

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»  
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

УДК 626.824:681.12

В. Я. Бочкарев

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА  
ИЗМЕРЕНИЙ, МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ  
ВОДОУЧЕТА НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

Новочеркасск 2012

## Содержание

Предисловие .....	4
Принятые сокращения .....	5
Введение .....	6
1 Оросительные системы как объекты применения информаци- онных технологий измерения и контроля параметров водного потока .....	9
1.1 Технологическая характеристика оросительных систем .....	9
1.2 Задачи информационного обеспечения управления техноло- гическими процессами водопользования на оросительных системах .....	19
1.3 Комплекс водоучета и водоизмерения как подсистема управ- ления процессами водопользования .....	26
1.4 Существующие способы и методы организации водоучета на оросительных системах.....	33
1.5 Состояние и тенденции совершенствования правового и нормативно-методического обеспечения информационных и учетных операций при осуществлении водопользования .....	46
2 Современные технологии осуществления операций по учету и контролю использования водных ресурсов .....	54
2.1 Существующая технология и техника получения первичных данных при водоучете.....	54
2.2 Современные технические средства измерения технологиче- ских параметров на оросительных системах .....	62
2.2.1 Методы и средства измерения гидравлических параметров.....	66
2.2.2 Методы и средства измерения линейно-угловых параметров....	83
2.3 Новые научно-исследовательские разработки в области из- мерений параметров водного потока для обеспечения водоучета на открытых каналах оросительных систем.....	86
3 Метрологическое обеспечение контроля и измерения техноло- гических параметров водоподачи и водораспределения .....	99

3.1 Сущность и показатели точности контроля и измерения параметров водного потока .....	99
3.2 Методы обработки результатов измерений при ограниченности априорных данных.....	109
3.3 Методология выбора контрольных точек в технологических объектах для оперативного мониторинга состояния оросительной системы .....	116
3.4 Организация работ по метрологическому обеспечению эксплуатации средств измерений на оросительных системах.....	126
4 Автоматизированные информационно-измерительные системы контроля технологических параметров процессов водопользования .	138
4.1 Принципы построения информационно-измерительных комплексов обеспечения водопользования.....	138
4.2 Критерии выбора технических средств контроля технологических параметров.....	153
4.3 Организация сбора, обработки и передачи параметрической информации.....	165
4.4 Формирование программного обеспечения информационно-измерительных систем .....	183
Список использованной литературы.....	212

## Предисловие

В данной работе, посвященной анализу современных технологий, средств измерений и методов организации водоучета на оросительных системах приведены и результаты авторских разработок новых средств водоучета. На основе известных, и на наш взгляд, перспективных разработок в области создания отечественных автоматизированных систем управления технологическими процессами на оросительных системах (АСУТП ОС) проведены определенные обобщения и выработаны предложения по созданию информационно-измерительных комплексов для оросительных систем с использованием современных средств измерений общего назначения.

В работе предлагаются варианты технического решения ключевых проблем формирования информационно-измерительных систем, обеспечивающих выполнение функций автоматизации водопользования в федеральных эксплуатационных организациях. Прикладное значение работы состоит в метрологическом обосновании применения новых технологий водоучета, определении технических требований к средствам измерения, методикам обработки информации в условиях недостаточности априорных данных, технологии использования сетевых гидротехнических сооружений с целью их использования в качестве водомерных устройств на оросительных системах.

## Принятые сокращения

АСУТП ОС – автоматизированная система управления технологическими процессами на оросительной системе.

АСОУ – автоматизированная система организационно-экономического управления.

АСУОТ – автоматизированная система управления организационно-технологическая.

КТС – комплекс технических средств.

ОКУ – оперативный контроль и управление.

ПС ППР – пространственная система поддержки принятия решений.

СИО – система информационного обеспечения.

ССОД – система сбора и обработки данных.

СППР – система поддержки принятия решений.

ТОУ ОС – технологический объект управления оросительной системы.

УИС – управленческая информационная система.

ЦДП – центральный диспетчерский пункт.

## Введение

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

Современная правовая база регулирования отношений в области использования водных ресурсов, в частности федеральные законы «Водный Кодекс Российской Федерации», «О техническом регулировании», «О мелиорации земель», «Об обеспечении единства измерений» и ряд других нормативных документов определили принципиально новые правовые основы водопользования в мелиорации, в том числе возможного перехода к платному водопользованию.

Технический и метрологический уровень развития приборостроения как зарубежного, так и отечественного позволяет обеспечить высокоточное измерение и достоверный контроль параметров водного потока, включая возможность создания информационно-измерительных систем, работающих в реальном масштабе времени.

Стратегия развития систем водоучета в мелиорации на протяжении последних десятилетий претерпела ряд этапов развития. Так в 40-60-х гг. развивалась теория и практика создания различных типов гидрометрических сооружений, оснащенных простейшими средствами измерений. В 70-80-х гг., в основном, совершенствовалось приборное обеспечение водоучета на основе принципов традиционной гидрометрии. Это был период наиболее интенсивных работ в области водоучета. Были разработаны и экспериментально апробированы новые средства измерения на основе ультразвуковых, электромагнитных и иных способах контроля параметров водного потока. Значительное развитие получили автоматизированные регуляторы и стабилизаторы расхода. Проведение автоматизации технологи-

ческих процессов с целью создания АСУ ТП ОС создало организационные и технические предпосылки создания системного водоучета и его трансформации в информационно-советующую подсистему управления водопользованием [11, 14, 96, 140].

Современное состояние эксплуатационной гидрометрии и ее метрологическое обеспечение можно охарактеризовать как кризисное. Фактически вся гидрометрическая сеть, особенно на открытых каналах и сооружениях, не соответствует нормативным и метрологическим требованиям. Существовавший ранее приборный парк практически утерян вследствие морального и физического износа измерительных приборов, выхода их из строя по различным эксплуатационным причинам, отсутствия технического обслуживания, ремонта и метрологической поверки. В результате управление процессами водопользования на мелиоративных системах базируется на методах измерения и контроля 30-40-х гг. с использованием имеющихся гидрометрических сооружений и простейших средств измерений уровня и скорости воды [77, 139].

Вместе с тем, есть и определенные позитивные тенденции в совершенствовании водоучета на мелиоративных системах. В частности, ряд эксплуатационных организаций проводит работы по оснащению мелиоративных насосных станций средствами измерения расхода и стока воды. Основной причиной роста интереса к внедрению современных средств водоучета является существенный рост тарифов на электроэнергию и необходимость обеспечения финансовых взаиморасчетов с водопотребителями.

Принятие закона РФ «О техническом регулировании» положило начало кардинальных изменений в системе нормирования и технической реализации всех видов производства. Применительно к системе водоучета на мелиоративных объектах более четкое определение правовых основ метрологического обеспечения водоизмерения и осуществления учетных операций дано в новом федеральном законе «Об обеспечении единства измерений».

Позитивное влияние на возможности формирования системного водоучета на мелиоративных системах оказывает существенно изменившаяся обстановка на рынке средств измерений, приборов и оборудования. При практической утрате средств водоучета на мелиоративных системах использование в большинстве случаев устаревших технологий измерения определяет актуальность разработки новых технологических основ информационного обеспечения водопользования в части организации системного водоучета и водоизмерения.

В работе проведен анализ ряда технологических и технических разработок прошлых лет, которые могут быть использованы при модернизации информационного обеспечения существующих оросительных систем и, прежде всего, систем водоучета. Обзор современных технологий и средств измерений общего назначения имел целью выработать определенные технические требования и практические рекомендации по их широкому применению на мелиоративных объектах. Приведены результаты некоторых авторских разработок в области создания специализированных средств водоучета.

Прикладное значение работы состоит в метрологическом обосновании применения новых технологий водоучета, определении технических требований к средствам измерения, методикам обработки информации в условиях недостаточности априорных данных. Предложены рекомендации по решению некоторых организационно-технических проблем формирования информационно-измерительных систем, обеспечивающих выполнение как функций автоматизированного управления водопользованием, так и водоучета при эксплуатации оросительных систем.



# **1 Оросительные системы как объекты применения информационных технологий измерения и контроля параметров водного потока**

## **1.1 Технологическая характеристика оросительных систем**

Оросительная система (ОС) в современном понимании представляет собой комплекс взаимосвязанных гидротехнических сооружений и устройств (водозаборы, каналы, дренажные коллекторы, трубопроводы, водохранилища, плотины, дамбы, насосные станции и др.), призванных обеспечить забор воды из природных источников, транзит воды по сети каналов и трубопроводов и ее выдел потребителям.

В настоящее время ранее единые ОС формально разделены на две составляющие – межхозяйственную часть каналов и сооружений и внутрихозяйственные оросительные сети. Соответственно произошло и функциональное разделение ОС по составу выполняемых задач. Особенностью действующего сегодня производственно-экономического механизма является федеральная собственность объектов межхозяйственной части ОС и частная собственность объектов внутрихозяйственных оросительных сетей [77, 140, 146]. При этом физически все элементы ОС неразделимы и продолжают работать во взаимосвязанных режимах единого технологического комплекса.

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

В новых условиях хозяйствования для организации водопользования требуются принципиально иные технологии и технические средства получения оперативных и достоверных данных о состоянии мелиоративных объектов, основанные на новых разработках в области информационного обеспечения производственных процессов.

Информационное обеспечение оросительных систем, по сути, есть совокупность технологий, методов и средств получения информации, необходимой для организации и выполнения производственных процессов в объектах ОС. При этом, во всех ОС, независимо от конструктивного исполнения, назначения, размеров, организации эксплуатации можно выделить ряд общих технологических особенностей, таких как:

- функциональное назначение, определяющее идентичность технологических процессов водоподдачи, водораспределения и взаимосвязи звеньев ОС;

- конструктивная однотипность объектов водозабора и транспорта воды (каналов, трубопроводов), сетевых гидротехнических сооружений, гидромеханического оборудования, устройств водоучета и водоизмерения и т.д.;

- динамический характер движения воды в каналах и сооружениях, существенно влияющий на управление технологическими процессами водоподдачи и водораспределения, включая водоизмерение и водоучет;

- прямая и обратная гидравлическая связь между объектами через водную среду;

- относительно редкое плановое изменение режима работы сооружений, вследствие чего к быстрдействию устройств управления, как правило, не предъявляются жесткие требования;

- отсутствие, как правило, источников электроснабжения вблизи от объектов ОС и наличие достаточного количества возобновляемой гидравлической энергии потока, которую можно использовать в технологических целях.

Для определения единой базы показателей, необходимых для организации контроля технического состояния объектов ОС и измерения параметров водных потоков, возможно использование существующей [16] классификации оросительных систем, приведенной в таблице 1.

**Таблица 1 – Классификация оросительных систем**

Признак классификации	Типы оросительных систем	Конструктивные особенности оросительных систем
Конструкция водопроводящей сети	Открытые	Все элементы водопроводящей сети выполнены в виде открытых каналов или лотков.
	Закрытые	Все элементы водопроводящей сети выполнены из напорных или безнапорных трубопроводов.
	Комбинированные	Сочетание открытых каналов и закрытых трубопроводов
Способ водоподдачи	Самотечные	Вода движется по уклону водотоков за счет энергии водного потока.
	С механическим водоподъемом	Подача воды осуществляется принудительно, насосной станцией
Степень капитальности	Стационарные	Все элементы системы занимают постоянное положение.
	Полустационарные	Водозаборные сооружения, насосные станции и водопроводящая сеть занимают постоянное положение, а поливная техника перемещается по полю в процессе полива.
	Передвижные	Все элементы системы – насосные станции, водопроводящая сеть (разборная) и поливная техника перемещается с позиции на позицию

Вследствие перечисленных особенностей все ОС можно признать однотипными технологическими объектами с точки зрения управления процессами водопользования и организации информационного обеспечения. При этом компоненты или звенья ОС могут отличаться по отдельным техническим и конструктивным параметрам, поэтому для разработки инженерных методов создания систем информационного обеспечения необходим фрагментный технологический анализ разновидностей ОС по типовым характеристикам.

Существует ряд иных подходов к систематизации и классификации ОС и отдельно стоящих гидротехнических сооружений. В них наиболее существенными аспектами являются:

- 1) принципы формализации структуры ОС по функциональному назначению отдельных ее звеньев и их технологической взаимосвязи;
- 2) основные схемные решения водопроводящей сети, водозаборов и сетевых гидротехнических сооружений, других элементов ОС;
- 3) граничные значения технологических, технических и конструктивных параметров типовых элементов ОС различного назначения;
- 4) конструкция водопроводящей сети;
- 5) способы водоподачи (водоотвода);
- 6) степень капитальности мелиоративных систем.

Для разработки систем информационного обеспечения водопользования в части контроля и измерения параметров водных потоков принципиальное значение имеют 1, 3 и 4 классификационные признаки.

Процедура оптимизации системы информационного обеспечения водопользования предполагает выбор структуры иерархических уровней ОС и установление их взаимосвязи. Она базируется на новых правовых и экономических основах организации водопользования, учитывающих фрагментное разделение крупных ОС по принципу собственности на государственные и частные со всеми вытекающими последствиями.

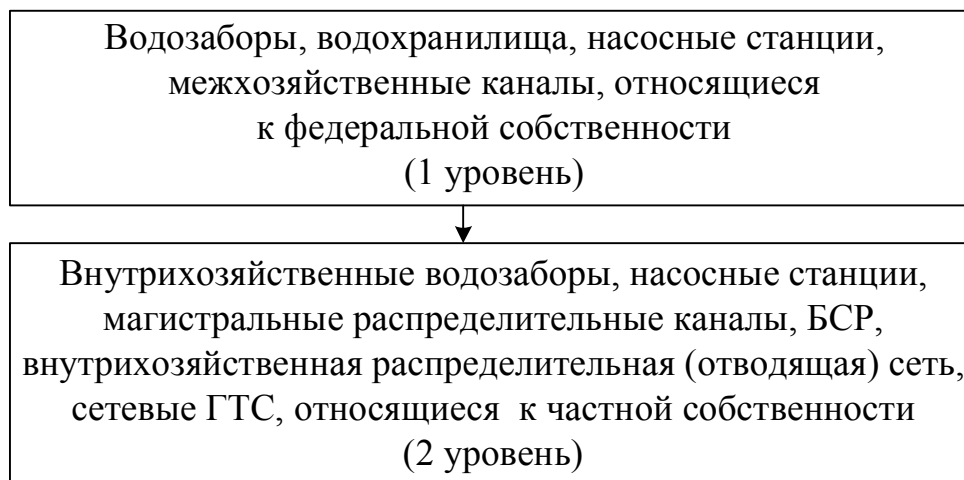
В любой конструктивной схеме ОС можно выделить два вида взаимосвязей – горизонтальные (внутриуровневые) и вертикальные (междууровневые). Горизонтальные взаимосвязи в общем случае сводятся к следующим видам:

- конструктивная взаимосвязь (фрагментная или системная) сооружений, оборудования и т.п.;
- системная взаимосвязь по управлению водораспределением и регулированию технологических параметров;
- гидравлическая связь технологических звеньев.

Вертикальные взаимосвязи определяются, как правило, организационно-техническими особенностями, связанными с видом собственности на объекты ОС и применяемыми способами водопользования. Вместе

с тем, компоненты или звенья ОС могут существенно отличаться по отдельным техническим, технологическим и конструктивным параметрам.

Исходя из этих предпосылок, все ОС целесообразно сразу разделить на два иерархических уровня (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Иерархическая структура оросительной системы с учетом разделения ее фрагментов по форме собственности**

Для разработки инженерных методов проектирования систем информационного обеспечения необходим фрагментный анализ разновидностей ОС по типовым показателям. Существующие ОС состоят из типовых сооружений (каналы, сопрягающие и подпорно-регулирующие сооружения, водовыпуски и т.п.) [127]. Опыт эксплуатации показывает, что при соблюдении правил эксплуатации конструктивные параметры ОС остаются достаточно стабильными [13, 82, 98, 147]. При этом наибольшие изменения наблюдаются в шероховатости русла канала и геометрических размерах его живого сечения. Эти явления связаны с отложениями наносов и зарастанием русла каналов водной растительностью.

Дальнейший анализ установленных взаимосвязей рационально проводить с выделением конструктивных взаимосвязей и гидравлических характеристик технологических звеньев, в совокупности формализованных в типовые модули ОС. Конфигурации технологических модулей и состав входящих в него сооружений и устройств многовариантны и в данном слу-

чае не имеют принципиального значения. Вполне допустимо представление таких модулей в следующем виде (таблица 2).

**Таблица 2 – Номенклатура типовых технологических звеньев мелиоративных систем**

Наименование	Условное изображение	Область применения технологического звена
Технологическое звено I (ТЗ – I)		Водозабор, головная насосная станция
Технологическое звено II (ТЗ – II)		Участок транзитного канала между смежными сооружениями ОС
Технологическое звено III (ТЗ – III)		Перегораживающее (сопрягающее) сооружение на транзитном канале, перекачивающая насосная станция
Технологическое звено IV (ТЗ – IV)		Водовыпускное гидротехническое сооружение
Технологическое звено V (ТЗ – V)		Сбросное гидротехническое сооружение
Технологическое звено VI (ТЗ – VI)		Водохранилище, бассейн суточного регулирования (БСР)

Взаимосвязи элементов типовых модулей можно выразить следующими функциональными зависимостями:

$$W_i = f(P_k, H_i) = f(Q_i, t), \quad (1)$$

$$Q_i = f(P_k, V_i), \quad (2)$$

$$H_i = f(P_k, Q_i), \quad (3)$$

$$\Delta q / \Delta t = f(P_k, V_i, W_i), \quad (4)$$

где  $P_k$  – конструктивные параметры, характеризующие геометрические размеры объектов во взаимосвязи элементов;

$Q_i, V_i, H_i$  – текущие значения соответственно расхода, скорости и глубины потока в точке измерения (контроля);

$t$  – время интеграции измеряемых гидравлических параметров;

$\Delta q / \Delta t$  – скорость изменения величины расхода в точке измерения.

При необходимости математического моделирования процессов водопользования, как правило, используется метод декомпозиции, т.е. замены отдельных элементов ОС на иные, математически детерминированные и соответствующие технологическим особенностям реальных ОС. Конст-

руктивные, технические и гидравлические параметры современных ОС можно оценить на основе данных проектных и эксплуатационных организаций системы Демелиорация Минсельхоза России [82], приведенных в таблицах 3-9.

**Таблица 3 – Характеристика крупных оросительных каналов Ростовской области**

Канал	Расход, м <sup>3</sup> /с	Длина, км	Глубина, м	Характер ложа канала
Азовский МК	20,0	84,95	2,0-3,8	земляное
Нижне-Донской МК	25,6	73,9	2,0-3,0	земляное
Пролетарский МК	54,0	83,4	4,5	земляное
Верхне-Сальский МК	30,0	98,8	1,8-2,3	земляное
Багаевский МК	30,0	36,45	3-4,5	земляное
Распределительный канал Бг-Р-7	8,7	22,62	1,5	ж/б плита
Распределительный канал Бг-Р-8	6,5	7,8	1,5-1,8	ж/б плита

**Таблица 4 – Сведения о крупных магистральных каналах Поволжья**

Канал	Расход, м <sup>3</sup> /с	Длина, км	Глубина, м	Характер ложа канала
МК Саратовский	50	126,5	2,5-3	земляное
МК Палласовский	22,3	200	2,2	земляное
МК Большой Волгоградской ОС	116	35,9	6,35	бетоноплочная облицовка
МК Заволжской ОС	125	56,4	5,5	железобетон
МК Куйбышевский	30/50	278	3,75	грунтоплочная облицовка

**Таблица 5 – Сведения о магистральных каналах Кабардино-Балкарии**

Канал	Расход, м <sup>3</sup> /с	Длина, км	Глубина, м	Характер ложа канала	Поперечное сечение
Урвань	15,0	17,8	1,9	земляное	трапец.
Кахун	10,0	20,7	1,5	земляное	трапец.
Аксыра	10,0	21,7	1,8	обл. ж/б	прямоуг.
Правобережный МК	10,0	18	20	обл. ж/б	прямоуг.
Левобережный МК	7,5	9,97	2,0	обл. ж/б	прямоуг.
Баксан-Малка	28,0	27	1,5	земляное	трапец.
Малка-Кура	30,0	32,8	2,3	земляное	трапец.
Мало-Кабардинский	24,0	34	-	земляное	трапец.

**Таблица 6 – Сведения о крупных распределительных каналах Ставропольского края**

Канал	Расход, м <sup>3</sup> /с	Длина, км	Площадь орошения, тыс. га
1	2	3	4
Елизаветинский распределитель БСК	13,5	47	6,1
Широкий распределитель БСК	13,4	209	17,7

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4
Саблинский распределитель БСК	21,0	77,2	2,5
Егорлыкский	13,0	77,3	14,3
Левуюмская ветвь КМК	22,0	54,6	15,0
Левая ветвь ПЕК	17,5	268	45,0
Магистральный левобережный	15,0	15,0	178,0
Караногайский	24,0	118	17,8/188,7
Куро-Марьянский	5,0	36,7	1,5
Им. Ленина	6,5	189,5	-
1-й Сухопадинский	5,0	105	6,3
Большой Левобережный	4,0	72	0,7

**Таблица 7 – Сведения о крупных оросительных каналах Краснодарского края**

Канал	Подаваемый расход, м <sup>3</sup> /с		Проектный расход, м <sup>3</sup> /с
	2002 г.	2003 г.	
МК Петровско-Анастасиевской ОС	59	55	120
МК Федоровской ОС	28	36	52
МК Марьяно-Чебургольской ОС	220	240	330
Канал Р-2 Федоровской ОС	12	8	-
МК Черноерковской ОС-2	-	-	26

**Таблица 8 – Сведения о магистральных и распределительных каналах Дагестана**

Оросительный канал (система)	Расход, м <sup>3</sup> /с	Длина, км	Глубина, м	Характер ложа	Форма поперечного сечения
Таловский	35,0	70,0	1-5	земляное	трапец.
Старотеречный	75,0	68,0	1-5	земляное	трапец.
Новотеречный	15,0	75,0	1,5-2,5	земляное	трапец.
С.-Чубутлинский	13,0	90,0	1-4,5	земляное	трапец.
Бороздиновский	18,0	65,0	1-4,5	земляное	трапец.
Караногайский	10,0	90,5	1,5-3,5	земляное	трапец.
Дзержинский	40,0	90,0	1,8-5,0	земляное	трапец.
Юзбашский	25,0	65,0	1,5-3,0	земляное	трапец.
Шабур	15,0	44,0	1,5-3,0	земляное	трапец.
Канал им. Октябрьской революции (КОР)	50,0	91,5	2-4	облицовка	трапец.
С.-Дербентский	10,0	87,0	1,5-3,0	облицовка	трапец.
Тальминский	15,0	56,0	1,5-4,0	облицовка	трапец.

**Таблица 9 – Сведения о магистральных каналах Сибири**

Канал	Источник водозабора	Расход, м <sup>3</sup> /с	Длина, км	Глубина, м	Русло канала
Койбальский МК	р. Абакан	18	80	3	бетон
Абаканский МК	р. Абакан	10-15	-	1,3-1,8	бетон
Алейский МК	Гилевское вдхр.	33,5	126,8	1,65	земляное
Кулундинский МК	Новосибирское вдхр.	25	182	3	земляное



В составе ОС используются различные водохранилища. В таблице 10 дана характеристика наиболее крупных водохранилищ Юга России.

**Таблица 10 – Характеристика наиболее крупных водохранилищ Юга России**

Наименование водохранилища	Объем, км <sup>3</sup>	Площадь водного зеркала, км <sup>2</sup>	Глубина, м	Длина, км	Ширина, км
Цимлянское	11,6	2700	8,8-35	280	-
Усть-Маньчское	72,0	48,6	2,8	62,0	3,0
Веселовское	980,0	279,0	11,3	100,0	7,0
Пролетарское	1190,0	645,2	14,65	150,0	12,0

Более мелкие водохранилища и пруды используются в основном для обеспечения работы ОС на местном стоке и регулирования суточных колебаний водоподачи. Для анализа работы крупных ОС они не имеют принципиального значения. На основе имеющихся данных по объектам ОС определены проектные диапазоны изменения конструктивных и технологических параметров типовых звеньев СИО (таблица 11).

**Таблица 11 – Проектные и расчетные диапазоны изменения технологических параметров типовых модулей ОС**

Параметр		Проектный диапазон изменения параметров	Расчетный диапазон изменения параметров
Название	Обозначение		
1	2	3	4
1 Технологическое звено I (ТЗ – I) – водозабор			
Расход	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	2,0-350	Расчет
Глубина потока	$h, \text{ м}$	0,5-5,0	0,5-3,5
2 Технологическое звено II (ТЗ – II) – канал			
Длина	$L, \text{ м}$	800-209000	Расчет
Расход	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	1,0-200	1,0-100,0
Ширина по дну	$b, \text{ м}$	1,0-20,0	1,0-20,0
Шероховатость	$n$	0,015-0,017	0,0017
Откос	$m$	1,0-1,5-2,0	1,5
Глубина потока	$h, \text{ м}$	1,0-5,4	1,0-3,5
Уклон дна	$i$	0,0001-0,002	0,0001-0,0005
3 Технологическое звено III (ТЗ – III) – сопрягающее сооружение, ПНС			
Расход	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,5-5; 5-20; 20-150	0,5-5,0; 5-20; 20-150
Диаметр водотока	$d, \text{ м}$	0,4-1,6	0,4-1,6
Перепад	$\Delta h, \text{ м}$	До 3,0	До 3,0

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4
4 Технологическое звено IV (ТЗ – IV) – водовыпуск			
Расход Конструкция водовыпуска	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0-150 и более Трубчатые диаметром 0,2-1,6 м, при расходе 0,2-5. Трубчатые, прямо- угольные или откры- тые, при расходе 5-20. Открытые при расходе 20-150	Расчет Трубчатые диаметром 0,2-1,6 м, при расходе 0,2-5. Трубчатые прямоуголь- ные или открытые, при расходе 5-20. Индивидуальные
Длина	$L, \text{ м}$	3100-10100	Назначается расчетом
Расход	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	8,1-41,7	1,0-100,0
Ширина по дну	$b, \text{ м}$	1,0-8,0	0,017
Шероховатость	$n$	0,015-0,017	1,5-2,0
Откос	$m$	2,0-3,0	0,0001-0,005
Уклон дна	$i$	0,00005-0,0025	0,5-3,0
Глубина потока	$h, \text{ м}$	1,9-3,6	

Опыт эксплуатации каналов и сооружений [82] показывает, что их конструктивные параметры остаются практически неизменными. При этом наименее стабильным параметром является шероховатость стенок русла каналов и сооружений. Эти явления связаны с возможным разрушением облицовки каналов, отложениями наносов и зарастанием русла водной растительностью. Тем не менее, принятые конструктивные параметры в дальнейшем можно считать квазистационарными.

Гидравлические параметры плавно изменяются во времени в пределах ограниченного диапазона. Для современных ОС эти диапазоны детерминированы применительно к конструктивным решениям элементов ОС. Отношение единичного расхода к единичной величине времени, характеризующее динамику потока в водотоках ОС, является производным от вышеуказанных параметров и оказывает наиболее существенное влияние на достоверность измерения гидравлических параметров. Характер и диапазоны изменения данного параметра в различных точках ОС, его граничные значения во многом определяются особенностями принятых систем управления водораспределением и регулирования технологических процессов, но ввиду слабой изученности недостаточно учитываются в эксплуатационной гидрометрии.

## **1.2 Задачи информационного обеспечения управления технологическими процессами водопользования на оросительных системах**

Для обеспечения водозабора, транспорта воды и водораспределения используются многочисленные комплексы гидротехнических сооружений различного функционального назначения. При создании системного водочета и водоизмерения существенное значение имеет оценка их влияния на работу специализированных измерительных устройств или возможностей использования в качестве водомерных сооружений.

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

Поскольку ранее принято функциональное деление ОС на технологические модули, целесообразно разделение комплекса задач информационного обеспечения на группы. В отечественных вариантах систем управления водопользованием [24, 60, 80, 116, 150] было апробировано разделение системы информационного обеспечения на следующие подсистемы:

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

Для реализации функций информационного обеспечения, возложенных на каждую подсистему, определены унифицированные комплексы основных задач. Решение этих задач производится в комплексе всей систе-

мой информационного обеспечения. В таблице 12 приведен сводный перечень задач информационного обеспечения водопользования.

**Таблица 12 – Сводный перечень основных задач информационного обеспечения водопользования**

Наименование модулей	Наименование задач
1 Водозабор	1.1 Прием лимитов и/или уставок регуляторов водозабора от вышестоящих или смежных подсистем (уровней) управления. 1.2 Обнаружение, оперативное отображение и сигнализация отклонений технологических параметров. 1.3 Измерение технологических параметров, их оперативное отображение и регистрация. 1.4 Формирование и осуществление регулирующих воздействий
2 Водоочистка	2.1 Контроль уровня отложения наносов. 2.2 Контроль предельного скопления плавника. 2.3 Контроль предельного скопления шуги. 2.4 Контроль температуры воды и воздуха, скорости течения воды
3 Водоподача	3.1 Измерение и сигнализация изменений уровней воды в контрольных створах водораспределительной сети. 3.2 Измерение и регистрация потерь воды на фильтрацию и испарение. 3.3 Обнаружение и сигнализация предаварийных и аварийных ситуаций. 3.4 Измерение и сигнализация изменений давлений в контрольных точках напорной водораспределительной сети. 3.5 Измерение расходов в контрольных створах. 3.6 Контроль и сигнализация предельных отклонений уровней воды от заданных значений в начальном и конечном створах сооружений. 3.7 Измерение и сигнализация уровней (давления) воды в водобалансовых створах. 3.8 Подготовка и передача информации в смежные подсистемы и/или уровни управления, регистрация ее для учета и отчетности
4 Регулирование стока	4.1 Прием информации о гидрологической обстановке на водосточниках. 4.2 Измерение технологических параметров, их оперативное отображение и регистрация. 4.3 Сбор исходной информации об изменениях технологических параметров на объектах. 4.4 Формирование и осуществление регулирующих воздействий
5 Вододеление	5.1 Получение от вышестоящих или смежных подсистем (уровней) лимитов (заданий, установок) на водовыдел. 5.2 Формирование и осуществление регулирующих воздействий. 5.3 Контроль технологических параметров подсистемы, их оперативное отображение и регистрация. 5.4 Контроль состояния гидроузлов

Анализ приведенного комплекса задач позволяет провести типизацию функциональных модулей СИО с целью структурирования техноло-

гических и информационных задач. Предлагаются следующие типы модулей:

- Модуль I. Блок формирования и преобразования базы данных о плановых (задаваемых) параметрах работы объектов или его фрагментов;
- Модуль II. Блок формирования и осуществления регулирующих воздействий;
- Модуль III. Блок измерения и контроля технологических параметров, их оперативного отображения и регистрации;
- Модуль IV. Блок контроля и сигнализации предельных отклонений технологических параметров от допустимых значений;
- Модуль V. Блок подготовки и передачи информации в смежные подсистемы.

Если формализовать решаемые модулями информационные задачи в типовые операции контроля и управления на объектах ОС, можно определить перечень информационных задач, решаемых фрагментами СИО на конкретных объектах ОС (таблица 13).

**Таблица 13 – Сводный перечень информационных задач, решаемых функциональными модулями I-IV**

Наименование технологических модулей ОС	Наименование задач					
	P	I <sub>н</sub>	I <sub>к</sub>	C	У	P(У)
1	2	3	4	5	6	7
<b>Модуль I</b>						
1 Водозабор	+	-	+	-	+	-
2 Водоочистка	+	-	-	-	+	+
3 Водоподача	+	-	+	-	+	+
4 Регулирование стока	+	-	+	-	+	+
5 Вододеление и водовыдел	+	-	+	-	+	+
<b>Модуль II</b>						
1 Водозабор	-	+	-	+	-	-
2 Водоочистка	-	+	-	+	-	-
3 Водоподача	-	+	-	+	-	-
4 Регулирование стока	-	-	-	+	-	-
5 Вододеление и водовыдел	-	+	-	+	-	-
<b>Модуль III</b>						
1 Водозабор	-	+	+	-	-	-
2 Водоочистка	-	+	+	-	+	-
3 Водоподача	+	+	+	-	+	+
4 Регулирование стока	-	+	+	-	+	-
5 Вододеление и водовыдел	+	+	+	-	+	+

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7
Модуль IV						
1 Водозабор	-	+	-	+	-	-
2 Водоочистка	-	+	-	+	-	-
3 Водоподача	-	+	-	+	-	-
4 Регулирование стока	-	-	-	+	-	-
5 Вододеление и водовыдел	-	+	-	+	-	-

В таблице приняты следующие условные обозначения в зависимости от выполняемых функций:

P – регулирование аналоговое или дискретное многопозиционное;

I<sub>н</sub> – измерение непосредственное;

I<sub>к</sub> – измерение косвенное (осуществляется через какой-либо другой параметр или через несколько параметров);

C – сигнализация;

У – управление (дискретное, двухпозиционное, «включено», «отключено»);

P(У) – регулирование (допускается осуществлять путем поочередного включения и отключения привода агрегатов и установок).

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

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

Такой подход к решению задач ОКУ требует создания технологической подсистемы сбора, обработки и передачи информации о контролируемых параметрах. При этом структура подсистемы должна быть многоуровневой и включать информационные модули, размещенные во всех объектах ОС. Структура и конструктивное исполнение модулей ОКУ должно обеспечивать как получение требуемой технологической информации, так и реализацию управляющих воздействий на оборудование объектов ОС.

Анализ показывает наличие трех взаимосвязанных блоков. К их числу можно отнести:

- блок прогнозирования (расчета) решений по управлению водораспределением;
- блок расчета режимов работы объектов ОС;
- блок контроля состояния объектов ОС.

Перечень задач оперативного контроля и управления водопользованием (ОКУ) приведен в таблице 14.

**Таблица 14 – Перечень задач оперативного контроля и управления водопользованием**

Наименование задач	Исходная информация для решения задачи
1	2
1 <i>Краткосрочное прогнозирование поступления воды</i>	
1.1 Расчет прогнозируемых величин среднесуточных расходов в поверхностных водоисточниках	Информация гидрометеослужбы о среднедекадных расходах воды в водоисточнике, прогноз внутридекадных изменений метеоусловий
1.2 Расчет запасов воды в аккумулирующих емкостях (БСР, в бьефах канала)	Информация о текущих замерах технологических параметров водохранилищ, бассейнов декадного регулирования (БДР), бассейнов суточного регулирования (БСР), подпорных бьефов каналов
1.3 Расчет прогнозируемых величин поступления возвратных вод	Замеры уровней воды в наблюдательных скважинах и расходов воды на балансовых гидростаях
1.4 Расчет прогнозируемых величин инфильтрации в канале	Замеры уровней воды в наблюдательных скважинах и расходов воды на балансовых гидростаях
1.5 Расчет прогнозируемых величин поступления сбросных вод	Информация о площади и количестве выпавших осадков и др.

Продолжение таблицы 14

1	2
1.6 Расчет прогнозируемых запасов подземных вод и их использование на орошение	Информация об уровне стояния грунтовых (подземных) вод
2 <i>Краткосрочное прогнозирование потребления воды</i>	
2.1 Прогноз изменений потребностей в воде по отдельным водопотребителям	Краткосрочный синоптический прогноз и информация о запасах воды и предполагаемых сроках полива
2.2 Расчет корректировочных изменений водораспределения по заявкам водопотребителей	Внутридекадные заявки водопотребителей на изменение водоподачи
2.3 Расчет оперативных ограничений на водопотребление (водоподачу)	Информация об имеющихся приоритетах, технологических, технических и директивных ограничениях
3 <i>Водобалансовые расчеты по оптимизации оперативных планов водопользования</i>	
3.1 Расчет оперативных планов водораспределения.	Результаты решения задач краткосрочного прогноза поступления и потребления воды
3.1.1 Расчеты командных горизонтов воды	Гидравлические характеристики каналов и сооружений
3.1.2 Расчеты по режимам промывки наносов, плавника, шуги.	Информация о предельном состоянии каналов, плавника, шуги и т.д.
3.2 Расчеты оперативных планов водораспределения с учетом неустановившихся (переходящих) режимов	Время подхода волн перемещений расходов воды по участкам каналов между водорегулирующими сооружениями.
3.2.1 Расчет переходных процессов в каналах	Величина попуска расхода воды, гидравлические характеристики каналов
4 <i>Расчет графиков оперативного управления водораспределением</i>	
4.1 Расчет оптимизации режимов работы гидроузлов	Технические и режимные характеристики
4.2 Расчеты по оптимизации режимов работы линейных сооружений	Технические и режимные характеристики и ограничения
4.3 Реализация управляющих воздействий	Диспетчерские графики управления водораспределением
5 <i>Оперативный контроль и регистрация управляющих воздействий</i>	
5.1 Прием, обработка и отображение технологической информации	Замеры технологических параметров циклически или по вызову
5.2 Расчет величин отклонений технологических параметров	Результаты решения предыдущей задачи
5.3 Расчеты по компенсации отклонений за счет внутренних резервов гидроучастка	Замеры технологических параметров, лимиты на водоподачу, ограничения на входе и выходе гидроучастка
5.4 Регистрация управляющих воздействий и хода технологического процесса	Результаты контроля и действий диспетчера (управлений)
6 <i>Ситуационный анализ</i>	



Продолжение таблицы 14

1	2
6.1 Контроль и анализ состояния гидромеханического и гидрометрического оборудования	Результаты контроля технологических параметров и предупредительная сигнализация
6.2 Прогнозирование аварийных ситуаций	Статистические данные о скорости нарастания паводков, приращениях уровней воды в бьефах каналов и сооружений; информация о состоянии линий связи и электроснабжения
6.3 Анализ причин возникновения аварийных ситуаций	Результаты регистраций управляющих воздействий в предаварийные, аварийные и послеаварийные периоды

В таблице 15 приведены задачи по учету водораспределения и отчетности, которые в той или иной мере решаются при эксплуатации ОС.

**Таблица 15 – Перечень задач по учету водораспределения и отчетности**

Наименование задач	Исходная информация для решения задачи
1	2
<i>1 Расчет и учет среднедекадных показателей водораспределения</i>	
1.1 Расчет и учет расходов и объемов водозабора из рек, бассейнов, водохранилищ.	Ежесуточные замеры расходов (объектов) воды в точках водозабора
1.2 Учет запасов воды в водохранилищах и в бассейнах регулирования	Оперативные (ежесуточные) замеры уровней воды в водохранилищах
1.3 Расчет и учет расходов и объемов водоподачи по точкам выдела потребителям	Ежесуточные замеры расходов воды в точках ее выдела потребителям
1.4 Расчет и учет расходов и объемов водоподачи по магистральным каналам	Ежесуточные замеры расходов воды на балансовых гидростях
1.6 Расчет и учет объемов непроизводительной водоподачи (сбросы воды из межхозяйственной сети)	Ежесуточные замеры расходов воды в точках ее сброса из межхозяйственной и внутрихозяйственной сети
1.7 Расчет и учет объемов фильтрации и испарения из водораспределительной сети	Фильтрационные свойства грунтов, уровни (расходы) воды на гидроучастках; температура воды и воздуха и т.д.
1.8 Расчет и учет равномерности водоподачи по водорегулирующим сооружениям	Оперативные замеры расходов воды по гидросооружениям в течение суток
1.9 Расчет и учет фактической обеспеченности водопотребителей водой	Плановые значения водоподачи, фактическая водоподача за сутки по точкам водозабора и выдела воды
<i>2 Учет не основной и непроизводительной водоподачи</i>	
2.1 Учет технологических попусков	Результаты оперативного контроля объемов воды на технологические попуски

Продолжение таблицы 15

1	2
2.2 Учет водоподдачи на промывку наносов, плавника, шуги	Результаты оперативного контроля сроков и объемов водоподдачи на промывку
2.3 Учет водоподдачи на промывку засоленных земель	То же, при промывке засоленных земель

Для решения вышеуказанных информационных задач требуется гидрометрическая сеть из пунктов водоучета, обеспечивающих требуемую точность и достоверность определения и учета расходов воды и объема стока. Дополнением к гидрометрической сети является комплекс средств измерения гидрогеологических, метеорологических и энергетических параметров.

При этом оперативные данные, получаемые с подсистемы «Учет и отчетность», целесообразно использовать в качестве тестирующей информации при контроле состояния технологических средств измерения. Таким образом, учет на ОС может и должен осуществляться дополнительной подсистемой информационного обеспечения.

Рассмотренный перечень задач может корректироваться в зависимости от типа оросительных систем и потребностей службы эксплуатации. При этом прослеживается необходимость дополнения методов прямого инструментального измерения (контроля) технологических параметров, аналитическими методами, которые целесообразно реализовать в виде пакета прикладных программ для ПЭВМ по решению информационных задач.

### **1.3 Комплекс водоучета и водоизмерения как подсистема управления процессами водопользования**

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

представляющих интерес для водопотребителей и служб эксплуатации ОС. В 70-80-х гг. системы обработки информации были объединены с другими системами автоматизации технологических процессов, получившими воплощение в экспериментальных вариантах АСУТП ОС.

Компонентом АСУТП ОС являлась подсистема сбора и обработки данных (ССОД), Функционально ССОД может характеризоваться структурной моделью водоучета предложенной в работе по технологиям водоучета А. В. Филончикова [134] (рисунок 2).

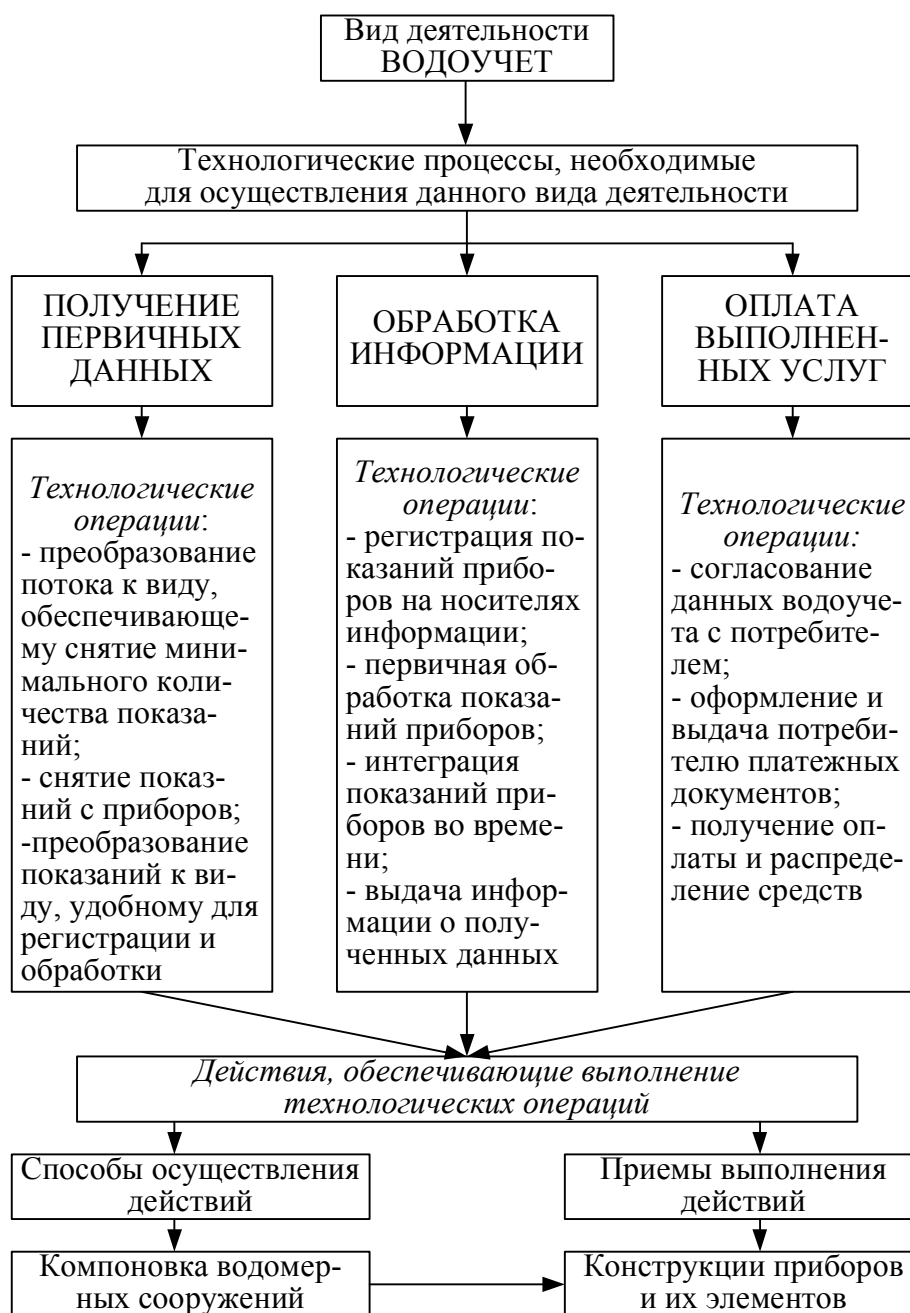
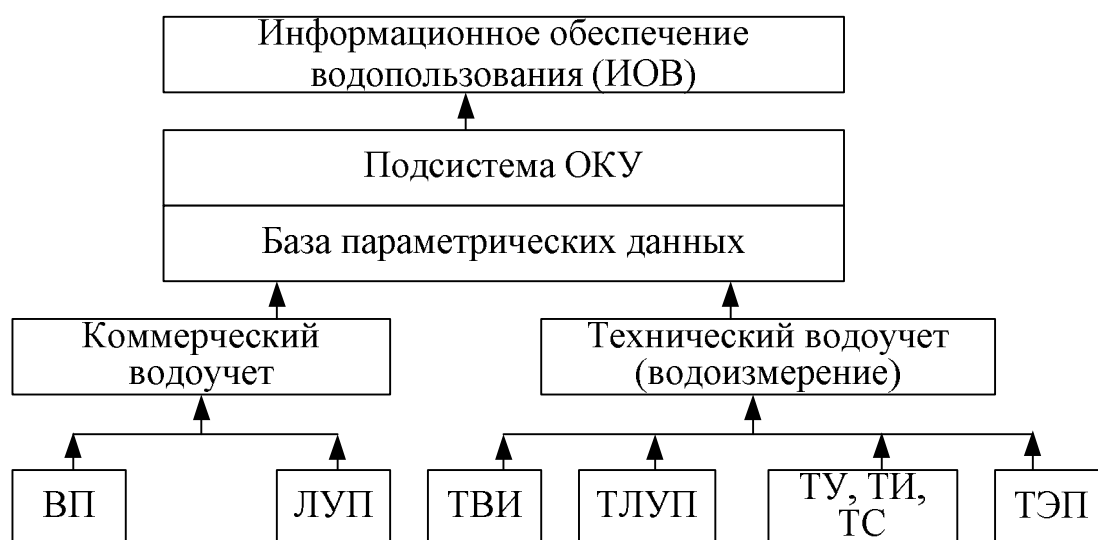


Рисунок 2 – Структурная модель водоучета на оросительных системах

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

В последнее время появились новые информационные технологии, такие как геоинформационные системы (ГИС). ГИС-технологии позволяют отображать пространственные данные о географических объектах и непространственные признаки этих объектов, что логично вписывается в функциональную структуру ССОД. Структурная схема дерева целей достигаемых комплексом «водоучет-водоизмерение» в составе системы информационного обеспечения водопользования представлена на рисунке 3.



