускается.

Для борьбы с потерями воды должны применяться следующие мероприятия:

- недопущение забора и подачи излишних расходов воды, строгое соблюдение поливных и оросительных норм;
- предельное ограничение работы оросительной сети во вневегетационный период;
- организация достоверного учета воды;

- своевременная очистка каналов оросительной сети от заиления и зарастания;
- ограничение количества подпоров для создания командных горизонтов воды;
- борьба с утечками воды через уплотнения затворов, компенсаторы трубопроводов, швы и трещины сооружений;
- искусственная кольматация земляных русел;
- создание внутрисистемных водоемов суточного регулирования воды.

На участках с повышенной фильтрацией воды, утечками и потерями в процессе реконструкции или капитального ремонта выполняются специальные антифильтрационные мероприятия (глиняные, бетонные, асфальтовые, пленочные и др. покрытия, уплотнение грунта в ложе канала, замена земляных каналов лотками, трубами и т. п.).

На каждом сооружении ведутся систематические (визуальные и инструментальные) наблюдения за гидравлическим режимом, осадками и перемещениями конструкций, фильтрацией воды по подземному контуру и в обход сооружения. Результаты наблюдений, периодичность и точность которых устанавливаются руководством службы эксплуатации, фиксируются в специальном журнале.

Особый режим наблюдений устанавливается для каналов и сооружений, расположенных на опасных участках (высокие дамбы, крутые косогоры, просадочные грунты, оползневые явления и др.).

Каналы и сооружения должны оснащаться знаками инженерной обстановки: километровыми столбами, указателями пикетажа сооружений, постоянными реперами и марками и др.

Б.5.5.2 Порядок эксплуатации гидротехнических сооружений в экстремальных условиях (зимняя эксплуатация сооружений).

Работа гидротехнических сооружений в зимний период связана с необходимостью проведения влагозарядковых, промывных и других видов поливов, заполнения водохранилищ, обеспечения водопотребителей энергетического, коммунального хозяйства и удовлетворения других потребностей.

Эксплуатационный персонал проводит по специальному плану подготовку гидротехнических сооружений к работе в зимних условиях, обратив особое внимание на техническое состояние затворов, подъемных механизмов, систем обогрева оборудования и т. п.

Для обеспечения безаварийной эксплуатации каналов и сооружений в условиях низких температур составляется план организационно-технических мероприятий, предусматривающий:

- усиленный надзор за работой каналов и сооружений, организацию круглосуточного дежурства в местах возможных скоплений льда и шуги;
- защиту от затопления прилегающих территорий;
- борьбу с образованием опасных скоплений льда и шуги;
- обогрев затворов и решеток;
- обколку льда перед регуляторами, напорными трубопроводами, дюкерами и другими сооружениями.

Маневрирование затворами в зимнее время неработающих сооружений осуществляется с учетом следующих требований:

- при отсутствии водозабора из магистрального или распределительного канала затворы сооружения-регулятора поднимаются навзмет на весь период и стопорятся в таком положении;
- при отсутствии обогрева затворов и пазов водозаборного сооружения для предохранения затворов от примерзания их поднимают и опускают через определенные промежутки времени;

Гидромеханическое, грузоподъемное, электротехническое оборудование, средства контроля и приборы управления не работающих в зимнее время гидротехнических сооружений подлежат ревизии в конце поливного сезона и консервации. Трубопроводы, лотки, корпуса насосов и запорной арматуры необходимо освободить от воды.

В зимний период эксплуатационный персонал проводит основные объемы работ по текущему и капитальному ремонту подводных частей сооружений, очистке каналов от заиления, а также по реконструкции сооружений.

Рабочие органы и оборудование гидрометрических постов, водомерных сооружений, подлежат демонтажу, ревизии, консервации и хранению в специальных защищенных местах.

Б.6 Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений

Б.6.1 Наличие системы охраны гидротехнических сооружений.

Наличие системы охраны ГТС оросительной сети не предусмотрено.

Б.6.2 Наличие и поддержание локальной системы оповещения о чрезвычайных ситуациях на гидротехнических сооружениях.

Наличие локальной системы оповещения о чрезвычайных ситуациях на ГТС оросительной сети не предусмотрено.

Б.6.3 Наличие аварийно-спасательных формирований.

Наличие аварийно-спасательных формирований при эксплуатации оросительной сети не требуется в связи с отсутствием на оросительной системе сооружений, подлежащих декларированию.

Б.6.4 Наличие противопожарной защиты.

Сетевые ГТС, оснащенные электрооборудованием и контрольно-измерительными приборами с напряжением питания от 220 В, оборудуются средствами пожаротушения, отвечают требованиям функциональной безопасности – по ГОСТ Р 53195.1-2008 и защищены от несанкционированного доступа.

Б.6.5 Наличие систем охранного освещения.

Наличие систем охранного освещения на ГТС оросительной сети не предусмотрено.

Б.6.6 Экологическая безопасность при эксплуатации гидротехнических сооружений.

Под экологической безопасностью оросительной системы понимается такая форма ее функционирования, при которой в течение службы эксплуатации все заданные процессы, параметры и свойства системы в рамках геоэкологических ограничений не вызывают угрозу возникновения негативных последствий (экологических ущербов) или компенсируются следующими природоохранными мероприятиями:

- соблюдение водного баланса системы;
- рациональное использование орошаемых земель;
- экономное использование оросительной воды;
- охрана земель, лесов и иной растительности от истощения, затопления, подтопления и предупреждение других вредных последствий для окружающей природной среды;
- охрана водных объектов, рыбных ресурсов, водных и околоводных животных и растений.

Эксплуатация оросительной сети с сетевыми сооружениями осуществляется в соответствии с требованиями функциональной безопасности – по ГОСТ Р 53195.1-2008.