ВП – водные параметры; ЛУП – линейно-угловые параметры; ТВИ – технологическое измерений водных параметров; ТЛУП – технологическое измерение линейно-угловых параметров; ТУ – телеуправление; ТИ – телеизмерение; ТС – телесигнализация; ТЭП – технико-экономические параметры

**Рисунок 3 – Структурная схема дерева целей, достигаемых комплексом «водоучет-водоизмерение» в составе системы информационного обеспечения водопользования**

Анализ структурной модели водоучета показывает, что она представляет функциональную взаимосвязь компонентов предлагаемой в на-

стоящей работе информационно-измерительной подсистемы «водоучет-водоизмерение». Набор блоков структурной модели под общим названием «Действия, обеспечивающие выполнение технологических операций» требует дальнейшей проработки. Имеется в виду, что каждый такой блок должен включать как структурно-функциональную схему элементов, взаимосвязанную с общей функциональной схемой, так и комплекс технических решений по ее реализации. Опыт эксплуатации показывает, что около 40 % операций измерения и контроля на ОС предусматривает вычисление агрегированных показателей [28, 49]. Причем такого рода вычислительные операции проводятся, главным образом, в подсистеме «водоучет и водоизмерение». При этом основной объем параметрической информации о реализации технологических процессов также приходится на указанную подсистему.

Техническая реализация структурной схемы дерева целей предполагает типизацию измеряемых и контролируемых параметров на ОС на основе принятых технологических модулей (таблица 16).

При осуществлении сбора и обработки информации используются прямые (непосредственные) замеры параметров с последующей выработкой всех расчетных (косвенных) показателей, необходимых для контроля и анализа режимов (таблица 17).

**Таблица 16 – Состав измеряемых и контролируемых параметров на объектах ОС**

Наименование технологического модуля	Изменяемые параметры						
	$H$	$Q$	$W$	$V$	$t$	ПЗ	М
1 ТМ-регулирование стока	+	-	-	-	+	+	-
2 ТМ-водозабор	+	-	-	+	+	+	-
3 ТМ-водоочистка	+		-	-	-	+	+
4 ТМ-водоподача	+	-	-	+	+	+	-
5 ТМ-вододеление	+	-	-	+	-	+	-
$H$ – напор (глубина) водотока, м; $Q$ – расход воды в водотоке, м <sup>3</sup> /с; $W$ – объем воды (сток) в водотоке, м <sup>3</sup> ; $V$ – скорость воды в водотоке, м/с; $t$ – время измерения (интеграции), с; ПЗ – положение затвора (линейный параметр), м; М – минерализация воды, мг/л; (+) – параметр измеряется; (-) – параметр не измеряется							

**Таблица 17 – Показатели, необходимые для контроля и анализа режимов работы объектов ОС**

Объект контроля	Вид измерений (контроля)	Вид параметра	Единицы измерения	Вид выходной информации
Водозабор	1 Уровень	Линейно-угловой	м	Параметр
	2 Скорость	Гидравлический	м/с	Параметр
	3 Расход	Гидравлический	м <sup>3</sup> /с	Расчет
	4 Открытие затвора	Линейно-угловой	м	Параметр
Транзитный канал (водовод)	1 Уровень	Линейно-угловой	м	Параметр
	2 Скорость	Гидравлический	м/с	Параметр
	3 Расход	Гидравлический	м <sup>3</sup> /с	Расчет
Подпорно-регулирующее сооружение	1 Уровень	Линейно-угловой	м	Параметр
	2 Расход	Гидравлический	м <sup>3</sup> /с	Расчет
	3 Открытие затвора	Линейно-угловой	м	Параметр
Водовыпуск	1 Уровень	Линейно-угловой	м	Параметр
	2 Расход	Гидравлический	м <sup>3</sup> /с	Расчет
	3 Объем стока	Гидравлический	м <sup>3</sup>	Расчет
	4 Открытие затвора	Линейно-угловой	м	Параметр
Аккумулирующая емкость (водохранилище, бассейны суточного регулирования)	1 Уровень	Линейно-угловой	м	Параметр
	2 Объем стока	Гидравлический	м <sup>3</sup>	Расчет
	3 Открытие затвора	Линейно-угловой	м	Параметр

Ключевым видом информации для реализации планов водопользования является измерение (определение) расхода и объема стока воды. В настоящее время для решения этих задач фактически установлены два основных способа определения расхода и объема стока воды, которые условно именуются техническим (водобалансовым) и коммерческим водоучетом [73, 140, 147]. Коммерческий водоучет в основном предусматривает измерение объемов воды, забираемых из водисточника и отпускаемых водопотребителям, обеспечивая при этом получение минимума информации при высокой достоверности, необходимой для осуществления экономических взаиморасчетов между субъектами хозяйственной деятельности.

В процессе выполнения операций коммерческого водоучета формируются базы данных, входящие в состав:

- информационного обеспечения «коммерческого» водоучета, в части измерения (определения) водных параметров (ИО ВП);

- информационного обеспечения измерения линейно-угловых параметров на пунктах водоучета (ИО ЛУП).

Технический (водобалансовый) способ основан на измерении и контроле технологических параметров, необходимых для осуществления управления процессом водопользования, в том числе с применением автоматизированных систем и комплексов. В процессе выполнения операций технического водоучета формируются базы данных, входящих в состав:

- информационного обеспечения технологического водоизмерения, в части измерения (определения) водных параметров (ИО ТВИ);

- информационного обеспечения измерения технологических линейно-угловых параметров (ИО ТЛУП);

- информационного обеспечения измерения технологических энергетических параметров (ИО ТЭП);

- информационного обеспечения функционирования телемеханических систем управления, измерения, сигнализации (ИО ТУ, ТИ, ТС).

Наиболее сложный этап создания подсистемы ОКУ – выбор оптимального варианта КТС, позволяющего решить задачи информационного обеспечения с наименьшими экономическими и ресурсными затратами. Техническая и технологическая сложность ОС предопределяет высокую долю влияния субъективных и объективных факторов на процесс выбора компонентов КТС. Поэтому в качестве исходных данных при выборе оптимального варианта принимаются как общесистемные показатели, такие как показатели качества водоподачи, точность и частота измерения параметров, так и другие технико-экономические показатели, характеризующие средства измерения, приборы обработки и формирования информации и др.

Проведенный системный анализ позволяет сделать некоторые обобщения и выводы:

- наиболее совершенным и перспективным способом информационного обеспечения водопользования являются геоинформационные системы (ГИС). Возможности ГИС позволяют обеспечить эффективную эксплуатацию целой группой ОС, расположенных в пределах региона или зоны земледелия;

- на относительно небольших ОС и отдельных водохозяйственных объектах могут использоваться управляющие информационные системы (УИС) или системы поддержки принятия решений (СППР), унифицированные с ГИС;

- при проектировании новых или реконструкции существующих объектов ОС следует предусматривать технические решения с учетом перспективной автоматизации управления и соответственно процессов информационного обеспечения водопользования;

- ключевым звеном системы информационного обеспечения (СИО) является подсистема водоучета и водоизмерения. Это сложная в техническом отношении и наиболее дорогостоящая подсистема СИО имеет решающее значение в обеспечении экономии водных и энергетических ресурсов при реализации процессов водопользования на ОС;

- при выборе структуры подсистемы водоучета и водоизмерения и реализующей ее КТС необходимо учитывать техническую, информационную и метрологическую совместимость с другими компонентами и подсистемами СИО;

- эксплуатация пунктов водоучета всех видов основана на локальном измерении параметров водных потоков с использованием инструментальных или визуальных методов наблюдения. Передача данных измерений на расстояние должна обеспечиваться телемеханическими линиями связи и блоками обработки информации.



## **1.4 Существующие способы и методы организации водоучета на оросительных системах**

Традиционные принципы организации водоучета на ОС [16, 98, 142] предполагали создание комплекса гидрометрических постов, иерархически разделенных на следующие виды:

- опорные пункты водоучета для учета водозабора, устраиваемые в головных участках магистральных каналов (МК), внутрисистемных источников орошения и на каналах смежных ОС в местах сброса на территорию данной системы;

- пункты водоучета для учета распределения воды по сети МК ОС в головах распределительных каналов (РК) всех уровней;

- пункты водоучета для учета выдела воды водопотребителям (хозяйствам, предприятиям и пр.), расположение которых определяется границами водопотребителей и расположением внутриводопотребительской сети;

- пункты водоучета на внутриводопотребительской сети (гидропосты внутриводопотребительского водовыдела) для учета распределения и контроля использования воды водопользователями данного хозяйства. Их располагают в головах постоянных оросителей, непосредственно подающих воду к месту ее потребления на полив;

- пункты водоучета на участках сброса (сбросные гидропосты) для учета технологических сбросов воды. Их устраивают ниже зоны водораспределения и полива и на водосбросах после впадающих в них водосбросов низшего порядка;

- пункты водоучета для балансового водоучета. Они дополняют вышеперечисленные виды пунктов водоучета и устраиваются в конце холостых участков МК и РК, на границах каналов, перед крупными водораспределительными узлами, на границах административного района и т.п.;

- режимные пункты водоучета, предназначенные для наблюдения за уровнем грунтовых вод.

В разработках последних лет [44, 138, 140, 147] предложены несколько иные принципы организации водоучета на ОС. В частности:

- впервые введено понятие «платное водопользование», и, как следствие, понятие «водоучет» разделено на два вида – коммерческий и технический водоучет;

- проведена унификация гидрометрических постов всех видов и других точек размещения средств измерения параметров водного потока введением определения «пункт водоучета»;

- дано обоснование непосредственного использования пунктов водоучета в системах управления водораспределением, что определило новое понятие «системный водоучет».

Вместе с тем, остается не решенной проблема приборного и метрологического обеспечения водоучета на открытых ОС. Фактически организация водоучета и сейчас базируется на устаревшем техническом оборудовании пунктов водоучета, включая средства измерения и приборное обеспечение. Дальнейшее развитие системного водоучета и водоизмерения неразрывно связано с использованием новых средств измерения общего назначения. Технические и метрологические возможности таких измерительных приборов и оборудования настолько велики, что требуется разработка новых технологий их использования на ОС.

В связи с перспективами введения платного водопользования появился ряд предложений [97, 137, 146] по совершенствованию технологий водоучета. В этих работах просматриваются два основных аспекта решения проблемы:

- выбор оптимальных по техническим и метрологическим показателям преобразователей расхода воды для открытых и закрытых оросительных систем;

- определение эксплуатационных требований к новым средствам измерений, получения и обработки первичной информации о параметрах

водного потока для использования в системах управления процессами водопользования.

В соответствии с требованиями современных правовых и нормативно-методических документов для измерения расхода и стока воды используются существующие стандартизованные методы измерений, но организация метрологического обеспечения учетных операций существенно изменена.

Прямые методы: массовый, объемный и объемно-гидравлический (таблица 18) требуют больших затрат средств, поэтому они применяются в основном при проведении поверки рабочих средств измерений, предусмотренных нормами метрологического обеспечения.

**Таблица 18 – Характеристика прямых методов измерения расхода и стока воды**

Метод	Расчетные зависимости	Характеристика		
		Основные параметры	Способы определения параметров	Методы измерения параметров
Объемный	$W = F_{\text{осн}} \cdot H$	$W$ – объем мерной емкости	Расчет	-
		$F_{\text{осн}} = b \cdot l$ ; $F_{\text{осн}} = \pi R^2$	Измерение площади	Линейные измерения
		$H$ – высота жидкости в мерной емкости	Измерение высоты	Линейные измерения
Весовой	$W = G / \rho$	$G$ – вес жидкости; $\rho$ – плотность жидкости	Взвешивание жидкости	Определение объема
			Измерение плотности жидкости	Измерение температуры жидкости
Объемно-гидравлический	$W = \sum_{i=n}^{i=1} Q_i t_i$	$Q_i$ – средний расход воды за время $t_i$	Измерение расхода воды	Определение объема
		$t_i$ – время прохождения данного расхода	Хронометраж, суммирование	Определение времени прохождения

Из рассмотренных методов наибольшей точностью обладает весовой метод, поскольку здесь ошибка может появиться только при определении веса воды, а вес можно определять с высокой точностью. Объемный метод менее точен, поскольку предполагает измерение площади и высоты, а точ-

ность измерения этих параметров во многом зависит от приборов и устройств, а также от опыта и квалификации измеряющего. На открытых каналах ОС, как правило, применяются косвенные методы определения расходов воды, которые условно подразделяются на следующие группы:

- русловой метод – когда используются принципы определения расхода воды по элементам сечения русла водотока и скорости потока;
- гидравлический метод – когда расход воды, пропускаемый сооружением при постоянных размерах некоторых его элементов;
- методы смещения – когда в поток вводятся метки в виде поплавков, растворов солей и др.

Характеристика таких методов измерения расхода воды приведена в таблице 19.

**Таблица 19 – Характеристика косвенных методов измерения расхода воды, применяемых на открытых каналах ОС**

Метод	Расчетные зависимости	Характеристика		
		Основные параметры	Способы определения параметров	Методы измерения параметров
Скорость-площадь	$Q = V_0 \omega$	$V_0$ – средняя скорость потока	Определяется экспериментально	Эмпирические методы
		$\omega$ – площадь сечения русла	Измерение площади	Линейные измерения
Уклон-площадь	$Q = f(i, \omega)$	$\omega$ – площадь сечения русла	Измерение площади	Линейные измерения
		$i$ – переменный уклон русла	Измерение уклона	Линейные измерения
Меточный	$Q = V_0 \omega$ $V_0 = L / t$	$V_0$ – средняя скорость потока	Определяется экспериментально	Теоретические методы
		$L$ – контрольное расстояние	Измерение длины	Линейные измерения
		$t$ – измеряемое время перемещения метки	Измерение промежутка времени	Хронометраж
		$\omega$ – площадь «живого» сечения русла	Измерение площади	Линейные измерения

Прямые методы измерения используются при проведении метрологических испытаний, градуировки и аттестации расходомеров и другого

специального оборудования. В эксплуатационной гидрометрии наиболее широко применяются два метода – русловой и гидравлический.

Русловой метод заключается в определении расходов и стока воды путем наблюдений за уровнями воды в контрольном створе (гидростворе), для которого предварительными измерениями установлена зависимость между проходящими через створ расходами и соответствующими им уровнями воды, то есть  $Q = f(H)$ .

Русловой метод не требует устройства специальных сооружений. На фиксированных руслах, где нет влияния подпора и спада, а также на устойчивых участках каналов этот метод обеспечивает приемлемую точность водоучета. При измерении расходов воды русловым методом дно и берега русла естественного или искусственного водотока должны быть достаточно устойчивыми. На опорных постах источников орошения, на головных участках и балансовых пунктах учета магистральных и других крупных каналов русловой метод водоучета пока что является основным. Однако он весьма не оперативен и не представляется возможным его автоматизировать, а ошибки измерения расходов при деформациях русла вследствие размыва или заиления, а также в случае переменного подпора могут достигать 10-20 % и более.

Гидравлический метод основан на установке в соответствующих пунктах ОС гидрометрических сооружений или устройств, пропускающих через себя измеряемый водный поток и обеспечивающих измерение расхода воды.

Для использования косвенных методов измерения расхода воды на открытых каналах существующих ОС разработан комплекс гидрометрических сооружений. Гидрометрические сооружения типизированы [75, 107, 137] в зависимости от методов измерения параметров водного потока. Особенностью такой типизации является введение новой категории гидрометрических сооружений – «преобразователи расходов».

В период интенсивного развития мелиоративного строительства было разработано большое число конструкций водомерных сооружений. Ряд из них являются вариантами типовых сооружений с техническими (метрологическими) параметрами, учитывающими особые условия работы (таблица 20).

**Таблица 20 – Виды водомерных сооружений (устройств), рекомендуемых к применению на оросительных системах**

Откуда поступает вода	Куда поступает вода	Тип водомерного сооружения (устройства), если есть условия для создания перепада	
		Есть	Нет
Из открытого канала	В открытый канал	Фиксированное русло. Сужающее устройство. Водослив	Фиксированное русло. Сужающее устройство
Из закрытой сети	В открытый канал	Водослив. Лоток Вентури	Расходомеры трубчатые. Сужающие устройства. Труба (сопло) Вентури
Из закрытой сети	В закрытую сеть	Сужающие устройства. Расходомеры и счетчики стока для трубопроводов	

При выборе и использовании методов и технических средств измерения расхода воды (типа водомерного сооружения и устройств, приборов и пр.) на любом пункте водоучета ОС необходимо учитывать метрологические условия измерения, технологические и эксплуатационные условия, конструктивно-строительные требования, специфические особенности производства, техническую целесообразность и экономическую эффективность. Процесс получения первичных данных водоучета на ОС включает три основные технологические операции.

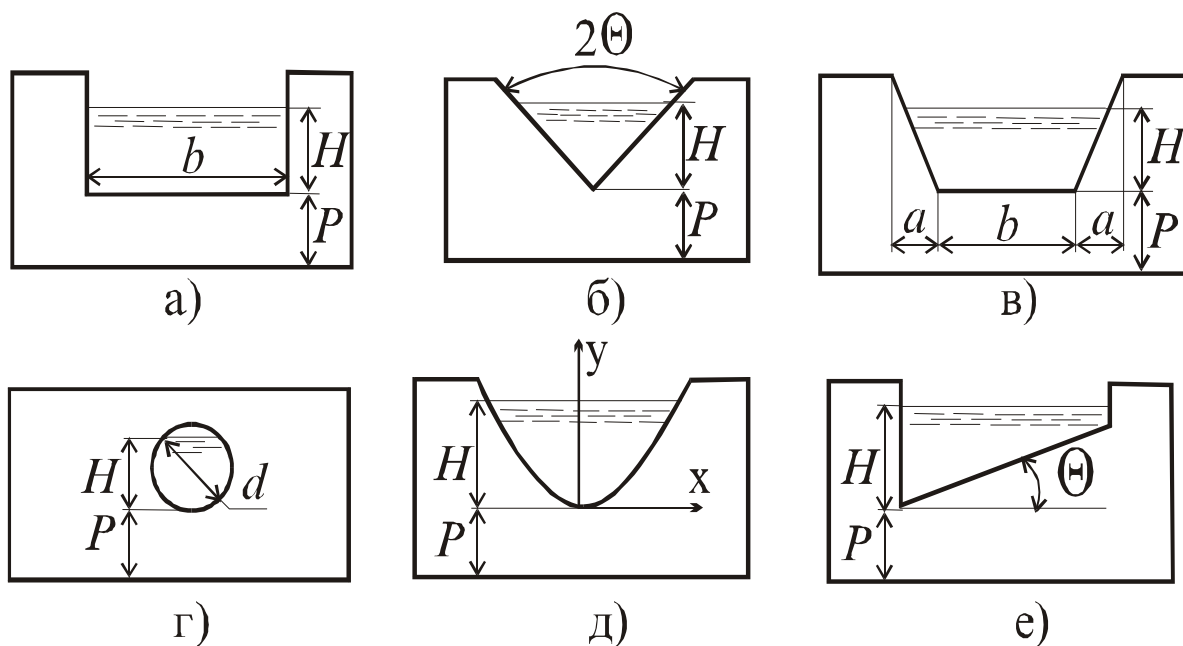
**Первая технологическая операция** предусматривает преобразование потока к виду, при котором требуется минимальное количество показаний приборов. Это достигается формированием устойчивой структуры потока и ее сохранением на период измерения (таблица 21).

Например, для измерения расходов до  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  в основном используются водосливы с тонкой стенкой, гидрометрические пороги и лотки, насадки и приставки, градуированные каналы и сооружения [40, 47, 61-63, 66]. В результате принято разделение конструкций гидрометрических сооружений на несколько крупных групп.

**Таблица 21 – Характеристика применяемых водомерных сооружений на оросительных системах**

Наименование и тип сооружения	Условия применения	Измеряемые расходы, м <sup>3</sup> /с	Достоинства	Недостатки
Водосливы с тонкой стенкой: - треугольные с $\varphi = 90^\circ$ и $45^\circ$ ; - прямоугольные, с донным и боковым сжатием потока; - трапецидальные с $m_n = 0,25$	Контрольные расходомеры в переносном или стационарном вариантах в малых каналах трапецидального или прямоугольного сечения	0,0005-0,4 0,005-4,0 0,01-5,0	Малая приведенная погрешность измерения, не превышающая 1-3 %	Ограничение по величине подходной скорости (не более 0,2-0,5 м/с)
Водосливы с широким порогом: - прямоугольные, с наклонной входной кромкой; - с закругленной входной кромкой, с продольным треугольным вырезом	Бетонированные каналы трапецидального и прямоугольного сечения	0,006-25,0 0,006-50,0	Простота конструкции, не критичность к наличию наносов	Необходимость облицовки канала
Гидрометрические лотки: - прямоугольные, с совместным донным и боковым сжатием; - трапецидальные, с совместным донным и боковым сжатием; - полукруглые, с совместным донным и боковым сжатием	Бетонированные каналы (участки русел) прямоугольного, трапецидального, полукруглого сечения	0,0002-10,0 0,0002-90,0 0,002-30,0	Возможность работы при подпорно-переменном режиме потока воды	Необходимость облицовки канала высокого качества в зоне расположения сооружения
Контрольные гидрометрические створы с фиксированным руслом	Каналы любого поперечного сечения	1,0-250,0 и более	Возможность работы при подпорно-переменном режиме потока.	Необходимость облицовки канала в зоне расположения контрольного створа
Градуированные ГТС	Использование как гидрометрические сооружения при оснащении измерительной измерительной аппаратурой.	Лимитируется пропускной способностью сооружений	Работа при подпорно-переменном режиме	Необходимость частой градуировки водомерности сооружений

Распространены водосливы прямоугольные, треугольные, трапециевидные, круговые, параболические, с наклонным ребром (рисунок 4).



а) прямоугольный водослив, б) треугольный водослив, в) трапециевидный водослив, г) круговой водослив, д) параболический водослив, е) водослив с наклонным ребром,  $a$  – ширина откоса,  $b$  – ширина водослива по дну,  $H$  – глубина потока воды на гребне водослива,  $P$  – высота порога водослива относительно дна,  $\theta$  – угол наклона кромки водослива относительно поверхности потока воды,  $d$  – диаметр отверстия

**Рисунок 4 – Водосливы с различной формой водосливного отверстия**

Кроме водосливов на ОС применяются специальные сужающие устройства (ССУ) в качестве преобразователей расхода:

- конусные сходящиеся насадки САНИИРИ квадратного и круглого сечений;
- приставки Средазгипроводхлопка для типовых регуляторов – водовыпусков и стандартизированных каналов параболической формы;
- щелевой водослив ВНИИКАМС для каналов параболической формы;
- лотки с короткой горловиной прямоугольного и трапециевидного сечения.

Насадки САНИИРИ и приставки Средазгипроводхлопка должны применяться в режиме затопленного истечения и оборудоваться измерителями перепада уровня воды. Щелевой водослив ВНИИКАМС и лотки с короткой горловиной прямоугольного и трапециевидного сечения приме-



няются в режиме свободного истечения и оборудуются уровнемерами.

В общем случае расчетное уравнение расхода для ССУ имеет вид:

$$\text{- со свободным истечением } Q = A_n C \omega \sqrt{2g} H^n; \quad (5)$$

$$\text{- с затопленным истечением } Q = A_n C \omega \sqrt{2g} \Delta H^n; \quad (6)$$

где  $A_n$  – постоянный множитель в уравнении;

$n$  – эмпирический показатель степени;

$H^n$  – напор воды в измерительном створе относительно дна ССУ;

$C$  – коэффициент расхода ССУ;

$\omega$  – площадь сжатого сечения ССУ;

$\Delta H^n$  – перепад уровней воды на ССУ.

**Вторая технологическая операция** предусматривает формирование устойчивой структуры потока в точке измерения. Для этого применяются способы естественной стабилизации – устраиваются прямолинейные вставки достаточной длины до преобразователя потока и за ним. В зависимости от метода измерения, от вида потока (напорный или безнапорный) могут использоваться прямолинейные участки канала (лотка) или трубопровода. Здесь длина участка до и после преобразователя определяется естественной способностью потока к самовыравниванию. Чем выше турбулентность потока, тем эта способность ниже и длина участка должна быть больше.

В тех случаях, когда нет возможности выполнить участок нужной длины, прибегают к искусственной стабилизации – то есть размещают в потоке на входе в прямолинейный участок различного рода устройства, диссипирующие поток на отдельные струи, которые быстрее стабилизируются. Такой прием сокращает требуемую длину участка измерения в 1,5-2 раза, что позволяет применять водомерное устройство в стесненных условиях. Естественно, что при этом возникает опасность засорения диссипатора плавником и мусором и выхода водомерного устройства из строя, поэтому при применении этого приема необходимо предусмотреть допол-

нительные мероприятия, обеспечивающие очистку воды от вредных примесей.

Для сохранения устойчивой структуры потока в процессе измерения необходимо, чтобы оставались неизменными все гидравлические параметры, связанные с измеряемым параметром. Фактически нужно обеспечить независимость измеряемого параметра от колебаний уровня нижнего бьефа и от изменения размеров и формы поперечного сечения потока в точке измерения. Для этого в открытых каналах устраиваются искусственные перепады, обеспечивающие неподтопленное истечение в нижний бьеф фиксированных русел, лотков, водосливов и т.п., или постоянное регулирование уровня воды в нижнем бьефе так, чтобы всегда исключалось подтопление.

**Третья технологическая операция** предусматривает получение первичных данных с использованием показаний измерительных приборов. Для ее выполнения необходимо обеспечить соответствие измеряемого значения параметра водного потока его действительному значению, иначе требуемая точность измерения недостижима. Например, помещая в «стесненный» поток гидрометрическую вертушку, обладающую значительными габаритами, мы изменяем структуру потока в точке измерения, а значит, сам измеряемый параметр – скорость воды. Следовательно, при прямом способе измерения параметра необходимо выбирать такой датчик скорости, который бы не влиял на структуру потока в точке измерения или влиял бы несущественно, чтобы этим влиянием можно было бы пренебречь.

Если же исключить влияние приборов на структуру потока не удастся, то можно использовать такой конструктивный прием, как установка датчика в точке с наименьшим влиянием на измеряемые параметры, а это смещение компенсировать использованием корреляционных зависимостей, определяемых теоретически или эмпирически.

При использовании метода замещения параметра датчиком, размещенным вне потока и никак не влияющим на его структуру, измеряют какой-либо другой параметр, связанный с основным параметром жесткой аналитической зависимостью. Например, при измерении расхода воды в открытом потоке с помощью гидрометрического лотка измеряют не скорость потока, а его наполнение в лотке, а затем по формулам гидравлики вычисляют расход воды. Аналогом такого технологического приема является применение на мелиоративных насосных станциях метода определения расходов воды с использованием градуированного гидромеханического оборудования (насосных агрегатов).

В ряде случаев возникает необходимость использования возможностей типовых гидротехнических сооружений ОС как расходомеров. Для придания ГТС водомерных свойств они могут дополняться сужающими устройствами, водомерными приставками и т.п., общие компоновочные и конструктивные решения которых регламентируются соответствующими нормативными документами. При невозможности обеспечения стабильности измерения дополнительными водомерными устройствами выполняется градуировка ГТС, для того чтобы определить зависимости изменяющихся параметров от основного (измеряемого) параметра и ввести их в расчетную аналитическую зависимость по определению расхода воды.

Автоматизация пунктов водоучета с использованием современных средств измерений дает возможность получать интегрированные данные о скорости потока в открытом канале ОС и исключить ряд операций по получению информации о расходах воды, что существенно сокращает продолжительность процесса измерения параметров водного потока и обеспечивает более высокую точность измерений.

Не все показания приборов можно непосредственно и сразу использовать, часто возникают ситуации, требующие преобразования показаний приборов к виду, удобному для регистрации и обработки информации.

Для этого необходимо выполнить первичную обработку сигналов датчиков и, если возникает необходимость, преобразовать вторичные сигналы и передать информацию к месту регистрации.

Анализ имеющегося парка измерительных приборов [77, 146] показывает, что существенной проблемой на сегодня является фактическое отсутствие на ОС средств измерений мелиоративного назначения, в полной мере соответствующих современным техническим и метрологическим требованиям. Существовавшие ранее приборы и оборудование технически устарели, не удовлетворяют требованиям эксплуатации, и сегодня не производятся. Отдельные фирмы-производители в России пытаются производить под заказ приборы и средства измерений разработки 70-80-х годов прошлого века, но перспектив их массового применения на ОС не имеется.

Наиболее рациональным решением проблемы совершенствования информационного обеспечения управления технологическими процессами водопользованием является применение модульного принципа построения информационно-измерительной подсистемы «водоучет и водоизмерение» на основе измерительных приборов и оборудования общего назначения. При этом структуры блоков, их технологические и технические возможности должны соответствовать фрагментам ОС.

В этой связи представляет практический интерес отечественный опыт создания АСУТП ОС [23, 24, 74, 60], включающей системы регулирования водораспределения со встроенной подсистемой информационного обеспечения и водоучета. Во многих случаях в автоматизированные системы управления технологическими процессами дополнительно к штатным исполнительным устройствам и средствам регулирования (электрорегуляторы) интегрированы локальные средства гидроавтоматики (вододействующие регуляторы параметров водного потока). В таблице 22 дана характеристика известных типов систем регулирования водораспределения [13, 74] по составу измеряемых параметров водного потока.

**Таблица 22 – Характеристика систем регулирования водораспределения на открытых ОС**

Схема регулирования	Применяемые средства автоматизации	Измеряемые параметры					
		учетные			технологические		
		уровень	перепад	сток	уровень	перепад	расход
Непосредственным отбором расходов воды	АРР на ВВ	-	-	+	-	-	+
Пропорциональным делением расходов воды	ПДР на ВВ	-	-	+	+	-	-
Регулирование перекрестными связями	АРУ НБ на ПС	-	-	+	+	-	-
Смешанное регулирование	АРУ НБ на ПС, АРУ НБ-ВБ на ВВ	-	-	+	+	+	+
Регулирование поддержанием постоянных перепадов	АРУ НБ-ВБ на ПС, АРУ НБ на ВВ	-	-	+	+	+	-
Регулирование по принципу кулисообразных петель	АРР на ПС	-	-	+	+	-	+
Регулирование с перетекающими объемами	АРУ НБ на ПС, АРУ НБ на ВВ	-	-	+	+	+	-
Регулирование методом постоянных объемов	АРУ НБ на ПС	-	-	+	+	-	+
Смешанное регулирование по объему и нижнему бьефу	АРУ НБ на ПС	-	-	+	+	-	+
Смешанное регулирование по расходу и верхнему бьефу	АРУ НБ на ВВ	-	-	+	+	-	+
Регулирование по расходу с бассейнами перерегулирования	АРР на ВВ	-	-	+	-	-	+

АРУ – авторегулятор уровня воды; АРР – авторегулятор расхода воды; ПДР – пропорциональный делитель расхода воды; ПС – перегораживающее сооружение; ВВ – водовыпуск (точка водовыдела)

Анализ данных таблицы 22 показывает неизменность состава и видов измеряемых (контролируемых) параметров при наличии или отсутствии систем автоматизации технологических процессов. Применение тех или иных локальных авторегуляторов, в том числе вододействующих,

не устраняет необходимость измерения гидравлических параметров для оценки характера протекания технологических процессов на объектах ОС.

### **1.5 Состояние и тенденции совершенствования правового и нормативно-методического обеспечения информационных и учетных операций при осуществлении водопользования**

Введение в действие Федеральных законов № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» кардинально изменило ранее существовавшую в стране нормотворческую практику в области метрологического обеспечения производственных процессов, в частности водоучета на мелиоративных системах.

Новые законы затронули интересы практически всех заинтересованных учреждений, предприятий и организаций как государственной, так и частной форм собственности. Они принципиально изменили правовые основы стандартизации, права и обязанности участников работ по стандартизации, правила разработки и применения стандартов, всех других видов нормативно-методических документов.

В декларированных целях Федерального закона № 102-ФЗ содержатся новые прогрессивные идеи и механизмы метрологического обеспечения производства. В частности, нормы и требования по обеспечению государственного регулирования единства измерения распространяются только на учетные операции, например на измерение объемов стока воды, транспортируемых в мелиоративных системах.

Требования к измерениям так же изменились. Так, измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, должны выполняться по аттестованным методикам (методам) измерений. Результаты измерений должны быть выражены в единицах величин, допущенных к применению в Российской Федерации.

Прочие виды измерений в соответствии с новым законодательством отнесены к технологическим измерениям, точность и достоверность кото-

рых регламентируется и обеспечивается ведомственными метрологическими службами эксплуатации мелиоративных систем.

В соответствии с новым законом, аттестацию методик (методов) измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, проводят аккредитованные в установленном порядке юридические лица и индивидуальные предприниматели. Обязательные метрологические требования, в том числе показатели точности измерений, устанавливаются федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим нормативно-правовое регулирование (Ростехрегулирование) по согласованию с Депмелиорация Минсельхоза России. Сведения об аттестованных методиках (методах) измерений передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений проводящими аттестацию юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

Представляет интерес статья закона, определяющая требования к средствам измерений, которая гласит: «В сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений к применению допускаются средства измерений утвержденного типа, прошедшие поверку в соответствии с положениями настоящего Федерального закона, а также обеспечивающие соблюдение установленных законодательством Российской Федерации о техническом регулировании обязательных требований».

В состав обязательных требований к средствам измерений в необходимых случаях включаются требования к их составным частям, программному обеспечению и условиям эксплуатации средств измерений. В частности, конструкция средств измерений должна обеспечивать ограничение доступа к определенным частям средств измерений (включая программное обеспечение) в целях предотвращения несанкционированных настройки и вмешательства, которые могут привести к искажениям результатов измерений.

Следует отметить, что для мелиоративного комплекса большое значение имеют технические системы и устройства с измерительными функциями. Достоинством нового закона является передача большинства функций и полномочий по метрологическому обеспечению средств измерений производителям и потребителям измерительных приборов и других средств измерений под контролем Ростехрегулирования.

Порядок отнесения технических средств измерения к группе утверждаемых в Государственном реестре средств измерений России устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по обеспечению единства измерений.

Применительно к мелиоративному комплексу решение данных вопросов инициируется Департаментом мелиорации Минсельхоза России и решается Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии.

Государственное регулирование в области обеспечения единства измерений осуществляется в следующих формах:

- 1) утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений;
- 2) поверка средств измерений;
- 3) метрологическая экспертиза;
- 4) государственный метрологический надзор;
- 5) аттестация методик (методов) измерений;
- 6) аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области обеспечения единства измерений.

Существенным влиянием на эффективность метрологического обеспечения оказывает государственный метрологический надзор.

Новый закон предусматривает государственный надзор за соблюдением обязательных требований к средствам измерений, а также наличием и соблюдением аттестованных методик (методов) измерений, который рас-



пространяется на деятельность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих:

- измерения, относящиеся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений;

- выпуск из производства предназначенных для применения в сфере государственного регулирования средств измерений, а также их ввоз на территорию Российской Федерации, продажу и применение на территории Российской Федерации.

Новая законодательная база Российской Федерации в области технического регулирования и обеспечения единства измерения (метрологии) обусловила необходимость внесения существенных корректив в ранее созданную нормативно-метрологическую базу метрологического обеспечения водоучета на мелиоративных системах и объектах. При этом роль и принципы стандартизации должны быть адекватны происходящим переменам в стране и соответствовать международной практике.

При реализации такого подхода к дальнейшему совершенствованию метрологического обеспечения водоучета потребуются фактический переход на правовое и нормативно-техническое обеспечение (НТД), гармонизированное с Директивами ЕС и международными стандартами ИСО.

Важным фактором, который должен учитываться при формировании нового комплекса НТД, являются перспективы технического совершенствования оросительных систем с широким применением современных средств механизации и автоматизации технологических процессов. В этих условиях информационно-измерительные комплексы, в том числе системный водоучет и водоизмерение, станут важнейшими элементами оросительных систем. В перспективе такие комплексы войдут в состав АСУ ТП водопользования нового поколения.

Существующие проблемы действующей системы стандартизации в области метрологии и гидрометрии (устаревшие ГОСТ и НТД более низкого уровня) во многом обусловлены переходным периодом реформы

в области технического регулирования и являются сдерживающим фактором в достижении стратегических целей национальной системы стандартизации. Обновление и актуализация фонда стандартов и НТД в последние годы практически не проводится (при необходимости ежегодно обновлять не менее 10 процентов фонда для поддержания его на приемлемом уровне).

Для решения проблемы совершенствования системы стандартизации и НТД, упрощения механизмов применения нормативных документов в области метрологического обеспечения водоучета рационально их объединение в отдельный комплекс нормативной документации (ОКНД).

Предполагается, что структура самого ОКНД (рисунок 5) должна включать:

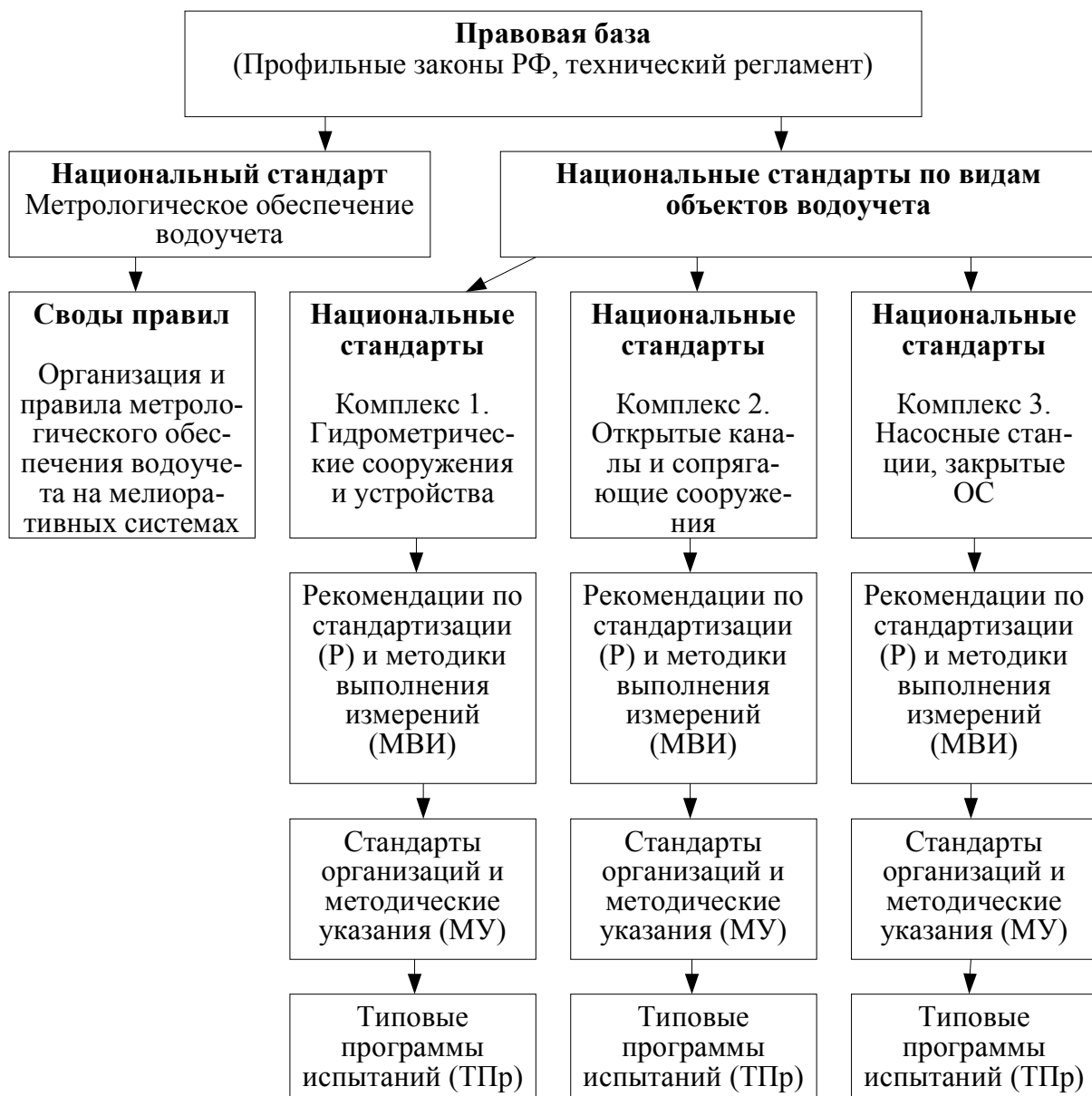
1 Основополагающие правовые акты и нормативные документы – законы РФ № 184-ФЗ «О техническом регулировании», № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений».

2 Группу Национальных стандартов (ГОСТ Р), сводов правил по стандартизации (СП) и другие документы по стандартизации более низкого уровня. В них определяются правила создания и эксплуатации объектов водоучета и водоизмерения, устанавливаются требования к организационной структуре и взаимосвязям субъектов метрологической деятельности, даются общие положения, регламентирующие организацию технического, информационного и метрологического обеспечения системы контроля.

3 Рекомендации по стандартизации (Р) и методики выполнения измерений (МВИ). В них определяются методы и средства измерений, включая их поверку и метрологическую аттестацию, правила сбора, обработки и формализации получаемых данных.

4 Стандарты организаций и методические указания (МУ). В них определяются порядок выполнения отдельных технологических операций контроля и измерения параметров, устанавливаются требования по их техническому и информационному обеспечению.

5 Типовые программы испытаний (ТПр). Разрабатываются для испытаний приборов, оборудования и др.



**Рисунок 5 – Структура отраслевого комплекса правовых и нормативно-методических документов в области метрологического обеспечения водоучета на мелиоративных системах**

В настоящее время ведутся работы по формированию и актуализации фонда национальных стандартов. Существует и ряд нормативно-методических документов, регламентирующих построение метрологического обеспечения водоучета на мелиоративных системах, они требуют существенного пересмотра и актуализации.

В таблице 23 приведен перечень национальных стандартов и НТД с указаниями об их дальнейшем развитии.

**Таблица 23 – Перечень национальных стандартов и нормативно-методических документов по водоучету на мелиоративных системах (существующих НТД и предлагаемых к разработке)**

№ п/п	Наименование нормативного документа и его обозначение
1	2
Существующие Национальные стандарты	
1	ГОСТ Р 51657.1-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Термины и определения
2	ГОСТ Р 51657.0-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Основные положения
3	ГОСТ Р 51657.2-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Методы измерения расхода и объема воды. Классификация
4	ГОСТ Р 51657.3-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Гидрометрические сооружения и устройства. Классификация
5	ГОСТ Р 51657.4-2002. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Измерение расходов воды с использованием водосливов с треугольными порогами. Общие технические требования
6	ГОСТ Р 51657.5-2002. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Способ измерения расходов воды с использованием ультразвуковых (акустических) измерителей скорости. Общие технические требования
Нормативно-технические документы, предлагаемые к пересмотру и разработке	
7	ГОСТ Р. «Метрологическое обеспечение средств измерения объемов и расходов воды мелиоративного назначения. Общие положения» (требуется разработка)
8	ГОСТ Р. «Измерение расходов воды с использованием гидрометрических лотков. Общие технические условия» (требуется разработка)
9	ГОСТ Р. «Измерение расходов воды с помощью водосливов. Общие технические условия» (требуется разработка)
10	ГОСТ Р. «Измерение расходов воды с помощью специальных сужающих устройств. Общие технические условия» (требуется разработка)
11	ГОСТ Р. «Измерение расходов воды с использованием гидротехнических сооружений и автоматов-водоотпусков. Общие технические требования» (требуется разработка)
12	ГОСТ Р. «Уровнемеры мелиоративного назначения. Общие технические требования к установке и поверке» (требуется разработка)
13	МВИ 05-90. Гидромелиоративные каналы с фиксированным руслом. Методика выполнения измерений расхода воды методом «скорость – площадь» (требуется пересмотра)
14	МВИ 06-90. Методика выполнения измерений расхода воды с помощью специальных сужающих устройств мелиоративного назначения (требуется пересмотра)
15	МВИ 33 БО-01-85. Методика выполнения измерений по градуировке гидротехнических сооружений на каналах оросительных систем (требуется пересмотра)
16	МВИ 33-475559-09-91. Каналы гидромелиоративные железобетонные параболические. Методика выполнения измерений расходов воды методом «скорость-площадь» (требуется пересмотра)

Продолжение таблицы 23

1	2
17	МВИ 33-47555-10-91. Системы гидромелиоративные. Методика выполнения измерений количества воды в пунктах водоучета, не оснащенных интегрирующими приборами (требуется пересмотра)
18	МВИ 33-47555-12-92. Системы гидромелиоративные. Методика выполнения измерений количества воды в пунктах водоучета на напорных водоводах, не оснащенных интегрирующими приборами (требуется пересмотра)
19	МИ 2122-90. Расход жидкости в открытых потоках. Методика выполнения измерений с применением стандартных водосливов и лотков (требуется пересмотра)
20	ВТР М-2-80. Руководство по обработке результатов измерения параметров учета воды на оросительных, осушительных и обводнительных системах (требуется пересмотра)
21	ВТР М-3-80. Руководство по проведению градуировки и поверки средств измерения расхода воды для напорных трубопроводов (требуется пересмотра)
22	МВИ «Методы сбора и обработки результатов измерений расходов и объемов воды в открытых каналах» (требуется разработки)
23	МВИ «Методика градуировки, поверки и аттестации средств измерений объемов и расходов воды в открытых каналах мелиоративных систем» (требуется разработки)
24	МВИ «Методика выполнения измерений расхода и объема воды градуированными гидротехническими сооружениями» (требуется разработки)

Для решения проблем совершенствования водоучета на ОС требуется организация системного контроля решения организационно-технических задач в части создания системы метрологического обеспечения эксплуатационных организаций и решение вопросов подготовки кадров по эксплуатационной гидрометрии и метрологии.

В заключение следует отметить следующее:

- в настоящее время общее состояние с водоучетом на мелиоративных системах Российской Федерации крайне неудовлетворительно и не отвечает современным требованиям метрологического обеспечения государственных учетных операций. Многолетний опыт оснащения мелиоративных систем средствами водоучета показал неэффективность применения приборов и оборудования, разработанных отраслевыми НИИ без организации их серийного выпуска и создания необходимой системы сервисного обслуживания и гарантийного ремонта;

- недостаток финансирования производственной деятельности эксплуатационных организаций из средств федерального и местных бюджетов, изменившаяся ситуация на рынке измерительных приборов и оборуду-

дования, новые экономические условия водохозяйственной деятельности определяют необходимость разработки концептуально нового программного документа по созданию системного (коммерческого и технологического) водоучета на водохозяйственных объектах мелиоративной отрасли АПК России;

- для формирования современной системы метрологического обеспечения водоучета на мелиоративных объектах необходима разработка комплекса нормативно-методических документов, опирающихся на новую правовую базу в виде профильных федеральных законов и технических регламентов.

## **2 Современные технологии осуществления операций по учету и контролю использования водных ресурсов**

### **2.1 Существующая технология и техника получения первичных данных при водоучете**

Процесс получения первичных данных при водоучете на оросительных системах включает три основных технологических операции. Они, в свою очередь, выполняются с помощью действий, осуществляемых теми или иными способами, основанных на технологических приемах, которые условно можно разделить на два вида – конструктивные и эксплуатационные.

Одной из основных технологических операций в процессе получения первичных данных при водоучете на оросительных системах является преобразование потока воды к виду, обеспечивающему минимизацию количества контролируемых параметров, которые определяются по показаниям соответствующих измерительных приборов.

Действительно, параметр водного потока – расход воды в аналитическом выражении сложная составная величина, зависящая от нескольких параметров водного потока. Для того, чтобы не измерять их все (это долго и ведет к росту числа погрешностей измерений), целесообразно сделать так, чтобы в точке измерения расход воды зависел бы от одного, макси-

мум – от двух параметров водного потока, а остальные параметры оставались бы постоянными. Это достигается в специальных водомерных устройствах (установках), обеспечивающих формирование устойчивой структуры потока и ее сохранение на период измерения.

Для формирования устойчивой структуры потока в точке измерения устраиваются прямолинейные вставки достаточной длины до преобразователя расхода и за ним. В зависимости от метода измерения и вида потока (напорный или безнапорный), это могут быть прямолинейные участки трубопровода или канала (лотка). Здесь длина участка до и после преобразователя расхода определяется естественной способностью потока к самовыравниванию. Чем выше турбулентность потока, тем длина участков стабилизации должна быть больше.

В тех случаях, когда нет возможности выполнить участок нужной длины, прибегают к искусственной стабилизации, то есть размещают в потоке на входе в прямолинейный участок различного рода устройства, диссипирующие поток на отдельные струи, которые быстрее стабилизируются. Такой прием позволяет сократить длину участка в 1,5-2 раза и разместить водомерное устройство в стесненных условиях. Естественно, что при этом возникает опасность забивания отверстий диссипатора плавником и мусором и выхода водомерного устройства из строя, поэтому при применении этого приема необходимо предусмотреть в технологической схеме осуществления процесса и дополнительные приемы, обеспечивающие очистку воды от вредных примесей.

Для сохранения устойчивой структуры потока в процессе измерения необходимо, чтобы оставались неизменными все гидравлические параметры, связанные с измеряемым параметром. С этой целью используются такие технологические приемы, как устройство в открытых потоках перепадов с неподтопленным истечением в нижний бьеф, или постоянное регу-

лирование уровня воды в нижнем бьефе так, чтобы всегда обеспечивался неподтопленный режим истечения.

В категорию конструктивных технологических приемов (что может быть проще, чем неподтопленный водослив) можно отнести регулирование уровня нижнего бьефа, и при малейших признаках повышения уровня выполнять перерегулирование затворами сбросных устройств, учитывая при этом и запаздывание, вызванное инерционностью бьефа. Когда невозможно избежать подтопление водослива (малоуклонные бьефы, отсутствие естественных перепадов и пр.), приходится применять этот дорогостоящий эксплуатационный прием.

В напорных потоках изменение давления в нижележащих трубопроводах также может серьезно повлиять на показания датчиков, поэтому давление в системе на период измерения необходимо стабилизировать. Это может быть достигнуто запрещением сбросов и включения подачи воды для всех точек водовыдела на время снятия показаний с приборов или искусственной компенсацией изменений давления с помощью специальных регулирующих устройств.

Стабилизация формы и размеров поперечного сечения потока достигается такими конструктивными технологическими приемами, как устройство в открытых потоках фиксированных русел, лотков, водосливов и т.п., а в закрытых (напорных) потоках – установкой стандартных сужающих устройств.

Не менее важной является и такая технологическая операция процесса получения первичных данных, как снятие показаний с приборов. Для ее выполнения необходимо обеспечить соответствие измеряемого значения параметра его действительному значению, иначе ни о какой точности измерения не может быть и речи. Например, помещая в стесненный поток вертушечный датчик скорости, обладающий значительными габаритами, мы изменяем структуру потока в точке измерения и, следовательно, сам



измеряемый параметр – скорость воды. Следовательно, при прямом способе измерения параметра необходимо выбирать такой датчик, который бы не влиял на структуру потока в точке измерения, или влиял бы несущественно, так, чтобы влиянием этим можно было бы пренебречь.

В частности, вместо габаритной гидрометрической вертушки в предыдущем примере можно использовать микровертушку, трубку Пито или Ребока, ультразвуковые датчики скорости и другие приборы для прямого измерения скорости потока в точке, имеющие небольшие габариты. Если же исключить влияние приборов на структуру потока не удастся, то можно использовать такой конструктивный технологический прием, как установка датчика в точке с наименьшим влиянием на измеряемые параметры, а это смещение компенсировать использованием корреляционных зависимостей, определяемых теоретически или эмпирически.

При косвенном способе измерения параметра с использованием меточного метода датчик прибора размещают вне потока, что полностью исключает какое-либо влияние на его структуру, а в точку измерения вводят метку, по движению которой и определяется искомое значение параметра. Меткой может быть инородный предмет или элемент, который в точке измерения приобретает скорость потока (поплавки, твердые или полутвердые частицы, имеющие плотность воды, молекулы самой воды и т.п.). В тех случаях, когда ввести метку в точку измерения невозможно, определяют среднюю скорость потока по движению многих меток, скорости которых фиксируются по сечению потока. Технологические приемы, использующие меточные методы, относятся к разряду эксплуатационных, поскольку для ввода метки в нужную точку потока в нужный момент времени необходимо выполнить ряд операций управления.

При использовании метода замещения параметра датчиком, размещенным вне потока и никак не влияющим на его структуру, измеряют какой-либо другой параметр, связанный с основным параметром однознач-

ной аналитической зависимостью. Например, при измерении расхода воды в открытом потоке с помощью гидрометрического лотка [136] измеряют не скорость потока, а его наполнение в лотке, а затем по формулам гидравлики определяют расход воды.

При измерении расхода воды в закрытом трубопроводе с помощью электромагнитного расходомера измеряют силу тока самоиндукции, возникающей при движении молекул воды в магнитном поле. Технологические приемы, реализующие метод замещения параметра, относятся к разряду конструктивных, поскольку для своего выполнения не требуют проведения операций управления.

Вторым, не менее важным действием технологической операции снятия показаний с приборов является определение местоположения точек, в которых можно получить наиболее достоверную информацию о фиксируемом параметре. Действительно, одни и те же параметры, измеренные в разных точках потока, дают достаточно противоречивую информацию (например, скорость потока на поверхности существенно отличается от придонной скорости и т.п.).

При выполнении этого действия можно использовать готовые рекомендации и наставления, а можно выполнить индивидуальный расчет для каждого конкретного случая. При использовании типовых рекомендаций и наставлений повышается точность и достоверность результатов, но не все варианты сочетания местных условий охвачены существующими инструкциями и наставлениями. Поэтому применение такого эксплуатационного приема, как индивидуальный расчет положения датчика в некоторых ситуациях неизбежно. Возможна и автоматизация этого технологического приема – при оборудовании мелиоративной системы ЭВМ достаточного технического уровня расчет положения датчика может выполняться за короткое время непосредственно перед измерением, для этого достаточно

разработать программу, удовлетворяющую требованиям точности и достоверности.

В ряде случаев возникают ситуации требующие преобразования показаний приборов к виду, удобному для регистрации и обработки информации. Для осуществления этой технологической операции необходима первичная обработка сигналов датчиков и, если возникает необходимость, то преобразовывать вторичные сигналы и передать информацию к месту регистрации.

При осуществлении этих действий природа полученного от датчика сигнала может быть сохранена (например, сигнал может быть усилен, дискретизирован или модулирован) или заменена (то есть сигнал, полученный от датчика, преобразуется в сигнал другой природы по какому-либо однозначному закону). Эти уже теперь вторичные сигналы могут быть, в свою очередь, преобразованы (усилены, дискретизированы или модулированы) для передачи информации на нужное расстояние без потерь и искажения. Все эти технологические приемы могут быть отнесены в разряд конструктивных, так как для их выполнения не нужно осуществлять операции управления.

Процесс обработки информации при водоучете на мелиоративных системах включает в себя такие технологические операции, как регистрация показаний приборов на носителях информации, обработка показаний приборов и выдача информации о полученных данных. Регистрация показаний приборов – одна из основных операций водоучета, поскольку без достоверной регистрации полученных данных не может быть и речи о достижении цели водоучета. В систематизированном виде процесс получения первичных данных при водоучете на мелиоративных системах может быть представлен в форме таблицы 24.

**Таблица 24 – Существующие технологии и техника получения первичных данных при водоучете**

Технологическая операция	Действия, обеспечивающие выполнение данной технологической операции		Приемы выполнения действий		
	Наименование действий	Способы осуществления действий	Наименование и содержание приема		Вид приема
1	2	3	4		5
Преобразование потока к виду, обеспечивающему снятие минимума данных	Формирование устойчивой структуры потока	Естественная стабилизация	Устройство прямолинейных вставок достаточной длины перед преобразователем потока и за ним		Конструктивный
		Искусственная стабилизация	Устройство перед преобразователем потока диссипирующие решетки, пучков коротких русел, сотов и т.п.		Конструктивный
	Сохранение устойчивой структуры потока	Стабилизация уровня воды в нижнем бьефе	Устройство перепадов с неподтопленным истечением		Конструктивный
			Регулирование уровней воды в нижнем бьефе		Эксплуатационный
		Фиксация формы и размеров поперечного сечения потока	Открытые, безнапорные потоки	Устройство фиксированных русел, сужающих устройств, гидрометрических лотков и т.п.	Конструктивный
			Напорные потоки	Устройство водосливов различной формы	Конструктивный
Снятие показаний с приборов	Обеспечение соответствия измеренного значения параметра его действительному значению	Способ прямого измерения параметра	Установка в точке измерения датчиков, форма и размеры которых минимально влияют на структуру потока		Конструктивный
			Установка датчика в точке с наименьшим влиянием на измеряемые параметры и использование коррелирующих зависимостей		Конструктивный
		Способ косвенного измерения параметра	Меточный метод	Размещение датчика вне потока с доставкой в точку измерения	Эксплуатационный

Продолжение таблицы 24

1	2	3	4	5
Снятие показаний с приборов	Определение местоположения точек съема достоверной информации о фиксируемом параметре	Способ прямого измерения параметра	Использование готовых рекомендаций и наставлений	Конструктивный
			Выполнение расчетов положения датчика для каждого конкретного случая по известным методикам	Эксплуатационный
		Способ косвенного измерения параметра	Использование готовых рекомендаций и наставлений	Конструктивный
Преобразование показаний приборов к виду, удобному для регистрации обработки	Первичная обработка сигналов датчика	С сохранением природы полученного сигнала	Усиление полученных от датчика сигналов	Конструктивный
			Дискретизация и популяция первичных сигналов	Конструктивный
	Преобразование вторичных сигналов и передача информации к сету регистрации	С изменением природы полученного сигнала	Преобразование сигнала, полученного от датчика, в сигнал другой природы	Конструктивный
			С сохранением природы полученного сигнала	Преобразование вторичного сигнала в сигнал другой природы, удобный для передачи на необходимое расстояние и передачи преобразованного

## **2.2 Современные технические средства измерения технологических параметров на оросительных системах**

Проведенный анализ (раздел 1.4) показал возможность и целесообразность разделения всего массива измеряемых параметров на три группы:

- гидравлические параметры (уровень, скорость, давление воды и их производные параметры);
- линейно-угловые параметры (глубина русла, положение затворов ГТС, размеры призмы отложения наносов и др.);
- энергетические параметры (величина тока и напряжения электропитания насосных агрегатов, потребляемая электрическая мощность и т.п.).

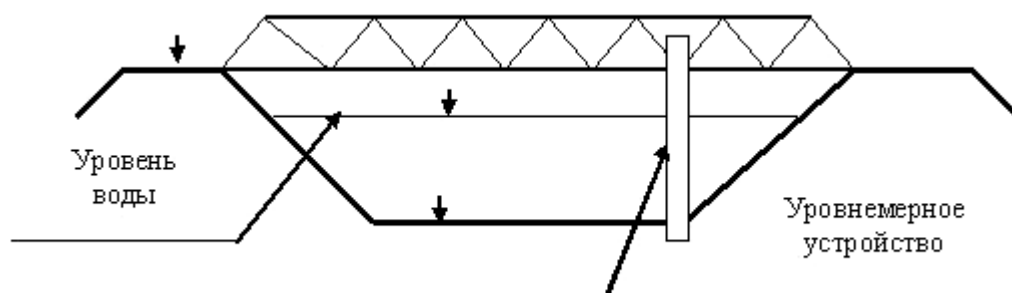
На современных ОС группа измеряемых гидравлических параметров наиболее многочисленна. Как правило, контрольные створы или точки измерения располагаются на гидрометрических постах, ГТС различного типа и назначения, напорных водоводах насосных станций и т.п.

В соответствии с требованиями действующих НТД измерению подлежат расход и объем стока воды. Прочие гидравлические параметры измеряются как исходные для определения вышеуказанных параметров.

Применение систем автоматического управления технологическими процессами водопользования предъявляет ряд дополнительных требований к средствам информационного обеспечения. В частности, приобретает особое значение оперативный контроль уровней воды для оценки динамики переходных процессов в водопроводящих сетях ОС, т.е. фактически происходит смещение акцентов метрологического обеспечения водопользования с традиционного водоучета на технологическое водоизмерение. В этих условиях анализ возможностей измерения и контроля базовых гидравлических параметров является основой обеспечения достоверного водоучета и водоизмерения.

Отечественная и зарубежная практика применения уровнемерных устройств [136, 138, 147] предполагает два основных метода измерения

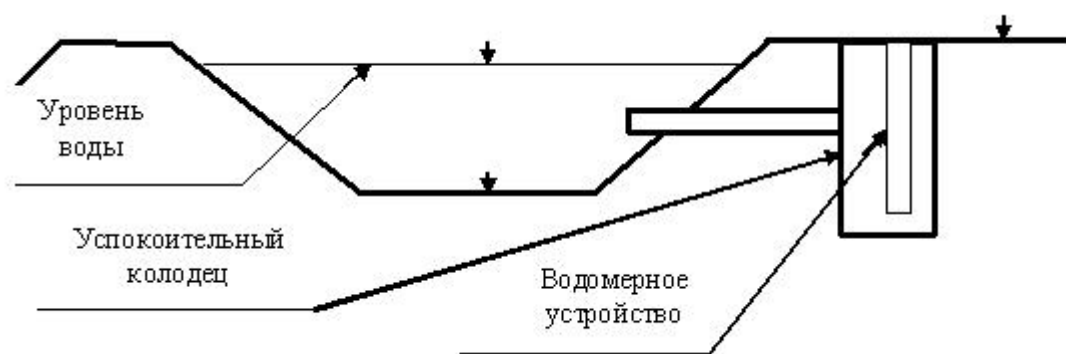
уровней. В соответствии с первым методом, уровнемерное устройство размещается в водном потоке (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Размещение уровнемерного устройства в водном потоке**

Современный арсенал средств измерения уровня воды включает как простейшие уровнемерные устройства, например гидрометрические рейки, так и высокоточные автоматизированные измерительные приборы и датчики. Выбор методов и средств измерения уровней регламентируется требованиями к точности и достоверности результата измерения, а также возможностями его осуществления. Методы измерения уровней (перепада уровней) воды достаточно отработаны в техническом и метрологическом отношении.

Второй метод измерения уровней является основным и предполагает размещение уровнемерных устройств в береговом колодце, соединенном буферным водоводом с руслом (рисунок 7).



**Рисунок 7 – Размещение уровнемерного устройства в успокоительном колодце**

Проблема измерения линейно-угловых параметров на объектах ОС может быть разделена на две подпроблемы. Первая включает круг задач

по линейно-угловой и высотной привязке водомерных ГТС, осуществляющих водоучет, к государственной геодезической сети, определению фактических уклонов каналов и ряда других аналогичных задач. Известные топогеодезические методы и средства измерения таких параметров полностью обеспечивают потребность службы эксплуатации ОС, являются стандартизованными и хорошо апробированными.

Процедура получения оперативной и достоверной информации о состоянии объектов ОС имеет два аспекта – технологический и технический. Это связано с тем, что первичная информация о величинах тех или иных технологических параметров не всегда может быть получена методами прямого инструментального измерения. Так, при измерении (контроле) линейно-угловых и энергетических параметров (как прямо измеряемых) преобладает технический аспект. Он сводится, в основном, к выбору средств измерения и контроля, которые широко используются в промышленном производстве, вследствие чего обладают высокой степенью унификации и стандартизации. Определенные сложности их применения на ОС связаны с некоторыми техническими характеристиками, например, электропитанием приборов и некоторыми другими.

В проблеме получения информации о величинах гидравлических параметров превалирующим становится технологический аспект. Измерение (контроль, определение) гидравлических параметров является многофакторным и сложным процессом, реализуемым с помощью комплекса средств измерений. Более того, характер гидродинамических процессов в каналах и ГТС ОС определяет качественно иные требования к средствам измерения, прежде всего к работе в динамическом режиме измерения.

Основными характеристиками качества измерения является точность и достоверность. Технологии и методы повышения точности сложны, дорогостоящи, трудоемки и требуют длительного времени на реализацию. Поэтому уровень точности, к которому следует стремиться, должен опре-



деляться показателями технологической целесообразности, зависящими от конкретных условий и цели измерения.

Показатели технологической целесообразности формируются из совокупности метрологических характеристик и эксплуатационных требований, от которых зависит точность и достоверность измерений. Основные из них:

- номинальная статическая характеристика преобразования измерительного устройства;
- динамические характеристики средств измерений;
- характеристики суммарной или систематической и случайной составляющих погрешности средств измерений;
- вариация показаний измерительного прибора и сигнала измерительного преобразователя;
- входное сопротивление измерительного устройства;
- цена деления равномерной шкалы и пределы шкалы измерительного прибора;
- характеристика выходного кода цифровых средств измерений;
- неинформативные параметры выходного сигнала измерительного преобразователя;
- функции влияния, как зависимости изменений метрологических характеристик средств измерений от влияющих величин или неинформативных параметров входного сигнала;
- характеристики погрешностей средств измерений в интервале изменений влияющей величины или неинформативного параметра входного сигнала;
- наибольшие допустимые изменения метрологических характеристик, вызванные изменением внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала.

Исходя из данных показателей, можно констатировать, что применение современных отечественных измерительных приборов общепромыш-

ленного назначения для измерения (контроля) гидравлических параметров на ОС требует разработки новых или совершенствования известных технологий и методов измерений. Во многом это связано со специфическими особенностями таких средств измерения, которые не позволяют без достаточной адаптации использовать их в традиционных методах измерения гидравлических параметров водного потока в открытых каналах ОС. Между тем, зарубежные фирмы OMEGA, HACH, Swoffer (США), OTT (Германия), COMEF s.a. (Франция) и др. много лет выпускают широкий спектр гидрометрического оборудования, адаптированного к использованию именно на водохозяйственных объектах, с автономным питанием и не критичным к квалификации эксплуатационного персонала.

Развитие и совершенствование как отечественных, так и зарубежных технологий информационного обеспечения водопользования, и, в частности, водоучета и водоизмерения, основывается на общих принципах. Существенно различается лишь техническое и приборное обеспечение. В последние годы технологический разрыв в этой области еще более увеличился. Исходя из этого, целесообразно провести анализ технического уровня современных средств измерения технологических параметров, определить их эксплуатационные возможности и тенденции совершенствования применительно к условиям ОС.

### **2.2.1 Методы и средства измерения гидравлических параметров**

#### **Средства измерения уровня (перепада уровней) в открытых водотоках**

Отечественная промышленность выпускает довольно широкую номенклатуру простейших измерителей уровня, таких, например, как водомерные переносные рейки ГР-23 и ГР-104 (диапазон измерения 0-100 см), волномерная веха ГР-24 (диапазон измерения 0-300 см), максимальная рейка ГР-45 (диапазон измерения 0-150 см). Данные средства дешевы, просты в производстве, эксплуатации и метрологическом обеспечении. По предварительным оценкам потребность эксплуатационных организаций

мелиоративного профиля в таких устройствах только по югу России составляет 1,5-2 тыс. шт. в год.

Более сложные буйковые уровнемеры также выпускаются (или выпускались) отечественной промышленностью. Самопишущий поплавковый уровнемер ГР-116 осуществляет регистрацию уровня воды на диаграммной ленте, а также выдачу стандартного токового сигнала для подключения к автоматическим и дистанционным системам. Основные технические данные – диапазон измерений от 0,00 до 10 м при относительной погрешности измерения 1-10 % (в зависимости от выбранного масштаба регистрации).

Исключительно полезная особенность данного устройства – наличие наряду со штатным электрическим приводом резервного механического привода, что позволяет обеспечить постоянную регистрацию значений уровня в условиях перебоев с подачей электроэнергии и даже на полностью не обеспеченных энергией объектах.

Буйковый электрический уровнемер УБ-Э не содержит в своем составе самописца, а преобразует значения уровня непосредственно в стандартный токовый сигнал для передачи на внешние устройства регистрации. Диапазон измерения расширен до 16 м.

Другое интересное семейство уровнемеров – емкостные приборы. Принцип их действия основан на зависимости электрической емкости между двумя частично погруженными в воду проводниками от уровня воды.

В этом классе приборов следует отметить емкостные уровнемеры типа РУС (модифицированный вариант – ДУЕ-1), включающие в себя целую широкую набор первичных и вторичных преобразователей, обеспечивающих измерение уровней от 0 до 20 м с погрешностью до 0,5 %. Выпускается под заказ и вариант данного прибора, разработанный специально для применения на мелиоративных каналах – ДУЕ-М. Его отличительная особенность – достаточно низкая потребляемая мощность, что позволяет использовать его на объектах, не обеспеченных электропитанием.

Емкостный принцип является весьма перспективным для построения уровнемеров, поскольку позволяет создавать исключительно экономичные устройства. Однако существенную проблему составляет наличие зависимости показаний таких приборов от диэлектрической проницаемости воды, которая в реальных условиях может меняться в достаточно широких пределах.

Выпускаются также и бесконтактные уровнемеры, основанные на принципе акустического зондирования. Например, акустический уровнемер УА-1 представляет собой систему, состоящую из двух первичных и одного вторичного преобразователей, обеспечивающую бесконтактное измерение и цифровую индикацию уровня воды. Диапазон измерений – 1,0-64,0 м (в зависимости от типа первичного преобразователя) при относительной погрешности измерения 1 % .

Наиболее широкое распространение на российских мелиоративных системах получили акустические уровнемеры серии «ЭХО». Принцип действия и конструктивное исполнение этих приборов аналогичны УА-1. Например, очень распространен датчик уровня акустический «ЭХО-5». Прибор предназначен для бесконтактного автоматического дистанционного измерения уровня различных жидких сред, сыпучих и кусковых материалов. Диапазон измерения уровня 0-30 м, погрешность измерения уровня – 1 %.

Существует целый ряд аналогичных приборов для измерения и регулирования уровня: уровнемеры емкостные, уровнемеры буйковые, поплавковые, акустические, ультразвуковые уровнемеры, сигнализаторы уровня РОС-301, РОС-501, РИС-101, ДРУ-1, ДУЖЭ, САУ-М, СУС-РМ, ИСУ-100, СУГ-М, РУПТ.

Номенклатура зарубежных приборов для измерения уровня, предлагаемых в настоящее время отечественному потребителю, чрезвычайно широка – от простейших мерных штанг и рулеток до современных комплексов сбора и обработки информации, рассчитанных на одновременную работу со множеством датчиков различных типов.

Фирма OTT Messtechnik производит, в числе прочего, недорогие средства измерения уровня, например – контактные уровнемеры серии KL, представляющие собой рулетку длиной от 20 до 500 м с закрепленным на конце гибкого корда датчиком-грузом. При касании датчиком поверхности воды срабатывают акустический и оптический сигналы. Отсчет показаний производится вручную.

Водомерные рейки также выпускаются данной фирмой. Изготовленные из алюминиевого сплава они легки, долговечны и могут быть рекомендованы для отечественного потребителя.

Другой интересный прибор этой же фирмы – контактный игловой уровнемер – точное электромеханическое устройство, позволяющее измерять уровень воды в скважине или уровнемерном колодце с точностью до 0,1 мм. Такие приборы могут быть полезны, например, при метрологической аттестации гидропостов, когда необходимо производить измерения уровня с более высокой точностью.

Кроме простейших рулеток и реек фирма OTT Messtechnik производит и более сложные поплавковые уровнемеры серии OWK, оснащаемые широким ассортиментом вторичных приборов (самописцы, дисплеи, устройства тревожной сигнализации, контактные группы).

Выпускается также и серия пневматических уровнемеров ODS, принцип действия которых основан на измерении разности атмосферного и гидравлического давлений. Данные устройства надежны, просты в установке и эксплуатации. Пристального интереса заслуживают уровнемеры, использующие так называемый пузырьковый принцип (NIMBUS, ORPHI-MEDES и др.). Суть его заключается в следующем. Специальный микрокомпрессор создает давление в капилляре, опущенном в воду. При достижении давлением в капилляре определенной величины образуется пузырек воздуха. Давление в момент образования пузырька прямо пропорционально глубине погружения выходного отверстия капилляра. Отличительной особенностью приборов подобного типа является то, что они не требуют

наличия успокоительного колодца, однако у них имеется и существенный недостаток – зависимость показаний от плотности жидкости, что может послужить препятствием для применения приборов подобного типа в условиях сильно загрязненных стоков.

Что касается бесконтактных уровнемеров, получивших в последние годы широкое распространение, то следует упомянуть датчик KALESTO, работающий на микроволновом принципе. Его отличительная особенность – чрезвычайно низкая потребляемая мощность, что позволяет осуществлять электропитание от солнечной батареи (входит в комплект поставки). Кроме того, возможна дистанционная передача результатов измерения на удаленное устройство по радиоканалу. Таким образом, датчики KALESTO являются идеальным техническим решением для удаленных пунктов водоучета не обеспеченных сетевым электропитанием.

Все устройства фирмы OTT Messtechnik, за исключением простейших, формируют на выходе стандартный токовый сигнал, поэтому могут комплектоваться вторичными приборами других производителей.

Представляет интерес малогабаритный ультразвуковой датчик уровня «Honeywell» (США). Предназначен для бесконтактного автоматического дистанционного измерения уровня различных жидких сред и имеет следующие технические характеристики – рабочая область сканирования 0,5-40 м, зона нечувствительности 0-500 мм, рабочее напряжение 10-30 В.

Ультразвуковые уровнемеры Prosonic компании Endress + Hauser для жидких и сыпучих продуктов – это измерительный прибор, состоящий из одного-двух датчиков и преобразователя, взаимная удаленность которых может составлять до 600 метров. Основное назначение ультразвукового уровнемера Prosonic: измерение уровня, вычисление объема/массы продукта в емкости, измерение разности двух уровней, измерение расхода жидкости в открытом профилированном канале. Прибор работает на открытом воздухе при значительных перепадах наружной температуры. Функция управления осуществляется преобразователем, имеющим три или

пять независимо программируемых релейных выходов. Информация отображается на ЖК-дисплее уровнемера и/или передается в АСУТП.

Разумеется, весь спектр технических средств водоучета, предлагаемый зарубежными производителями, далеко не исчерпывается рассмотренными устройствами. Однако уже на примере вышеописанных приборов отчетливо прослеживается тенденция создания универсальных, стыкуемых между собой блочно-модульных комплексов, позволяющих организовать автоматизированные сбор и обработку измерительных данных и, при необходимости, осуществлять управление исполнительными устройствами по стандартным каналам телемеханики.

В таблице 25 приведены технические данные измерителей уровня, выпускаемые отечественными и зарубежными производителями. Показаны наиболее пригодные измерения для ОС.

**Таблица 25 – Средства измерения и контроля уровня воды**

Тип устройства (страна-изготовитель)	Диапазон измерения	Погрешность измерения	Выходная информация	Электропитание
1	2	3	4	5
<b>А. Дискретный контроль уровня</b>				
Рейка водомерная переносная ГР-104 (Россия)	0-1,0 (м)	$\pm 0,002$	Визуальная	-
Рейка морская гидрометрическая ГМ-4 (Россия)	0-4,0 (м)	$\pm 0,01$	Визуальная	-
Рейки гидрометрические модели ГР.	1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0	$\pm 2,0; \pm 2,5;$ $\pm 3,0; \pm 4,0;$ $\pm 6,0; \pm 8,0;$ $\pm 10,0; \pm 12,0 \%$	Визуальная	-
Водомерная рейка G 1 (Германия)	0-1,0 (м)	$\pm 0,01$	Визуальная	-
<b>Б. Непрерывный контроль уровня</b>				
Уровнемер поплавковый ГР-116 (Россия)	0-20,0 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Регистрация на ленте самописца	-
Вертикальный самописец (Россия)	0-10,0 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Регистрация на ленте самописца	-
Ленточный поплавковый самописец R20 (Германия)	0-10,0 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Регистрация на ленте самописца	-

Продолжение таблицы 25

1	2	3	4	5
В. Измерение уровня				
Ленточный самопи-сец R20P с зондом давления ODS4-K (Германия)	0-4,0/ 0-10,0/ 0-40,0 (м)	$\pm 0,1$ (%)	Регистрация на ленте самописца. Аналоговый сигнал 4-20 мА	Постоянное напряжение 26 В
Пневматический уровнемер R 25 с датчиком «NIMBVS» (Германия)	0-13,0 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Регистрация на ленте. Аналоговый сигнал 4-20 мА	Постоянное напряжение 12 В
Преобразователь измерительный гидростатический «Сапфир-22 Г» (Россия)	0,025-25,0 (м)	$\pm 0,5$ (%)	Аналоговый сигнал 0-5 мА	Постоянное напряжение 36 В
Датчик гидростатического давления ДГДВ (Россия)	0-100,0 (м)	$\pm 0,5$ (%)	Аналоговый сигнал 0-5 мА	Переменное напряжение 220 В, 50 Гц
Датчики уровня ультразвуковые ДУУ-340 (Россия)	0-12,0 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Аналоговый сигнал 0-5 мА	Постоянное напряжение 24 В
Пузырьковый уровнемер «Orphimedes» (Германия)	0-13,0 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Цифровая информация	Постоянное напряжение 6 В
Датчик уровня емкостный ДУЕ-М (Россия)	0-6,0 (м)	$\pm 2,5$ (%)	Частотный сигнал 1-2 КГц	Постоянное напряжение 24 В
Датчик уровня акустический ЭХО-5 (Россия)	0-30,0 (м)	$\pm 1,5$ (%)	Аналоговый сигнал 0-5 мА	Переменное напряжение 220 В, 50 Гц
Датчик уровня акустический «Kalesto» (Германия)	0,5-30,0 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Цифровая информация	Постоянное напряжение 12 В
Датчик уровня ультразвуковой OMEGA LV-200 (США)	0,25-4,6 (м)	$\pm 0,5$ (%)	Аналоговый сигнал 4-20 мА	Постоянное напряжение 24 В

Проблема выбора осложняется необходимостью энергоснабжения электронных уровнемеров, датчиков и сигнализаторов уровня.

Анализ технических характеристик уровнемерных устройств и оборудования показывает следующее:

- наиболее высокой точностью измерения уровня (до 0,002 м) обладают специальные гидрометрические рейки с успокоителем колебаний уровня и отдельные образцы высокоточных электронных уровнемеров (например, преобразователь измерительный гидростатический «Сапфир-22 Г», ленточ-



ный самописец R 20P с зондом давления ODS4-K, «Orphimedes» с погрешностью  $\pm 0,5 \%$ );

- средняя погрешность измерения уровня рейками, поплавковыми уровнемерами составляет  $\pm 0,01$  м;

- уровнемеры и датчики уровня акустического типа имеют погрешность в основном  $\pm 1,5 \%$ . В результате, на границах диапазона измерений абсолютная погрешность измерения уровня существенно увеличивается;

- высокая точность измерения уровня  $\pm 0,25$ ;  $\pm 0,5 \%$  обеспечивается преобразователями и датчиками гидростатического давления (например «Сапфир-22ДГ», ДГДВ) при их оптимальной простоте и надежности;

- из всей номенклатуры выпускающихся отечественных приборов лишь датчики уровня ДУЕ-М и «Сапфир-22 ДГ» имеют электропитание постоянным током с напряжением 24 В и 36 В. В то же время аналогичные зарубежные устройства имеют электропитание от 6 В до 24 В;

- все средства измерения уровня общепромышленного применения имеют стандартные выходные сигналы, в основном аналоговый токовый выход (0-5 мА, 0-20 мА или 4-20 мА) постоянного тока и визуальный на цифровом дисплее;

- наиболее просты конструктивно и надежны в эксплуатации гидрометрические рейки и акустические датчики уровня. При правильном применении они не требуют периодической поверки и взаимно дополняют друг друга.

### **Давление (перепад давлений)**

Аналог параметра «уровень воды» параметр «давление воды» является основным прямоизмеряемым гидравлическим параметром на мелиоративных НС и напорных оросительных системах. В отличие от других гидравлических параметров никаких особых технологических и технических проблем с его измерением нет.

Для визуального наблюдения за величиной давления имеется большой арсенал манометров различного вида от технических типа ОБМ до образцовых манометров типа МО. Отечественные приборостроительные заводы выпускают манометры с классом точности от 0,4 до 2,5 (погрешность измерения давления  $\pm 0,4-2,5$  %). Диапазоны измерения полностью удовлетворяют потребностям ОС.

Контроль технологических процессов на насосных станциях основан на применении специализированных средств измерения, контроля и сигнализации давления воды. В настоящее время отечественные производители приборной продукции предлагают достаточно широкую номенклатуру оборудования. Прежде всего, это датчики и преобразователи давления (разности давления).

Основным типом преобразователя давления (разности давления) жидкости на сегодня является «Сапфир-22Д» различных модификаций. Диапазон измерения давления составляет 0,04-16,0 МПа в различной градации при погрешности измерения  $\pm 0,25$  %. Выходная информация – стандартный аналоговый сигнал 0-5 мА, 4-20 мА, напряжение питания 36 В. Датчик разности давления «Сапфир-МТ» имеет аналогичные метрологические характеристики.

В ряде случаев возможно использование преобразователей давления типа МПЭ-МИ (диапазон измерения 0,6-1,0 МПа) и ДМЭ-МИ (диапазон измерения 0,04-1,6 МПа) с повышенной динамической характеристикой. Погрешность измерения  $\pm 1,0-1,5$  %. Напряжение питания 220 В, 50 Гц. Типовым датчиком давления является также и прибор типа МТ-100. По диапазону измерения 0-100,0 МПа он превышает характеристики «Сапфира», по погрешности измерения  $\pm 0,25$ ; 0,5; 1,0 и напряжению питания 36 В – является его аналогом. Все серийно выпускаемые приборы имеют соответствующее метрологическое обеспечение, значительный межповерочный интервал, гарантийное и сервисное обслуживание.

## Скорость течения воды в водотоках

Методы и средства измерения скорости течения воды отличаются большим разнообразием. Основными методами измерения скорости являются кинематический, тахометрический, меточный, тепловой, гидродинамический, акустический (ультразвуковой) и электромагнитный методы [46, 48, 68, 69]. Исходя из особенностей средств измерения скорости, их можно разделить на три группы.

I группа. Приборы и устройства, реализующие меточный метод или метод смешения (метки течения в виде поплавков и вносимых в поток веществ).

II группа. Приборы и устройства, принцип действия которых основан на использовании физических эффектов, создаваемых текущей водой:

- ультразвуковые установки, использующие эффект различия скоростей распространения звука по течению и против него;

- электромагнитные измерители скорости, измеряющие разность потенциалов, возникающих в воде при ее протекании через электромагнитный контур;

- термогидрометры, в которых используется тепловое взаимодействие чувствительного элемента и обтекающих его струй воды.

III группа. Приборы, основанные на гидродинамическом взаимодействии с потоком воды – гидрометрические вертушки, гидродинамические трубки, гидрофлюгеры, механические и электронные динамометры.

Из всего многообразия средств измерения скорости течения жидкости в эксплуатационной гидрометрии наибольшее применение получили гидрометрические вертушки и ультразвуковые установки.

За рубежом на производстве средств водоучета на основе измерителей скорости водного потока (гидрометрических вертушек) специализируется достаточно большое количество фирм. Из американских производителей можно выделить фирму Swoffer Inc. (США), производящую приборы Swoffer 2100, 2200 и 3000, включающие в себя гидрометрическую вертуш-

ку, вторичный прибор, набор сменных лопастей оригинальной чашечной конструкции, раздвижную штангу и комплект соединительных проводов. Вторичный прибор осуществляет индикацию значений скорости, расхода (модели 2200 и 3000), запись результатов измерения в память и связь с ПЭВМ (модель 3000).

В Европе безусловным лидером в производстве средств водоучета является фирма ОТТ Messtechnik (Германия). В настоящее время фирма предлагает приборы С2, С20 и С31 на основе микровертушек с оптическими датчиками. Они могут комплектоваться как простейшими индикаторами, рассчитанными на работу с секундомером (аналог отечественной серии ГР), так и цифровыми вторичными приборами.

Другой интересный продукт этой же фирмы – Nautilus 2000 на основе электромагнитного измерителя скорости, позволяющий преодолеть принципиальный недостаток гидрометрических вертушек – невозможность измерения малых значений скорости (менее 2,5 см/с).

Говоря о фирме ОТТ Messtechnik, нельзя не упомянуть ее оригинальный многофункциональный прибор Delphin, позволяющий одновременно измерять скорость, направление и температуру водного потока. Комплект включает автоматизированную мини-лебедку, вторичный прибор по виду и функциональной насыщенности напоминающий ПК класса Notebook.

В таблице 26 приведены технические характеристики наиболее известных средств измерения скорости течения воды отечественной и зарубежной разработок.

**Таблица 26 – Средства измерения скорости течения воды**

Тип устройства (страна-изготовитель)	Диапазон измерения	Погреш- ность из- мерения	Выходная информация	Электропи- тание
1	2	3	4	5
Гидрометрические вертушки				
Гидрометрическая вертушка ГР-99 (Россия)	0,05-5,0 (м/с)	± 2-5 (%)	Визуальная	Постоянное 30 В
Гидрометрическая вертушка ВГ-1-120/70 (Россия)	0,15-5,0 (м/с)	± 2-5 (%)	Визуальная	Постоянное 6 В

Продолжение таблицы 26

1	2	3	4	5
Гидрометрическая вертушка С 31 (Германия)	0,25-10,0 (м/с)	$\pm 1,0$ (%)	Визуальная	Постоянное 6 В
Гидрометрическая вертушка М 2010 (США)	0,03-7,5 (м/с)	$\pm 1,0$ (%)	Визуальная	Постоянное 9 В
Гидрометрическая вертушка М 3000 (США)	0,032-7,5 (м/с)	$\pm 1,0$ (%)	Визуальная	Постоянное 9 В
Электромагнитные измерители скорости				
Измеритель скорости «Зонд» (Россия)	0-10,0 (м/с)	$\pm 2,5-4,5$ (%)	Визуальная	Постоянное 12 В
Измеритель течения «Наутилус С 2000» (Германия)	0-2,5 (м/с)	$\pm 1,0$ (%)	Визуальная	Постоянное 12 В
Измеритель течения ОМЕГА FMG-50 (США)	0,7-10,0 (м/с)	$\pm 2,0$ (%)	Аналоговый сигнал 4-20 мА	Постоянное 24 В
Прочие типы измерителей скорости				
Измеритель скорости акустический АИР-А(К) (Россия)	0,01-3,0 (м/с)	$\pm 1,5$ (%)	Визуальная	Переменное 220 В, 50 Гц
Радиометр РД-1С (Россия)	$\geq 0,001$ (см/с)	$\pm 0,05$ (см/с)	Визуальная	Постоянное 12 В
Радиометр РД-1С (Россия)	$\geq 0,001$ (см/с)	$\pm 0,05$ (см/с)	Визуальная	Постоянное 12 В
Динамический датчик скорости ОМЕГА FSW-52 (США)	0,7-5,0 (м/с)	$\pm 10,0$ (%)	Визуальная	Переменное 125; 250 В, 60 Гц
Электролитический отметчик скорости ГГИ (Россия)	0-1,5 (м/с)	$\pm 0,5$ (%)	Визуальная	Постоянное 6-12 В

Анализ приведенных данных показывает, что наиболее широко применяемые динамические измерители скорости типа «гидрометрическая вертушка» по метрологическим характеристикам не имеют существенных отличий. Диапазон измерения скорости 0,15-10,0 м/с, погрешность измерения  $\pm 1,0-2,0$  %. Следует отметить более низкую погрешность измерения зарубежных вертушек фирм ОТТ (Германия) и Swoffer (США)  $\leq \pm 1,0$  %, что достигается высоким качеством изготовления элементов устройства. Выходная информация о скорости потока представляет собой усредненные по времени итерации данные, выведенные на цифровое табло (дисплей) прибора. Вследствие этого гидрометрические вертушки могут применяться лишь для текущего контроля скорости течения в водотоках, градуировки и поверки водомерных ГТС.

Электромагнитные измерители скорости еще не получили должного распространения, хотя по эксплуатационным характеристикам они лучше гидрометрических вертушек. Диапазон измерения скорости 0-10,0 м/с, т.е. имеется возможность измерения очень малых скоростей. Погрешность измерения составляет  $\pm 1,0-4,5$  %. Наиболее совершенным прибором является новый измеритель течения «Наutilus С 2000» фирмы ОТТ (Германия). Высокоточный, малогабаритный и легкий прибор, простой в обслуживании, он, несомненно, заменит гидрометрические вертушки.

Прочие типы измерителей скорости представлены с целью оценки технического уровня и анализа тенденций совершенствования измерителей актуальной скорости течения в потоке жидкости.

Термоизмерители скорости, электролитические и радиометрические измерители предназначены, в основном, для измерения малых и сверхмалых скоростей течения воды. Погрешность измерения существенно зависит от периодичности калибровки прибора и условий измерения. В ближайшей перспективе не следует ожидать их массового применения.

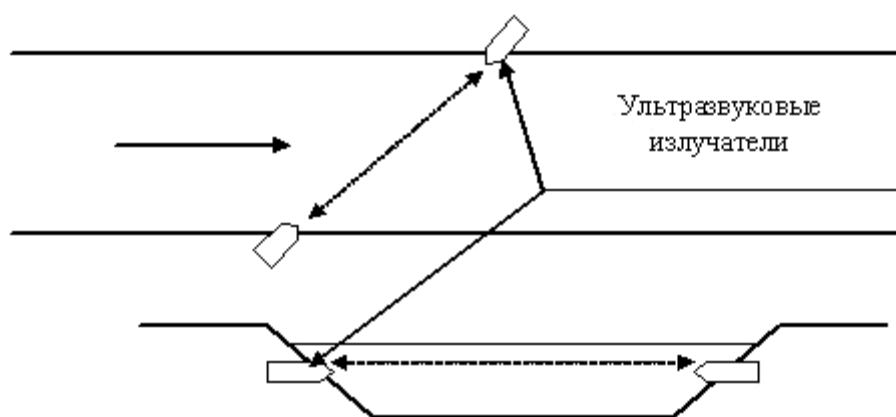
Динамический датчик скорости OMEGA FSW-52 (США) представляет собой разновидность измерителей скорости, конструктивно выполненных в виде погруженного в поток тела (стержень, лопатка и т.д.), на которое воздействует скоростной напор жидкости. Особенности устройства таких датчиков позволяют применять их в качестве стационарных измерителей скоростей на различных ТОУ ОС.

Акустические (ультразвуковые) измерители скорости, в силу особенностей метода измерения, используются в составе ультразвуковых измерителей расхода, так как определяют величину средней скорости по сечению потока. Имеется ряд экспериментальных конструкций ультразвуковых измерителей скорости в точке потока, но массового применения они не получили.

## Расход воды

Расход воды как определяемый гидравлический параметр есть производная величина от базовых гидравлических параметров – уровня и скорости потока в водоводе. Классифицировано семь основных методов определения расхода воды [72]: гидродинамический, тахометрический, физический, меточный, парциальный, концентрационный и корреляционный. Реализация любого метода предполагает обязательное наличие двух технических компонентов – преобразователя расхода и прибора (устройства) измерения скорости потока. Преобразователями расхода могут служить «фиксированные» участки русла или закрытого водовода, сужающие устройства разнообразных типов и конструкций, специальные устройства по парциальному делению потока на составляющие и т.д.

В последнее время для устранения недостатков метода «скорость-площадь» предлагаются к использованию специальные измерители средней скорости потока по всему сечению русла. Речь идет об ультразвуковых измерителях скорости, зондирующих поток по всей ширине в плане и полойно по глубине потока (рисунок 8).



**Рисунок 8 – Способ ультразвукового зондирования потока для определения средней скорости (расхода) воды в открытых каналах**

Анализ типовых решений гидromетрических сооружений для открытых ОС показывает их ориентацию на преимущественное использование

метода измерения расхода «скорость-площадь», основанного на аналитической зависимости:

$$Q = V \cdot \omega, \quad (7)$$

где  $Q$  – расход воды в водотоке;

$V$  – средняя скорость потока;

$\omega$  – площадь «живого» сечения потока.

При всей простоте этого метода практически крайне сложно достоверное определение средней скорости потока. В большинстве вариантов метода «скорость-площадь» этот параметр определяется аналитическим способом по совокупности других прямо измеряемых параметров водного потока.

Пока этот способ измерения средней скорости для открытых каналов рекомендован нормативно-методическими документами [48, 68], но, к сожалению, не реализуется в практике эксплуатационной гидрометрии из-за отсутствия отечественных серийно выпускаемых средств измерения для открытых каналов ОС и очень высоких ценовых показателей зарубежных средств измерений.

В перспективе этот способ станет основным на открытых каналах вследствие простоты выполнения измерения и высокой достоверности получаемых результатов. Для этого потребуется усовершенствовать методику и технические средства послойного зондирования потока воды. Вполне возможно будут использоваться и технически более совершенные измерительные приборы, работа которых основана на эффекте Доплера.

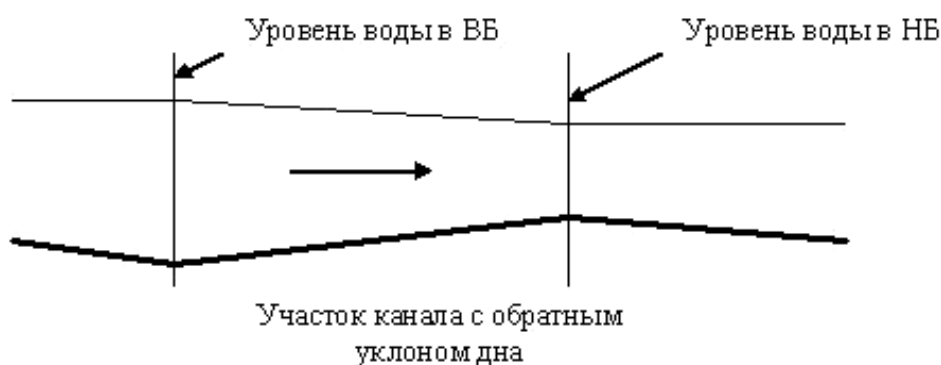
Аналогичный способ измерения средней скорости потока применим и для закрытых трубчатых водоводов. Такого рода водоводы применяются и на трубчатых водовыпусках, сопрягающих ГТС типа дюкер, мостовой переход и т.п. Для таких сооружений уже сейчас имеются серийно выпускаемые средства измерения отечественного производства.

Для технического водоизмерения в целях информационного обеспечения управления технологическими процессами на ОС вполне применим



новый способ измерений расхода воды в открытых каналах «уклон-площадь» [147]. Область применения способа «уклон-площадь» ограничена сложностями создания необходимых условий измерений (обратный уклон дна русла на определенном участке и высокое качество облицовки канала), а также высокими требованиями к градуировке контрольных створов, необходимых для достижения достоверности измерения расхода воды.

Способ измерения основан на измерении уровней воды в контрольных створах специально спрофилированного русла канала (рисунок 9).



**Рисунок 9 – Способ измерения расхода воды в открытых каналах по методу «уклон-площадь»**

В таблице 27 приведены технические характеристики наиболее распространенных типов расходомерных устройств. Перечень включает измерительные приборы для напорных трубопроводов и открытых русел искусственных каналов и безнапорных трубопроводов.

**Таблица 27 – Средства измерения расхода в напорных трубопроводах и открытых каналах**

Тип устройства	Диапазон измерения	Погрешность	Выходная информация	Электропитание
1	2	3	4	5
Трубопроводы				
Ультразвуковой расходомер УЗРВ-ВМ (Россия)	0,00063-31,5 м <sup>3</sup> /с при $D_y = 50-2400$ мм	± 1,5 (%)	Аналоговый сигнал 4-20 мА	Переменное напряжение 220 В, 50 Гц
Ультразвуковой счетчик «Расход-7» (Россия)	0,1-5000 м <sup>3</sup> /ч при $D_y = 10-1400$ мм	± 0,5-1,0 (%)	Аналоговый сигнал 0-5 мА	Переменное напряжение 220 В, 50 Гц
Преобразователь расхода ультразвуковой ПИР-3 (Россия)	0,1-12,0 м/с при $D_y = 20-1600$ мм	± 1,5 (%)	Аналоговый сигнал 0-5; 0-20 мА	Постоянное напряжение 24 В

Продолжение таблицы 27

1	2	3	4	5
Ультразвуковой расходомер «Днепр-7» (Россия – Украина)	0,1-43429 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 20-1600 мм	± 1,5 (%)	Аналоговый сигнал 0-5; 4-20 мА	Постоянное напряжение 12 В
Ультразвуковой расходомер-счетчик «Взлет» УРСВ-010 М (Россия)	0,05-529200 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 50-4200 мм	± 1,0 (%)	Аналоговый сигнал 0-5; 0-20; 4-20 мА	Постоянное напряжение 10-15 В
Ультразвуковой расходомер SITRANS F US (Украина)	0,3-450000 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 50-4000 мм	± 0,5 (%)	Аналоговый сигнал 0-5; 0-20; 4-20 мА	Переменное напряжение 220 В
Расходомер SLS-700F (США)	0,9-650000 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 15-6000 мм	± 1 (%)	Аналоговый 4-20 мА	Постоянное напряжение 8-36 В
Расходомер воды корреляционный ДРК-4 (Россия)	2,7-452000 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 80-4000 мм	± 1,5 (%)	Аналоговый сигнал 0-5; 0-20; 4-20 мА	Постоянное напряжение 36 В
Расходомер ультразвуковой АКРОН-01 (Россия)	8-40000 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 40-2000 мм	± 1,5 (%)	Аналоговый сигнал 0-5; 0-20; 4-20 мА	Переменное напряжение 220 В
Расходомер ультразвуковой УРЖК 2К (Россия)	D <sub>y</sub> = 30-1800 мм		Аналоговый сигнал 4-20 мА	Переменное напряжение 220 В
Ультразвуковой расходомер OMEGA FD-301 (США)	0,5-350 м <sup>3</sup> /ч при D <sub>y</sub> = 20-300 мм	± 2,0 (%)	Аналоговый сигнал 0-5; 4-20 мА	Постоянное напряжение 12 В
Электромагнитный микропроцессорный преобразователь расхода РОСТ-1 (Эстония)	0,5-10,0 м/с при D <sub>y</sub> = 460-1000 мм	± 0,5 ± 1,0 (%)	Аналоговый сигнал 0-5; 4-20 мА	Переменное напряжение 200 В, 50 Гц
Электромагнитный расходомер «Badger's Magnetoflow» (США)	0,03-10,0 м/с при D <sub>y</sub> = 15-1400 мм	± 0,5 (%)	Аналоговый сигнал 0-20; 4-20 мА	Постоянное напряжение 24 В
<b>Б. Открытые русла</b>				
Расходомер-счетчик ультразвуковой ВЗЛЕТ РСЛ (Россия)	0-0,2 м <sup>3</sup> /с при уровне воды 0-4000 мм	± 3,0-5,0	Аналоговый сигнал 0-5; 0-20; 4-20 мА	Постоянное напряжение 24 В
Расходомер с интегратором акустический ЭХО-Р-02 (Россия)	0-0,2 м <sup>3</sup> /с при уровне воды 0-4000 мм	± 3,0 (%)	Аналоговый сигнал 0-5; 0-20; 4-20 мА	Переменное напряжение 220 В
Расходомер переносной ультразвуковой РП (Кыргызстан)	0,1-0,6 м <sup>3</sup> /с (расход удельный) при глубине 0,1-0,6 м	± 3,0 (%)	Визуальная	Постоянное напряжение 9-12 В

Теоретический и практический интерес представляют метрологические характеристики специальных расходомерных устройств как серийно выпускаемых, так и экспериментальных вариантов, построенных на иных, нетрадиционных методах определения расхода. Средства измерения ско-

рости и расхода воды реализуют гидродинамический, тахометрический, физический и парциальный методы определения расхода.

Метрологические характеристики расходомеров для трубопроводов практически идентичны: погрешность от  $\pm 0,5$  до  $\pm 1,5$  %; выходная информация – стандартный аналоговый сигнал 0-5; 4-20; 0-20 мА; измеряется объемный расход. Эксплуатационные характеристики по массе расходомера и потребляемой мощности энергопитания лучше у ультразвуковых расходомеров.

Следует отметить также ряд экспериментальных вариантов ультразвуковых расходомеров отечественной разработки 80-х гг. Для открытых каналов наиболее совершенный из них – расходомер переносной ультразвуковой типа РП с погрешностью измерения  $\pm 3$  %.

Меточные и концентрационные методы измерения расхода воды в открытых руслах основаны на введении в поток меток в виде поплавков, радиоизотопных меток, солевого раствора и т.п. Для определения величины расхода требуется либо визуальное наблюдение с фиксацией времени прохождения меток через контрольные створы, либо измерение концентрации солевого раствора в начальной и конечной точках участка потока. В любом случае требуется применение комплекса приборов и устройств, что усложняет метод. Поэтому такие методы используются, в основном, для ориентировочного определения расхода или для градуировки гидрометрических сооружений. Погрешность определения расхода колеблется в пределах от  $\pm 0,3$  % до  $\pm 10$  %.

### **2.2.2 Методы и средства измерения линейно-угловых параметров**

Приоритетной задачей линейно-угловых измерений является получение первичной информации для определения площади живого сечения потоков в открытых руслах и в водопроводящих трактах ГТС. Фактически требуется оперативное измерение ширины и глубины потока в контрольном створе при различных режимах течения воды.

В таблице 28 приведены технические характеристики средств измерения и контроля линейно-угловых параметров для технологического оборудования ОС.

**Таблица 28 – Средства измерения линейно-угловых параметров технологического оборудования оросительных систем**

Тип устройства (страна-изготовитель)	Диапазон измерения	Погрешность измерения	Выходная информация	Электропитание
Измеритель положения затвора ИПЗ-2 (Россия)	0-1,0 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Визуальная. Аналоговый сигнал 0-5 мА	Постоянное 36 В
Колонка дистанционного управления с сервомотором КДУ-11-П (Россия)	0-0,8 (м)	$\pm 0,005$ (м)	Аналоговый сигнал 0-5; 4-20 мА	Переменное 220 В
Счетчик унифицированный О-17С (Россия)	0-999 (м)	$\pm 0,1$ (м)	Визуальная	-
Счетчик со сбросом на нуль С-52М (Россия)	0-999 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Визуальная	-
Угловой кодировщик «THALES» (Германия)	0-360°	$\pm 0,5$ (%)	Цифровая информация	Постоянное 1,5 В
Эхолот «Кубань» (Россия)	0,2-20,0 (м)	$\pm 1,5$ (%)	Визуальная	Постоянное 24 В
Гидрометрическая штанга (Россия)	0-3,0 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Визуальная	-
Гидрометрическая дистанционная установка ГР-70 (Россия)	Ширина потока 0-100,0 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Визуальная	Постоянное 12 В
Канатный кран фирмы ОТТ (Германия)	Ширина потока 0-300,0 (м)	$\pm 0,01$ (м)	Визуальная	-

В плоских щитовых затворах, оборудованных винтовым подъемником, перемещение щита и, соответственно, величина открытия затвора, измеряется по числу оборотов гайки ходового винта подъемника. Для этих целей используются приборы типа ИПЗ-1 и ИПЗ, различающиеся видом выходной информации, передаваемой на ЦДП на системе телемеханики. При неизношенных шарнирных соединениях привода затвора погрешность измерения перемещения щита может достигать  $\pm 1$  см.

Более точное определение перемещения щита возможно с использованием штриховой меры (специальная измерительная рейка или штанга). В этом случае погрешность измерения может достигать  $\pm 0,5$  м независимо

от технического состояния привода затвора. Однако информация об открытии щита затвора будет только визуальной.

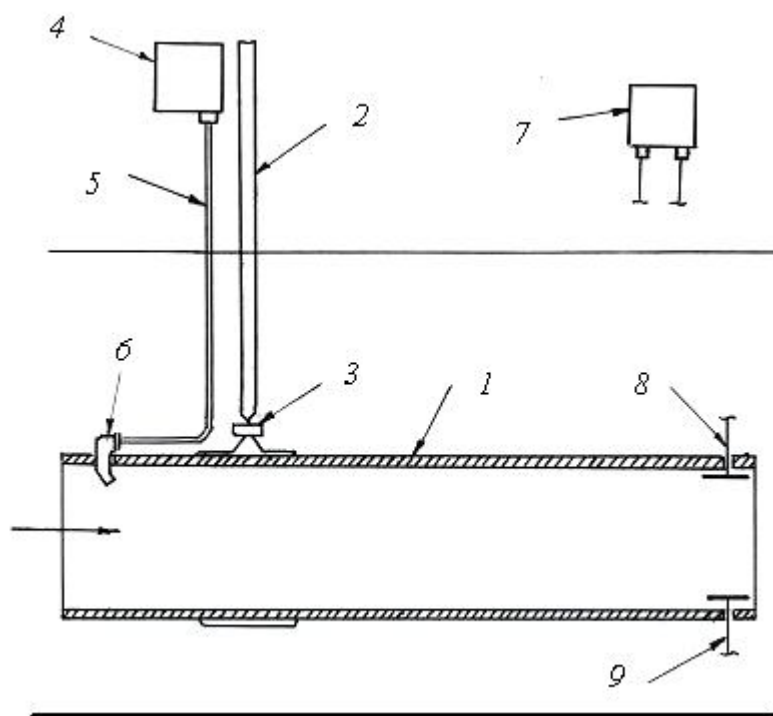
В сегментных затворах вследствие нелинейности траектории перемещения нижней кромки затвора используются косвенные методы измерения величины открытия затвора. Метод не дает достаточной точности измерения величины открытия щита. При тщательной калибровке относительная погрешность может быть доведена до  $\pm 2-5$  см. Использование штриховых мер затруднительно из-за отсутствия базовой плоскости измерения и влияния динамического давления потока. Тем не менее, погрешность измерения может быть снижена до  $\pm 1-2$  см.

Второй задачей, решаемой с использованием линейно-угловых измерений, является определение ширины и глубины потока как в фиксированных, так и нефиксированных руслах водотоков. В мелиоративных каналах эти задачи решаются с помощью гидрометрических дистанционных установок типа ГР-64 М и ГР-70. Погрешность измерения ширины и глубины русла адекватна и определяется погрешностью измерения длины вытравленного троса устройства. Для установок ГР-64М и ГР-70 данная погрешность составляет  $\pm 0,01$  м.

В реках, водоемах (водохранилищах, БСР и т.п.) для измерения глубины при глубинах до 10-12 м и ширине русла до 100 м использовались установки ГР64-М или ГР-70. При больших величинах измеряемого параметра применяются эхолоты типа «Кубань» и им подобные специальные глубиномерные устройства с лебедкой и счетчиком длины вытравленного троса 0-17С, С-52М и т.п. Диапазон измеряемых глубин составляет от 0 до 100 м при максимальной погрешности измерения глубины  $\pm 1$  м или  $\pm 1$  %. При меньших глубинах погрешность измерения снижается и в пределах может составить  $\pm 0,1$  м.

### 2.3 Новые научно-исследовательские разработки в области измерений параметров водного потока для обеспечения водоучета на открытых каналах оросительных систем

Совершенствование средств измерений для открытых водотоков (речные русла, открытые искусственные каналы и т.п.) идет по двум направлениям. Основное направление – это разработка новых, все более совершенных в техническом плане измерительных приборов. В ФГБНУ «РосНИИПМ» с участием автора разработан ряд новых конструкций устройств для измерения скорости движения жидкости. Одним из таких устройств является электролитический измеритель скорости течения воды (патент РФ № 2230328 G 01 P 5/20, G 01 F 1/708). Схема устройства представлена на рисунке 10.



**Рисунок 10 – Электролитический измеритель скорости течения воды**

Устройство состоит из трубчатого патрубка 1, несимметрично закрепленного на штанге крепления 2 при помощи шарнирного соединения 3 для обеспечения свободного вращения трубчатого патрубка 1 в горизонтальной плоскости, дозатора подачи электролита 4 (например, солевого раствора), подающей трубки 5, сопла впрыска 6, расположенного во вход-

ном участке трубчатого патрубка 1, измерителя 7 времени прохождения солевого облака по базису измерения, пары электродов 8, встроенных на некотором расстоянии от сопла впрыска 6 внутри трубчатого патрубка 1, и пары электродов 9, встроенной внутри выходного участка трубчатого патрубка 1.

Каждый из электродов выполнен в виде пары кольцевых электропроводящих пластин ленточного сечения, жестко закрепленных на внутренней стенке трубчатого патрубка. Электролитический измеритель скорости течения воды работает следующим образом. При помещении устройства в поток происходит самоориентация трубчатого патрубка по линиям тока воды за счет его несимметричного присоединения шарнирным соединением к штанге крепления.

Функцию направляющего элемента выполняет удлиненная часть трубчатого патрубка, которая создает вращающий момент относительно штанги крепления в случае несовпадения продольной оси трубчатого патрубка с направлением линий тока воды. После этого дозатором подачи электролита через подающую трубку и сопло впрыска производится импульсный ввод электролита во входной участок трубчатого патрубка. Образовавшееся солевое облако перемещается внутри трубчатого патрубка до зоны размещения первой пары электродов. В момент получения максимальной величины электрического импульса с пары электродов измеритель фиксирует начало процесса измерения. Далее солевое облако, двигаясь по базису измерения, достигает пары электродов и в момент получения максимальной величины электрического импульса с пары электродов измеритель фиксирует окончание процесса измерения.

Скорость течения воды  $V$  определяется по формуле

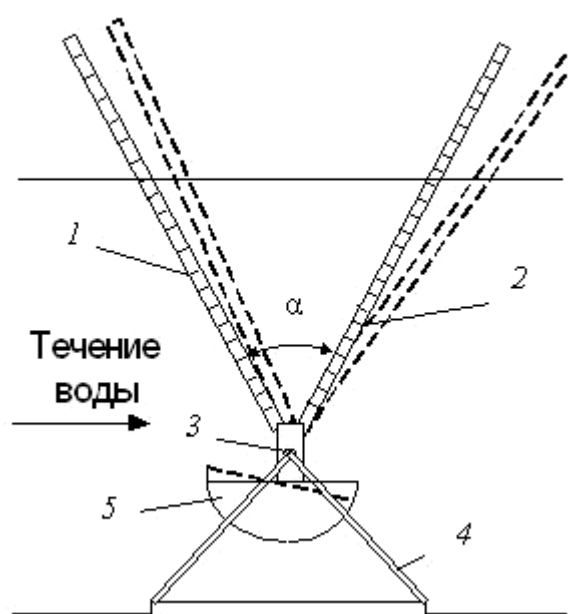
$$V = \frac{k \cdot S}{t}, \quad (8)$$

где  $k$  – поправочный коэффициент устройства, учитывающий изменение скоростной структуры потока внутри трубчатого патрубка 1;

$S$  – длина базиса измерения, в трубчатом патрубке;

$t$  – продолжительность цикла измерения, определяемая измерителем как разность между временем фиксации прохождения солевым облаком зон размещения пар электродов.

Более простую конструкцию имеет устройство для измерения средней скорости воды в открытых водотоках (патент на полезную модель № 39713 G 01 P 5/02). Устройство, представленное на рисунке 11, относится к области гидрометрии и может использоваться для измерения средней скорости воды в речных руслах и гидромелиоративных каналах.



**Рисунок 11 – Устройство для измерения средней скорости воды в открытых водотоках**

Конструкция устройства включает две гидрометрические рейки 1 и 2, нижними концами соединенные между собой под острым углом  $\alpha$ , а узел соединения гидрометрических реек 3 шарнирно связан с поддоном 4, расположенным на дне русла водотока, и жестко объединен с противовесом 5. Для упрощения эксплуатации гидрометрические рейки имеют одинаковую штриховую меру длины, что позволяет производить дистанционный визуальный съем информации с гидрометрических реек и выполнять расчет средней скорости воды без корректировки положения элементов устройства.



Устройство работает следующим образом. После помещения конструкции в поток воды, с условием устойчивого размещения поддона на дне русла водотока, на гидрометрические рейки будет оказываться гидродинамическое воздействие, пропорциональное скорости течения воды и отклоняющее гидрометрические рейки по направлению потока. Противовес через узел соединения реек противодействует изменению начального положения гидрометрических реек.

С повышением скорости потока увеличивается гидродинамическое воздействие, которое еще более изменяет положение гидрометрических реек. Соответствующее изменение положения противовеса, обеспечиваемое шарнирной связью узла соединения гидрометрических реек с поддоном, увеличивает величину момента вращения, компенсирующего увеличение гидродинамического воздействия на гидрометрические рейки.

Средняя скорость течения воды по глубине потока определяется по формуле:

$$V = K\Delta h, \quad (9)$$

где  $K$  – коэффициент соответствия, определяемый при градуировке устройства;

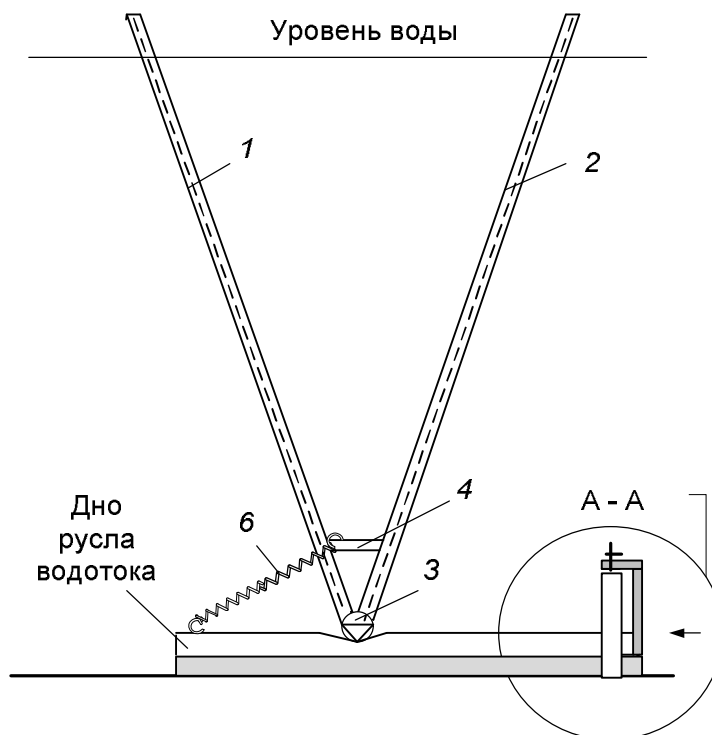
$\Delta h$  – разность отсчетов текущего уровня воды по первой и второй гидрометрическим рейкам.

Независимость процесса измерения от текущего уровня воды в русле водотока существенно упрощает эксплуатацию устройства и достоверность определения скорости воды. Введение противовеса вместо упругой связи измерительного элемента с поддоном повышает стабильность и достоверность измерения средней скорости потока.

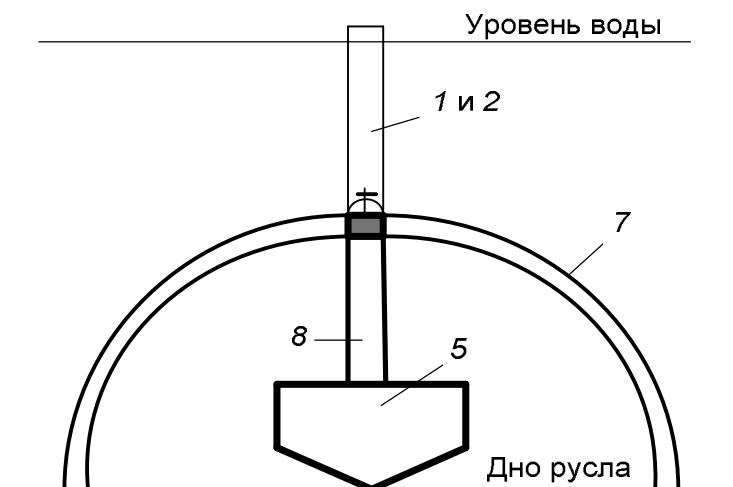
Модификацией описанного устройства является новое устройство для измерения средней скорости течения воды в открытых водотоках (патент РФ № 2396568). Устройство относится к области гидрометрии и может использоваться для измерения средней скорости течения воды в гидромелиоративных каналах и речных руслах.

Для повышения точности измерений и упрощения эксплуатации устройства блок гидрометрических реек оснащен механизмом противодействия гидродинамическому воздействию потока воды в виде пружин, связывающих их с поддоном устройства, который дополнительно оснащен механизмом вертикальной ориентации гидрометрических реек в потоке.

На рисунках 12 и 13 изображена схема устройства для измерения средней скорости течения воды в открытых водотоках.



**Рисунок 12 – Схема устройства для измерения средней скорости течения воды в открытых водотоках**



**Рисунок 13 – Схема устройства для измерения средней скорости течения воды в открытых водотоках (вид А-А)**

Устройство включает две гидрометрические рейки 1 и 2, закрепленные своими нижними концами в узле соединения 3 и жестко связанные перемычкой 4, установленной на некотором расстоянии от узла соединения 3, с образованием острого угла между гидрометрическими рейками 1 и 2. Узел соединения 3 шарнирно связан с продольным брусом-опорой устройства 5, передний конец которого связан пружинами 6 с перемычкой 4.

Гидрометрические рейки устройства имеют одинаковую штриховую меру длины, что позволяет производить визуальный съем информации с гидрометрических реек и выполнять расчет средней скорости воды в вертикальном сечении потока без изменения положения элементов устройства в русле водотока. Для учета наклона дна русла водотока (например, боковые стенки канала трапецеидального сечения) производится предварительная корректировка вертикальной ориентации гидрометрических реек относительно дна русла водотока.

Ориентация гидрометрических реек 1 и 2 в вертикальной плоскости обеспечивается механизмом поворота, выполненным в виде поперечной арочнообразной направляющей 7, опирающейся своими концами на дно русла. По направляющей 7 перемещается конец связующего стержня 8 с возможностью фиксации на ней. Противоположный конец связующего стержня 8 жестко связан с задним концом продольного бруса-опоры устройства 5.

Устройство работает следующим образом. Перед помещением устройства в водоток устанавливается положение механизма вертикальной ориентации гидрометрических реек в зависимости от профиля дна и боковых откосов русла водотока. После помещения устройства в поток воды с условием устойчивого размещения продольного бруса-опоры устройства 5 на дне русла водотока, на гидрометрические рейки 1 и 2 будут оказывать гидродинамическое воздействие пропорциональное скорости течения воды и отклоняющие гидрометрические рейки 1 и 2 по направлению потока. Пружины 6, связывающие перемычку 4 с продольным брусом-опорой

устройства 5, за счет растяжения противодействуют изменению начального положения гидрометрических реек 1 и 2. С повышением скорости потока увеличивается гидродинамическое воздействие на гидрометрические рейки 1 и 2, которое еще более изменяет их положение, соответственно увеличивая противодействие пружин 6.

Средняя скорость течения воды по глубине в вертикальном сечении потока определяется по формуле:

$$V = K\Delta h, \quad (10)$$

где  $K$  – коэффициент соответствия, определяемый при градуировке устройства;

$\Delta h$  – разность отсчетов уровня воды по первой и второй гидрометрическим рейкам.

Повышение точности измерения средней скорости течения воды и упрощение эксплуатации устройства достигается независимостью процесса измерения от текущего уровня воды в русле водотока, введением упругой связи измерительного элемента с продольным брусом-опорой устройства и применением механизма регулирования их вертикальной ориентации, что расширяет диапазон измерения средней скорости течения воды и эксплуатационные возможности устройства по применению его на руслах водотоков различных конфигураций.

Описанные конструкции устройств для измерения скорости воды позволяют применять одноточечный способ определения расхода воды в открытых руслах каналов [22, 104, 147]. Автором ведутся работы по совершенствованию устройств в части улучшения метрологических характеристик и обеспечения возможности автоматизации получения данных о параметрах водного потока и их дистанционной передаче на ЦДП.

### **Новые технологии и средства измерения расхода воды для метрологической аттестации пунктов водоучета**

Для эффективного использования простейших и недорогих средств измерения скорости и расхода воды на открытых каналах требуется высо-

кочная градуировка контрольных створов в пунктах водоучета и водоизмерения. В настоящее время появились новые технологии и приборные комплексы, позволяющие значительно упростить процедуры градуировки контрольных створов в речных руслах и открытых искусственных каналов различного профиля с одновременным снижением суммарной погрешности измерения параметров водного потока.

Среди наиболее интересных разработок можно выделить измерительную систему *RiverSurveyor* [93], основанную на использовании измерительного прибора – акустический доплеровский профилограф течения далее (ADP). ADP – это прибор, измеряющий скорость движения воды с использованием доплеровского эффекта. Производителем и поставщиком приборного комплекса является фирма SonTek. ADP поставляется фирмой SonTek в составе системы *RiverSurveyor*, ключевым компонентом которой он и является.

Гидрометрические работы с применением системы *RiverSurveyor* очень просты и обычно требуют всего нескольких минут для пересечения реки на катере. В результате практически мгновенно измеряется поле скоростей потока, все данные о размерах и форме поперечного сечения реки и расход воды в ней. ADP особенно полезен для выполнения экспресс-измерений расходов воды в крупных реках и каналах при неустановившемся движении воды.

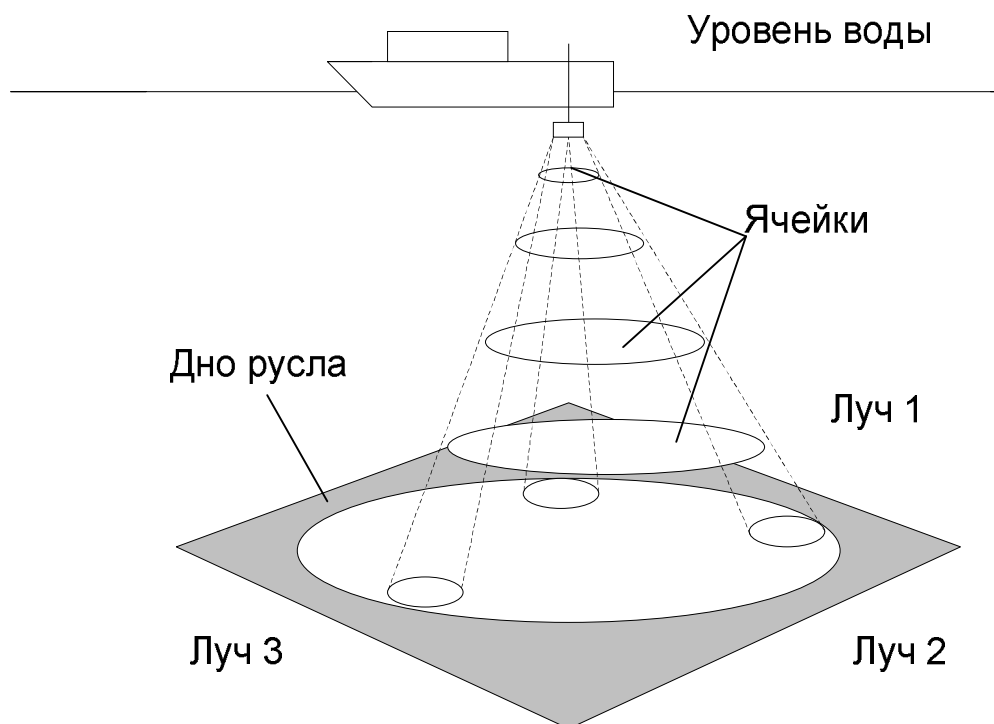
Традиционные стандартизированные методы и приборы измерения течений с помощью гидрометрических вертушек подразумевают измерение скорости течения воды в фиксированных точках, расположенных на разной глубине на скоростных вертикалях поперечного сечения потока. Вертушка крепится на тросе или гидрометрической штанге. Подобные работы требуют усилий многих людей и больших затрат времени, измеряемых часами.

Применение системы *RiverSurveyor* для измерения полей скоростей течения и расходов воды в реальном времени имеет следующие преимущества:

- 1) уменьшение количества людей, выполняющих гидрометрические работы;
- 2) уменьшение времени измерения стока в поперечном сечении реки (от часов до минут).
- 3) возможность одной командой специалистов выполнять гидрометрические работы на многих реках и каналах в течение небольшого промежутка времени, в том числе при неустановившемся движении воды с быстро изменяющимися расходами воды в каналах;
- 4) значительное снижение стоимости любых работ, как в полевых условиях, так и при последующей камеральной обработке;
- 5) практически мгновенная обработка и визуализация любых измерений на компьютере, работающем в системе *RiverSurveyor*;
- 6) увеличение точности данных измерений благодаря непрерывному измерению профиля скорости во всем поперечном сечении потока;
- 7) усовершенствование системы учета стока на сети гидрологических станций и постов;
- 8) корректный учет вихрей и водоворотов при вычислении расхода воды;
- 9) получаемые в результате измерений данные могут легко экспортироваться программой *RiverSurveyor* для использования в компьютерных моделях.

Большинство моделей ADP имеет три ультразвуковых датчика-преобразователя для измерения скорости течения. Датчики размещены на головке прибора под углом  $25^\circ$  к его вертикальной оси, горизонтальный угол между датчиками равен  $120^\circ$ . ADP позволяет измерять сразу эпюры скоростей потока (далее они называются профилями скоростей) на фиксированных вертикалях. Для этого он определяет скорости течения воды

(обычно усредненные за заданный интервал времени 5-10 секунд) в каждой из ячеек, на которые разбивается поперечное сечение потока. В результате можно получить, например, эпюры скоростей для соответствующей каждой колонке фиксированной вертикали (рисунок 14).



**Рисунок 14 – Технология использования акустического доплеровского профилографа (ADP), установленного на катере**

Прибор может устанавливаться на движущемся катере (датчики-преобразователи направлены вниз) либо в стационарном положении на дне потока (датчики направлены вверх). Перемещая прибор от одного берега реки к другому, мы получаем измеренные скорости в каждой ячейке и в целом поле скоростей в поперечном сечении потока. Во время движения судна от одного берега к другому ADP измеряет скорость течения в большинстве клеток измерения. Однако существуют участки поперечного сечения потока, которые остаются неизмеренными ADP:

1) первый неизмеренный слой находится у поверхности воды (его толщина определяется расстоянием от водной поверхности до верхней границы первой ячейки вертикального профиля);

2) второй неизмеренный участок сечения расположен вдоль нижней части наиболее глубоких измеряемых ячеек на всех вертикальных профилях до дна;

3) участки сечения у речных берегов.

Подобные эпюры скоростей на вертикали можно получить и с помощью серии измерений обычными гидрометрическими вертушками, размещенных в потоке на разных глубинах на одной вертикали. Скорость, измеряемая каждой вертушкой, соответствует скорости, получаемой ADP в центре соответствующей ячейки поперечного сечения потока.

Способность ADP почти одновременно измерять сразу эпюру скоростей на вертикали реализуется посредством фрагментации сигнала по времени опробования: отражения получают по истечении все возрастающего интервала времени, за которое фронт излучаемой звуковой волны вертикально проходит сквозь колонку воды.

ADP посылает сигнал вдоль оси каждого акустического датчика-преобразователя и затем разделяет (фрагментирует) по времени получение отраженного сигнала на каждом датчике в соответствии с ячейками глубины. Далее вычисляются скорость и направление движения воды, которые приписываются центру каждой ячейки глубины по всей измеряемой вертикали.

Системы ADP *RiverSurveyor* выпускаются производителем с разными рабочими частотами для измерения скорости течения на различных глубинах. В таблице 29 перечислены возможности системы в зависимости от рабочей частоты.

**Таблица 29 – Характеристики систем *RiverSurveyor* с разными рабочими частотами**

Частота, МГц	Диапазон профилирования (минимум-максимум), м	Размер ячейки (минимум-максимум), м	Слепая зона (минимум), м	Глубина трассирования дна (максимум), м
0,25	5-180	2-20	1,5	200
0,5	3-120	1-12	1,0	135
1,0	1,2-40	0,25-5	0,7	40
1,5	0,9-25	0,25-4	0,4	30
3,0	0,6-6	0,15	0,2	10



В качестве примера того, как рабочая частота системы влияет на характеристики сбора данных, рассмотрим ADP с рабочей частотой 1,5 МГц. Прибор может производить профилирование течения до глубины 25 м с максимальным разрешением при минимальном размере ячейки, равном 0,25 м. Первые значимые данные получаются на вертикалях с глубиной от 0,9 м. Для сравнения: ADP с рабочей частотой 3,0 МГц может профилировать до глубины 6 м, но с большим разрешением (минимальный размер ячейки – 0,15 м). Наименьшая глубина, при которой возможно профилирование, – 0,6 м.

Из таблицы видно, что чем ниже рабочая частота системы, тем:

- 1) больше диапазон глубин, на котором производится измерение скорости, или профилирование водного столба;
- 2) больше глубина тракирования дна;
- 3) больше расстояние до первой от поверхности измеряемой ячейки диапазона глубин;
- 4) больше размер ячейки.

Во всех конфигурациях системы *RiverSurveyor* используется одно и то же программное обеспечение *RiverSurveyor*.

Все системы поставляются в следующей базовой комплектации:

- 1) акустический доплеровский профилограф (ADP);
- 2) рабочая система отслеживания дна;
- 3) внутренний компас и датчик килевой и бортовой качки;
- 4) CD-ROM с программным обеспечением *RiverSurveyor*.

Системы *RiverSurveyor* позволяют выполнять измерения скорости течения со следующими характеристиками:

- диапазон  $\pm 10$  м/с;
- разрешение 0,001 м/с;
- точность % от измеренной скорости, или  $\pm 0,005$  м/с;
- количество ячеек измерения скоростей по вертикали – до 100 ячеек.

Для каналов ОС наиболее приемлема система *RiverSurveyor*, интегрированная с катамараном *RiverCat*, которая рекомендуется к применению на реках и каналах, где трудно или небезопасно производить измерения с катеров. Катамаран *RiverCat* обычно тянется за человеком, идущим по берегу или мосту, либо крепится к двум тросам, удерживаемым людьми на противоположных берегах реки, либо буксируется за лодкой, плывущей поперек потока.

*RiverCat* включает в себя мини-ADP и электронику с блоком питания, заключенные в «черный ящик», установленный на катамаране. Данные в реальном времени посылаются по радиомодему на находящийся на берегу компьютер с программным обеспечением *RiverSurveyor* и записываются на жесткий диск.

Катамаран разбирается на части, которые легко помещаются в пластиковый кейс. В кейсе помещаются ADP, катамаран, кабели, радио, батареи, коробка с инструментами и антенны. Напрямую к ADP возможно подключение приемника GPS (глобальной системы позиционирования), который через радиомодем передает данные позиционирования по GPS и данные измерения скорости течения.

Интегрированная система с катамараном *RiverCat* включает:

- ADP с головкой диаметром 10 см с внутренним компасом и датчиком килевой и бортовой качки;
- защищенный от воды блок электроники с заменяемыми щелочными батареями;
- алюминиевый катамаран;
- радиомодем RS-232 с антенной;
- кабели питания и связи;
- программу сбора и последующей обработки информации *RiverSurveyor*;
- набор инструментов;
- твердый пластиковый транспортировочный кейс с колесами.

Гидрометрические работы с применением системы *RiverSurveyor* очень просты и обычно требуют всего нескольких минут для пересечения реки на катере.

### **3 Метрологическое обеспечение контроля и измерения технологических параметров водоподачи и водораспределения**

#### **3.1 Сущность и показатели точности контроля и измерения параметров водного потока**

С метрологической точки зрения под измерением понимается «нахождение значений физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств» [88]. По способам получения результатов выделяют следующие виды измерений:

- прямые измерения, при которых искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных;

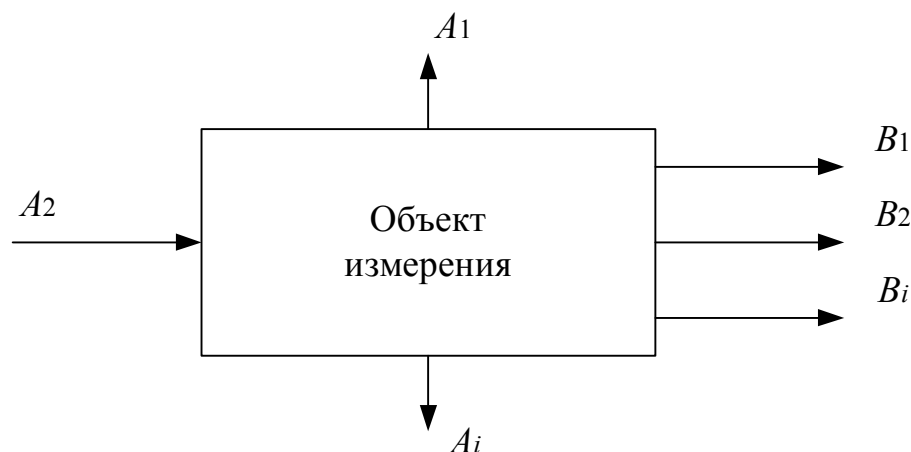
- косвенные измерения, при которых искомое значение величины находят на основании известной зависимости между величинами, подвергаемыми прямым измерениям;

- совокупные измерения, производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, исходя из получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин;

- совместные измерения, производимые одновременно измерения двух или нескольких одноименных величин для нахождения зависимости между ними.

Любой объект измерения можно формализовать в условный физический объект, на который оказывают воздействие внешние возмущения. Преобразуясь внутри объекта, они в виде параметрических показателей определяют состояние объекта. Внешние возмущения могут иметь различную природу возникновения, неопределенный характер изменения во времени и спонтанно воздействовать на объект измерения. В основном внешние возмущения являются следствием сложных гидродинамических про-

цессов, протекающих в водопроводящих трактах ОС. Например, большинство типовых гидрометрических сооружений являются преобразователями расхода воды [85]. Внешние возмущения в виде изменения уровня верхнего и нижнего бьефов сооружения вызывают изменение расхода воды. Причем взаимосвязь имеет, как правило, нелинейный характер (рисунок 15).



$A_{1...i}$  – внешние воздействия;  $B_{1...i}$  – параметрические показатели

**Рисунок 15 – Условный физический объект измерения**

При эксплуатации ОС возникает необходимость измерения или контроля комплекса технологических параметров, которые по видам можно условно разделить на следующие группы:

I группа. Линейно-угловые параметры (длина участка канала, ширина русла, перемещение затвора и т.п.).

II группа. Гидравлические параметры (скорость потока, уровень воды, давление, расход воды в русле).

III группа. Смешанные параметры (площадь «живого» сечения русла, глубина потока, длина смоченного периметра и т.п.).

IV группа. Энергетические параметры (напряжение и величина тока электропитания, потребляемая электрическая мощность и т.д.).

Величины параметров I и IV групп определяются прямыми видами измерений с использованием соответствующих приборов и оборудования. Параметры II и III групп определяют косвенными и частично прямыми видами измерений. Таким образом, в практике могут быть востребованы

прямые, косвенные и совокупные виды измерений. Совместные измерения нетипичны для ОС.

Основными характеристиками качества результата измерения (контроля) считаются точность и достоверность. Повышение точности измерения за счет изменения допустимой погрешности технически сложно, дорогостояще и трудоемко. Поэтому уровень точности, к которому следует стремиться, определяется в основном критерием практической целесообразности, зависящим от конкретных условий и целей измерений.

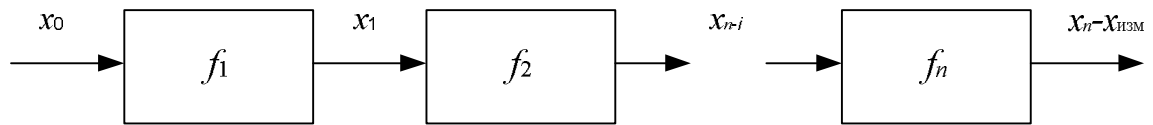
Известно [141], что при проведении измерений в процессе контроля пребывания параметра объекта в допускаемых пределах, качество контроля характеризуется вероятностью необоснованного диагностирования объекта как условно неисправного или вероятностью признания его исправным, даже если его параметры находятся вне допускаемых пределов. Применительно к ОС указанный принцип контроля может быть принят как основополагающий. Предпосылки для принятия такого решения следующие:

- контроль параметров осуществляется методом одноразового прямого измерения;
- технологическая информация формируется с использованием первичных преобразователей контролируемых параметров, промежуточных приборов обработки и передачи информации;
- средства измерения функционируют без постоянного присутствия эксплуатационного персонала в полевых условиях. Энергоснабжение нестабильно.

В таких условиях есть высокая вероятность случайного отказа измерительных приборов или выдача ложных показаний. Вместе с тем, функциональная значимость получаемой технологической информации оказывается весьма высокой. Поскольку в настоящее время все более широкое применение находит блочный принцип построения средств измерений перед потребителем средств измерений встает задача, которая раньше стояла

перед разработчиком средств измерений – определение погрешности систем по известным показателям образующих их блоков.

Одноходовая система может быть представлена в виде каскадного соединения блоков (рисунок 16).



$n$  – номер измерительного блока,  $f_n$  – номинальная статическая характеристика преобразования,  $x_0$  – величина измеряемого параметра

**Рисунок 16 – Каскадное соединение элементов измерительной системы**

Реальные характеристики преобразования отличаются от номинальных статических характеристик преобразования наличием погрешностей преобразования, т.е.

$$x_i = f_i(x_{i-1}) + \Delta_i, \quad (11)$$

где  $x_i$  – реальные характеристики преобразования;

$f_i(x_{i-1})$  – номинальные статические характеристики преобразования;

$\Delta_i$  – погрешность преобразования.

Погрешности преобразования  $i$ -го блока проходят через остальные  $(n - i)$  блоки. Предполагая погрешности преобразования малыми, разлагая характеристики в ряд Тейлора и ограничиваясь в силу малости погрешностей линейными членами, получаем:

$$\Delta = \sum_{n=1}^n A_i A_{n-i}, \quad (12)$$

$$A_i = \prod_{v=i+1}^n, \quad (13)$$

$$df_v / dx_{v-1}. \quad (14)$$

При этом все формулы для суммирования погрешностей при косвенных измерениях остаются в силе и при суммировании погрешностей блоков измерительной системы. Отличие состоит в том, что при анализе погрешностей косвенных измерений имеем дело с единственным результа-

том измерения, полученном для вполне конкретных условий с фиксированным значением измеряемой величины, а погрешность, определяемую из выражения (12) необходимо рассматривать для всего множества значений измеряемой величины.

При большом числе блоков на основании центральной предельной теоремы как случайная, так и систематическая погрешности будут иметь распределение, близкое к нормальному [88]. В этом случае задание предельно допустимого значения математического ожидания  $m_{\Delta_{\text{доп}}}$  и предельного значения СКО погрешности  $\sigma_{\Delta_{\text{доп}}}$ , полностью характеризует точность средств измерения.

Задачи оптимального перераспределения требований, предъявляемых к измерительному прибору между его блоками, формируется как минимизация его стоимости при наличии ограничений на  $m_{\Delta}$  и  $\sigma_{\Delta}$ , т.е.:

$$\sum_{i=1}^n C_i(m_{\Delta_{\text{доп}}}; \sigma_{\Delta_{\text{доп}}}) = \min, \text{ при заданных } m_{\Delta_{\text{доп}}} \text{ и } \sigma_{\Delta_{\text{доп}}}. \quad (15)$$

При использовании агрегатных комплексов набор технических средств весьма ограничен, поэтому оптимизационная задача может быть решена методами дискретного программирования, фактически путем перебора возможных вариантов. В полном объеме решения оптимизационной задачи целесообразны при создании комплексов, когда на примере типовых схем определяются оптимальные или субоптимальные параметры блоков.

В метрологии показатель точности – это неотрицательный функционал от плотности вероятности погрешности. Обосновать целесообразность использования того или иного функционала (среднего квадратического значения достоверности измеряемой величины, доверительного интервала, энтропийного показателя и т.п.) чисто математически невозможно. Эта задача решается исходя из дальнейшего использования результатов измерения, удобства представления и вычисления функционала, наличия априорной информации о законе распределения.

Возможны следующие подходы к выбору нормируемых показателей:

1) если результат измерения будет использоваться наряду с результатами других измерений при расчете некоторой величины, то погрешность окончательного результата будет зависеть от погрешностей нескольких измерений и можно принять ее распределение нормальным;

2) если нет информации о распределении значений контролируемого параметра и погрешности измерения, целесообразно описание погрешности с помощью доверительного интервала, поскольку он с заданной вероятностью позволяет оценить отклонение результата измерения от истинного значения и, следовательно, применим к оценке вероятности ошибок;

3) если априори известен вид распределения погрешности, зависящий от одного параметра, погрешность измерения можно характеризовать любым числовым показателем, поскольку он будет функцией этого параметра и позволит рассчитать его значение;

4) в случае если результат измерения имеет многоцелевое назначение с различными для каждой цели требованиями к показателям точности, невозможно ввести универсальный показатель точности и целесообразно проводить дополнительные исследования с целью определения закона распределения погрешностей.

Существенное влияние на результат и качество измерения параметра оказывает так называемая динамическая погрешность. Поскольку технологические объекты ОС относятся к динамическим системам, ряд параметров, прежде всего гидравлических, следует отнести к категории динамических со всеми вытекающими последствиями. Особые проблемы измерения (контроля) гидравлических параметров возникают при быстро протекающих процессах водоподачи и водораспределения. Такого рода процессы именуются нестационарными гидравлическими [14] или переходными процессами.

В традиционной эксплуатационной гидрометрии все гидравлические процессы всегда считались условно стационарными. Это явилось следст-



вием переноса методов классической речной гидрометрии в условия ОС без учета особенностей движения потоков воды в водопроводящих сетях и ГТС. Соответственно развивалась техническая и нормативная база водочета. Возникающие несоответствия в результатах измерений параметров не учитывались. При низкой стоимости природных и материальных ресурсов такой подход был оправдан. В современных экономических условиях требуется принципиальное изменение традиционных методов эксплуатационной гидрометрии с учетом особенностей объектов ОС.

Под динамической погрешностью [49] понимается разность между погрешностью в динамическом режиме и погрешностью в статическом режиме. При этом принимается, что динамический режим – это режим измерений, в процессе которых объект измерения также изменяется. Отсюда характеристики динамической погрешности будут зависеть не только от метрологических характеристик средств измерений, но и от свойств объекта измерений.

Основной физической причиной появления динамических погрешностей является инерционность средств измерений, зависимость их коэффициента передачи от частоты входного воздействия. Полным описанием таких инерционных звеньев [141] является задание их импульсной реакции  $h(\Theta)$ , которая позволяет с помощью интеграла Дюамеля определить реакцию инерционного звена на входное воздействие:

$$y(t) = \int_0^{\infty} x(t-\Theta)h(\Theta)d\Theta, \quad (16)$$

где  $y(t)$  – реакция инерционного звена (показанная средством измерения величина параметра);

$x(t-\Theta)$  – входное воздействие (фактическое значение измеряемого параметра);

$t$  и  $\Theta$  – временные характеристики процесса измерения.

Принятие динамической погрешности  $\epsilon(t)$  как разности  $x(t)$  и  $y(t)$  имеет определенные недостатки. Допустим, что  $y(t) = x(t)$ , т.е. произошла

задержка измерения параметра на время  $\tau$ . Тогда во многих случаях нет оснований говорить о наличии динамической погрешности, хотя разность  $y(t)$  и  $x(t)$  будет отличной от нуля. То же самое можно сказать о линейном усилении (ослаблении) сигнала, т.е. о преобразовании  $y(t) = kx(t)$ . Поэтому, определяя динамическую погрешность, следует учитывать, что преобразования вида:

$$\bar{y}(t \triangleright k \triangleright \tau) = kx(t - \tau), \quad (17)$$

при известных коэффициентах усиления  $k$  не вносят динамической погрешности.

Для оценки достоверного интервала динамической погрешности необходимо определить ее дисперсию. Для этого определим динамическую погрешность следующим образом:

$$\epsilon(t) = y(t) - \bar{y}(t; k_0; \tau_0), \quad (18)$$

где  $k_0$  и  $\tau_0$  – параметры идеального преобразования 17, наиболее близкого к действительному преобразованию 16.

При применении соотношения 18 необходимо дать количественное определение близости идеального и реального преобразований. Для этого введем критерий отличия сигналов  $y(t)$  и  $\bar{y}(t)$  в виде  $p[y(t); \bar{y}(t)]$ , который не может быть отрицательным и обращается в нуль при  $y(t) \equiv \bar{y}(t)$ . Параметры  $k_0$  и  $\tau_0$  определим таким образом, чтобы сигналы  $y(t)$  и  $\bar{y}(t; k_0; \tau_0)$  наименее отличались друг от друга:

$$\min p[y(t); \bar{y}(t; k; \tau)] = p[y(t); \bar{y}(t; k_0; \tau_0)] \quad (19)$$

В качестве критерия отличия сигналов могут использоваться различные функционалы. Наиболее целесообразно использовать в качестве функционала дисперсию разности сравниваемых сигналов. Во-первых, этот показатель наиболее просто вычисляется, во-вторых, он имеет довольно четкий физический смысл, являясь мощностью сигнала  $\epsilon(t)$ , в-третьих, в случае нормальной разности  $y(t) - \bar{y}(t)$ , которая есть результат

линейного преобразования  $x(t)$  системой с импульсной реакцией  $h(\Theta) - k(\Theta - \tau)$ , дисперсия дает исчерпывающее одномерное описание  $\epsilon(t)$ . При нормировании погрешностей использование дисперсии также целесообразно, так как она позволяет в случае нормализации достаточно просто определить доверительный интервал динамической погрешности в соответствии с выражением:

$$\gamma_r(P_{\text{дов}}) = F^{-1}(1 - \alpha/2), \quad (20)$$

где  $F^{-1}$  – функция, обратная интегралу вероятности;

$$\alpha = 1 - P_{\text{дов}}.$$

Если считать, что отличие сигналов  $y(t)$  и  $\bar{y}(t)$  характеризуется дисперсией их разности и допустить, что измеряемая величина представляет собой стационарный случайный процесс с нулевым математическим ожиданием, то для определения  $k$  и  $\tau_0$  имеем условие:

$$\sigma_{\epsilon}^2 = M[y(t) - \bar{y}(t)k\tau]^2 nkt. \quad (21)$$

В реальных условиях эксплуатации измерительных комплексов величины  $k$  и  $t$  являются заранее известными, т.к. они определяются техническими характеристиками применяемых средств измерений. Следовательно, дисперсия  $\sigma_{\epsilon}$  будет иметь четкое количественное значение, что позволяет оценить и доверительный интервал.

Создание СИО водопользования неразрывно связано с нормированием погрешности средств измерений, которое является одной из составляющих погрешностей измерения. Принципиальным отличием нормирования погрешности измерения от нормирования погрешности средств измерения является то, что в первом случае мы имеем конкретную реализацию как условий проведения измерения, так и значения измеряемой величины. Во втором случае приходится ориентироваться на множество ситуаций, в которых могут проводиться измерения с помощью этих средств измерений. Это обстоятельство приводит к двухступенчатому нормированию погрешностей средств измерений: в нормальных строго установленных ус-

ловиях нормируют основную погрешность, а в рабочих условиях (при расширенных значениях параметров внешних условий и значений неинформативных параметров объекта измерения) нормируют дополнительную погрешность.

В ранее действующем отраслевом стандарте ОСТ 33-26-80 [102] регламентировались допускаемые основные погрешности измерения гидравлических параметров как основных для ОС (таблица 30).

**Таблица 30 – Количественные показатели параметров**

Наименование параметров	Верхние пределы измерения	Допускаемая основная погрешность, %
1 Расход воды в трубопроводах, м <sup>3</sup> /с	0,001; 0,0016; 0,004; 0,006; 0,010; 0,025; 0,04; 0,06; 0,100; 0,160; 0,250; 0,400; 0,600; 1,000	2,0; 2,5; 4,0; 5,0
2 Расход воды в открытых каналах, м <sup>3</sup> /с	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1000	4,0; 5,0; 6,0; 10,0
3 Количество воды, м <sup>3</sup>	-	4,0; 5,0; 6,0; 10,0
4 Уровень воды в открытых водоводах, м	0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0	0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5
5 Положение исполнительных механизмов, м	0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0	0,5; 0,6; 1,0
6 Давление воды, МПа	0,01; 0,025; 0,06; 0,16; 0,4; 1,0; 2,5	1,5; 2,0; 2,5; 4,0
7 Скорость течения, м/с	0,5; 1,2; 5,0; 10,0	1,5; 2,0; 2,5; 10;
8 Перепад уровней воды, м	0,10; 0,16; 0,25; 0,40; 0,6	1,5; 2,0; 2,5
9 Перепад давления воды, МПа	0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3	1,5; 2,0; 2,5; 4,0
10 Мутность воды, кг/м <sup>3</sup>	1,0; 5,0; 10,0; 20,0	4,0; 5,0
11 Минерализация воды, кг/м <sup>3</sup>	1,0; 4,0; 10,0; 25,0	10,0
12 Уровень отложения наносов и допустимых размывов русла, м	1,0; 1,6; 2,5	10,0
13 Уровень воды в наблюдательных скважинах, м	0,4; 1,0; 2,5; 6,0; 16,0; 60,0	0,6; 1,0; 1,5; 2,0

Приведенные количественные показатели определены при доверительной вероятности  $P_{\text{дов}} = 0,95$ . Для более ответственных измерений задается  $P_{\text{дов}} = 0,99$ . Определенный произвол в задании  $P_{\text{дов}}$  показывает насколько относительно показатели точности измерения и, следовательно, нормы на них. Все эти показатели важны при сравнении различных изме-

рений, в частности для обеспечения единства и повторяемости измерений. Абсолютные же значения их весьма условны.

Для анализа рабочих условий применения средств измерений и выявления дополнительных погрешностей, включая динамическую погрешность, следует рассмотреть особенности объектов измерения и контрольных створов (точек) измерения, с учетом принятой градации технологических параметров.

### **3.2 Методы обработки результатов измерений при ограниченности априорных данных**

Достоверность результатов контроля состояния ОС определяется двумя факторами – объемом получаемой параметрической информации и вероятностными характеристиками погрешностей измерения. В реальных ОС возможности получения оперативной информации о величинах технологических параметров весьма ограничены (раздел 1.1). В тоже время для получения достоверных оценок вероятностных характеристик погрешностей измерения необходим достаточно большой объем экспериментальных данных. Последнее трудно реализуемо даже при градуировке, поверке и аттестации действующего гидрометрического сооружения или иного средства измерения.

Наиболее обоснованным путем преодоления недостаточности априорных сведений при обработке результатов измерений является оценка погрешностей измерений и ошибок контроля при ориентации на наихудший случай [141]. Суть метода заключается в следующем: при известной дисперсии погрешности, но неизвестном ее распределении, определяются границы доверительного интервала. Предполагая доверительный интервал симметричным в соответствии с неравенством Чебышева:

$$P(|\xi - m_1| \geq \varepsilon) \leq (\sigma / \varepsilon)^2, \quad (22)$$

длина доверительного интервала  $\gamma_b$  составит:

$$\gamma_b = \Delta_b / \sigma_\Delta \leq 1 / \sqrt{\alpha} \quad (23)$$

при  $\alpha = P(|\Delta| \geq \Delta_\epsilon) \leq \sigma_\Delta^2 / \Delta_\epsilon^2$ ,

где  $P$  – принятая величина вероятности;

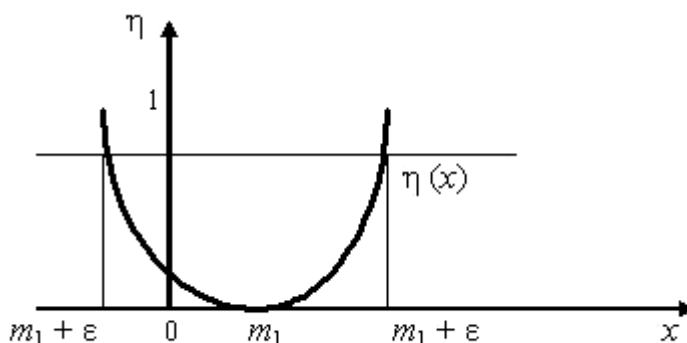
$\xi$  – случайная величина;

$m_1$  – математическое ожидание случайной величины;

$\epsilon$  – отклонение случайной величины от математического ожидания;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение (СКО).

В соответствии с отношением (23) получаем завышенное значение длины доверительного интервала. Это связано с тем, что неравенство (22) превращается в равенство, если на величину интегралов для вычисления вероятности и дисперсии влияют значения подынтегральных функций только для тех измеряемых величин  $X$ , для которых  $(X - m_1)^2 / \epsilon^2 = \eta(X)$ , где  $\eta(X)$  определяется в соответствии с рисунком 17.



**Рисунок 17 – Зависимость длины доверительного интервала от измеряемой величины**

$$\eta(x) = \begin{cases} 1, & x \leq m_1 - \epsilon \\ 0, & m_1 - \epsilon \leq x \leq m_1 + \epsilon \\ 1, & m_1 + \epsilon \leq x \end{cases} \quad (24)$$

В данном случае это будет при  $x = -\Delta_b$ ,  $x = 0$  и  $x = \Delta_b$ , что возможно только в том случае, когда  $W_A$  состоит из трех дельта-функций обращающихся в бесконечность в этих точках, т.е. если  $\Delta$  является дискретной случайной величиной со значениями  $-\Delta_b$ ,  $0$  и  $\Delta_b$ . Такая дискретная величина будет иметь заданное значение дисперсии  $\sigma_\Delta^2$ , если:

$$P(\Delta = -\Delta_B) = P(\Delta = \Delta_B) = \sigma_\Delta^2 / (2\Delta_B^2), \quad (25)$$

$$\text{при } P(\Delta = 0) = 1 - \sigma_B^2 / \Delta_B^2.$$

В результате наилучшим будет распределение:

$$W_\Delta(x) = \frac{\alpha}{2} \left[ \delta\left(x + \frac{\sigma_\Delta}{\sqrt{\alpha}}\right) + \delta\left(x - \frac{\sigma_\Delta}{\sqrt{\alpha}}\right) \right] + (1 - \alpha)\delta(x). \quad (26)$$

В теории информации наилучшими распределениями являются те, которые при заданных ограничениях обеспечивают максимум энтропии  $H$ , определяемой по формуле:

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} W_\xi(x) \ln W_\xi(x) dx. \quad (27)$$

Среди всех случайных величин с заданным значением дисперсии наибольшую энтропию будет иметь величина с нормальным распределением, а среди всех случайных величин с заданным интервалом возможных значений наибольшую энтропию имеет величина с равномерным распределением. В этих случаях наилучшими будут дискретные случайные величины.

В таблице 31 приведены оценки  $\gamma_{в.м}$  в соответствии с зависимостью (22) и значения  $\gamma_B$  при нормальном ( $\gamma_{в.г}$ ) и равномерном распределении погрешности ( $\gamma_{в.р}$ ) определенные по зависимости (29):

$$\Delta_H = -\gamma_H(P_{\text{дов}})\sigma_\Delta; \quad \Delta_B = \gamma_B(P_{\text{дов}})\sigma_\Delta. \quad (28)$$

Оценка  $\gamma_B$  по зависимости (29) применима как для единичных измерений, так и при обработке результатов ряда измерений. Во втором случае вместо  $\sigma_\Delta^2$  используется  $\sigma_\Delta^2 / N$ .

**Таблица 31 – Границы доверительного интервала**

$P_{\text{дов}}$	$\gamma_{в.г}$	$\gamma_{в.р}$	$\gamma_{в.м}$
0,90	1,7	1,6	3,2
0,95	2,0	1,7	4,5
0,99	2,6	1,7	10,0

При большом числе измерений происходит нормализация среднего арифметического и для определения доверительного интервала можно ис-

пользовать формулу (30), что существенно уменьшает длину доверительного интервала:

$$\gamma_{\Gamma}(P_{\text{дов}}) = \gamma_{\text{в.г}} = \gamma_{\text{н.г}} = \Phi^{-1}\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right), \quad (29)$$

где  $\Phi^{-1}$  – функция, обратная интегралу вероятности.

Таким образом, при малом числе измерений ( $N \leq 4-5$ ) границы доверительного интервала оцениваются в соответствии с зависимостью (22), при большем числе ( $N \geq 20-30$ ) – в зависимости с формулой (29).

Развитием рассмотренного метода являются методы адаптивной обработки результатов измерений, которые предполагают изменение алгоритмов обработки входящих в них параметров в зависимости от характера обрабатываемой информации. При адаптивной обработке процессы получения априорной информации и собственно обработки оказываются совмещенными.

Применение адаптивных методов обработки целесообразно в двух случаях. Во-первых, когда исходной информации недостаточно для построения рационального алгоритма обработки. Во-вторых, когда свойства обрабатываемых данных изменяются в процессе обработки. Применительно к задачам обработки измерительной информации имеют место оба случая.

Многие методы обработки результатов измерений [94, 99, 130] могут рассматриваться как частные случаи первого вида адаптивной обработки. Например, построение интервальной оценки измеряемой величины по нескольким нормально распределенным результатам измерения предполагает первоначальную оценку дисперсии по результатам измерений. Другим вариантом адаптации алгоритма обработки может быть проверка по результатам измерений некоторой совокупности моделей законов распределения, выбор наиболее адекватной модели и ее дальнейшее использование при построении алгоритма обработки. В этом случае алгоритм получения результата измерения будет зависеть от того, какое из рассматриваемых распределений наиболее соответствует экспериментальным данным [56, 141].



Наиболее полно возможность трактовки алгоритмов обработки результатов измерений как адаптивных проявляется в тех случаях, когда заранее не оговорено число измерений, а обработка производится в темпе поступления экспериментальных данных. Тогда текущая оценка математического ожидания будет иметь вид:

$$m_j = \frac{1}{j} \sum_{v=1}^j \xi_{\text{изм}} v. \quad (30)$$

Для вычисления  $m_{j+1}$  не обязательно хранить значения всех предыдущих результатов измерений. Можно воспользоваться рекуррентным соотношением

$$m_{j+1} = \frac{j}{j+1} m_j + \frac{1}{j+1} \xi_{\text{изм}j}, \quad (31)$$

которое позволяет уточнить значение текущей оценки математического ожидания по предыдущей оценке, с учетом нового результата измерения.

Соотношение (22) в общем случае обобщается следующим образом. Пусть по  $j$  результатам построена оценка некоторого параметра  $r_j$  (параметр  $r$  может быть как скалярным, так и векторным), тогда оценка  $r_{j+1}$ , получаемая с учетом  $(j+1)$ -го результата, рассчитывается следующим образом:

$$r_{j+1} = b_{j+1} r_j + a_{j+1} f(\xi_{j+1}), \quad (32)$$

где вид функции  $f$  зависит от вида оцениваемого параметра. Выбор коэффициентов  $a_j$  в значительной степени произволен, необходимо лишь, чтобы  $\lim_{j \rightarrow \infty} a_j = 0$  и чтобы они образовывали расходящийся ряд, т.е.

$\sum_{j=1}^{\infty} a_j = \infty$ . Коэффициент  $b_j$  зависит от  $a_j$  и выбирается таким образом,

чтобы обеспечить несмещенность  $r_j$ . Для алгоритма (22) коэффициенты

$a_j = 1/j$  и  $b_j = (j-1)/j$  удовлетворяют этим условиям.

Алгоритм применим для большинства методов обработки измерительной информации, в частности, построения точечных или интервальных оценок измеряемой величины, определения параметров аппроксимирующих зависимостей, оценки вероятностных характеристик и т.д. Эффективность алгоритма в значительной степени зависит от удачного выбора коэффициентов  $a_j$ .

Адаптивные алгоритмы могут применяться для выявления изменений свойств погрешностей измерения или контролируемого объекта и соответствующей корректировки алгоритмов обработки.

Допустим, что в процессе измерений изменяются свойства средств измерений или условия проведения измерений, что приводит к изменению свойств погрешностей измерения, например, скачкообразно. Для выявления этих изменений оценивается дисперсия погрешности измерения для  $n$  последних текущих значений  $\xi_{j-n+1}, \dots, \xi_j$  и сравнивается с оценкой дисперсии по первым  $j-n$  значениям. Сопоставляя доверительные интервалы этих оценок, можно проверить предположение о равноточности первых  $j-n$  измерений и  $n$  последних измерений. Если они окажутся равноточными, то измеряемую величину можно продолжать оценивать в соответствии с зависимостью (21). Если же результаты окажутся неравноточными, то следует перейти к алгоритму:

$$m_j = \frac{\sum_{v=1}^{j_0-n} \frac{\xi_v}{\sigma_1^2} + \sum_{v=j_0-n+1}^j \frac{\xi_v}{\sigma_2^2}}{\frac{j_0-n}{\sigma_1^2} + \frac{j-j_0+n}{\sigma_2^2}}, \quad (33)$$

где  $\sigma_1^2$  – дисперсия первых  $j_0-n$  результатов;

$\sigma_2^2$  – дисперсия последних  $j-j_0+n$  результатов;

$j_0$  – номер измерения, при котором была зафиксирована неравноточность.

После этого, для определения следующего изменения свойств погрешности необходимо проверять равнозначность результатов  $\xi_{j_0-n+1}, \dots, \xi_{j-n}$  и последних  $n$  результатов. Аналогичным образом при большом  $n$  можно выявлять изменения законов распределения погрешности.

Использование методов адаптивной обработки результатов измерений требует соблюдения определенной процедуры контроля получаемой информации [150]. Для этого адаптивные алгоритмы контроля должны предусматривать определение неизвестных функций распределения или их параметров, а также выявлять их изменения.

На начальных этапах контроля, когда информация о распределениях отсутствует, применяются правила принятия решения ориентированные на наихудший случай. По мере накопления информации можно переходить к расчету контрольных допусков с учетом показателя распределения погрешностей  $W_y$ .

Источником информации о распределениях погрешности являются результаты измерения  $\xi$ , получаемые в процессе контроля. Распределение результатов измерения представляет собой свертку распределения контролируемого показателя  $W_y$  и распределения погрешности измерения  $W_\Delta$ . Распределение погрешности измерения при этом предполагается известным. При необходимости его можно проверить на этапе метрологической аттестации и поверке средств измерений.

Проверив ряд предположений о форме распределения, и выбрав наиболее соответствующие данным измерений, можно оценить достоверность результатов контроля и скорректировать контрольные допуски. По мере накопления данных эти параметры могут уточняться.

Следующим этапом адаптивной процедуры контроля является обнаружение изменений параметров распределений контролируемых показателей или изменений формы этих распределений. Задача решается следующим образом.

В некоторых скользящих интервалах оцениваются значения параметров распределения и проверяется их согласие с результатами для предыдущих интервалов (в данном случае интервалов индексов результатов измерений). По результатам этих проверок принимается решение о возможности использования прежних моделей распределения и значений их параметров или перехода к новым моделям или новым значениям. Объем скользящей выборки для оценки распределений должен быть больше объема выборки для оценки параметра, т.е. отслеживание параметров может проводиться более быстро, чем отслеживание формы распределения.

Практическое использование адаптивных систем обработки измерительной информации требует решения дополнительных вопросов. К ним относятся оценка достоверности результатов обработки, анализ устойчивости алгоритмов обработки, обоснование оптимальных объемов выборок и т.д.

### **3.3 Методология выбора контрольных точек в технологических объектах для оперативного мониторинга состояния оросительной системы**

Понятие «контрольная точка» предполагает существование точки (группы точек) измерения технологических параметров в технологических объектах управления (ТОУ) ОС, совокупный параметрический показатель которой адекватно характеризует состояние объекта. Параметрический показатель может содержать единичную или комплексную информацию о видах и величинах измеряемых (контролируемых) параметров в статике и динамике развития технологических процессов в ОС.

Исходя из теории метрологии понятие «контрольная точка» описывает местоположение точки измерения (контроля), вид и формат информации достоверно определяющей состояние объекта, необходимые метрологические характеристики.

Общность целей получения информации, функциональная и техническая взаимосвязь систем управления и информационного обеспечения водопользования позволяет использовать ряд методик анализа гидродина-

мических процессов в ТОУ ОС для разработки методологии выбора «контрольных точек ОС».

Основные звенья ОС, такие как водозаборы, водопроводящие сети и аккумулирующие бассейны, относятся к объектам с динамическим режимом работы [14]. Вместе с тем, по динамическим характеристикам ТОУ ОС неоднородны. Приняв в качестве критерия время переходного процесса, объекты можно разделить на две группы:

I группа. Инерционные динамические объекты (система объектов);

II группа. Безинерционные динамические объекты.

Инерционность объекта зависит от многих факторов. Применительно к типовым ТОУ ОС основными являются:

- протяженность водопроводящих трактов;
- величина резервной емкости каналов, водоводов и регулирующих бассейнов;
- допустимые скорости движения потоков воды;
- скорость движения волны возмущения (например, расхода попуска воды в канале);
- регулирующие характеристики русла (водовода).

Общая методология решения задачи выбора контрольных точек ОС сводится к следующему. Процедура оценки состояния ОС включает формирование двух массивов оперативной информации. Первый массив характеризует квазистационарное (статическое) состояние ТОУ ОС. Практически это формализованная «фотография» технологических звеньев ОС в виде базы данных о текущих величинах контролируемых параметров в фиксированных интервалах времени. Он формируется на основе ряда фактических измерений параметров и соответствующей математической обработки.

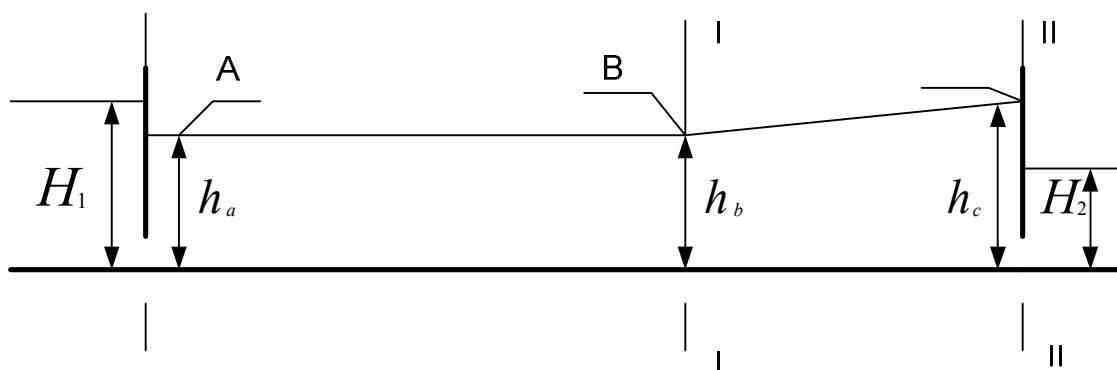
Известно [14, 41, 49], что наибольшие сложности расчета и последующего контроля динамических процессов наблюдаются у инерционных объектов (водопроводящих сетей) древовидной структуры и большой про-

тяженности. Вследствие этого дальнейшие методологические разработки будут проводиться на примере открытой водопроводящей сети со сложной структурой. На уровне качественного анализа определяется массив контрольных точек для ТОУ ОС. Основным критерий – обеспечение максимума информации о состоянии объекта.

При движении потока по участку канала возможно наличие как кривых подпора, так и кривых спада уровней. Следовательно, будут иметь место экстремальные зоны переменного уровня. Отслеживание динамики изменения движения потока в таких зонах наряду с другими показателями определяют содержание оперативного контроля состояния объекта.

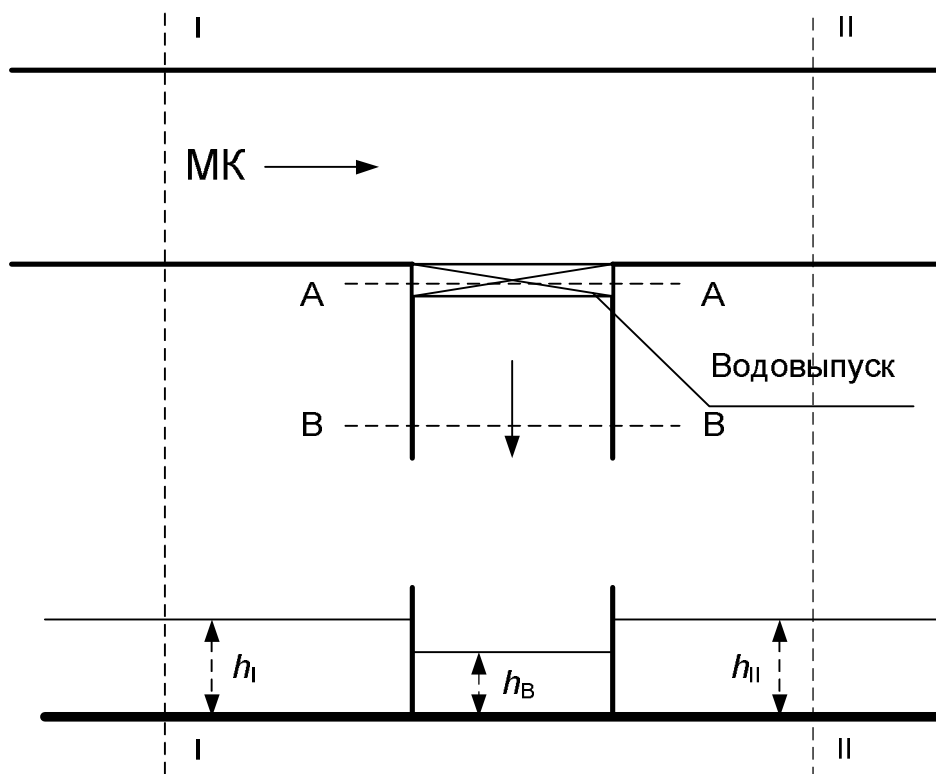
Технологический модуль – «водовыпуск с участком транзитного канала» также является весьма распространенным типовым модулем. Объект является локальным со сложной динамикой переходных процессов. На текущее состояние объекта оказывают влияние режимы работы транзитного и отводящего канала, а также регулирующее воздействие затвора водоспуска.

Для иллюстрации на рисунках 18 и 19 представлены условные схемы двух технологических модулей ТОУ ОС с выделением экстремальных зон и возможных мест нахождения контрольных точек.



II-III – границы экстремальной зоны; A, C – контрольные точки модуля;  $h_a$ ,  $h_b$ ,  $h_c$  – контролируемые параметры; B – подвижная точка, характеризующая границу изменения параметров потока;  $H_1$  – глубина воды на входе в расчетный участок;  $H_2$  – глубина воды на выходе в расчетный участок

**Рисунок 18 – Условная схема технологического модуля – участок открытого канала ОС**



I-II – границы экстремальной зоны участка МК; A-B – границы экстремальной зоны участка ВВ;  $h_I$ ,  $h_{II}$ ,  $h_B$  – контролируемые параметры

**Рисунок 19 – Условная схема технологического модуля – водовыпуск ВВ с участком транзитного канала ОС**

Поскольку объект локальный, контрольные створы являются фиксированными. Местоположение створов зависит от возможных размеров зон возмущения потоков на подходе к модулю – створ I-I, на отводящем участке транзитного канала – створ II-II и на участке отводящего канала водовыпуска – створ B-B. Существенное значение имеет и створ A-A, определяющий сочетание потока на входе в водовыпуск, и положение регулирующего затвора. В результате состояние технологического модуля диагностируется в четырех контрольных точках, три из которых могут входить в совокупность контрольных точек иных технологических модулей.

Далее проведем качественный анализ процесса контроля, цель которого – определение величины и длительности отклонения неконтролируемого параметра в каждой точке от заданных пределов при наложении единичных внешних возмущающих воздействий.

Если измеренные значения в  $Z$ -й контролируемой точке  $H_Z$  больше  $H_{Z \max}$  или меньше  $H_{Z \min}$ , то определяется величина и знак отклонений, т.е.  $\Delta H_Z = (H_Z - H_{Z \max}) > 0$  или  $\Delta H_Z = (H_Z - H_{Z \min}) < 0$ . Одновременно определяется длительность отклонения параметра и монотонность отклонений, т.е. имеет ли на определенном интервале времени  $\Delta t$  отклонение  $\Delta H_Z$  один и тот же знак.

Состояние ТОУ ОС можно считать изменившимся в том случае, когда величина монотонных отклонений  $\Delta H_Z$  в контролируемых точках и их длительность больше заданных значений. Кратковременные (импульсные)  $\Delta t < \Delta t_{\min}$  изменения параметров в контролируемой точке не считаются достаточными для констатации изменения состояния объекта.

Наиболее сложный этап анализа – выбор совокупности контрольных точек среди массива всех точек измерения. Возможны три варианта:

1 Монотонные и продолжительные отклонения  $\Delta H_Z > 0$ , когда параметры в одной или нескольких контролируемых точках больше  $H_{Z \max}$ . В качестве характеристической для каждого интервала времени следует применять точку с наименьшим отклонением  $H_Z$ , а величину  $\Delta H_Z + H_{Z \max} - H_{Z \min}$  считать величиной требуемого корректирующего воздействия со стороны системы управления ОС. Такое решение обусловлено необходимостью снижения параметрических показателей во всех контролируемых точках ТОУ ОС, причем это снижение не должно привести к тому, чтобы  $H_Z$  стало меньше требуемого значения.

2 Монотонные продолжительные отклонения  $\Delta H_Z < 0$ , т.е. в одной или нескольких контролируемых точках параметры меньше требуемых:  $\Delta H_Z < H_{Z \min}$ . В качестве характеристической принимается точка с наибольшим по величине отклонением, т.е. с наименьшим по величине параметром. Исходя из необходимости обеспечить в сети (объектах) уровни воды не меньше требуемых в качестве корректирующего воздействия следует принять  $\Delta H_Z + H_{Z \max} - H_{Z \min}$ .



3 Монотонные и длительные отклонения параметра: в одних точках  $\Delta H_Z > 0$ ; в других  $\Delta H_Z < 0$ .

Из соображений необходимости обеспечения водоподачи потребителям в качестве характеристической принимается точка с наименьшим отклонением  $\Delta H_Z < 0$ . Корректирующим воздействием следует считать величину  $\Delta H_Z = H_{Z \max} - H_{Z \min}$ . Однако такая ситуация требует детального анализа протекания технологических процессов в ТОУ ОС, т.к. причиной возникновения такого положения может служить и аварийная ситуация.

Для выявления номенклатуры и мест нахождения контрольных точек на ОС необходимо проведение общесистемного имитационного моделирования гидродинамических процессов. Учитывая сложную технологическую структуру ОС и определенную стохастичность гидродинамических процессов, особенно в переходных режимах работы, моделирования ТОУ ОС можно проводить отдельно, но при соблюдении определенных системных ограничений. Это позволяет структурировать математические модели ТОУ ОС в общую имитационную модель ОС, являющуюся основой операционной системы.

В процессе имитационного моделирования выявляются зоны (участки) исследуемых объектов с экстремальным изменением выходных параметров при наложении на них возмущающих и управляющих воздействий. Внутри зоны определяется местоположение точек экстремумов контролируемых параметров, которые классифицируются в качестве характеристических. В составе ТОУ ОС может быть выделен ряд характеристических точек в совокупности образующих информационный массив подсистемы диагностики состояния технологического звена ОС.

Заключительный этап процедуры выбора характеристических точек состоит в выработке требований к метрологическому обеспечению оперативной оценки состояния ОС.

Поскольку система управления и информационного обеспечения водопользования имеют интегрированный КТС, средства измерения и кон-

троля по функциональному назначению целесообразно разделить на два вида – информативные и технологические.

Средства измерения и контроля информативного вида обеспечивают сбор, обработку и передачу информации в ЦДП для формирования стратегии управления водопользованием, выработки общесистемных управляющих воздействий на ТОУ ОС и прогнозирования вариантов поведения ОС при изменении внешних условий.

Средства измерения и контроля технологического вида производят сбор и обработку информации для обеспечения функционирования локальных модулей системы управления водопользованием без передачи ее в ЦДП.

Исходя из такой градации контрольные точки ОС должны оборудоваться средствами измерения и контроля информативного вида. Причем часть из них должна дополнительно оснащаться контрольными устройствами защиты от экстремальных ситуаций на ОС с отдельным каналом связи с ЦДП.

Метрологические характеристики средств измерения и контроля информативного вида должны обеспечивать необходимую достоверность получаемой информации из контрольных точек, что является основополагающим условием эффективности оперативной оценки состояния ОС.

Задача обеспечения достоверности измерения или контроля параметра, сложна и неоднозначна в отношении получаемого результата. Как правило, она решается через нормирование погрешности измерений, что в свою очередь влечет выбор показателей, характеризующих погрешность измерений, и задания допускаемых значений этих показателей. Из этого следует, что показатели точности могут быть весьма разными. Обосновать предпочтительность того или иного функционала (среднего квадратического значения, доверительного интервала, момента более высокого порядка, энтропийного показателя и т.п.), чисто математически не представляется возможным. Поэтому задача должна решаться исходя из дальней-

шего назначения результата, удобства представления и наличия априорной информации о законе распределения.

При тестовом мониторинге технологических объектов ОС результаты измерений имеют многоцелевое назначение. Поэтому ввести универсальный показатель точности, удовлетворяющий всем решаемым задачам, практически невозможно. Теория метрологии предлагает руководствоваться универсальной характеристикой погрешности измерений, которая является функцией распределения, позволяющая вычислить любой показатель.

Существующие методические рекомендации [80] рекомендуют проводить оценку результатов контрольных измерений по формуле:

$$E_{\text{и}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}}}{\chi} \times 100, \quad (34)$$

где  $v_i^2$  – квадрат случайного отклонения каждого результата измерений от среднего арифметического  $v_i^2 = (\chi_i - \bar{\chi})^2$ ;

$n$  – количество измерений;

$\chi$  – измеряемый параметр.

При необходимости оценки достоверности измерений контролируемого параметра, производимых в одинаковые интервалы времени между измерениями (сутки, декада месяц и т.д.), определяется среднее значение параметра по формуле:

$$\chi_{\text{ср}} = \frac{\chi_1 + \chi_2 + \dots + \chi_n}{n}. \quad (35)$$

В случае неодинаковых по продолжительности интервалов времени между измерениями, среднее значение контролируемого параметра определяется по формуле:

$$\chi_{\text{ср}} = \frac{0,5(\chi_1 + \chi_2)t_1 + 0,5(\chi_2 + \chi_3)t_2 + \dots + 0,5(\chi_{n-1} + \chi_n)t_n}{n \sum t_i}. \quad (36)$$

При прямых измерениях величина  $\chi$  непосредственно определяет значение контролируемого параметра. При косвенных измерениях значение параметра определяется по градуировочной характеристике, представленной в виде уравнения, графика или таблицы. Использование нестандартных средств измерения, где используются градуировочные характеристики, требует существенного повышения качества их калибровки и систематических проверок в течение всего срока службы.

Существует еще одна проблема при организации достоверного измерения параметров в контрольных точках ОС. В частности, можно определить необходимую для достижения этой цели точность измерения, обеспечивающую требуемую достоверность результатов контроля. Однако такая точность может оказаться практически нереализуемой. Тогда возникает необходимость поиска других путей обеспечения предъявляемых к контролю требований. Более естественным является предпочтение требований потребителей требованиям изготовителя, хотя не исключена и обратная ситуация. Поэтому можно считать, что риск заказчика не должен превышать допускаемого значения  $R_{\text{зак. доп}}$ .

Обеспечить требуемую достоверность контроля можно, вводя контрольные допуски, отличающиеся от нормативных допусков [51], т.е. контроль будет достоверным, если выполняется условие:

$$A \leq A^* \leq \varepsilon \leq B^* \leq B, \quad (37)$$

где  $A^*$  и  $B^*$  – контрольные допуски;

$A$  и  $B$  – нормативные допуски, результат измерения.

Из изложенного следует, что при имеющейся точности средств измерений, можно обеспечить требуемую достоверность контроля по отношению к ошибкам одного рода. При двух альтернативном решении управлять одновременно двумя рисками невозможно. Увеличивая точность измерения, можно обеспечить требуемую достоверность контроля по отношению к ошибкам обоих видов. Однако это приводит к удорожанию операции

контроля. Компромиссным решением может быть использование последовательной процедуры контроля с использованием двойных допусков.

Важной процедурой метрологического обеспечения средств измерений является оценка достоверности аттестации средств измерений по результатам их сличения. Проблема заключается в том, что при эксплуатации средств измерений высшей точности, оценка их погрешностей путем поверки с помощью особых средств измерений (ОСИ) более высокой точности оказывается невозможной.

Примером может служить использование ультразвуковых расходомеров-счетчиков для напорных трубопроводов насосных станций. При больших диаметрах труб изготовителем предлагается безпроливной метод поверки на имитационном стенде. Следует подчеркнуть, что и в процессе разработки и изготовления таких устройств не проводятся необходимые исследования с использованием реальных водных потоков. В результате мы можем оценивать достоверность измерения расхода воды в трубопроводах по косвенным показателям, не имея точных эмпирических данных.

Широкое распространение ультразвуковых и электромагнитных методов измерения гидравлических параметров в водотоках различного профиля русла или закрытого водовода (трубопровод различного сечения и формы) приводит к необходимости использования совершенно иной технологии метрологического обеспечения водоучета и водоизмерения на ОС.

Особенностью такой технологии являются достаточно длительные межповерочные интервалы. Кроме того, средства измерения не могут быть подвергнуты метрологической аттестации в полном объеме в производственных условиях. В таких условиях эксплуатации риск потребителя средств измерений определяется гарантиями изготовителя на изделие, методическим и техническим обеспечением поверочных работ в процессе использования.

### **3.4 Организация работ по метрологическому обеспечению эксплуатации средств измерений на оросительных системах**

Метрологическое обеспечение водоучета и водоизмерения как самостоятельная область науки и техники получила наибольшее развитие в области мелиорации в 60-80-е гг. С начала 90-х гг. и по сей день в России по существу сохранились как идеология, так и техническая политика в этой области. В отличие от зарубежных стран, таких как США, Германия, Франция и т.д., в России не применяется практика возложения ответственности за обеспечение метрологических характеристик измерительных приборов и оборудования на фирмы-производители. Продолжается ориентация на законодательное и практическое разделение производства средств измерений и метрологическое обеспечение их эксплуатации. Однако с учетом новых международных требований (ВТО) в России начался период реформации системы стандартизации и метрологического обеспечения.

Многолетний опыт работы водохозяйственных организаций в мелиоративной отрасли показывает неэффективность традиционных подходов в области метрологического обеспечения водоучета. Проблема состоит в том, что техническая база и нормативно-методическое обеспечение региональных центров стандартизации и метрологии (ЦСМ) Агентства по техническому регулированию и метрологии России (Росстандарт) не соответствует требованиям, предъявляемым к метрологическому обеспечению водоучета и водоизмерения, особенно на крупных открытых каналах.

В 70-80-х гг. в СССР была создана достаточно совершенная ведомственная система метрологического обеспечения водоучета. Она базировалась на нормативно-методической основе собственной разработки, имела в своем составе зональные метрологические центры с необходимой ремонтной базой и поверочным оборудованием. В задачи их работы входило выполнение всех видов работ по метрологическому обеспечению средств измерений, в том числе ремонт и сервисное обслуживание существующих

средств водоучета, организация внедрения вновь разработанных измерительных приборов и соответствующего технологического оборудования. Госстандарт СССР обеспечивал лишь государственный контроль над деятельностью ведомственной метрологической службы Минводхоза СССР.

Зональные центры размещались в регионах с развитым орошаемым земледелием, где ощущалась наибольшая потребность в водоучете. Существенным фактором, влияющим на развитие водоучета в те годы, являлось низкая стоимость ресурсов, в первую очередь воды и электроэнергии, что экономически не стимулировало развитие и использование средств водоучета. Поэтому средства водоучета внедрялись на оросительных системах, как правило, директивным методом. Значительно в большей степени средства измерения потребовались при создании автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), которые получили широкое применение в конце 80-х гг.

В период экономических реформ в России 90-х гг. была практически утрачена созданная инфраструктура метрологической службы и вся материально-техническая база. В этот переходный период использовалась упрощенная структура, в которой отсутствовали зональные центры метрологического обеспечения. Служба главного метролога в составе головной организации метрологической службы (ГОМС) обеспечивала в основном сбор информации о текущем состоянии водоучета, оказывала информационные услуги по организации водоучета на оросительных системах, организовывала поверку и аттестацию средств водоучета.

Структура существовавшей ведомственной метрологической службы в системе мелиорации и водного хозяйства представлена на рисунке 20.

Для выполнения технических работ по метрологическому обеспечению водоучета в составе ГОМС была организована специализированная лаборатория. Задачами лаборатории являются проведение поверок и градуировок средств измерений, метрологическая аттестация гидрометрических постов на открытых каналах, ремонт и техническое обслуживание

средств водоучета, исследования характеристик серийно выпускаемых средств измерения параметров водного потока в эксплуатационных условиях и разработка новых специализированных средств водоизмерения.



**Рисунок 20 – Структура существовавшей ведомственной метрологической службы в системе мелиорации и водного хозяйства СССР**

Подразделения ГОМС при выполнении возложенных обязанностей взаимодействует со службами эксплуатации государственных мелиоративных систем (рисунок 21). Как правило, эти задачи решают специалисты-метрологи в составе региональных эксплуатационных организаций или специально уполномоченные специалисты другого профиля (например, главные инженеры).



**Рисунок 21 – Структура метрологической службы мелиоративной отрасли в период реформирования АПК России**



Они руководят группами специалистов из отделов водопользования, инженеров и техников-гидрометров на местах. Конечно, такого рода группы не обеспечивают должный уровень метрологического обеспечения, тем более при постоянном недостатке финансирования, но по возможности минимальный технический уровень основных средств водоучета они поддерживают.

Накопленный опыт работы подразделений существовавшей ведомственной метрологической службы позволяет определить приоритеты в воссоздании метрологической службы мелиоративной отрасли с учетом новых экономических условий ведения водохозяйственной деятельности.

Опыт работы по метрологическому обеспечению деятельности федеральных эксплуатационных организаций выявил следующие проблемы:

- проблемой создания системного водоучета в составе современных информационно-измерительных комплексов на ОС является территориальная разобщенность большого числа пунктов водоучета и водоизмерения различных типов. В сочетании с незащищенностью средств измерений от несанкционированного вмешательства создание единой информационно-измерительной системы представляет трудноразрешимую задачу;

- создание современных информационно-измерительных систем осложняется высокой стоимостью приборов и оборудования и значительными затратами на монтажно-наладочные работы, включая последующую эксплуатацию таких комплексов;

- проблемой является отсутствие адаптированных к условиям мелиоративных систем отечественных средств измерений параметров водного потока, приборов обработки и передачи информации. Аппаратура общего назначения не в полной мере отвечает таким требованиям, как по условиям энергоснабжения, так и по ряду технических и эксплуатационных параметров.

Сейчас общий уровень водоучета можно характеризовать как крайне недостаточный, учитывая состояние пунктов водоучета и применяемых

средства измерений параметров водного потока. Необходимое приборное обеспечение, особенно на открытых каналах ОС, отсутствует, поэтому организовать достоверный учет расходов и стока воды практически невозможно. Вместе с тем, так называемый «коммерческий» водоучет основан на измерении расхода и стока воды с высокой точностью.

Фактически в период экономических реформ в России происходила трансформация сложившейся, относительно стабильной системы метрологического обеспечения водоучета в отдельные локальные организационные структуры при управлениях оросительных систем. Производственно-технические возможности таких подразделений позволяют лишь поддерживать в рабочем состоянии ограниченное число пунктов водоучета. Такое состояние метрологического обеспечения неприемлемо при платном водопользовании, а именно оно в перспективе может стать основным видом водохозяйственной деятельности в АПК России.

Исходя из новых тенденций развития экономики и накопленного опыта развития метрологического обеспечения водоучета, можно определить общие подходы к формированию новой организационной структуры метрологической службы мелиоративной отрасли.

Прежде всего, о новых тенденциях развития метрологического обеспечения производственных процессов как России в целом, так мелиоративной отрасли в частности. Правовой основой для ее реорганизации, а фактически создания новой, ведомственной системы метрологического обеспечения мелиорации в АПК являются федеральные законы «О техническом регулировании», «Об обеспечении единства измерений».

Новые законодательные акты Российской Федерации радикально изменили принципы взаимоотношений государства и общества в вопросах регулирования производственной деятельности, контроля качества продукции и услуг.

В частности была отменена обязательность стандартов и другой НТД с переводом их в категорию добровольного применения. Соответственно су-

ущественно ограничены контрольно-надзорные функции Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (ранее Госстандарт России) в части метрологического обеспечения средств измерений. По аналогии с зарубежным опытом ответственность за обеспечение достоверности измерений возлагается на производителей приборной продукции и организаций их эксплуатирующих. Такой подход определяет совершенно иные перспективы развития метрологической службы мелиоративной отрасли.

Для метрологического обеспечения водоучета и водоизмерения большое значение приобретает разделение прежде единых мелиоративных систем по форме собственности (государственные и частные). Это означает изменение принципов организации метрологического обеспечения и сервисного обслуживания средств измерений. Кроме того, метрологической службе эксплуатационных организаций мелиоративной отрасли предстоит реструктуризация с целью организации взаимодействия частных производителей средств измерений с собственными структурными подразделениями, представляющими метрологические услуги водопотребителям.

Технический уровень существующей гидрометрической сети на ОС не отвечает требованиям по применению современных средств измерений. Ситуация такова, что необходима существенная реконструкция пунктов водоучета всех уровней. Для ее реализации необходимо привлечение крупных инвестиций с использованием как бюджетных средств, так и частного капитала. Такой подход возможен лишь при введении платного водопользования. Соответственно потребует совершенствования и система метрологического обеспечения.

Внедрение в водохозяйственную деятельность любых форм платного водопользования потребует от субъектов хозяйственной деятельности оснащения пунктов «коммерческого» водоучета совершенными измерительными приборами и иными средствами водоизмерения. В этой ситуации не может идти речь о метрологической службе с чисто ведомственными интересами. Новая инфраструктура ведомственного метрологического

обеспечения производственных процессов на ОС должна быть ориентирована в большей степени на нормативно-методическое обеспечение и в меньшей степени на решение вопросов эксплуатации средств измерений. Организация эксплуатации средств измерений должна предусматривать, прежде всего, создание эффективной системы сервисного обслуживания и мелкого ремонта измерительных приборов в кооперации с производителями приборной продукции.

С учетом новых тенденций развития водоучета и водоизмерения функциональное назначение и структура будущей метрологической службы мелиоративной отрасли должна существенно отличаться от существовавшей системы. На Минсельхоз России должны возлагаться функции государственного регулирования в области метрологического обеспечения водоучета и водоизмерения и формирования соответствующей инвестиционной политики.

Государственное регулирование должно сводиться к контролю ситуации на мелиоративных системах по использованию средств водоучета и водоизмерения, регламентированию нормативно-методического обеспечения такого вида деятельности и проведению необходимой инвестиционной политики в водохозяйственных организациях.

Инвестиционная политика, по сути, является видом государственного регулирования метрологического обеспечения реализуемого через экономические механизмы. Основой инвестиционных мероприятий должна быть общегосударственная инвестиционная политика в разрезе регионов Российской Федерации, которая должна учитывать вопросы развития системного водоучета и водоизмерения, а также общих принципов организации их метрологического обеспечения.

Формирование технической политики и нормативно-методическое обеспечение в области метрологии мелиоративного назначения может быть передано специализированному государственному учреждению (прежнее наименование Головная организация метрологической службы).

В задачи данной организации также должно входить нормативно-методическое и информационное обеспечение деятельности исполнительных органов ведомственной метрологической службы, оказание необходимых консалтинговых и иных услуг технического характера.

При таком учреждении должен существовать метрологический центр по испытаниям средств водоизмерения, адаптации серийно выпускаемых измерительных приборов применительно к условиям эксплуатации на мелиоративных системах, разработке и исследованиям новых средств измерений и соответствующего технологического оборудования, апробирования методик поверки средств водоучета и водоизмерения и др.

Поскольку технических возможностей одного центра для метрологического обеспечения всех водохозяйственных организаций России очевидно недостаточно, он может иметь свои филиалы в регионах, где существует развитое орошаемое земледелие и соответствующие оросительные системы. Основной задачей их деятельности является контроль эксплуатации средств измерений, метрологическая аттестация нестандартизованных пунктов водоучета, поверка и градуировка измерительных приборов и другого оборудования, выполняемых на договорных условиях.

Основной объем работ по метрологическому обеспечению водохозяйственной деятельности должен осуществляться региональными подразделениями службы эксплуатации, которые должны составлять систему исполнительных органов ведомственной метрологической службы. Повышение статуса и возможностей метрологических служб эксплуатационных и водохозяйственных организаций, различие объемов работ по метрологическому обеспечению водопользования в регионах России определит и существенные различия в структуре, штатах и задачах региональных метрологических служб.

Особенностями деятельности региональных подразделений ведомственной метрологической службы в современных условиях являются:

- осуществление самостоятельной закупки и комплектации пунктов водоучета необходимыми средствами измерения и другого технологического оборудования;

- обеспечение сервисного обслуживания и текущего ремонта средств измерений самостоятельно либо с привлечением специализированных организаций;

- организация (выполнение) совместно с уполномоченными подразделениями Росстандарт и производителями приборной продукции работ по аттестации пунктов водоучета и водоизмерения, а также периодических поверочных работ;

- проведение совместно с головной организацией ведомственной метрологической службы аудита состояния пунктов водоучета на мелиоративных системах, оснащенности нормативно-методической документацией и порядка ее использования, подготовки и своевременного представления необходимой отчетной информации.

Учитывая тенденции реформирования системы технического регулирования и метрологического обеспечения производства в России дальнейшее совершенствование структуры ведомственной метрологической службы в области мелиорации должно идти в следующих направлениях:

- решение правовых вопросов деятельности ведомственной метрологической службы в области мелиорации в рамках Минсельхоза России и в отношениях с Министерством природных ресурсов и Росстандарт;

- создание дееспособных подразделений ведомственной метрологической службы в эксплуатационных организациях для выполнения производственных работ по метрологическому обеспечению систем водоучета и водоизмерения;

- обеспечение финансирования и необходимого материально-технического обеспечения деятельности ведомственной метрологической службы;

- организация совместно с территориальными органами Росстандарт региональных метрологических центров с возложением на них функций сервисного обслуживания, ремонта и метрологического обеспечения средств измерения и другого оборудования, входящего в состав систем водоучета и водоизмерения;

- возможная передача региональным метрологическим центрам и дилерских полномочий по материально-техническому обеспечению эксплуатационных организаций средствами измерений и соответствующим оборудованием;

- для повышения эффективности работы подразделений метрологических служб эксплуатационных организаций, необходимо разработать и организовать выпуск малыми партиями передвижных лабораторий диагностики, сервисного обслуживания и поверки средств водоучета и водоизмерения.

В соответствие с новыми подходами к организации метрологической службы ее структура может иметь следующий вид (рисунок 22).



**Рисунок 22 – Перспективная структурная схема организации метрологической службы мелиоративной отрасли**

Для решения новых задач потребуется совершенствование структуры региональных метрологических служб. При этом они должны включать в свой состав и подразделения метрологической службы водохозяйственных эксплуатационных организаций. При организации метрологического обеспечения пунктов водоучета в эксплуатационных условиях предлагается следующая идеология их оснащения средствами измерений, в том числе измерительными комплексами со средствами трансляции данных измерения на центральные диспетчерские пункты. В частности коммерческие пункты водоучета на водовыпусках хозяйствующим субъектам и мелиоративных насосных станций должны оснащаться автоматизированными расходомерами-счетчиками. Могут использоваться два варианта эксплуатации расходомеров-счетчиков.

Основной вариант предполагает стационарную установку прибора, позволяющую реализовать все функции, заложенные в измерительном приборе. В случае допустимости эпизодического контроля расхода воды при согласии водопотребителя может использоваться вариант съемного вторичного блока при сохранении на водовыпуске датчиков-излучателей. Во втором варианте при эксплуатации снижаются требования к организации постоянного контроля сохранности оборудования.

Возможный вариант организации региональной метрологической службы представлен на рисунке 23.



**Рисунок 23 – Структурная схема организации региональных подразделений метрологической службы**



На мелиоративных насосных станциях эксплуатация расходомеров-счетчиков упрощается вследствие наличия стабильного энергоснабжения и постоянного присутствия персонала станции. В этих условиях возможно использование различных типов расходомеров-счетчиков, включая применение многоканальных систем в которых один вторичный блок обслуживает группу до 4 и более трубопроводов. Это позволяет снизить расходы на приборное обеспечение и метрологическое обеспечение (поверки и т.п.) средств измерений.

Балансовые пункты водоучета на открытых каналах оросительных систем предлагается оснащать простейшими средствами измерения уровня воды по аналогии с существующей технологией. При этом требуется как первичная метрологическая аттестация контрольных створов с обязательной первичной градуировкой средств измерений, так и регулярная поверка средств измерения уровня воды с повторной поверочной градуировкой контрольного створа пункта водоучета.

На рисунке 24 представлена предлагаемая схема организации метрологического обеспечения водоучета на объектах ОС.



**Рисунок 24 – Структурная схема организации метрологического обеспечения водоучета на объектах ОС**

При использовании высокоточных измерительных приборов для градуировки контрольных створов (например, измерительный комплекс, описанный в разделе 2.3) вполне возможно получение достоверных результатов измерения расходов воды, в том числе методом «скорость – площадь» в фиксированных руслах каналов. Учитывая многочисленность балансовых пунктов водоучета на каналах ОС, отсутствие их энергоснабжения и охраны гидromетрических сооружений, рекомендуемый способ организации водоучета в современных условиях эксплуатации ОС является наиболее экономичным и простым. Во всех случаях при вводе в эксплуатацию как «коммерческих» пунктов водоучета на водовыпусках, так и пунктов водоучета на мелиоративных насосных станциях требуется проведение их метрологической аттестации.

Такова общая оценка ситуации в области метрологического обеспечения водоучета как в прошлом, так и современных условиях. В обозримой перспективе существенных изменений в законодательной и нормативно-правовой базе не предвидится, поэтому разработку новых технологий водоучета следует проводить, учитывая метрологические требования как базисный критерий.

#### **4 Автоматизированные информационно-измерительные системы контроля технологических параметров процессов водопользования**

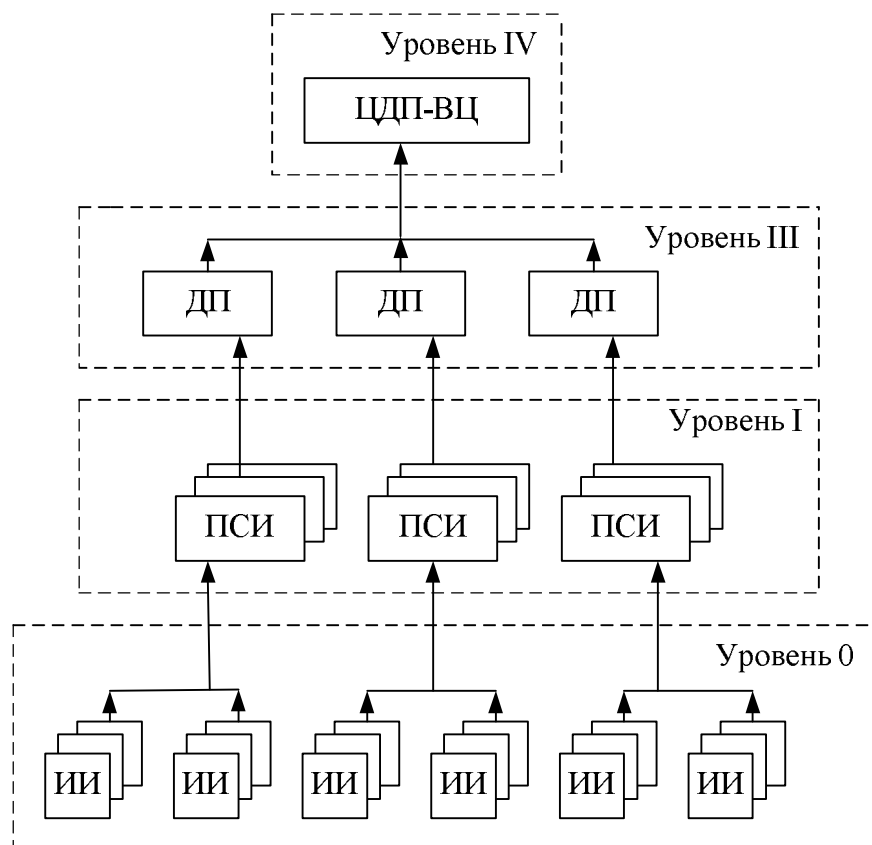
##### **4.1 Принципы построения информационно-измерительных комплексов обеспечения водопользования**

При построении информационно-измерительных комплексов выбор структуры и КТС СИО во многом зависит от начального уровня технической оснащённости ОС и наличия телефонных или иных каналов связи. При этом преобладающим фактором является вид и характеристики телекоммуникационных каналов связи. Опыт создания АСУТП ОС [13, 24, 28, 36, 59, 60, 80], анализ современного состояния ОС показал, что для передачи информации используются в основном общегосударственные телефонные или местные радиотелефонные каналы связи. Ранее на отдельных ОС

апробировались телемеханические системы с проводными (кабельными) линиями связи. В настоящее время все они практически утрачены, а их восстановление не рентабельно.

Структура измерительных систем и КТС определяется, исходя из существующей конструкции объектов ОС и характера технологических процессов. В общем случае СИО представляет собой сложную многоуровневую структуру. На нулевом уровне располагаются источники технической, гидрологической и агрометеорологической информации (ИИ). На первом уровне располагаются ПСИ, в которые поступает информация с нулевого уровня. На более высоких уровнях находится коммутационное оборудование, размещенное в ДП и позволяющее более полно использовать каналы связи. В корневой вершине располагается ЦДП-ВЦ для обработки всей поступающей информации. С учетом особенностей формирования СИО на нулевом и первом уровне целесообразно использование многоканальных измерительных систем, а на уровне II и IV могут применяться исключительно многоточечные измерительные системы [150]. Типовая иерархическая структура системы информационного обеспечения водопользования представлена на рисунке 25.

Система информационного обеспечения, по сути, является аналогом управленческой информационной системой (УИС). Существует определение, что УИС – «это организованный набор процессов, который обеспечивает информацией администраторов с целью поддержки операций и решений, принимаемых в организации». В контексте настоящей работы понятие «организованный набор процессов» относится к аппаратуре для ввода данных, предварительной их обработки, набору аналитических средств (математические модели), взаимосвязи различных аналитических средств и вводу на экран монитора в графической или табличной форме данных или информации в области управления использованием поливной воды.



ЦДП-ВЦ – центральный диспетчерский пункт, совмещенный с вычислительным центром; ДП – диспетчерский пункт; ПСИ – пункт сбора информации; ИИ – источник информации

**Рисунок 25 – Типовая иерархическая структура системы информационного обеспечения водопользования**

Общие требования к СИО можно сформулировать в виде следующих положений.

Система должна иметь целостный характер. Оптимальное функционирование системы зависит от взаимозависимости отдельных ее компонентов. Ввиду целостного характера системы позитивные изменения одного компонента системы могут отрицательно сказываться на другом компоненте.

Системы являются дифференцированными. Целостный характер системы определяет характер ее структурирования таким образом, чтобы совершенствование или модификация какого-либо из компонентов системы не сказывалось отрицательно на функционировании других компонентов. Следовательно, для СИО наиболее предпочтительна модульная структура. Модульный принцип обеспечивает возможность эволюции до самой современной технологии.

Системы должны быть синергичными. Синергизм определяется как качество «целого, превышающего сумму его частей». Реализация этого принципа возможна за счет совершенствования имитационного моделирования технологических процессов. Серия моделей должна исследовать процессы без вмешательства человека, а передача данных из одной модели в другую для генерирования управленческих решений должна обеспечиваться с помощью программного обеспечения. Это позволяет создать СИО работающих в масштабе времени близкому к расчетному.

Системы должны быть иерархичными. Системный подход определяет два типа иерархических структур: одна из них относится к взаимосвязи моделей в СИО, вторая – к типу и уровню взаимодействия между СИО и пользователем. По мере повышения иерархического уровня пользователя тип требуемой информации меняется (информация должна быть представлена в сжатом виде). С появлением параллельных процессов несколько модулей могут работать одновременно для модуля более высокого уровня с тем, чтобы ускорить процесс принятия решений.

При организации управления водопользованием помимо технологических решается и ряд организационно-экономических задач. В других областях хозяйственной деятельности, например, в коммунальном водоснабжении, имеет место реализация как АСУТП, так АСОУ [150]. В этом случае образуется комплексная система, которая представляет собой интегрированную иерархическую систему, сочетающую функции АСОУ и АСУТП и обеспечивающую согласованное по целям, критериям и процедурам обработки данных совместное функционирование этих систем. Создание АСУОТ направлено на обеспечение взаимодействия задач автоматизированного управления путем совместимости программного, информационного, технического и организационного обеспечения систем, входящих в состав АСУОТ.

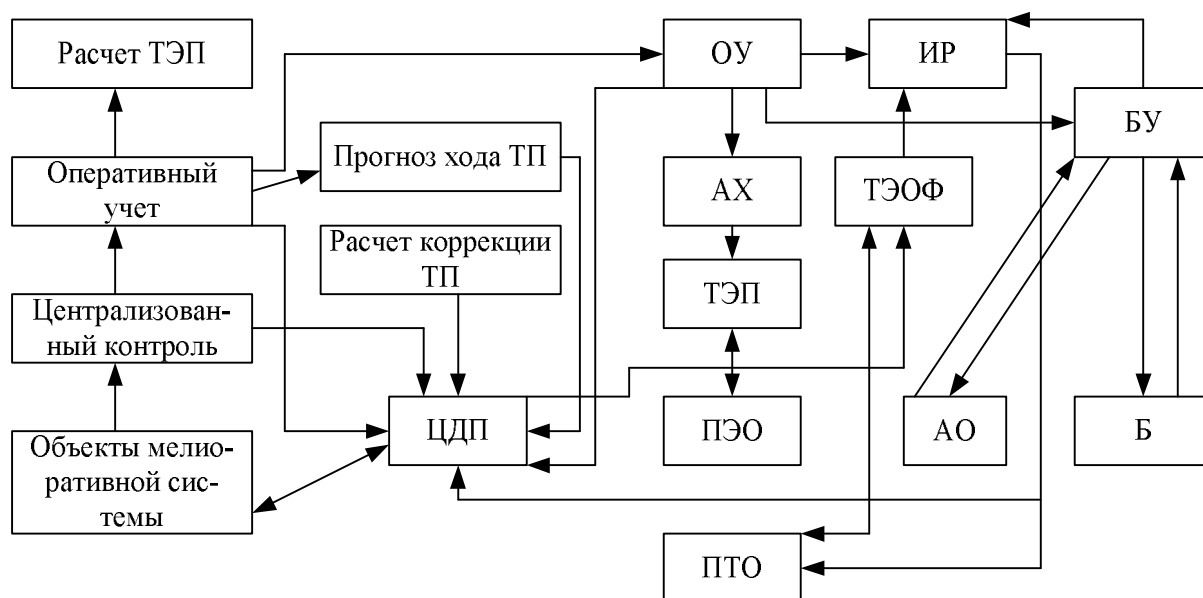
При создании АСУОТ водопользования решают следующие комплексы задач:

- задачи АСУТП водопользования;
- задачи АСОУ водопользования;
- сервисные задачи, обеспечивающие взаимосвязь задач АСУТП и АСОУ.

В состав АСУОТ должны входить задачи, реализующие функции АСУТП и информационно связанные с ней задачи АСОУ, другие необходимые для экономического управления задачи АСОУ, а также задачи, предусматривающие автоматизацию функций, находящихся на стыке АСОУ и АСУТП (расчеты развития технологических процессов, анализа аварийных ситуаций и др.).

Сервисные задачи могут включать общесистемные средства, обеспечивающие создание и ведение единой базы данных, выдачу данных пользователям, информационный обмен между взаимодействующими задачами и т.п.

Рассмотрим информационные связи между комплексами задач АСУТП и АСОУ водопользованием. Схема таких связей показана на рисунке 26.



ЦДП – центральный диспетчерский пункт; ОУ – оперативный учет; ТЭП – технико-экономическое планирование; АХ – анализ хозяйственной деятельности; ИР – инженерные расчеты; ТЭОФ – техническая эксплуатация основных фондов; БУ – бухгалтерский учет; Б – бухгалтерия; АО – анализ отчетности; ПТО – производственно-технический отдел; ПЭО – планово-экономический отдел

**Рисунок 26 – Схема информационных связей между комплексами задач АСУТП и АСОУ**

В АСУТП водопользования информация, собираемая на объектах ОС, передается в блок «Централизованный контроль», а оттуда – по трем направлениям:

- в блок «Оперативный учет» для регистрации и накопления оперативной информации о технологических параметрах и состоянии оборудования;

- в блок «Определение рационального режима ведения технологического процесса» для решения задач корреляции режимов при отклонениях контролируемых параметров в характеристических точках ОС;

- на устройства отображения ЦДП на дисплеях или мнемощитах наиболее важных контролируемых параметров.

Информация из блока «Учет» передается по четырем направлениям:

- в блок «Расчет ТЭП» для подсчета технико-экономических показателей;

- в блок «Прогнозирование хода технологических процессов» для решения задач оперативного планирования оптимальных режимов эксплуатации ОС;

- на дисплей ЦДП для выдачи диспетчеру в регламентном режиме (режимный лист) или по запросу;

- в подсистему «Оперативное управление» АСОУ для накопления и решения задач учета за месяц, квартал, год.

Из блока «Расчет ТЭП» подсчитанные технико-экономические показатели передаются на дисплей ЦДП для выдачи диспетчеру по запросам справок для оценки экономичности технологического процесса и принятия решений по рациональному управлению. Таким же образом для диспетчера из блока «Прогнозирование хода технологических процессов» передаются рекомендации по оптимальным режимам работы сооружений и из блока «Определение рационального режима ведения технологических процессов» – рекомендации по коррекции режимов.

В АСОУ водопользованием информация из подсистемы «Оперативное управление» передается по следующим направлениям:

- в подсистему «Анализ хозяйственной деятельности» для оценки выполнения плановых заданий по реализации воды, удельным затратам электроэнергии и др.;

- в подсистему «Технико-экономическое планирование» для использования при расчетах планов работы ОС;

- в подсистему «Бухгалтерский учет» для использования при расчетах заработной платы, при составлении отчетов, учета движения расчетов и др.;

- в подсистему «Инженерные расчеты» для решения задач гидравлических расчетов водопроводящих сетей, т.е. задач, находящихся на стыке АСОУ и АСУТП.

Из ЦДП в подсистему «Техническая эксплуатация основных фондов (ТЭОФ)» передаются данные об авариях и затратах на их ликвидацию для решения задач учета и анализа аварийно-восстановительных работ. В эту же систему поступает из «Производственно-технического отдела» информация о проведении планово-предупредительных ремонтов, капитальных ремонтов, изменениях технических характеристик объектов и т.п.

Из подсистемы ТЭОФ технические характеристики объектов передаются в подсистему «Инженерные расчеты».

Из отдела водопользования в подсистему «Бухгалтерский учет» передаются данные о расходах воды потребителями, что необходимо для начисления и учета платежей за воду. Эта информация передается также в подсистему «Инженерные расчеты» для формирования гидрографов расхода на водопитателях и регулирующих ГТС.

В свою очередь из подсистемы «Инженерные расчеты» результаты решения задач передаются в производственно-технический отдел и в ЦДП.

Анализ перечисленных выше информационных связей позволяет сделать следующие обобщения:



1) при создании АСУОТ особую важность имеет проработка вопросов обеспечения организационной, информационной, программной и технической совместимости задач экономического и технологического управления;

2) существенную роль играет методическое единство решения задач АСУОТ. Прежде всего, это относится к задачам учета АСУТП и оперативного управления АСОУ, расчета технико-экономических показателей АСОУ. По существу эти задачи отличаются лишь периодичностью решения (в АСУТП – в почасовом разрезе за сутки, декаду, а АСОУ – в суточном разрезе за месяц, квартал, год);

3) проектные решения по информационному обеспечению АСУОТ должны включать: способы создания массивов информационной базы на машинных носителях, организацию обмена данными между задачами; описание системы классификации и кодирования, способов преобразования кодов взаимодействующих задач; описание решений по обеспечению информационной совместимости частей системы, в том числе описание входных и выходных массивов с указанием их наименований и идентификаторов, форматов записи, ключа и др.; описание характеристик информационных баз, необходимых для организации обмена данными между взаимодействующими задачами; описание регламента информационного обмена; описание порядка внесения изменений, методов контроля достоверности информации и защиты информации при взаимодействии;

4) информационная совместимость задач АСУОТ достигается за счет:

- единой системы классификации и кодирования;
- сопоставимости всех взаимосвязанных информационных показателей;
- единых форм управленческих документов;
- единой системы терминов, понятий и нормативно-справочной информации;

- согласованных алгоритмов формирования технико-экономических показателей на всех уровнях управления;

5) программная совместимость достигается в результате выбора соответствующих операционных систем, программного обеспечения взаимодействующих задач и разработки (при необходимости) специальных программ, определяющих сопряжение отдельных задач в комплексы, соответствующие функциям управления АСУОТ. Совместимость основывается на использовании типовых и стандартных программных средств и унификации программного обеспечения.

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

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

При составлении программного обеспечения целесообразно введение ряда терминов, определения которых приведены ниже [150].

Измерительная точка – совокупность датчика и преобразователя контролируемого параметра, установленных на ограниченной поверхности объекта, состояние которой практически однородно.

Степень нагружения – квазистатическое состояние объекта в выбранный момент времени. Состояние объекта в этот момент времени считается неизменным и определяется значениями таких величин, как уро-

вень, скорость, расход, давление, температура и т.п. На ступени считываются показания всех приборов, которые образуют массив показаний.

Режим измерений – совокупность определенной последовательности ступеней, заданных программой измерений. В пределах одного режима номера ступеней представляют числа натурального ряда.

«Опрос» – совокупность режимов (данные по всей программе измерений на объекте). В пределах опроса номера режимов представляют собой числа натурального ряда.

Номер нулевой ступени – номер ступени, показания приборов на которой принимают за начальные отсчеты при определении выходных сигналов измерителей параметров.

Номер очередной ступени – номер ступени, показания приборов на которой принимают за текущие отсчеты при определении выходных сигналов измерителей параметров.

Номер нулевого режима – номер режима, содержащий нулевую ступень.

Номер очередного режима – номер режима, содержащий очередную ступень.

Массив исходных данных – массив, содержащий характеристики опроса (символьные константы, коэффициенты для вычисления полиномов и т.п.).

Дескриптор-описатель набора данных – вводимый параметр – символьная константа, определяющая текущее состояние объекта, которую вводит оператор перед опросом на очередной ступени.

Исключенное показание – показание прибора, исключаемое из обработки по решению оператора. Исключение делают для неисправных или неподключенных первичных преобразователей.

При создании программного обеспечения СИО важное значение имеет формализация описания «Опроса». Задачи сбора и первичной обработки информации типичны – это опрос первичных преобразователей и

вычисление значений контрольных параметров характеризующих состояние объекта. Для учета особенностей, отличающих один опрос от другого, необходимо обеспечить возможность адаптации системы программ сбора и обработки информации к условиям конкретного опроса.

Алгоритм адаптации следующий. Все выходные данные, однозначно характеризующие существо опроса, формируются в виде отдельного блока. В состав блока могут входить константы, коэффициенты полиномов, дескрипторы. Каждая составная часть блока представляется одним или несколькими массивами. Так, в несколько одномерных массивов сводятся коэффициенты полиномов для определения величин расчетных параметров. В виде одномерных массивов записываются также дескрипторы, содержание которых однозначно определяет структуру массивов показаний приборов и порядок обработки этих показаний.

Дескриптор показаний приборов определяет структуру массивов показаний измерительных приборов. В состав показаний приборов входят отсчеты по средствам измерения, образующим измерительные точки технологического назначения, тестирующим измерителям и другим средствам измерения, определяющим линейно-угловые параметры. Типовая структура дескриптора [150] представлена в таблице 32.

**Таблица 32 – Типовая структура дескриптора**

№ п/п	Определение элемента дескриптора
1	Тип источника информации
2	Число показаний рабочего прибора
3	Число показаний тестирующего прибора
4	Порядок следований показаний приборов
5	Число контрольных точек
6	Номер первой контрольной точки
7	Число измерительных точек
8	Число тестирующих измерителей
9	Число измеряемых параметров

Все элементы дескриптора, за исключением элементов № 1 и № 4, характеризуются численными соотношениями. Определенные значения этих соотношений зависят от требований, предъявляемых к системе программного обеспечения, характеристик операционной системы, типов из-

мерительных приборов, а также оперативной и долговременной памяти применяемой ЭВМ.

Дескриптор измерительной точки определяет порядковый номер и тип измерительной точки: одно- двух- или трехкомпонентная точка. При этом вводятся значения индивидуальных ограничений, определяющих возможность исключения показаний приборов, как недостоверных и т.п.

Число дескрипторов равно числу измерительных точек СИО. Такая формализация позволяет обеспечивать адаптацию измерительно-информационной системы к изменяющимся условиям эксплуатации. Дескрипторы удобно представлять в табличной форме (таблица 33).

**Таблица 33 – Структура дескриптора измерительной точки**

Номер элемента	Определение элемента дескриптора
Номер измерительной точки	
1	число, обозначающее тип измерительной точки
2	места размещения измерительной точки
3	устройства обработки первичной информации
Номера отсчетов в массиве показаний приборов для	
4	уровня воды верхнего бьефа
5	уровня воды нижнего бьефа
6	величины покрытия затвора регулятора
7	давления воды в напорном коллекторе насосной станции
8	расхода воды в насосном агрегате
Значения индивидуальных ограничений	
9	по достоверности показаний приборов
10	по применению уровня воды
11	по изменению величины линейно-угловых параметров
12	по изменению давления в натурном трубопроводе
13	по изменению расхода в напорном трубопроводе

Программное обеспечение включает ведущую программу-диспетчер и три программы-диспетчеров второго уровня: программы-диспетчера ввода данных, характеризующих процесс проведения «опроса»; программы-диспетчера редактирования данных в ходе «опроса»; программы-диспетчера сбора и обработки информации.

Программа второго уровня предусматривает работу в диалоговом режиме. Ввод данных может осуществляться по запросу системы на дисплее, что исключает возможность неполного ввода данных и обеспечивает необходимую последовательность.

Программа диспетчер ввода данных обеспечивает управление комплексом программ четвертого уровня (и программ, находящихся на пятом уровне), которые осуществляют ввод дескрипторов, оперативных данных и вводимых параметров. Этот комплекс программ предусматривает формальный контроль вводимой информации и редактирование ее при обнаружении ошибок.

Программа-диспетчер редактирования данных обеспечивает управление комплексом программ, позволяющих вносить изменения в ранее введенные дескрипторы по ходу «опроса». Этот комплекс так же, как и предыдущий предусматривает формальный контроль вводимой информации.

Программа-диспетчер сбора и обработки информации управляет четырьмя программами третьего уровня, организующими контроль измерительной системы, сбор информации по ступеням и первичную обработку информации по измерительным точкам.

Программа контроля измерительной системы вызывается автоматически при каждом обращении к сбору информации и осуществляет оценку соответствия значений показаний контрольных точек и среднего квадратического значения разброса показаний приборов при многократном измерении. Если эти параметры выходят за пределы допусков, выдается информация для принятия решения.

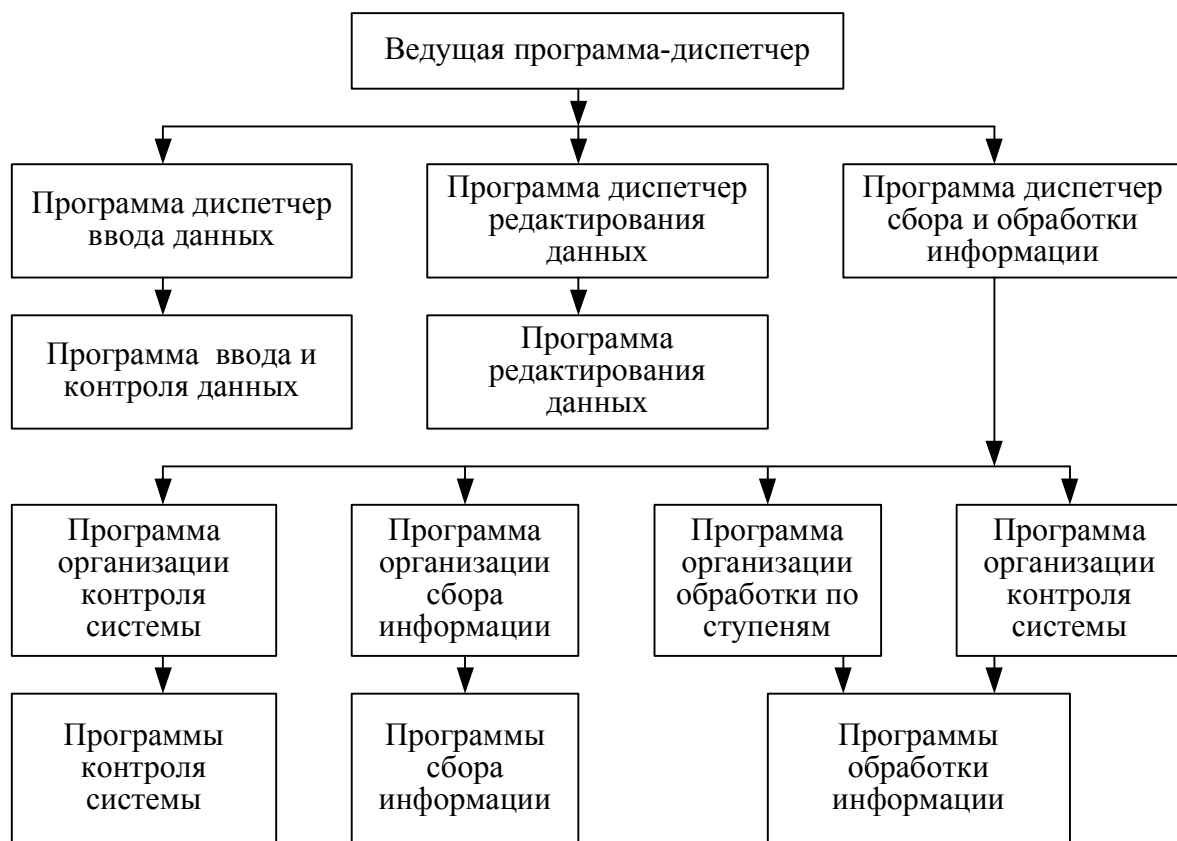
Программа сбора информации осуществляет управление «опросом» измерительных точек, формальным контролем правильности вводимой информации, выявлением грубых промахов и исключением их из обработки, вычислением средних значений показаний приборов и пересылкой их на хранение в долговременное энергонезависимое запоминающее устройство.

При проведении «опроса» собранная информация представляет собой матрицу, строка которой соответствует показаниям по всем измерительным точкам для одной ступени, а столбцы – показаниям по одной точке последовательно по всем ступеням. Предусматривается соответственно

два вида обработки информации. Первый – обработка по ступеням, дающая возможность судить о состоянии объекта и сопутствующих параметрах на каждой ступени; второй – по измерительным точкам, дающий возможность изучать динамику изменения состояния и сопутствующие параметры для каждой точки объекта.

Эти два вида обработки обеспечивают две программы третьего уровня: программа организующая обработку информации по ступеням и программа, организующая обработку информации по измерительным точкам. Обе эти программы обращаются к программам четвертого уровня и подпрограммам пятого уровня, которые осуществляют первичную обработку информации. Обработка информации заканчивается оценкой погрешности измерений.

Структура программного обеспечения представлена на рисунке 27.



**Рисунок 27 – Структурная схема программного обеспечения СИО**

Математическое и программное обеспечение СИО базируется на теоретическом описании гидродинамических процессов в технологиче-

ских объектах ОС и общих принципах управления водопользованием. Поэтому в процессе математического и дальнейшего имитационного моделирования технологических процессов возможны определенные допущения и исключения из общих правил [14, 49, 53, 150].

Математическое обеспечение информационно-измерительных систем должно разрабатываться с учетом модульности и иерархичности структурного построения систем, в следующем порядке:

- определяется структура математического обеспечения по видам аналитических взаимосвязей и возможному делению на расчетные модули;

- выделяется группа статических или квазистатических измеряемых параметров, дискретные изменения которых вызывают переходные процессы различной длительности. Эта группа параметров характеризует внешнее воздействие на ОС;

- устанавливается состав параметров, изменяющихся во времени под влиянием внешних воздействий;

- определяются и группируются аналитические взаимосвязи основных параметров, характеризующих объект в статике и динамике. Аналитические зависимости формализуются и приводятся к уровню достаточному для организации комплексной обработки и трансляции информации между структурными звеньями СИО;

- для выявления динамических характеристик вводятся типовые корреляционные (или взаимокорреляционные) функции и соответствующие спектральные (или взаимоспектральные) плотности;

- определяются конечные и промежуточные формы представления информации в соответствии с задачами информационного обеспечения.

Фактически должен создаваться комплекс моделей четвертого и пятого уровней, логически объединяемых программным обеспечением третьего, второго и первого уровня, после чего расчетные задачи решаются с использованием ЭВМ.



## **4.2 Критерии выбора технических средств контроля технологических параметров**

В идеологии информационного обеспечения информация, получаемая с объектов ОС и формируемая на ЦДП, подразделяется на технологическую, тестовую и прогнозную.

Технологическая информация отражает фактическое состояние объектов ОС через контролируемые параметры.

Тестовая информация с контрольных точек ОС является строго параметрической, имеет ограниченный объем и поступает на ЦДП независимо от другой информации. По каналам поступления тестовой информации может транслироваться лишь информация о неординарных ситуациях на ОС.

Прогнозная информация формируется в ЦДП на основе моделирования технологических процессов водопользования с использованием других видов информации (технологической и тестовой).

В общем виде все процедуры сбора и обработки информации о состоянии объектов оросительной системы, включая формирование информационных потоков, можно объединить термином «диагностика технологических процессов водопользования».

Методология диагностики выполнения технологических процессов водопользования основана на сравнении данных о величинах управляющих воздействий с соответствующими данными о величинах параметров, характеризующих фактическое изменение состояния объекта управления. Для повышения оперативности диагностики оценка состояния (характеристики протекания) технологического процесса производится не по величинам измеряемых или контролируемых параметров, а по их отклонениям от требуемых величин. При таком методе возможно перенесение процедуры диагностики с объектов ОС непосредственно на ЦДП.

Для упорядочения процедуры диагностики целесообразно введение понятия «показатель диагностики», который определяет совокупность ин-

формационных данных о величинах отклонений технологических параметров, однозначно характеризующих состояние объекта управления и ход технологического процесса.

Показатели диагностики объектов ОС должны быть одномерными, т.е. содержать данные об отклонениях единичного или комплексного контролируемого технологического параметра. В последнем случае комплексный параметр понимается как результат преобразования совокупности взаимосвязанных единичных параметров в иной вид единичного параметра. Например, единичный параметр «расход воды» есть преобразованная совокупность единичных параметров «уровень воды ВБ», «уровень воды НБ» и «величина открытия затвора». Использование показателей диагностики позволяет уменьшить объем выходной информации и уплотнить информационные потоки между объектами ОС и ЦДП.

Поскольку для диагностики технологических процессов используются как тестовые величины технологических параметров, так и их отклонения необходимо регламентировать процесс преобразования параметрической информации, получаемой на объектах ОС. При этом параметрическая информация, полученная с использованием методов прямого инструментального измерения и контроля, преобразуется в показатели диагностики.

Базовые предпосылки такой регламентации следующие:

- управление технологическими процессами на объектах ОС осуществляется дискретными командами с диспетчерских пунктов, несущими информацию о корректировке текущих величин контролируемых технологических параметров;

- отклонение величины контролируемых технологических параметров от требуемых (заданных) в допустимых пределах подтверждает правильный ход и управляемость технологических процессов, а также исправность технических средств управления и информационного обеспечения;

- исключение аварийных ситуаций на объектах ОС и контрольная диагностика самих средств измерения технологических параметров обес-

печивается дискретным тестированием ОС независимой подсистемой внутреннего контроля.

Технологические параметры, измеряемые или контролируемые на объектах ОС, в соответствии с принятой градацией (раздел 2.2) делятся на два основных вида: гидравлические и линейно-угловые. При этом возможно преобразование ряда единичных параметров, входящих в разные группы, в некий комплексный параметр. Для трансформации технологических параметров в показатели диагностики целесообразно предварительное сведение параметров в группы.

Теоретически типовой технологический показатель может характеризовать: единичный объект; группу объектов, входящих в объекты ОС; фрагмент технологического процесса или процесс в целом. Все зависит от методов формализации исходных параметров и идентификации технологических показателей, как единиц информации. Технически целесообразно сведение группы (групп) параметрических данных в информационную матрицу с последующей обработкой и кодировкой выходной информации.

Каждая группа взаимосвязанных параметров обозначается в виде типового технологического показателя (таблица 34).

**Таблица 34 – Перечень типовых технологических показателей**

Наименование технологического показателя	Характеристика показателя	Индекс показателя	Состав параметрических данных
Расход-I	Расход воды в водотоке (канал, закрытый водовод)	$2n$	Площадь сечения русла, скорость воды
Расход-II	Расход воды через регулирующие ГТС, водовыпуски	$3n$	Уровень ВБ Уровень НБ Открытие затвора
Уровень-I	Уровень воды в характерных точках водопроводящей сети	$1n$	Уровень
Уровень-II	Перепад уровней на сопрягающих ГТС	$2n$	Уровень ВБ Уровень НБ
Уставка-I	Положение затвора ГТС – водовыпуск потребителям	$1n$	Величина открытия затвора (заданная)
Уставка-II	Положение затвора водораспределительного узла	$2n \div 4n$	Величина открытия затвора (заданная)
$n$ – число измеряемых (контролируемых) технологических параметров в объектах ОС			

При организации информационного обмена между ЦДП и объектами ОС возможно использование двух методов сбора, обработки и передачи данных диагностики.

В первом случае на объектах ОС обеспечивается сбор и первичная обработка исходных параметрических данных, которые в виде кодированных технологических показателей передаются на ЦДП, где информация дешифруется и сравнивается с аналогичной управленческой информацией. В результате показатели диагностики формируются на ЦДП с использованием достаточно мощных ЭВМ. Метод применим для ОС с невысоким уровнем автоматизации объектов ОС.

Во втором случае на объектах ОС производится полная обработка исходных параметрических данных в показатели диагностики, которые передаются на ЦДП.

В любом случае предусматривается типовая процедура трансформации технологических показателей в показатели диагностики. В основе такой процедуры лежит постулат о том, что процесс управления водопользованием характеризуется условно дискретным переходом объектов ОС из одного состояния в другое при сохранении условий непрерывности гидродинамических процессов в звеньях водопроводящей сети.

Предположим, что в момент времени  $t_i$  состояние объектов ОС характеризуется информационной матрицей данных  $I_i$ . Через определенный период времени  $\Delta t$  очередная оценка состояния объектов ОС сформирует информационную матрицу  $I_{i+1}$  (рисунок 28).

$t_i$				
$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$
$I_6$	$I_7$	$I_8$	$I_9$	$I_{10}$
$I_{11}$	$I_{12}$	$I_{13}$	$I_{14}$	$I_{15}$
$I_{16}$	$I_{17}$	$I_{18}$	$I_{19}$	$I_{20}$
$I_{21}$	$I_{22}$	$I_{23}$	$I_{24}$	$I_{25}$

$t_i + \Delta t$				
$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$
$I_6$	$I_7$	$I_8$	$I_9$	$I_{10}$
$I_{11}$	$I_{12}$	$I_{13}$	$I_{14}$	$I_{15}$
$I_{16}$	$I_{17}$	$I_{18}$	$I_{19}$	$I_{20}$
$I_{21}$	$I_{22}$	$I_{23}$	$I_{24}$	$I_{25}$

**Рисунок 28 – Примерный вариант построения унифицированных информационных матриц для трансформации параметрических данных о состоянии объектов ОС**

Введенные в информационную матрицу данные могут выражать либо физическую величину параметра, либо его отклонение от заданной величины. В том и другом случае достоверность информации будет зависеть от метрологических характеристик методов и средств измерения искомых величин.

Предельно допустимые погрешности измерения параметров определяются рядом факторов. К их числу относятся:

- теоретически возможная точность измерения параметра, которая определяется свойствами объекта измерения;
- технические возможности средств измерений при условии нормальной эксплуатации;
- метрологическое обеспечение измерений, определяющее достоверность получаемых данных.

Допустимые отклонения измеряемых параметров при реализации управляющих воздействия в технологических объектах ОС определяются на основе результатов имитационного моделирования работы объектов и подвергаются обязательной верификации в реальных условиях эксплуатации ОС.

Таким образом, для каждого контролируемого параметра на объектах ОС устанавливаются две метрологические характеристики – допустимая погрешность измерения параметра и допустимое отклонение параметра при управлении технологическими процессами. Соотношение их может быть различным в зависимости от вида технологического показателя.

Процедура трансформации технологических показателей в показатели диагностики предусматривает формализованное сопоставление данных информационных матриц –  $I_i$  и  $W_i$ . При этом существенное значение приобретают величины погрешности измерений контролируемых параметров и допустимые величины их отклонений, задаваемых алгоритмом управления технологическими процессами.

Особая роль в диагностике технологических процессов водопользования принадлежит тестовой информации о состоянии объектов ОС. Тестовая информация формируется из результатов измерения определенной группы технологических параметров в критических точках ОС.

Метод установления метрологических характеристик показан в таблице 35.

**Таблица 35 – Метрологические характеристики технологических показателей состояния объектов ОС**

Вид показателя	Индекс показателя	Допустимая погрешность измерения параметров	Допустимое отклонение параметров при управлении ОС	Соотношение погрешностей и отклонений
Расход-I	$3n$	$\pm \Delta h_1$ (%), $\pm \Delta h_2$ (%), $\pm \Delta a$ (%) $X_I = \sqrt{\Delta h_1^2 + \Delta h_2^2 + \Delta a^2}$	$\pm \Delta A_1$ (%), $\pm \Delta A_2$ (%), $\pm \Delta B$ (%) $Y_I = \sqrt{\Delta A_1^2 + \Delta A_2^2 + \Delta B^2}$	$X_I \leq Y_I$
Расход-II	$2n$	$\pm \Delta h$ (%), $\pm \Delta W$ (%) $X_{II} = \sqrt{\Delta h^2 + \Delta W^2}$	$\pm \Delta A$ (%), $\pm \Delta B$ (%) $Y_{II} = \sqrt{\Delta A^2 + \Delta B^2}$	$X_{II} \leq Y_{II}$
Уровень-I	$1n$	$\pm \Delta H_1$ (%) $X_I = \pm \Delta H_1$	$\pm \Delta A_1$ (%) $Y_I = \pm \Delta A_1$	$X_I \leq Y_I$
Уровень-II	$2n$	$\pm \Delta H_1$ (%), $\pm \Delta H_2$ (%) $X_{II} = \sqrt{\Delta H_1^2 + \Delta H_2^2}$	$\pm \Delta A$ (%), $\pm \Delta B$ (%) $Y_{II} = \sqrt{\Delta A^2 + \Delta B^2}$	$X_{II} \leq Y_{II}$
Уровень-III	$3n$	$\pm \Delta H_1$ (%), $\pm \Delta H_2$ (%), $\pm \Delta H_3$ (%) $X_{III} =$ $= \sqrt{\Delta H_1^2 + \Delta H_2^2 + \Delta H_3^2}$	$\pm \Delta A$ (%), $\pm \Delta B$ (%), $\pm \Delta C$ (%) $Y_{III} =$ $= \sqrt{\Delta A^2 + \Delta B^2 + \Delta C^2}$	$X_{III} \leq Y_{III}$
Уставка-I	$1n$	$\pm \Delta a_1$ (%) $X_I = \pm \Delta a_1$	- -	$X_I \leq Y_I$
Уставка-II	$2n \div 4n$	$\pm \Delta a_1$ (%), $\pm \Delta a_2$ (%), $\pm \Delta a_n$ (%) $X_{II} =$ $= \sqrt{\Delta a_1^2 + \Delta a_2^2 + \dots + \Delta a_n^2}$	- - - -	$X_{II} = Y_{II}$
<p><math>A, B, C</math> – параметры системы управления; <math>h, H, W</math> – измеряемые параметры СИО; <math>X_i</math> – допустимая погрешность измерения параметра <math>I</math>; <math>Y_i</math> – допустимое отклонение параметра <math>I</math> при управлении</p>				

В качестве тестовой информации рекомендуется использовать данные о величинах гидравлических параметров, как правило, уровни воды в контрольных створах водопроводящей сети.

Параметр «уровень воды» определяется методами прямого измерения. Поэтому достоверность результатов измерения определяется инструментальной погрешностью средств измерения. Методы измерения и метрологические характеристики средств измерения уровней воды стандартизованы. Современные типы уровнемеров (раздел 2.2) обеспечивают высокую точность измерения, достаточную для идентификации получаемых результатов в качестве тестовой информации.

Выбор комплекса технических средств (КТС) контроля состояния технологических объектов ОС производится на основе ряда факторов, которые можно обобщить и выразить в виде следующих критериев:

- технологическая целесообразность;
- экономическая эффективность;
- техническое совершенство;
- эксплуатационная совместимость и надежность работы.

Технологическая целесообразность применения тех или иных видов (типов) средств измерения и контроля наиболее сложный для определения и четкой формулировки критерий. Являясь основополагающим в выборе всего КТС для ОС, он не может быть выражен в виде аналитических зависимостей. По существу это сводный перечень требований и рекомендаций, определяющих подходы к решению основной технологической задачи информационного обеспечения водопользования.

На общесистемном уровне технологическую целесообразность первоочередного применения приборов и средств сбора, передачи и отображения информации для оперативного диспетчерского контроля и управления можно обосновать по показателю водообеспеченности объектов ОС.

Методология следующая [80]. Выявляются гидроузлы или технологические подсистемы с минимальными показателями водообеспеченности

( $Q_{\text{ВП}}$ ) и максимальными значениями числа критических периодов с дефицитами или избытками оросительной воды ( $nT_{\text{деф.}}$ ):

$$Q_{\text{ВП}} < 75\% \text{ при } nT_{\text{деф.}} \rightarrow \infty. \quad (38)$$

Далее выявляются эксплуатационные подразделения на ОС, которые не обеспечивают своевременного решения задач планово-балансовых расчетов, их оперативной корректировки, составления графиков диспетчерского управления в едином темпе с основным и сопряженными технологическими процессами.

Для определения времени решения отдельной задачи может использоваться формула:

$$T_{\text{рз}} = \sum_{i=1}^m T_i, \quad (39)$$

а при решении комплекса взаимосвязанных задач:

$$\sum_{k=1}^n T_{\text{рз}} \leq T_{\text{кр}}, \quad (40)$$

где  $T_{\text{рз}}$  – требуемое (нормативное) время решения информационной задачи в соответствии с выбранным дискретом времени  $dt_i$  или требованиям к решению задач в общем комплексе;

$T_i$  – время преобразования информации на  $i$ -том этапе, определяемое режимом работы ОС, частотой поступления данных и длительностью циклов обработки данных;

$T_{\text{кр}}$  – время прохождения критического пути при получении результатов решения комплекса взаимосвязанных задач;

$m$  – количество этапов обработки информации.

Выявление показателей несвоевременности решения задач по планово-балансовым расчетам ( $T_{\text{рз}} < T_{\text{норм}}$ ) указывает на технологическую целесообразность первоочередного применения средств сбора, передачи и отображения информации. В случае, если имеет место одновременное сочетание минимальных значений коэффициента равномерности расходов



$K_{\text{рв}} = Q_{\text{мин}} < 85 \%$  и экстремальных значений показателя обеспеченности водой ( $Q_{\text{вп}} < 5 \%$ ) целесообразно дополнительное применение средств локальной автоматизации технологических процессов.

На уровне объектов ОС анализ технологической целесообразности применения КТС измерения и контроля проводится на основе перечня решаемых информационных задач с учетом технической оснащенности средствами автоматизации и механизации, степени влияния объектов на общесистемные технологические процессы и принятого уровня приборного и метрологического обеспечения ОС [59].

Необходимым условием обоснованности выбора средств измерений и контроля состояния ОС является экономическая эффективность принятых технических решений.

Экономическая эффективность определяется сопоставлением потенциальных экономических эффектов и ожидаемых единовременных затрат с нормативными величинами, устанавливаемыми заказчиком или инвестором, исходя из выполняемости неравенств.

В единовременные затраты должны входить стоимость работ по частичной или полной реконструкции строительной части водорегулирующих и водомерных сооружений, технологического оборудования на них, а также прочих работ, связанных с подготовкой технологических объектов к применению средств измерения и контроля.

Вариант с минимальными затратами оценивается по техническим показателям быстродействия, достоверности, загрузке, надежности и др. Если же данный вариант КТС имеет низкие технические показатели или не удовлетворяет определенным требованиям, то производится либо подбор иных типов средств, либо корректировка требований.

Критерий «техническое совершенство КТС» включает много факторов. Основные из них:

- соответствие параметров точности и быстродействия теоретически достижимым значениям соответствующих характеристик в реальных условиях эксплуатации;

- показатели надежности функционирования элементов КТС и всей информационной системы в целом;

- метрологические характеристики средств измерения, обработки и передачи информации;

- эргономические требования, в частности, по способам и форме передачи информации;

- соответствие идеологической, элементной и конструктивной базы приборов современному уровню науки и техники с учетом перспектив их совершенствования;

- характеристики совместимости КТС информационного обеспечения со степенными системами управления процессами водопользования.

Как правило, характеристики средств измерения и контроля определяются на этапе формирования технических требований к СИО. При этом учитываются цели информационного обеспечения, особенности технологических процессов в ОС, совместимость средств измерения информационного назначения с соответствующими технологическими средствами контроля входящими в состав системы управления водопользованием и др.

Наиболее сложным вопросом выбора средств измерения является установление рациональных величин допустимых погрешностей измерения параметров в различных объектах ОС. Возникает необходимость решения оптимизационной задачи сопоставления требований к достоверности информации и экономических затрат на получение такой информации, т.е. нахождение оптимума соотношения «стоимость-точность».

На ОС к группе параметров с неопределенными требованиями к метрологическим характеристикам средств измерения относятся гидравлические параметры. Проблема заключается в выборе рационального соотно-

шения «особенности объекта измерения – метрологические характеристики средств измерения – допустимая погрешность измерения».

Гидравлические параметры качественно неоднородны. Есть единичные параметры «уровень», «актуальная скорость», непосредственно измеряемые инструментальными методами. Есть комплексные параметры «средняя скорость потока», «расход воды», «объем воды», которые требуют измерения ряда единичных параметров последующим преобразованием полученных результатов в величину искомого параметра.

В реальных условиях эксплуатации ОС повышение точности измерения или снижение погрешности измерения сопряжено с существенным увеличением стоимости таких мероприятий. Это связано с особенностями объектов измерения. Например, при измерении наиболее простого гидравлического параметра «уровень воды» возникает необходимость гашения пульсации уровня, а при неустановившемся движении потока – учитывать динамические составляющие изменения параметра. В результате наиболее совершенные образцы средств измерений не могут в полной мере реализовать свои высокие метрологические и технические возможности. Попытки их применения лишь приведут к увеличению стоимости СИО без повышения точности и достоверности получаемой информации.

В условиях платного водопользования основной расчетной единицей является объем воды. Для определения текущих объемов забираемой, транспортируемой и выделяемой потребителям воды, требуется комплексное использование всех средств измерения гидравлических параметров. В настоящее время нет методики: решения оптимизационных задач выбора средств измерения по критерию «стоимость-точность». Ее разработка является одной из задач совершенствования информационного обеспечения водопользования.

Эксплуатационная совместимость и надежность работы средств измерения и контроля является основополагающей при создании СИО. Эксплуатационная совместимость заключается в обеспечении работоспособ-

ности информационных средств измерений при совместном использовании с КТС управления и регулирования в определенных производственных условиях, а также удобств обслуживания, ремонта и настройки.

Прежде всего, должна обеспечиваться информационная совместимость КТС со смежными подсистемами по содержанию, методу кодирования и форме представления получаемой и выдаваемой информации, а также предусмотрена возможность внесения изменений и добавлений в ранее переданную информацию. Входные и выходные параметры приборов и средств измерений на объектах ОС должны обеспечивать взаимное сопряжение при построении систем централизованного контроля и управления водопользования на ОС в целом.

Информационная совместимость внутри КТС заключается в обеспечении согласованности сигналов связи по видам и номенклатуре, их информационным параметрам, уровням, пространственно-временным и логическим соотношениям, типу логики. Информационный КТС для ОС также должен обладать блочно-модульным принципом построения, заключающимся в том, что различные функционально сложные условия создаются из ограниченного числа более простых стандартизованных блоков и модулей. При этом КТС должен обладать конструктивной совместимостью, которая заключается в обеспечении согласованности конструктивных параметров и механическом сопряжении технических средств.

Параметры надежности КТС измерения и контроля технологических процессов устанавливаются в соответствие с действующими нормативными документами. Применительно к ОС в основном регламентируются параметры безотказности работы, ремонтпригодности и долговечности приборов и измерительного оборудования.

Опыт эксплуатации ОС позволил установить минимальные требования к суммарной надежности приборов и средствам измерений, которая определяется наработкой на отказ, при доверительной вероятности 0,8 и периодичности опроса 1 раз в два часа [38, 102]. При этом наработка на от-

каз комплекса приборов и средств, входящих в контур контроля на необслуживаемых объектах, должна быть не менее 10000 часов и на обслуживаемых объектах – не менее 4000 часов.

Среднее время восстановления работоспособности приборов и оборудования должно быть не более 8 часов, не считая времени нахождения в пути обслуживающего персонала. Время ремонта на месте не должно превышать 2 часа. Система контроля (измерения и сигнализации) должна сохранять работоспособность в условиях отсутствия или отключения электроэнергии на объектах ОС.

Обобщая изложенное можно сделать следующие выводы:

- определяющими критериями выбора средств контроля состояния объектов ОС являются техническое совершенство и экономическая эффективность;

- формирование технических требований к КТС информационного обеспечения должно проводиться с учетом аналогичных требований к КТС управления водопользованием. При этом необходимо обеспечивать максимальную степень интеграции технических средств, математического и программного обеспечения;

- необходимо проведение исследований по оптимизации величины соотношения «стоимость-точность» применительно к средствам измерения и контроля гидравлических параметров;

- подлежат уточнению параметры надежности средств измерений и соответствующего оборудования информационных процессов.

### **4.3 Организация сбора, обработки и передачи параметрической информации**

Эффективность применения систем информационного обеспечения водопользования при заданном алгоритме управления технологическими процессами и фиксированном перечне обслуживаемых объектов ОС определяется соотношением суммарных затрат на создание и эксплуатацию СИО, получаемым техническим, экономическим и социальным эффектом.

Основным структурным звеном системы управления водопользования любого уровня, должен являться комплекс локальных диспетчерских пунктов (ДП) с развитой сетью передачи данных телеметрического контроля и телеуправления. В зависимости от объема получаемой и перерабатываемой информации ДП должен иметь аппаратуру обработки информации, иметь банк данных для обеспечивающих решение информационно-управленческих задач по эксплуатации ОС в автоматизированном режиме.

Обширная территория, занимаемая ОС, значительное количество объектов контроля предопределяют высокую степень затрат на создание и эксплуатацию систем информационного обеспечения и управления водопользованием, значительная часть которых приходится на создание сетей связи.

Вопросы построения сети доставки информации при создании АСУТП ОС рассматривались рядом авторов [36, 49, 57, 60, 80], однако предложенные ими варианты либо не совершенны, либо неприменимы в современных условиях. Нахождение оптимальной структуры сети ДП с одновременной оптимизацией структуры технического обеспечения подсистемы сбора, обработки и передачи данных представляет большие трудности, вызванные чрезвычайно высокой размерностью и многоэкстремальностью задачи.

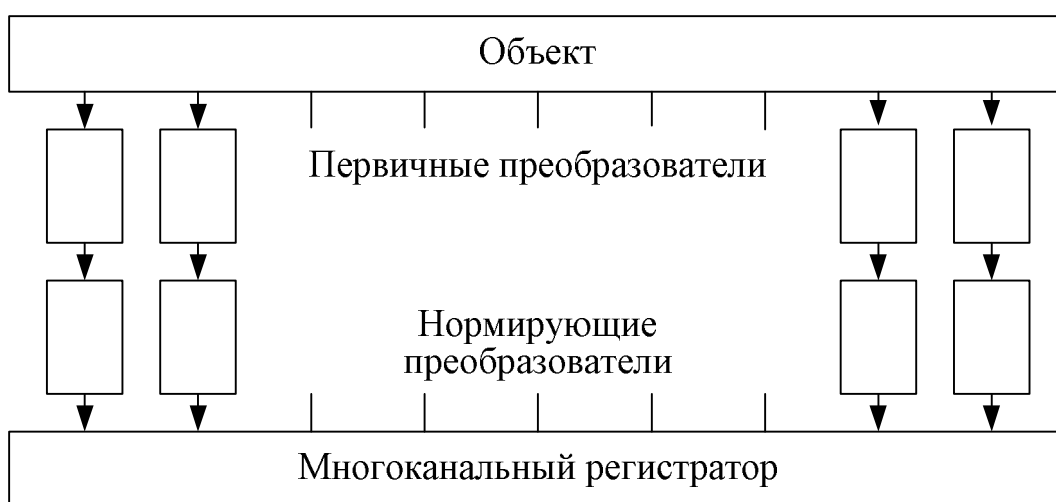
Необходимость в экспериментальной оценке состояния ОС возникает вследствие ограниченной достоверности расчетных методов и недостаточно надежных сведениях о фактических величинах контролируемых параметров и их изменениях во времени при эксплуатации. Поэтому при проведении оценки состояния ОС наряду с изменениями основных гидравлических параметров должно быть обеспечено измерение ряда сопутствующих величин, обуславливающих характер технологических процессов. Этими величинами могут быть конструктивные параметры (открытие затворов ГТС, установки авторегуляторов и стабилизаторов расхода воды

и т.п.), энергетические параметры (потребляемая мощность электроприводов затворов, электродвигателей НС и т.д.) и ряд других параметров.

Сложность конструкции ОС и условия их эксплуатации, та или иная степень недостаточности методов расчета определяет число точек измерения контролируемых параметров. Общее число измерительных точек колеблется в зависимости от указанных причин от единиц до нескольких тысяч.

В зависимости от вида решаемых информационных задач могут применяться многоканальные и многоточечные измерительные системы [150].

Многоканальная измерительная система позволяет осуществлять одновременную регистрацию информации во всех измерительных точках. Для этой цели она содержит  $N$  первичных преобразователей (датчиков параметров) и такое число нормирующих преобразователей в стандартные сигналы ГСП (Государственная система приборов). Выходы нормирующих преобразователей включены на вход многоканального регистрирующего устройства, содержащего не менее  $N$  каналов регистрации. Как правило, многоканальные измерительные системы (рисунок 29) применяют для оценки динамических процессов.



**Рисунок 29 – Структурная схема многоканальной измерительной системы**

Нормирующие преобразователи в таких системах представляют собой аналоговые или цифровые усилительные устройства. Для быстропро-

текающих высокочастотных процессов возможно применение аналого-цифровых преобразователей на выходе нормирующих усилителей с последующей регистрацией в кодовой форме с помощью электронных запоминающих устройств.

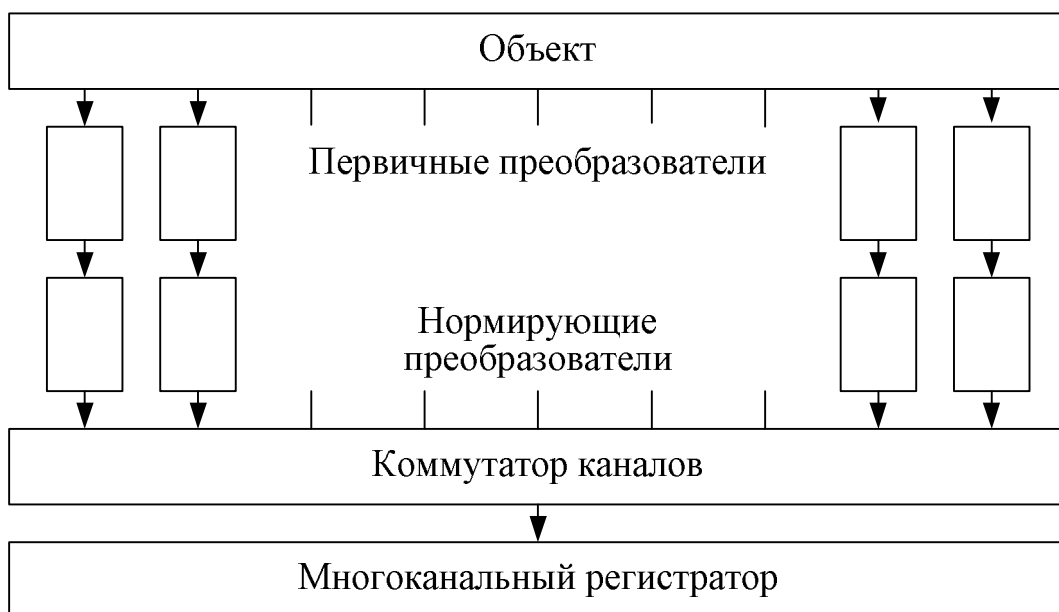
Многоканальные системы в такой комплектации предусматривают обработку информации после завершения ее регистрации. Одновременная регистрация многих каналов позволяет при обработке определять взаимосвязи между отдельными зарегистрированными процессами, что имеет существенное значение при оценке связи возмущающих воздействий и отклика системы.

Многоканальные системы обладают весьма важными свойствами. Тем не менее область их применения ограничена вследствие аппаратной громоздкости (большое число нормирующих усилителей, многоканальные регистраторы), а следовательно, сложностью в эксплуатации и высокой стоимостью.

Многоточечные измерительные системы (рисунок 30) предусматривают применение одноканального устройства для регистрации (накопления) и обработки информации с распределенной во времени регистрацией каналов. Это распределение осуществляется с помощью коммутатора (или коммутаторов) каналов. При этом каналы могут следовать в аппаратно-фиксированном порядке, определяемом их распределением в коммутаторе, или порядок следования каналов может определяться программой, задаваемой ЭВМ, включаемой в состав устройства для регистрации и обработки информации.

Большое число точек измерения и имеющие место на ОС разнесение их на значительное расстояние вынуждают применять в системе несколько отдельных коммутаторов, которые объединяются с помощью групповых коммутаторов. Управление коммутаторами осуществляется через групповые коммутаторы и может быть организовано в любой последовательности с помощью программных средств ЭВМ.





**Рисунок 30 – Структурная схема многоточечной измерительной системы**

Применение временного уплотнения каналов в многоточечных системах определяет определенные требования к быстродействию коммутаторов. Эти требования определяются характером переходных процессов, допустимой погрешностью измерения и способом управления коммутаторами. При этом определяющим является необходимая частота опроса (квантования во времени) канала, распространяющего процесс, протекающий с максимальной скоростью. Необходимая частота квантования зависит также от способа математической обработки дискретной измерительной информации.

Анализ рассмотренных типов измерительных систем показывает, что их особенности и технические возможности предполагают использование на локальных объектах многоточечных канальных систем, а в масштабах всей ОС многоканальной измерительной системы.

Традиционно на ОС основным звеном системы управления водопользованием является центральный диспетчерский пункт (ЦДП), иногда дополняемый комплексом локальных диспетчерских пунктов (ДП), которые обеспечивают сбор и обработку измеряемых параметров. На крупных ОС дополнительно применяются центральные диспетчерские пункты

(ЦДП), объединенные с вычислительным центром (ВЦ). При этом ВЦ решает информационно-управленческие задачи по эксплуатации ОС.

Обширная территория, занимаемая ОС, значительное количество объектов предопределяет значительные затраты на создание и эксплуатацию информационного обеспечения и прежде всего сетей связи.

При выборе структуры СИО решаются следующие задачи:

- оснащение каждого объекта необходимыми техническими средствами сбора и обработки информации, средствами связи из номенклатуры приборов выпускаемых промышленностью;

- обоснование целесообразности использования имеющихся аппаратных и прочих технических средств;

- определение условий трассировки линий связи и маршруты передвижения информации;

- оптимизация количества пунктов сбора информации (ПСИ), их мощности и места установки, мощности и места расположения коммутационного оборудования, типа, количество требуемых каналов связи, типа и мощности линий связи.

В общем случае, сеть сбора, обработки и передачи информации представляет собой сложную многоуровневую структуру. На нулевом уровне располагаются источники технологической, гидрологической и агрометеорологической информации. На первом уровне располагаются ПСИ, в которые поступает информация с нулевого уровня. На более высоких уровнях находится коммуникационное оборудование, размещенное в ДП, позволяющее более полно использовать каналы связи и уменьшить суммарную длину линий связи, в корневой вершине располагается ЦДП-ВЦ, мощность которого позволяет обработать всю поступающую информацию в нормативные сроки. Типовая иерархическая структура системы информационного обеспечения водопользования представлена в разделе 4.1.

Особенностью иерархической структуры является однонаправленное движение информационных потоков между  $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2$  уровнями и двухсто-

ронняя передача информации о состоянии ОС и управленческой информации между 2 ↔ 3 уровнями системы. Это обусловлено взаимосвязью систем управления и систем информационного обеспечения водопользования.

Выбор оптимальной структуры системы информационного обеспечения водопользования может быть осуществлен в результате последовательного решения следующих задач:

- 1) выбора структуры системы сбора, обработки и передачи различных видов информации;
- 2) выбора количества, мощности и места расположения коммуникационного оборудования;
- 3) выбора структуры многополосной сети связи.

Решение первой задачи увязывается с проектными решениями по созданию (реконструкции) систем управления водопользования на ОС. Как правило, общая структура системы информационного обеспечения соответствует структуре управления технологическими процессами.

При решении второй и третьей задачи возможны различные варианты, что позволяет применить методы математического моделирования для выбора оптимального решения.

Особое значение при выборе структуры и КТС системы информационного обеспечения приобретает начальный уровень технической оснащенности ОС и наличие местных телефонных или иных каналов связи. При этом преобладающим фактором является вид и характеристики телекоммуникационных каналов связи, которые могут быть использованы для передачи информации. Как правило, за исключением первичных приборов получения информации выбор номенклатуры КТС определяется принятым видом каналов связи между источниками информации, пунктами сбора и обработки информации и ЦДП-ВЦ.

Ранее на отдельных ОС апробировались телемеханические системы с проводными (кабельными) линиями связи. В настоящее время все они практически утрачены. Использование специализированной радиосвязи

для телеуправления и телеконтроля ОС проводилось лишь в экспериментальном порядке. В настоящее время имеются примеры использования для нужд контроля и управления объектами ОС систем сотовой связи GPS.

Учитывая практически полное отсутствие на ОС современных первичных средств измерения и контроля технологических параметров (раздел 1.3), при создании и внедрении систем информационного обеспечения водопользования нового поколения нет необходимости вводить ограничения на выбор структуры и КТС системы, связанные с уровнем технического оснащения ОС. Из наиболее перспективных решений задачи организации передачи информации можно выделить применение в системах телемеханики специально выделенных каналов связи в общегосударственной системе телекоммуникации и навигации ГЛОНАСС.

В системах информационного обеспечения водопользования могут использоваться как подсистемы локальной автоматизации с дистанционным управлением объектов, так и комплексные системы телемеханики. В период интенсивного развития мелиоративного строительства был накоплен значительный опыт применения телемеханических систем и устройств [24, 28, 36, 150]. При этом база телемеханики прошла несколько этапов радикальных изменений и продолжает совершенствоваться.

Первое поколение телемеханических устройств создавалось преимущественно на релейно-контактной (электромагнитной) аппаратуре. Надежность работы такой системы была недостаточной, что создавало проблемы их эксплуатации. Второе поколение систем телемеханики возникло на основе полупроводниковой электроники. Функциональные узлы собирались уже из типовых логических и функциональных элементов и узлов, но вследствие наличия большого числа электрических соединений аппаратура не в полной мере отвечала требованиям надежности и была сложна в эксплуатации. Третий этап развития элементной базы характерен переходом на интегральные микросхемы, что резко повысило надежность

и быстродействие аппаратуры и уменьшило ее габариты. Большинство устройств телемеханики третьего поколения работали совместно с ЭВМ.

Дальнейшим этапом развития телемеханических устройств явилось создание микропроцессоров и на их базе микро-ЭВМ. Создание аппаратуры телемеханики четвертого поколения со встроенными микро-ЭВМ значительно расширило ее возможности, улучшило технические показатели по эффективности, достоверности и информационной емкости управляемого и контролируемого производственного процесса.

Системы телемеханики должны соответствовать ряду требований, основные из которых приведены ниже:

- недопустимость большого запаздывания в передаче информации при управлении производственным процессом, так как это может привести к аварийным ситуациям;

- необходимость большой надежности в передаче команд телеуправления, например, допустимая вероятность возникновения ложной команды составляет  $10^{-8}$ - $10^{-13}$ , что намного выше требований к достоверности передачи других видов информации;

- необходимость большой точности информации телеизмерения (допустимая погрешность не более  $\pm 0,1$  %).

Как отмечалось выше (раздел 1.1), рассредоточенность объектов контроля и управления на значительной территории при нестабильном энергоснабжении или полном его отсутствии, сложные условия эксплуатации аппаратуры при низкой квалификации обслуживающего персонала предопределили ряд проблем практического использования телемеханических устройств на ОС, а именно:

- обеспечение автономного или комбинированного энергоснабжения с сохранением его стабильности в вегетационный период без оперативного вмешательства обслуживающего персонала;

- обеспечение высокой помехозащищенности сигнала, передаваемого на большие расстояния, и исключение ложного срабатывания аппаратуры;

- выбор технически и экономически эффективного канала связи первичных пунктов контроля с ЦДП-ВЦ.

Опыт применения экспериментальных систем телемеханики общепромышленного назначения [74, 117, 148], позволил определить минимально необходимые требования к таким системам:

- система телемеханики должна быть комплексной и при рассредоточенных объектах позволять по одной линии (каналу) связи последовательно реализовывать все функции диспетчерского управления;

- целесообразно проведение телеизмерения по вызову в виде циклических опросов, при котором последовательно передаются значения всех или части контролируемых параметров, с их автоматической регистрацией;

- система телемеханики должна работать и без наличия местных источников питания. Местные источники питания, ввиду их нестабильной работы (возможны спонтанные отключения электроэнергии), могут использоваться как дублирующие, или для восполнения энергопотерь автономных источников питания аппаратуры телемеханики;

- аппаратура телемеханики КП должна обеспечивать работу при отсутствии постоянного обслуживающего персонала. Поэтому аппаратура должна надежно функционировать в поле на открытом воздухе, в условиях высоких и низких значений температур, влажности, запыленности, а также быть пригодной к работе в неблагоприятных условиях сезонной консервации и хранения;

- условия эксплуатации не позволяют проводить ремонт аппаратуры в местах ее установки, поэтому аппаратура должна выполняться по блочно-модульному принципу, допускающему замену поврежденного блока и его последующий ремонт в централизованном порядке;

- при применении унифицированной телемеханической системы следует учитывать оптимальную дальность ее действия. На ОС целесообразно использование систем с радиусом действия 70-75 км. При этом дальность

связи между КП на сооружениях и концентраторах информации до 3 км, а между коммуникационными центрами и ЦДП-ВЦ – до 30 км [80, 150];

- система телемеханики должна обеспечивать возможность наращивания емкости системы, т.е. увеличения числа контролируемых объектов и сооружений без существенной реконструкции;

- аппаратура системы телемеханики должна обеспечивать выполнение вычислительных функций: накопление и хранение данных в ходе технологических процессов, расчет технико-экономических показателей и оптимальных режимов работы объектов ОС при перестройке системы за счет отказа от аппаратной реализации функций и применения программируемой логики.

Наименее надежным звеном системы телемеханики являются каналы связи. Каналом связи принято именовать совокупность технических средств и тракта (кабельной или воздушной линии связи) для передачи информации на расстояние. Стоимость линий связи и их эксплуатация во многих случаях превышает стоимость аппаратуры телемеханики.

Для передачи телемеханической информации применяют, как правило, линии проводной связи, линии электроснабжения и радиотракт. Фактически все каналы связи подразделяются на два вида: проводные (кабельные и воздушные) и непроводные линии связи.

Проводные линии, используемые исключительно для передачи телемеханической информации, именуются физическими проводными линиями связи. По ним может передаваться информация, трансформированная в любой вид сигнала. По линиям электроснабжения и телефонной связи информация передается в виде высокочастотного сигнала, модулированного по частоте или времени. При передаче на расстояние, превышающее 50-70 км, используют ретрансляцию. В водном хозяйстве радиорелейные линии нашли применение в системах сельскохозяйственного водоснабжения со сравнительно небольшим числом объектов, но с большими расстояниями между ними.

Существенным фактором, влияющим на технико-экономическую эффективность систем телемеханики, является обеспечение помехозащищенности сигнала, передаваемого на большие расстояния и исключение ложного срабатывания аппаратуры. Задача решается двумя способами. Наряду с выбором наиболее надежного для местных условий канала связи определяется вид и тип сигнала, система его кодировки и избирания. При этом необходимо учитывать вид выходной информации поступающей с первичных приборов измерения контроля технологических параметров.

Промышленностью выпускаются различные системы и аппаратура радиорелейной связи. Некоторые системы связи в виде основных технических и эксплуатационных характеристик представлены в таблице 36.

**Таблица 36 – Характеристика радиорелейных систем связи**

Параметры	«Контейнер»	«Малютка»	«Грал-400/24»
Диапазон рабочих частот, МГц	390-470	150,55-166,65	300-470
Пропускная способность	6 каналов	4 канала	24 канала
Дальность действия, км	20-300	500	800

Аналогом радиорелейных систем связи являются сотовая телефонная связь. В настоящее время в России активно внедряются в городах и крупных населенных пунктах системы телефонной связи GSM, причем имеются практические примеры использования аппаратуры сотовой связи для создания системы телемеханики на ОС. В перспективе возможно использование спутниковой системы связи с использованием системы ГЛОНАСС.

Анализ технических характеристик средств измерений (раздел 2.2) показывает, что основными видами выходной информации является аналоговый сигнал, выраженный в изменении тока (0-5 мА, 4-20 мА) или частоты (1-2 кГц). В простейших телемеханических системах для передачи сообщений непрерывными сигналами используют величину тока или напряжения. С изменением сообщения сигнал изменяется по линейному закону. Таким образом осуществляют телеизмерение на сравнительно небольших



расстояниях, что вполне приемлемо при сборе информации с группы датчиков контроля параметров в пределах одного КП.

В большинстве случаев в качестве параметров сигнала выбирают частоту или время с функциональной зависимостью параметров сигнала и извещения. Характер изменения частоты синусоидального переменного тока или частоты следования импульсов определяется в зависимости от изменения сообщения, то есть  $f_n = \varphi(x)$ . В качестве параметра сигнала может использоваться и время. В зависимости от изменения сообщения меняется ширина импульса или смещения его положения:  $t_n = \varphi(x)$ . При этом изменение параметров сигнала зависит также от изменения сообщения, т.е. сигнал модулируется во времени.

Передаваемые информационные извещения и команды могут быть непрерывными и дискретными. В частности в объектах ОС извещения о достижении предельных уровней в канале или команды «Открыть», «Закрыть» затвор ГТС являются дискретными. В тоже время контроль уровня воды в канале, позволяющий следить за его изменением во времени, непрерывный. Совокупность информации, поступающей с группы объектов, во всех случаях может классифицироваться как непрерывная. Большой объем информации, цикличность опроса КП, необходимость чередования в передаче контрольной информации и команд управления ОС по единым каналам связи обуславливает применение процесса преобразования сообщений в условные дискретные сигналы или кодирования сообщений.

Задача передачи и приема сигналов решается применением одного из двух основных способов разделения многих сигналов при их передаче по одному каналу связи: временной способ, при котором сигналы передаются последовательно во времени, и частотный, когда сигналы могут передаваться не только последовательно, но и параллельно во времени, т.е. одновременно. Элементарный анализ показывает преимущество второго способа, в частности по «плотности» насыщения информацией переда-

ваемых сигналов и соответственно более высокой пропускной способности канала связи.

Реализация второго способа предполагает применение различных методов избирания сигналов. Разделение и избирание сигналов обеспечивает их передачу и точный прием. Наиболее часто используются [29, 30, 32, 36]:

- качественный метод. Характеризуется передачей по одному каналу связи сигналов различающихся качественными признаками;

- комбинационный метод. Характеризуется тем, что информация передается в виде комбинации нескольких импульсов, одновременно проходящих по линии связи;

- распределительный метод. Характеризуется наличием на КП и ЦДП распределителей, которые переключаются синхронно и последовательно во времени, образуя цепи для передачи информации отдельным объектам;

- комбинационно-распределительный метод (кодовый). Этот метод есть сочетание комбинационного и распределительного методов.

В зависимости от принятых методов избирания различают два типа систем телемеханики – многоканальная и малоканальная. В многоканальных системах число линий связи, связывающих пункт управления и контролируемые пункты, зависит от общего числа передаваемых команд и сигналов. В малоканальных системах число линий связи (до определенного предела) не зависит от числа передаваемых команд. Такие системы целесообразно применять на передаче команд на большие расстояния, поэтому их часто называют системами дальнего действия.

Системы телемеханики могут использовать распределительный или кодовый распределительно-комбинированный метод избирания. Выбор конкретного метода избирания зависит от аппаратуры связи, режима передачи и получения информации.

Во втором варианте рационально использование распределительного метода, обеспечивающего одновременное управление объектами и передачу контрольной информации о состоянии ОС. Недостатки последовательной во времени передачи импульсов, могут компенсироваться быстродействием аппаратуры системы телемеханики. Элементная база систем телемеханики соответствует общему уровню развития технических средств автоматизации, связи и микроэлектроники, поэтому ее нельзя рассматривать как нечто установившееся. Одновременно с развитием элементной базы совершенствуются сами системы.

Сравнительные характеристики рассмотренных методов избирания по времени действия, числу линий связи, возможности одновременного управления объектами приведены в таблице 37.

**Таблица 37 – Основные сравнительные характеристики методов избирания**

Метод избирания	Число линий связи	Быстродействие	Зависимость импульсов
Качественный	Многоканальная система, $n = m/k$	0,02-0,03	Импульсы независимы, возможно одновременное управление объектами
Комбинированный	Многоканальная система, $n = m/k$ . Малоканальная система, $n = 1$	0,02-0,03	Импульсы зависимы, одновременное управление объектами невозможно
Распределительный	Малоканальная система, $n = 1$	2-6	Импульсы передаются последовательно во времени, возможно одновременное управление объектами
Кодовый распределительно-комбинированный	Малоканальная система, $n = 1$	1-2	Импульсы зависимы, одновременное управление объектами невозможно

Эффективность АСУ ТП ОС во многом зависит от технических и стоимостных характеристик аппаратуры сбора и обработки информации. Из ранее разработанных специализированных систем телемеханики для ОС можно выделить комплекс средств телеавтоматики КЭТ-51.01, кото-

рый заменил применявшиеся системы телемеханики ТМ-201 и ТИМ-72. Набор аппаратных средств комплекса позволял строить различные телемеханические системы с использованием промышленных первичных преобразователей с кодовыми и частотными выходными сигналами в пределах программного обеспечения комплекса, рассчитанного на работу по воздушным и кабельным проводным линиям связи. Число линий связи – три. Структура линий связи – древовидная магистральная.

Конструктивное исполнение КЭТ-51.01 позволяло компоновать КП из отдельных функциональных блоков в любой комбинации. Это бывает необходимо, когда ни одна из модификаций КП не удовлетворяет по объему выполняемых телеопераций конкретному объему. Телекомплекс выпускался опытными партиями, прошел успешную апробацию на ОС. В настоящее время не выпускается, хотя и был последней и наиболее успешной попыткой создания специализированных систем телемеханики для ОС.

В настоящее время наиболее широкое применение получили унифицированные телекомплексы, предназначенные для телеуправления и телеконтроля объектами водохозяйственных систем различного назначения. Например, телекомплекс ТК-132 обеспечивает телеуправление и телеконтроль рассредоточенными объектами в составе автономных систем диспетчерского управления или в составе АСУ ТП. Аппаратура пункта управления построена по агрегатному принципу с применением технических средств КТС ЛИУС-2. Аппаратура пункта управления обеспечивает дуплексный обмен информацией с КП по ведомственным физическим линиям связи и ведомственному стандартному телефонному каналу. Программное обеспечение телекомплекса с помощью модулей диагностики, позволяет в процессе работы проверять работоспособность технических средств и формирует сообщения об их состоянии.

Локальный управляющий вычислительный телекомплекс ЛТК-133 предназначен для автоматизации и телемеханизации локальных объектов, где возможно прямое цифровое управление. Комплекс выполнен на базе

технических средств КТС ЛИУС-2 и рассчитан на работу с датчиками, имеющими стандартный выходной сигнал.

Аппаратура комплекса обеспечивает прием-передачу информации по проводному каналу связи, выполненному в виде кабельной, воздушной или стандартной телефонной линии связи. Пункт управления комплекса оснащен микропроцессором. Устройство передачи данных УПД-ТМ обеспечивает оперативный полудуплексный обмен данными между управляющим телекомплексом и комплексом ЛТК-133. В таблице 38 приведены основные технические характеристики рассмотренных выше телекомплексов.

**Таблица 38 – Технические характеристики телекомплексов**

Наименование параметра	КЭТ-51.01	ТК-132	ЛТК-133	«ТМ-Шельф»
Тип пункта управления (ПУ)	микроЭВМ	КТС ЛИУС-2	КТС ЛИУС-2	-
Число направлений канала связи, ед.	2; 3; 4;	2	2	15
Число КП на одном направлении, ед.	48; 32; 24;	60	60	15
Общее число КП, ед.	96	120	120	128
Дальность действия, км:				
- кабельные линии	30	25	25	40
- воздушные линии	30	60	60	40
- телефонные линии	-	2000	2000	-
- радиоканал	-	-	-	30

Комплекс телемеханики «ТМ-Шельф» предназначен преимущественно для телемеханизации скважин вертикального дренажа, кустов пьезометров и наблюдательных скважин. В комплексе используется радиоканал связи, но допускается применение и кабельных линий связи. В состав комплекса входят устройство пункта управления СПУ индивидуальной разработки и устройства контролируемых пунктов двух типов КП 1 и КП. При этом между ПУ и КП 2 используется линия связи в виде УКВ радиоканала или двухпроводная кабельная линия, между КП 2 и КП 1 – УКВ радиоканал.

В различных отраслях народного хозяйства в последнее время разработаны и применяются другие системы телемеханики с применением микро-ЭВМ и принципов распределенной обработки информации. В город-

ских водопроводах – это телекомплексы ТК-210, «Гранит», «Контур-32», ТМ-301 и др. В энергетике – это комплексы УВТК-501 и УВТК-300 для систем сбора и обработки информации АСДУ энергообъединений и предприятий. Для объектов нефтяной и газовой промышленности – УВТК-600, ТМ-ГАЗ и др. Разработан также управляющий вычислительный телекомплекс универсального назначения УВТК-УН, предназначенный для применения в системах сбора и обработки информации в АСУ ТП широкого класса объектов.

Обобщая изложенное можно сделать следующие выводы:

- в перспективе на ОС могут использоваться унифицированные системы телемеханики, аппаратный комплекс которых включает программируемые средства телемеханики со встроенными микропроцессорами или микро ЭВМ;

- система сбора и обработки информации должна иметь смешанную централизованно-децентрализованную структуру. При этом централизация контроля и управления оправдана для территориально рассредоточенных объектов, имеющих небольшую информационную емкость. Для ОС сложной структуры требуются децентрализованные распределенные системы сбора и обработки информации, в которых относительно автономные системы нижнего уровня функционируют под наблюдением и управлением системы вышестоящего уровня;

- децентрализация должна сочетаться с модульным принципом построения системы телемеханики. Уровнем типизации является не ОС в целом, а отдельные объекты ОС. Этим обеспечивается возможность поэтапного доукомплектования и наращивания информационной мощности в процессе эксплуатации систем;

- выбор структуры и состава технических средств сбора и обработки информации производится на основе анализа выполняемых функций. При этом могут использоваться: системы телемеханики с КП малой емкости, которые обеспечивают сбор информации от датчиков, выдачу управляю-

щих воздействий на исполнительные механизмы и локальные регуляторы, ретрансляцию информации, проходящей по каналу связи с пунктом управления (ПУ); специализированные программируемые микропроцессорные контролеры (ПМК) или серийные микро-ЭВМ. Они могут выполнять функции существующих сегодня релейных командо-аппаратов и станций управления различного назначения, устройств связи с объектом в сочетании с предварительной обработкой информации;

- структура и виды каналов связи зависят от расстояний. На объектах ОС при расстояниях между КП и концентраторами информации, оборудованных ПМК или микро-ЭВМ, до 0,5-1 км может быть создана локальная вычислительная сеть магистральной или кольцевой архитектуры. Для связи между объектами ОС и ЦДП рационально использование радиорелейного канала или различных видов телефонной связи;

- средства измерения контроля, используемые в системах телемеханики, должны иметь стандартизированные выходные сигналы.

#### **4.4 Формирование программного обеспечения информационно-измерительных систем**

Большое разнообразие факторов, характеризующих поведение ОС, обусловлены сложным процессом ее функционирования. При этом весь процесс можно рассматривать как последовательную смену состояний системы в некотором интервале времени. Состояние ОС как понятие [150] есть совокупность параметров материальных и энергетических потоков, позволяющих однозначно определять выходные параметры по заданным входным параметрам  $x(t)$ ,  $y(t) = c x(t)$  и  $(t)$ ,  $t$ .

Всякое изменение режима работы ОС сопровождается соответствующими изменениями в материальных и энергетических установках. Поэтому при разработке и эксплуатации системы информационного обеспечения (СИО) ОС необходимо иметь математическую модель, наиболее полно отражающую все направления движения материальных и энергетических потоков. При этом материальная составляющая характеризуется,

как правило, объемом транспортируемой и распределяемой воды, а энергетическая составляющая – группой параметров: расходом уровнем скоростью движения воды.

Для поддержания заданных технологических режимов и для перевода с одного режима на другой используется система управления ОС. Элементы (подсистемы) управления ОС функционируют в условиях внешних и внутренних возмущений, обусловленных изменениями физических параметров материальных и энергетических потоков, конструктивных параметров и параметров окружающей среды. Все эти возмущения носят как детерминированный, так и стохастический характер с различным диапазоном изменений. Система информационного обеспечения является основой построения систем управления, поэтому она должна обеспечивать наблюдаемость и управляемость ОС.

*Наблюдаемость ОС* – это возможность получения необходимого количества информации об изменениях материальных и энергетических параметров, определяющих состояние ОС по доступным ресурсам наблюдения для достижения поставленных целей управления.

*Управляемость ОС* – это достижение цели управления, требуемой точности параметров, характеризующих стоимость и качество выходного продукта при тех (обычно ограниченных) ресурсах управления, которыми располагает ОС.

Применение автоматизированных информационно-измерительных систем позволяет обеспечить сбор, первичную обработку и передачу информации практически в реальном масштабе времени. При этом должны выполняться:

- контроль функционирования системы измерений тестовых и технологических параметров;
- статистическая обработка информации, получаемой от измерительных приборов, в целях исключения грубых промахов и повышения точности измерений;



- вычисление необходимых данных о состоянии объектов;
- вычисление значений измеряемых параметров, характеризующих режим работы объектов;
- схематизация случайных процессов для оценки возможности возникновения аварийных ситуаций и ресурса объекта;
- корреляционный и спектральный анализ для исследования динамических характеристик объектов;
- оценка погрешности измерений.

Особенностью технологических процессов в ОС является их динамический характер. При анализе динамических процессов обработка результатов измерения осуществляется для решения двух задач: определение характеристик возмущающих сил и динамических характеристик объекта или для накопления информации об истории изменения состояния объекта под воздействием различных возмущений.

При такой стратегии создания информационного обеспечения отрасли особую актуальность приобретает проблема технологического и организационно-технического обеспечения создания информационно-измерительных комплексов как низшего и среднего звена АСУОТ. Для ее решения необходимо проведение анализа гидродинамики потокораспределения в водопроводящих сетях, функционирования сооружений и оборудования ОС.

Оросительная система есть совокупность технологических объектов, имеющих специфические особенности и технически неоднородных (разделы 1.1, 1.2). Основной вид взаимосвязи объектов – гидравлический, через водопроводящие сети ОС, которые также являются совокупностью технологических объектов. Информационно-управленческие и другие виды взаимосвязей дополняют основной вид, формируя структуру управления водопользованием.

По организации управления и информационного обеспечения водопроводящие сети наиболее сложный компонент ОС. Гидродинамические

процессы в каналах и сооружениях сетей, не являясь детерминированными, определяют недостаточно прогнозируемый характер поведения сопряженных объектов ОС. Анализ известных работ [13, 14] показывает, что наиболее достоверная модель водопроводящей сети ОС основывается на принципе проточного водохранилища, выпуск из которого должен обеспечивать стабилизацию расхода отвода или нижерасположенного участка (звена или группы звеньев) сети. При этом водопроводящая сеть управляется как система водохранилищ, имеющих гидравлическую связь, с учетом изменяющегося во времени собственного объема, поступающих расходов и оттоков.

Система информационного обеспечения (СИО) должна представлять достоверную информацию о состоянии объектов и характере протекания гидравлических процессов во всех режимах работы водопроводящих сетей. Следует отметить, что четкой градации возможных режимов работы сетей в нормативных документах по эксплуатации ОС нет. Вместе с тем в ряде научных работ многорежимному характеру водоподачи и водораспределения уделяется значительное внимание [11, 98, 143].

В реальных ОС водопроводящие сети работают в трех основных режимах:

- режим заполнения опорожненной или частично опорожненной сети;
- нормальный режим водоподачи и водораспределения;
- режим полного опорожнения сети или перевод сети в режим работы с частичным наполнением каналов.

Существенное влияние на решаемые информационные задачи и состав средств измерения и контроля оказывает степень автоматизации технологических процессов. Имеется в виду возможности интеграции средств измерения и контроля информационного назначения в системы управления и регулирования технологическими процессами.

Метод оперативного контроля состояния водопроводящих сетей по характерным показателям может быть представлен в виде ряда основных положений:

1) генеральной целью управления и регулирования процессов водопользования (водозабор, транспорт воды, водораспределение и т.д.) является не поддержание априори основных гидравлических параметров объектов ОС, например уровней воды в той или иной точке сети, а удовлетворение потребностей в воде хозяйствующих субъектов без непроизводительных ее потерь;

2) водопроводящая сеть ОС гидравлически адекватна системе взаимосвязанных проточных водохранилищ. Резервные емкости каналов допускают некоторую несинхронность процессов водоподачи в головной участок сети и водоотбора из ее технологических звеньев. При этом эксплуатационные ограничения определяются конструктивными особенностями водопроводящей сети и режимами работы водоотводящих сооружений;

3) информационное обеспечение водопользования в том или ином виде реализуется в трех основных функциях управления технологическими процессами на ОС. В общем виде их можно сформулировать так:

- функция «диспетчеризация» включает централизованное слежение и контроль-управление в реальном масштабе времени совокупностью технологических подсистем;

- функция «прогнозируемое управление» включает долгосрочное планирование подачи воды и создание базы данных для оперативного управления водопользованием;

- функция «техническое управление» включает управление технологическим оборудованием на основе постоянного контроля состояния и планируемых операций обслуживания;

4) оперативный контроль состояния водопроводящих сетей может быть обеспечен сочетанием механического моделирования режимов рабо-

ты ТООУ ОС с осуществлением мониторинга глубин и расходов в ключевых точках сети в реальном масштабе времени и наличием обратной связи;

5) техническое обеспечение мониторинга глубин и расходов воды предусматривает использование, в основном, средств измерения, контроля и регулирования входящих в состав оборудования систем управления водопользованием. Целесообразность такого подхода определяется активным влиянием элементов систем управления на гидродинамические процессы, протекающие в водопроводящих сетях ОС.

Поскольку звенья ОС могут являться либо пассивными (каналы, водоводы, сопрягающие ГТС и т.п.), либо активными (регулирующие ГТС и водовыпуски оснащенные затворами) гидравлическими сопротивлениями, теоретически возможно создание адекватной модели потокораспределения в сети ОС. Для текущей вариации моделей требуется получение тестовой информации о величинах гидравлических параметров в характерных точках ОС.

Применение оперативного тестирования в реальном масштабе времени позволяет использовать упрощенные математические модели расчета гидродинамических процессов. В отечественной и мировой практике к ним относятся модели, созданные на основе водобалансовых методов расчета. Успешно решая задачи расчета объемов воды в каналах ОС, такие модели не обеспечивают расчет переходных процессов ввиду своего статического характера. Для расширения возможностей водобалансовых моделей целесообразно их дополнение моделями расчета волновых процессов в открытых руслах.

Существующие методы предполагают следующую процедуру:

1) на основе математической модели рассчитываются переходные процессы в участках проводящей сети. Исходная информация – прогнозная, за исключением конструктивных характеристик каналов и сооружений;

2) управление водоподачей и водораспределением производится по расчетным данным;

3) при отклонении реальных процессов от планируемого характера их протекания, производится перерасчет переходных процессов и вносятся коррективы в режим работы водоподающих и регулирующих сооружений;

4) определение объемов воды в водопроводящих трактах производится дискретно, по завершению переходных процессов и установлению квазистационарного режима работы каналов.

Такая процедура не позволяет обеспечить достаточно оперативный и достоверный контроль объемов воды в реальном масштабе времени.

В предлагаемом методе процедура оперативного контроля предполагает следующие операции:

1) на основе математической модели проводится расчет водопроводящего тракта по уровням воды в ключевых точках сети. Расчет ведется с заданной дискретностью в течение всего периода работы сети. Исходная информация – оперативная, поступающая из блоков СИО «Водоподача» и «Водоучет»;

2) управление водопользованием осуществляется с использованием оперативных данных о состоянии ОС и информации о потребности в воде хозяйствующих субъектов;

3) определение текущих объемов воды в водопроводящих трактах производится непрерывно аналитическим способом на основе данных мониторинга состояния ОС.

Очевидно, что основой любого метода расчета (контроля) динамических процессов в каналах ОС является системная математическая модель. Большинство разработанных моделей переходных процессов базируются на уравнениях Сен-Венана [9, 38, 54]. Проблемой их практического применения является значительная идеализация гидродинамических процессов, что сопровождается введением многих допущений и ограничений при расчетах реальных процессов.

Особенно большие допущения связаны с учетом влияния сетевых подпорно-регулирующих, сопрягающих и малых водоотводящих сооруже-

ний на волновые процессы в руслах. Во многом спонтанный характер водопотребления на ОС в сочетании с неадекватным описанием (расчетом) переходных процессов не дает возможность создать общесистемную модель на основе существующих разработок.

В мировой и отечественной практике определенное распространение получили методы приближенного расчета волновых процессов, так называемые гидрологические методы. Являясь эффективным инструментом расчета, они для своей реализации требуют соответствующего информационного обеспечения, допускающего работу систем управления ОС в реальном масштабе времени. Развитие средств измерения (контроля) и аппаратной трансляции параметрических данных, новые компьютерные технологии обработки информации позволяют в полной мере использовать все возможности таких методов расчета.

Анализ тенденций развития приборостроения, в том числе устройств и приборов для измерения и контроля гидравлических параметров, показывает следующее:

- интенсивно разрабатываются новые технологии применения традиционных средств измерений для получения качественно новых результатов;
- повышаются функциональные возможности приборов за счет объединения датчиков различных параметров в единый измерительный блок;
- первичные средства измерения становятся все более «интеллектуальными» вследствие широкого использования микропроцессорной техники, что существенно повышает возможности создания адаптирующихся систем управления водопользованием;
- все классы и типы измерительных приборов приводятся в соответствие с мировыми стандартами, прежде всего по информационной и метрологической совместимости. Широко внедряется функционально-блочный способ конструирования приборов и оборудования.

Таким образом, применение новейших автоматизированных средств измерений и их периферийного оборудования, позволяет создавать

самоадаптируемые системы (подсистемы) управления рядом технологических процессов на ОС. Методологической основой создания таких подсистем является:

- наличие в каждом информационном блоке группы средств измерений технологических параметров и группы средств контроля их экстремальных величин, унифицированных в пределах всей СИО;

- возможность дискретного или непрерывного контроля достоверности информации, получаемой косвенными методами водоизмерения, с помощью средств измерений обеспечивающих водоучет;

- возможность оперативной корреляции данных о состоянии водохозяйственных объектов, в том числе корректировке технических и метрологических характеристик модулей обработки информации на уровне коммутационных центров сбора и передачи информации в ЦДП;

- наличие эффекта саморегуляции гидродинамических процессов в водопроводящих сетях ОС. Эффективность саморегуляции может быть повышена за счет применения стабилизаторов расхода в сетевых ГТС;

- существование в звеньях ОС совокупности характерных точек с различным информационным потенциалом, которые могут обеспечить организацию оперативной диагностики состояния ОС.

Для анализа гидродинамических процессов в водопроводящих сетях ОС необходимо формализовать объект анализа и уточнить граничные условия в физическом и математическом виде. Водопроводящие сети ОС условно можно разделить на два вида:

- 1) простые водопроводящие сети (ПВС);
- 2) сложные водопроводящие сети (СВС);

С целью упрощения формализации СВС в качестве его элементарного звена принята ПВС. При этом ПВС может являться самостоятельной водопроводящей сетью ОС.

По сложности протекающих гидродинамических процессов ПВС рационально разделить на три категории:

I категория (ПВС-I). Транзитная подача воды и подпорно-регулирующие ГТС отсутствуют.

II категория (ПВС-II). Есть транзитная подача воды. Подпорно-регулирующие ГТС выполняют функции регулирования гидравлических режимов водоподачи.

III категория (ПВС-III). Есть транзитная подача воды. Подпорно-регулирующие ГТС выполняют функции водodelения и регулирования гидравлических режимов водоподачи.

С целью выявления граничных условий сопряжения ПВС в системный комплекс – СВС, необходимо определить режимы работы водопроводящих трактов и сетевых ГТС. Известно, что ОС работает в трех основных режимах: заполнение сети; нормальный режим эксплуатации; опорожнение сети.

Режим заполнения может характеризоваться двумя вариантами. В первом случае водопроводящая сеть переводится из «сухого» состояния в состояние, соответствующее нормальному режиму эксплуатации. Во втором случае имеет место перевод сети из состояния частичного заполнения в нормальный режим работы.

Нормальный режим эксплуатации сети характерен волновыми колебаниями величин гидравлических параметров в сети, обусловленных реализуемым планом водопользования. Инерционность ТОО ОС вследствие большой протяженности и емкости сети каналов при стохастичности процессов водопотребления предопределяет состояние водопроводной сети как неустойчивое равновесие динамической системы.

В режиме опорожнения возникают гидродинамические процессы, обратные процессам, имеющим место в режиме заполнения сети. Поскольку возможности сбросных сооружений ОС ограничены, процесс опорожнения не может иметь четко выраженного волнового характера. Скорее его можно сравнить с гидравлическим случаем медленно опорожняющейся емкости.



Конструктивное сопряжение ПВС в СВС осуществляется в узлах водораспределения (вододеления). Наличие в них подпорно-регулирующих ГТС существенно влияет на гидравлические режимы движения потока. В зонах размещения крупных водовыделов, оборудованных НС подкачки, а также в местах размещения НС перекачки технологически целесообразно выделить дополнительных сопрягающих створов.

Все указанные узлы сопряжения относятся к группе пассивных или активных местных гидравлических сопротивлений. Исключение составляют НС перекачки, которые одновременно являются и водопитателями и регулирующими сооружениями.

Практика эксплуатации ОС [22, 25, 28] показывает, что для оптимального управления водоподачей и водораспределением достаточно обеспечить достоверный контроль гидравлических параметров в узлах сопряжения элементов оросительной сети. При таком подходе для анализа гидродинамических процессов применим метод «математический расходомер» [129], который основан на анализе балансов расходов воды в узловых точках сети и влияния на него изменений в активных и пассивных сопротивлениях элементов сети.

В результате все изменения динамики движения потоков в сети трансформируются в соответствующие изменения гидравлических параметров на границах участков сети. Сопряжение участков сети может быть описано передаточной функцией узловой точки, которая является границей расчетного участка. Качественный анализ показывает, что наиболее целесообразно в качестве передаточной функции использовать вариации аналитической зависимости  $Q = f(H)$ , именуя его в дальнейшем «расходным модулем».

Исходными посылками для расчетов являются либо скорости воды, либо их производные – расходы воды в контрольных створах. Поэтому расходный модуль в различных аналитических выражениях вполне достоверно может описывать гидродинамические процессы в каналах. Характер

изменения расхода или скорости воды во времени позволяет определить динамические составляющие переходные процессы.

Таким образом, основной задачей анализа гидродинамических процессов в СВС ОС является выявление теоретической взаимосвязи изменений гидродинамических параметров в водопроводящих трактах и узловых точках сети.

Процесс заполнения СВС ОС можно реализовать двумя способами:

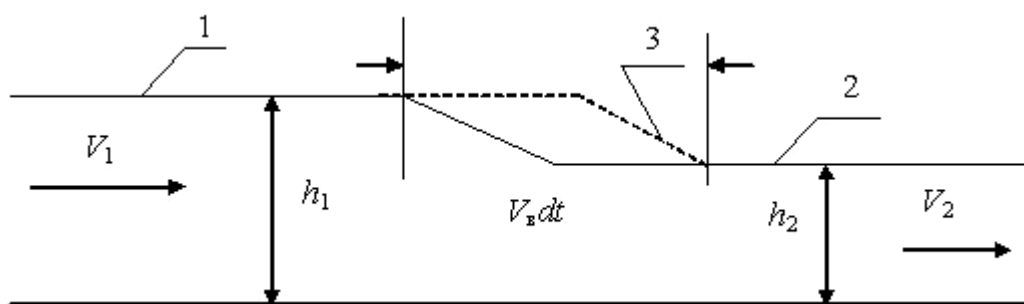
- подачей «малых» расходов воды, величина которых должна несколько превышать прогнозируемые потери на фильтрацию и иные утечки из СВС;

- регулируемой подачей форсированных расходов, величина которых близка к «нормальному» режиму работы каналов, т.е. в виде волны попуска.

В любом случае гидродинамический процесс заполнения опорожненных каналов может характеризоваться как неустановившееся движение воды в призматическом канале. В работе В. Т. Чоу [139] оно характеризуется как равномерно поступательное движение моноклиально возрастающей волны попуска воды в канал.

Моноклиально возрастающая волна (рисунок 31) представляется подвижной волной, перемещающейся вниз по течению (руслу канала) с постоянной скоростью  $V_3$  из верхней области течения равномерного потока с параметрами  $h_1; V_1; Q_1$  в низовую область течения равномерного потока с параметрами  $h_2; V_2; Q_2$ . Глубина фронта волны постепенно изменяется от верхового сечения к низовому.

Общий подход к описанию такого явления основан на предположении о наличии в канале исходного равномерно движущегося потока воды, который переводится в иной гидравлический режим работы. Кроме того, рассматривается лишь участок канала с необозначенными граничными условиями.



1 – фронт волны в верхнем течении; 2 – фронт волны в нижнем течении;  
 3 – изменение фронта волны через интервал времени  $dt$ ;  $V_1$  – скорость волны в верхнем бьефе;  $V_2$  – скорость волны в нижнем бьефе;  $h_1$  – глубина потока в верхнем бьефе;  $h_2$  – глубина потока в нижнем бьефе

**Рисунок 31 – Моноклиально возрастающая волна в призматическом русле канала**

В реальных СВС ОС каналы могут разделяться на участки промежуточными перегородивающими подпорно-регулирующими ГТС и рядом сопрягающих сетевых ГТС, таких как акведуки, дюкеры, донные пороги и т.п., включая узлы изменения сечения канала или его уклона. Влияние таких точек сопряжения на режим заполнения канала может быть активным и пассивным. Более того, характер режима заполнения неразрывно связан с воздействием водовыпускных ГТС и НС.

Исходя из начальной постановки задачи о необходимости заполнения опорожненной или частично опорожненной сети каналов (имеется в виду случай использования каналов для обводнения территории) и с учетом вышеприведенных особенностей реальных СВС ОС, целесообразно проведение фрагментации СВС на отдельные участки заполнения. Влияние ГТС на режим заполнения можно учесть введением ряда ограничений:

- система СВС ОС разделяется на ряд фрагментов, заполнение которых производится последовательно из общего водопитателя;
- все водовыпускные ГТС находятся в положении «закрото» до достижения минимально необходимых условий работы;
- перегородивающие подпорно-регулирующие ГТС находятся в положении «открито» или их затворы реализуют заданный алгоритм заполнения СВС;

- влияние пассивных ГТС учитывается через граничные условия узловых точек, т.е. они делят канал на расчетные участки.

Поскольку профиль волны имеет устойчивое очертание и постоянный объем, фронт ее оставляет за собой в верхнем течении постоянный расход:

$$Q_0 = (V_B - V_2) \omega_2, \quad (41)$$

где  $V_2$  – скорость течения воды в низовом участке канала;

$\omega_2$  – площадь живого сечения потока в том же участке.

В случае полного начального опорожнения канала  $V_2 = 0$ ;  $\omega_2 = 0$ .

Приравнивая значения постоянного расхода  $Q_0$ , получим:

$$Q_0 = (V_B - V_1) \omega_1 = (V_B - V_2) \omega_2. \quad (42)$$

Решая уравнение (42) относительно  $V_B$  найдем величину скорости волны попуска

$$V_B = \frac{V_1 \omega_1 - V_2 \omega_2}{\omega_1 - \omega_2}. \quad (43)$$

Уравнение (41) показывает, что при отсутствии начального потока, т.е. если  $V_2 = 0$  и  $\omega_2 = 0$ , скорость  $V_B = V_1$ . При наличии начального потока  $V_B$  всегда больше  $V_1$  и  $V_2$ , поскольку волна попуска должна двигаться быстрее частиц воды, заполняющих объем профиля в любой момент времени.

Следует отметить, что теоретические зависимости, характеризующие моноклиально возрастающие волны [143] справедливы при наличии стабильного поступления в головной участок канала питающего расхода воды  $Q_n$ , т.е.  $Q_n = Q_0$ .

За интервал времени  $dt$  фронт волны с равномерно поступательным движением потока (рисунок 31) проходит расстояние  $V_B dt$ . По мере продвижения волны происходит уменьшение скорости движения потока с интенсивностью  $\partial t / \partial l$ . Следовательно, изменение скорости за время  $dt$  составляет  $dV = -V_B dt (\partial V / \partial l)$ . Используя частные производные, получим  $\partial V / \partial t = -V_B (\partial V / \partial l)$ .

Для общего случая равномерно поступательного движения можно записать уравнение, подобное уравнению (41):

$$Q_0 = (V_v - V)\omega. \quad (44)$$

Дифференцируя это уравнение по  $l$ , получим  $\partial V / \partial l = Q_0 / (\omega h_{cp}) (\partial h / \partial l)$ . Подставляя выше приведенные выражения для  $\partial V / \partial t$  и  $\partial V / \partial l$  в уравнение Сен-Венана, принимая  $\alpha = 1$  и упрощая, найдем  $\partial V / \partial l$  для потока в призматическом канале:

$$\frac{\partial h}{\partial l} = \frac{i_0 - i_{тр}}{1 - \frac{Q_0^2}{q \omega h_{cp}^2}}. \quad (45)$$

Так как  $i_{тр} = Q^2 / K^2 = V^2 \omega^2 / K^2 = (V_v \omega - Q_0)^2 / K^2$ , уравнение (43) принимает вид:

$$\frac{\partial h}{\partial l} = \frac{i_0 - \frac{(V_v \omega - Q_0)^2}{K^2}}{1 - \frac{Q_0^2}{g \omega^2 h_{cp}^2}}. \quad (46)$$

Это динамическое уравнение для равномерно поступательного движения в призматическом канале в виде моноклиально возрастающей волны попуска расхода.

Если  $Q_0$  рассматривать как установившийся расход в голове канала, к этому потоку с равномерно поступательным движением можно применить уравнение установившегося изменяющегося движения, только величину расхода, используемую для вычисления уклона трения, следует брать равной  $V_v \omega = Q_0$ . Этот расход обуславливает потери на трение.

Расход в любом сечении потока с равномерно поступательным движением равен  $Q = V_v \omega - Q_0$ . Отсюда  $Q_0 = V_v \omega - Q$  и уравнение (46) принимает вид:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i_0 - \frac{Q^2}{K^2}}{1 - \frac{(V_* \omega - Q)^2}{q \omega^2 h_{cp}}} \quad (47)$$

Если скорость очень мала, то вторым членом в знаменателе, содержащим влияние скоростного напора, можно пренебречь и уравнение записывается так:

$$\frac{dh}{dl} = i_0 - \frac{Q^2}{K^2} \quad (48)$$

Поскольку  $K^2 = Q_0^2 / i_0$  уравнение принимает вид:

$$Q = Q_0 \sqrt{1 - \frac{1}{i_0} \frac{dh}{dl}} \quad (49)$$

Обозначим скорость поднятия уровня воды в данном сечении канала  $j$ . Тогда  $j = -V_* dh/dl$  или  $dh/dl = -j/V_*$ . Подставляя это выражение в уравнение (49), получим:

$$Q = Q_0 \sqrt{1 + \frac{j}{V_* i_0}} \quad (50)$$

Это уравнение можно использовать для приближенного вычисления действительного расхода потока с неустановившимся движением в данном сечении при условии низкой скорости.

Наиболее сложным этапом является процесс завершения заполнения канала (системы каналов) и переход его в нормальный режим работы.

Физический анализ показывает, что волна попуска расхода,двигающаяся по каналу со скоростью  $V_E$ , достигая преграды в конце канала, прекращает равномерно поступательное движение и  $V_E \rightarrow 0$ . При этом возможно значительное местное повышение воды за счет инерционного напора. Одним из последствий этого является образование обратной волны, распространяющейся вверх по течению до водопитателя. В дальнейшем не исключены затухающие колебательные процессы большой продолжительности в русле канала.

При условии выполнения принятых ограничений регулирование процесса заполнения СВС возлагается на комплекс регулирующих ГТС. Возможны два варианта. Если ОС не оснащена системами автоматизации и телеуправления, то применим лишь первый способ заполнения. При его использовании практически исключены нестационарные гидродинамические процессы, но время заполнения существенно увеличивается. В настоящее время этот способ является основным в практике эксплуатации ОС.

Форсированное заполнение СВС возможно при наличии СИО и достаточной автоматизации регулирующих ГТС. В этом случае регулируются как интенсивность водоподачи, так и равномерность распределения воды по участкам канала. Поскольку негативные процессы могут происходить в конечном участке канала, распространяясь вверх по течению, заполнение его целесообразно проводить по первому способу.

Технически это реализуется постепенным снижением расхода  $Q_n$  в головной участок канала при прохождении потока воды через определенный контрольный створ в концевых участках СВС.

Контроль заполнения опорожненных СВС должен обеспечить соблюдение регламента процесса и не допускать возникновения экстремальных ситуаций.

Проведенный анализ показывает, что необходимыми информативными параметрами являются: скорость течения воды  $V_E$  из водопитателя и глубина потока  $h_i$  в экстремальных точках СВС, включая концевой створ сети.

Следовательно, при выборе места расположения характеристических точек необходимо определять зоны возможного возникновения экстремальных ситуаций. Размещение в них средств измерения гидравлических параметров позволяет оперативно контролировать ход процесса и принимать необходимые управленческие решения по регулированию процедуры заполнения сети.

Инструментом контроля гидродинамических процессов являются штатные гидрометрические посты, предназначенные для технологического (балансового) водоизмерения на СВС, которые в необходимых случаях дополняются точками дискретного контроля наполнения каналов.

### **Анализ гидродинамических процессов при нормальном режиме работы СВС**

Концептуально гидродинамические процессы в СВС можно характеризовать как медленно изменяющееся установившееся движение потока воды с наложением на него волновых процессов ограниченной амплитуды. Принятая гидравлическая модель СВС в виде системы проточных «водохранилищ» имеющих гидравлическую взаимосвязь позволяет применить водобалансовые методы прогнозирования состояния ОС в функции объемов или расходов воды.

В общем виде уравнение водного баланса для ОС представляет собой следующее равенство [14]:

$$Z_r(W, Q) + Z_d(W, Q) = B_0(W, Q) + B_k(W, Q) + \Pi_k(W, Q) + \Pi_b(W, Q) + C(W, Q) \pm N_k(W, Q) \pm N_b(W, Q), \quad (51)$$

где  $Z_r$  – головной водозабор из источника орошения или из вышерасположенного участка канала в нижерасположенный участок;

$Z_d$  – водозабор из дополнительных водоисточников;

$B_0$  – водоподача в отводы;

$B_k$  – водоподача в нижележащие участки канала, т.е. транзитная подкачка воды;

$\Pi_k$  – потеря воды на фильтрацию и испарение из канала;

$\Pi_b$  – потеря воды из водохранилищ или бассейнов-накопителей, соединенных с каналом;

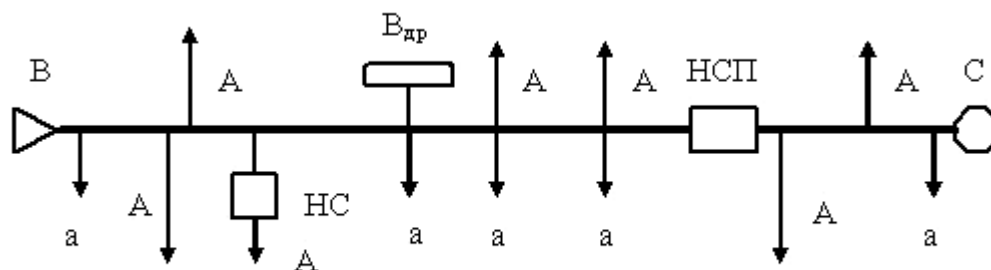
$C$  – сброс воды (при наличии);

$N_k$  – сработка или накопление объемов воды в каналах;



$N_b$  – сработка или накопление объемов воды в водохранилищах или бассейнах-накопителях.

С учетом особенностей ОС (раздел 1.1), гидравлическую модель СВС можно формализовать в виде условной расчетной схемы (рисунок 32).



В – водопитатель;  $V_{др}$  – регулирующий бассейн; НСП – насосная станция перекачки; НС – насосная станция подкачки; С – сброс; А – крупные водопотребители; а – малые водопотребители

**Рисунок 32 – Условная расчетная схема СВС**

Следует отметить, что в зависимости от конструкции ОС те или иные составляющие уравнения (51) могут отсутствовать или наоборот дополняться другими статьями баланса. Величины потерь воды на фильтрацию и испарение из канала и потерь воды из водохранилищ или бассейнов-накопителей, соединенных с каналом устанавливаются фактическими замерами или по статистическим зависимостям гидравлики (полученным по результатам эксплуатационных исследований на ОС), т.е. являются прогнозируемыми и квазистационарными в расчетный период. Сброс воды вследствие стохастичности характера не прогнозируем. Он может возникать в случае небаланса расхода поступления и реального водопотребления в ОС. Величины головного водозабора из источника орошения или из вышерасположенного участка канала в нижерасположенный участок, водозабора из дополнительных водоисточников в реальных ОС допустимо объединить в единый комплекс, ввиду их технологической общности.

В результате фактическое состояние СВС можно оценивать упрощенным уравнением

$$Z = B_0 + B_k \pm N_k \pm N_b, \quad (52)$$

где  $Z = Z_r + Z_k$  – суммарное поступление воды в СВС из различных водоисточников.

Уравнение (52) справедливо в ограниченный период наблюдения  $\Delta t$ .

Исходя из данных допущений, гидравлическая модель движения потоков воды в СВС предусматривает условное базовое состояние объемно-расходных характеристик соответствующих уравнению:

$$Z = B_0 + B_k. \quad (53)$$

Поскольку величины  $Z$ ,  $B_0$ ,  $B_k = f(Q; t)$  для периода времени  $\Delta t$  известны, то уравнение можно привести к виду:

$$Q_z = Q_{B_0} + Q_{B_k}. \quad (54)$$

При управлении потокораспределением в СВС учитывается резервирование производительности водопроводящих трактов для компенсации нестационарных волновых процессов, возникающих при изменении режимов работы каналов. Фактически рассматриваются объемы накопления и сработки воды. Величина объема воды в канале или регулирующем водохранилище определяется глубиной в определенный момент времени.

Службы эксплуатации ОС при управлении водораспределением оперируют данными о расходах воды, забираемых из водоисточников, выделяемых водопотребителям и сбрасываемых в природные водные объекты. Как следствие реальные объемы воды определяются из функционала  $W = f(Q; t)$ . В свою очередь методы определения расхода на открытых каналах исходят из функциональной зависимости  $Q = f(h)$ . Следовательно, целесообразен поиск новых, нетрадиционных методов оперативного определения объемов воды в сетях ОС, минуя многочисленные промежуточные операции по определению расходов и их интеграции во времени.

Для анализа гидродинамических процессов в водопроводящих трактах ОС при нормальном режиме работы используются различные теоретические методы. В их числе методы, базирующиеся на системе уравнений

Сен-Венана, а также ряд упрощенных методов расчета гидродинамических процессов в реках и каналах [38].

Поскольку за основу принята водобалансовая модель потокораспределения в сетях ОС, рационально рассмотрение адекватных методов прогнозирования развития гидродинамических процессов.

Упрощенные расчеты движения воды в реках и каналах основаны на решении уравнения баланса воды в совокупности участков русла [14, 143]:

$$\frac{Q_H + Q_K}{2} - \frac{q_H + q_K}{2} = \frac{W_K - W_H}{\Delta t}, \quad (55)$$

где  $Q_H$  и  $Q_K$ ;  $q_H$  и  $q_K$ ;  $W_H$  и  $W_K$  – соответственно расходы на верхней и нижней границах участка и объемы воды на начало и конец расчетного интервала времени  $\Delta t$ .

Анализ показывает четкую функциональную взаимосвязь колебаний величин объемов воды в участке канала от характера волновых процессов. При эксплуатации ОС важно ограничить изменения объемов в пределах  $W_{\min} \leq W_p \leq W_{\max}$ , для обеспечения командования над водовыпусками и исключения непроизводительных сбросов воды.

При таком подходе зависимость (55) можно преобразовать в вид, удобный для определения объема воды в участке канала на окончание периода  $\Delta t$ :

$$W_K = W_H + \frac{\Delta t(Q_H + Q_K - q_H - q_K)}{2}. \quad (56)$$

В формуле (56) неопределенными параметрами являются начальный объем воды в канале и расчетный период времени. Поэтому весьма важно знание характера изменения гидрографов расходов во времени, что необходимо для определения их средневзвешенной величины в период времени. В известных методах расчета кривая зависимости емкости русла от расхода поступления воды (стоковая кривая) определяется как функционал  $W = f(Q_{\text{ср.в.}})$ . При этом координаты определяют по нарастающей

сумме разности средних фактических расходов на границах участка за интервал времени:

$$\frac{W_{ci}}{\Delta t} = \sum_i^j (\bar{Q} - \bar{q}) = f(Q_{\text{ср.в.}}), \quad (57)$$

где  $W_{ci}$  – объем воды по стоковой кривой;

$$\bar{Q} - \text{средний расход в начальном сечении, } \bar{Q} = \frac{Q_H + Q_K}{2};$$

$$\bar{q} - \text{средний расход в конечном сечении, } \bar{q} = \frac{q_H + q_K}{2}.$$

Величина интервал времени в формулах (55) и (56) фактически является интервалом времени между очередными циклическими информационными опросами средств измерений о состоянии контролируемых параметров. В пределах этого интервала гидрографы расхода могут быть по форме треугольными или многоугольными. Соответственно изменяются средний расход в начальном сечении и средний расход в конечном сечении канала.

Достоверность приближенных методов расчета повышается при условии  $\tau \rightarrow \Delta t$ , где  $\tau$  – продолжительность перемещения воды (добегания волны). При  $\tau = \Delta t$  результаты расчетов близки к результатам «строгих» методов расчета по системе уравнений Сен-Венана. Одним из условий этого является равенство длины расчетного участка  $L_p$  величине оптимальной длины  $L_{\text{опт}}$ , которая итерационным методом может быть определена по формуле Г. П. Калинина и П. И. Милюкова:

$$L_{\text{опт}} = \frac{Q_0}{2i_0} \frac{\Delta H_H}{\Delta q}, \quad (58)$$

где  $Q_0$  – несколько расходов при установившемся режиме, которые задаются в пределах верхней амплитуды их изменения;

$$i_0 - \text{уклон водной поверхности при расходе } Q_0, \quad i_0 = \Delta H / L;$$

$\Delta H_H$  – изменение горизонта в нижнем створе с изменением расхода на  $\Delta q$ , установленное по кривым расходам  $Q_H = f(H)$  на границах участка длиной  $L_p$ .

В реальных ОС расстояние между перегораживающими ГТС, водовыпусками и водозаборами стохастично и поскольку в приближенных методах расчета не учитывается боковой отток воды (водовыпуски), расчетный участок канала можно определять в границах между ближайшими створами вододеления или между створов вододеления и ближайшим перегораживающим ГТС. При таком подходе к делению канала расчетные участки в большинстве случаев должны обеспечивать равенство  $\tau = \Delta t$ . Величина интервал времени является информационным показателем, общим для всей ОС. Поэтому возможно его приведение к некой оптимальной (средней) величине для расчетных участков сети. Но при этом возникает проблема достоверности определения объема воды в участке канала.

Оптимизационная задача выбора рационального соотношения продолжительности перемещения воды (добегания волны)  $\tau$  и расчетного интервала времени  $\Delta t$  может быть решена при введении следующих теоретических предпосылок и допущений:

- изменение расходной характеристики затворов ГТС должно обеспечивать ступенчатость гидрографов расхода в пределах времени  $\Delta t$ ;

- расчетные участки следует назначать с учетом конструктивных особенностей водопроводящих сетей ОС. Внутри участков допустимо введение «фиктивных» расчетных участков в зависимости от времени добегания волны  $\tau$ ;

- для повышения достоверности результатов, целесообразно проведение промежуточных прогнозных расчетов с их верификацией по данным тестирования состояния водопроводящих сетей ОС;

- при малых уклонах каналов и относительно малых величинах  $\Delta q$  можно характеризовать движение воды на момент расчета как квазиустано-

вившееся, т.е. дополнительный уклон водной поверхности  $\Delta i$  мал в сравнении с основным уклоном, а последний близок к уклону дна канала  $i_{01}$ .

Базовой гидравлической характеристикой, определяющей алгоритм проведения и результаты всех расчетов является  $\tau$ . Ее можно определить косвенным путем по зависимости:

$$\tau = \frac{\Delta W_p}{\Delta Q_{\text{ср.в.}}}, \quad (59)$$

где  $\tau$  – время добегания волны попуска в канале;

$\Delta W_p$  – приращение объемов с увеличением средневзвешенного расхода воды;

$\Delta Q_{\text{ср.в.}}$  – средневзвешенный расход воды в канале.

При относительном постоянстве зависимости  $W\Delta t = f(Q_{\text{ср.в.}})$  показатель (К) может изменяться в большую сторону с увеличением времени эксплуатации каналов ОС. Это связано с состоянием русла канала (изменение шероховатости русла, зарастание сорной растительностью, другими факторами).

Для повышения достоверности прогнозов развития нестационарных процессов в сети ОС должны проводиться необходимые прямые измерения на объекте для построения стоковой кривой и определения  $\tau$  на этапе первичного заполнения каналов. Поскольку стоковая кривая характеризуется функцией:

$$W\Delta t = K_a Q_{\text{ср.в.}} \quad (60)$$

основной задачей экспериментов является выявление коэффициента адаптации. Чем точнее он определяется, тем более достоверной будет величина  $\tau$ , определенная по зависимости (59). Верификация  $\tau$  проводится как на этапе установки ее базовых значений, так и в процессе эксплуатации каналов по данным тестирования состояния ОС.

Исходя из данных  $\tau = f(\Delta q, L)$ , выполняется деление канала на расчетные участки с учетом выполнения условий  $L \approx 1$  при расчетном интер-

вале времени  $\tau \approx \Delta t$ . При этом возможно появление «фиктивных» участков, граничные створы которых будут «жидкими». Имеются в виду граничные створы в зоне расположения боковых водовыпусков различной производительности. С учетом рекомендаций [21] водовыпуски с расходом воды менее 10 % расхода транзитного канала могут не составлять створ расчетного участка. Для определения текущего объема воды в участке канала необходимо знание начальных и конечных величин расходов во входном и выходном створах.

В предлагаемой СИО имеется информационно-измерительная подсистема «Оперативная оценка состояния ОС», контролирующая уровни воды в характерных точках ОС, включая их изменения во времени. Исходя из реального состояния существующих ОС и перспектив их совершенствования, целесообразно применение комбинированной схемы. Она включает прогнозирование и измерение расхода воды на водопитателях по второму методу с учетом гидрографа расхода. На водопроводящих сетях должны использоваться методы контроля расходов по уровням воды.

Определение необходимых величин расходов воды в створах расчетного участка можно выполнять по методике Э. Э. Маковского [86], которая разработана для случая волновых процессов малой амплитуды в открытых каналах. В соответствии с ней изменение уровня в контрольном створе зависит от величины мгновенного приращения расхода и описывается уравнением:

$$\Delta h = (m + nt)\Delta q / Q, \quad (61)$$

где  $\Delta h$  – изменение уровня воды в канале;

$m$  – составляющая расхода от волнового движения;

$n$  – величина, характеризующая квазиустановившееся движение потока после «распространения» волны;

$t$  – время процесса;

$\Delta q$  – приращение расхода воды в канале;

$Q$  – расход воды в канале.

Реализация метода сводится к составлению гидрографа изменения уровня в створе. На гидрографе выделяются участки кривой с постоянным наклоном или производится кусочно-линейная аппроксимация гидрографа, а затем определяется коэффициент наклона этой кривой к оси абсцисс. При известном расходе и конкретном приращении расхода в течение расчетного периода времени фиксируется изменение уровня воды. Коэффициент  $K'$  определяют из соотношения  $K' = \Delta h Q \cdot (\Delta t \cdot \Delta q)$ . Гидрограф расхода может быть построен по гидрографу уровня, используя соотношение:

$$\Delta q = Q_j; \Delta t / K' \cdot \Delta t_i,$$

где  $i$  – индекс интервала времени;

$j$  – индекс базового расхода.

Таким образом, по скорости приращения глубины наполнения, можно определять приращение расхода в створе измерения при волновом характере движения потока. Общая величина расхода есть результат интеграции единичных приращений расхода. Дополнительная тестовая информация позволяет проводить корреляцию получаемых результатов и оценивать ее достоверность.

### **Анализ процесса опорожнения СВС**

Основными факторами, определяющими характер протекания гидродинамических процессов опорожнения водопроводящей сети ОС, являются предполагаемая степень опорожнения каналов и граничные условия окончания процесса опорожнения.

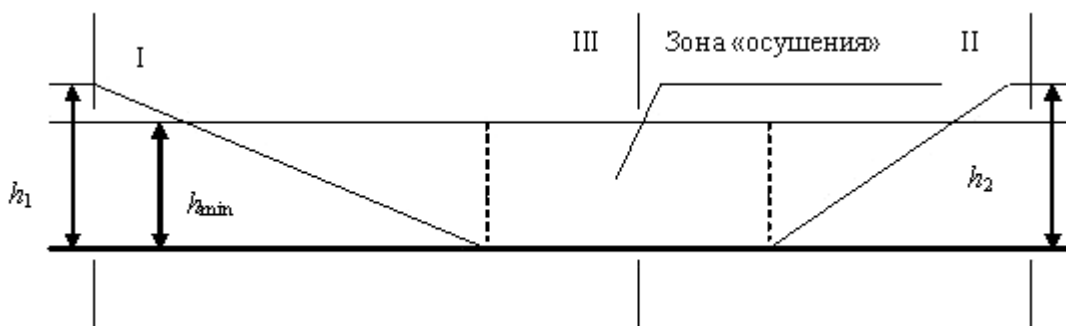
Фактически в процессе равномерного опорожнения сети могут наблюдаться:

- локальные неустановившиеся процессы форсированного опорожнения отдельных участков сети;
- неустановившиеся процессы частичного повторного заполнения участков сети.



В наиболее простом варианте полного опорожнения СВС при отсутствии влияния водовыделов форма свободной поверхности воды в каналах будет соответствовать кривой спада. Интенсивность понижения уровня в измерительных створах и общая продолжительность опорожнения канала определяется характеристиками русла и расходом сброса воды из оросительной сети.

В случае частичного опорожнения транзитной части СВС (например, при использовании ее в качестве оросительно-обводнительной) возникают проблемы управления переходными процессами по переводу сети в новое состояние. Снижение резервной емкости СВС при условии продолжения подачи воды потребителям может привести к локальному «осушению» отдельных участков каналов (рисунок 33).



$h_1$  и  $h_2$  – рабочие глубины воды в начальных I-I и конечных контрольных створах канала;  $h_{\min}$  – минимально допустимая глубина воды в канале

**Рисунок 33 – Характеристика потока в канале при частичном опорожении СВС с наличием зоны «осушения»**

Задачей управления и, соответственно, информационного обеспечения работой ОС является соблюдение оптимального режима опорожнения СВС для различных начальных и конечных условий. Критерий оптимальности – минимальное время процесса при сохранении регламента отпуска воды потребителям. Для решения поставленной задачи возможно использование водобалансового метода расчета с использованием аналитического аппарата прогнозирования процесса опорожнения СВС.

Контроль процесса опорожнения по уровням воды в характерных точках СВС обеспечивается подсистемой тестирования. Поэтому практи-

чески важной характеристикой неустановившегося движения является скорость распространения возмущения (скорость фронта волны – «с» и время добегания волны – «τ»).

Для определения величины скорости потока возможно использование промежуточных данных о расходах и уровнях воды в контрольных створах. Имея однозначные зависимости  $Q=f(H)$  и  $Q=wV$  при известной площади живого сечения потока, возможно получение оперативных данных о величине скорости потока воды в створе канала. При разности величин скорости потока воды  $V$  во входном и выходном створах расчетного участка принимается среднее значение  $V_{cp}=(V_1+V_2)/2$ . Соответственно решается вопрос о величине  $H_{cp}=(H_1+H_2)/2$ , где  $V_1$  и  $V_2$ ,  $H_1$  и  $H_2$  – скорости и глубины потока во входном и выходном створах расчетного участка.

В случае возникновения зоны «осушения» фрагмента канала необходимо провести компенсационный попуск воды в эту зону. Это может быть выполнено за счет дополнительной водоподачи из головного водопитателя или изменения режимов опорожнения близлежащих к аварийному участку канала.

Многорезимность работы ОС определяет необходимость использования комбинированных контрольно-измерительных систем для построения СИО. Технологическими факторами, влияющими на выбор вариантов, являются:

- неустановившийся режим движения потока воды в каналах ОС при их заполнении и опорожнении, что обуславливает применение средств измерения (контроля) параметров водного потока с высокими динамическими характеристиками;

- особые условия работы регулирующих сооружений (водопитателей и распределителей) требуют организации измерительных операций по определению расхода и стока воды с использованием измерителей скорости

потока жидкости и открытия затворов сооружений. Цель – реализация заданных гидрографов расхода (стока) воды;

- для учета влияния малых водовыделов на режим работы каналов ОС требуется применение устройств-стабилизаторов расхода (регуляторов расхода), обладающих свойствами водомерности. В этом случае контроль за отпускаемым расходом воды возможен по уровню воды;

- для реализации водобалансовых методов прогнозирования технологических процессов водопользования целесообразно контролировать расходы в головных и конечных участках каналов с промежуточным контролем уровней воды в ключевых (характеристических) точках водопроводящей сети;

- тестовый контроль состояния ОС и коммерческий водоучет организуется на основе комплекса стандартизованных гидрометрических постов. Выбор гидрометрического поста как точки тестового контроля увязывается с общей структурой информационно-измерительного комплекса;

- при математическом моделировании локальных гидродинамических процессов, особенно при применении многоканальных измерительных систем, модель должна отражать технологические процессы в форме, приемлемой для последующей трансформации количественных данных.

## Список использованной литературы

- 1 Азимов, Р. К. Электромагнитные устройства и приборы для измерения расхода воды в системах орошения / Р. К. Азимов, С. Ф. Амиров // Банк данных для САПР датчиковой аппаратуры сельхозназначения. – Ташкент, 1989. – С. 13-19.
- 2 Алтунин, В. С. Приборы и устройства в гидромелиорации: справочник / В. С. Алтунин, Т. М. Белавцева. – М.: Агропромиздат, 1989. – 236 с.
- 3 Пути совершенствования систем учета воды на сооружениях оросительной сети / В. В. Андрюков [и др.] // Труды Кубанского сельскохозяйственного института. – Куб. СХИ, 1989. – Вып. 298. – С. 63-73.
- 4 Бегляров, Д. С. Учет воды на оросительных системах / Д. С. Бегляров, В. Н. Рыбкин // Вопросы мелиорации. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 1999. – № 5-6. – С. 90-92.
- 5 Система технологических и коммерческих средств водоучета. Технология системного водоучета: отчет о НИР / П/О Совинтервод; рук.: Белавцева Т. М., Маслов А. Б. – М.: П/О Совинтервод, 1993. – 101 с.
- 6 Ведение первичного учета использования вод на гидромелиоративных системах / М. И. Бирицкий [и др.] // Метеорология и гидрология. – 1990. – № 5 – С. 114-117.
- 7 Бирюков, Б. В. Точные расходы жидкостей / Б. В. Бирюков, М. А. Данилов, С. С. Кивилис. – М.: Машиностроение, 1977. – 144 с.
- 8 Бобровников, Г. Н. Методы измерения уровней / Г. Н. Бобровников, А. Г. Катков. – М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.
- 9 Учет воды при автоматизированном регулировании водоподдачи в каналы / В. А. Большаков [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 1988. – № 3. – С 37- 39.
- 10 Боровский, Б. И. Влияние ошибки в определении глубины на точность регулирования расхода воды в канале / Б. И. Боровский // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996. – № 4. – С. 11-12.

11 Бочкарев, Я. В. Основы автоматики и автоматизация гидромелиоративных систем / Я. В. Бочкарев, П. И. Коваленко, А. И. Сергеев. – М.: Колос, 1993. – 285 с.

12 Бочкарев, Я. В. Математические модели оперативного планирования и управления, принципы и схемы автоматизации водораспределения на магистральных (межхозяйственных) каналах при автоматизации методом динамического регулирования / Я. В. Бочкарев // Локальные системы автоматизации в мелиорации: сб. науч. тр. / Кирг. СХИ. – Фрунзе: Кирг. СХИ, 1986. – С. 3-7.

13 Бочкарев, Я. В. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов в гидромелиорации / Я. В. Бочкарев, Е. Е. Овчаров. – М.: Колос, 1981. – 336 с.

14 Бочкарев, Я. В. Эксплуатационная гидрометрия и автоматизация оросительных систем / Я. В. Бочкарев. – М.: Агропромиздат, 1987 – 175 с.

15 Бочкарев, В. Я. Современные подходы к созданию типовых комплексов автоматизации оросительных систем / В. Я. Бочкарев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006.– № 6 – С. 16-17.

16 Водомерные устройства для гидромелиоративных систем / М. В. Бутырин [и др.]. – М.: Колос, 1982. – 184 с.

17 Валентини, К. Л. Расходомерные лотки с укороченной горловиной / К. Л. Валентини, Д. Д. Аралбаев // Мелиорация и водное хозяйство. – 1988. – № 3. – С. 39-40.

18 Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ: по состоянию на 19 июня 2007 г. // Гарант Эксперт 2008 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2008.

19 Водомерные сооружения на мелиоративных системах: Типовые проектные решения 820-1-054.86 / Укргипроводхоз. – Киевский фил. ЦИТП, 1986. – 420 с.

20 Водомерные устройства трубчатых сооружений оросительных систем с  $D_{тр.} 0,4...1$ ; 4 м: Типовая документация серии 3.870.2-45 / Средазгипроводхлопок. – Казахский фил. ЦИТП, 1984. – 123 с.

21 Временное руководство по проектированию и эксплуатации автоматизированных оросительных систем, ч. I и II / Минводхоз РСФСР, НПО «Югмелиорация». – Новочеркасск, 1989. – 96 с.

22 ВРММ-1-78. Ведомственные руководящие и методические материалы: Автоматизированные системы управления водохозяйственными комплексами бассейнов рек (АСУБ). Основные положения. Стадии и этапы разработки. Состав и содержание технической документации. – М.: Минводхоз СССР, 1978. – 356 с.

23 ВТР-М-1-80. Руководство по проведению градуировки и проверки средств измерений расходов воды в открытых каналах методом «скорость-площадь». – Фрунзе: ВНПО «Союзводавтоматика», 1980. – 98 с.

24 ВТР-М-2-80. Руководство по обработке результатов измерений параметров учета воды на оросительных, осушительных и обводнительных системах. – Фрунзе: ВНПО «Союзводавтоматика», 1980. – 70 с.

25 ВТР-П-10-76. Указания по проектированию оросительных систем. Часть XII: руководство по проектированию автоматизации водораспределения на оросительных системах. – Киев: Минводхоз СССР, 1977. – 187 с.

26 Ганкин, М. З. Комплексная автоматизация и АСУТП водохозяйственных систем / М. З. Ганкин. – М.: Агропромиздат, 1991. – 432 с.

27 ГОСТ 26.013-81 Средства измерения и автоматизации. Сигналы электрические с дискретным изменением параметров входные и выходные. – Взамен ГОСТ 10938-75; введ. 1983-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 23 с. (Параметры импульсных электрических входных и выходных сигналов с дискретным изменением параметра).

28 ГОСТ 26.014-81 Средства измерения и автоматизации. Сигналы электрические кодированные входные и выходные. – Взамен ГОСТ 12814-

74; введ. 1983-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 6 с. (Сигналы входные и выходные электрические кодированные).

29 ГОСТ 13216-74. Приборы и средства автоматизации ГСП. Надежность. Общие технические требования и методы испытаний. Введ. 1975-01-01 – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 15 с.

30 ГОСТ 26.010-80 Средства измерений и автоматизации. Сигналы частотные электрические непрерывные входные и выходные – Взамен ГОСТ 14853-76; введ. 1982-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1987 – 5 с. (Сигналы частотные электрические непрерывные входные и выходные ГСП. Основные параметры).

31 ГОСТ 15126-80. Средства измерения скорости течения воды. Вертушки гидрометрические речные. Общие технические требования. – Введ. 1981-01-01. – М.: Изд-во стандартов. 1986. – 4 с.

32 ГОСТ 15528-86. Средства измерений расхода, объема или массы протекающей жидкости и газа. Термины и определения. – Введ. 1986-09-26. – М.: Изд-во стандартов. 2001. – 46 с.

33 ГОСТ 24.103-84 Автоматизированные системы управления. Основные положения. – Взамен ГОСТ 16084-75; введ. 1985-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1987 – 5 с. (АСУТП в промышленности. Основные положения).

34 ГОСТ 16521-74. Устройства телемеханики ГСП. – Введ. 1974-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 20 с.

35 ГОСТ 24.601-86. Автоматизированные системы. Стадии создания. – Взамен ГОСТ 20913-75.; введ. 1987-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 5 с. (АСУТП в промышленности. Стадии создания).

36 ГОСТ 21705-76. АСУТП. Надежность. Основные положения. – Введ. 1977-07-01 – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 12 с.

37 ГОСТ 28723-90. Расходомеры скоростные, электромагнитные и вихревые. Общие технические требования и методы испытаний. – Взамен ГОСТ 25668-83.; введ. 1992-01-01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 8 с.

38 ГОСТ 28725-90. Приборы для измерения уровня жидкости и сыпучих материалов. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 1992-01-01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 11 с.

39 ГОСТ 8.437-81. Системы информационно-измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения. – Введ. 1982-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 12 с.

40 ГОСТ 8.439-81. ГСИ. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды в напорных трубопроводах. Методика выполнения измерений методом «площадь-скорость». – Введ. 1981-09-23. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 47 с.

41 ГОСТ 8.563.3-97. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Процедуры и модуль расчетов. Программное обеспечение. – Введ. 1999-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 65 с.

42 ГОСТ Р 51657.0-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Общие положения. – Введ. 2000-12-14. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.

43 ГОСТ Р 51657.1-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Термины и определения. – Введ. 2001-07-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 12 с.

44 ГОСТ Р 51657.2-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Методы измерения расхода и количества воды. Классификация. – Введ. 2000-14-12. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. – 7 с.

45 ГОСТ Р 51657.3-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Гидрометрические сооружения и устройства. Классификация. – Введ. 2000-12-14. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 6 с.



46 ГОСТ Р 51657.5-2002 Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Способ измерения расходов воды с использованием ультразвуковых (акустически) измерителей скорости. Общие технические требования. – Введ. 2003-07-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. – 11 с.

47 Гребенник, В. Д. Оценка влияния погрешности исходных данных на точность решения задач управления инженерными системами / В. Д. Гребенник, А. Л. Шаповалов // АСУ и приборы автоматики: сб. науч. тр. – Вып. 67. – Харьков: Вища школа, 1983. – С. 31-36.

48 Давыдов, В. Д. Совершенствование средств измерения расходов воды на сооружениях мелиоративных систем / В. Д. Давыдов, А. Ф. Епатко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 1. – С. 30-31.

49 Дмитриев, А. В. Определение расходов воды на крупных гидротехнических сооружениях / А. В. Дмитриев, А. П. Гурьев // Мелиорация и водное хозяйство. – 1988. – № 6. – С. 44-47.

50 Дэскэлеску, Н. Рациональное распределение воды в оросительной сети / Н. Дэскэлеску / пер. с рум. и ред. В. К. Штефана. – М.: Колос, 1982. – 158 с.

51 Евдокимов, А. Г. Потокораспределение в инженерных сетях / А. Г. Евдокимов. – М.: Стройиздат, 1979. – 199 с.

52 Емец, В. П. Водно-балансовая информация как средство обоснования водопользования и водоучета / В. П. Емец // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 1. – С. 20-24.

53 Епатко, А. Ф. Совершенствование средств измерения расходов воды на сооружениях мелиоративных систем / А. Ф. Епатко, В. Д. Давыдов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 1. – С. 30-32.

54 Живоглядов, В. П. Адаптация в автоматизированных системах управления технологическими процессами / В. П. Живоглядов. – Фрунзе: Илим, 1974. – 227 с.

55 Журавлёв, С. Г. Повышение эффективности управления гидромелиоративными системами с использованием символьных вычислительных

структур: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02; 05.13.07 / Журавлёв Сергей Георгиевич. – М., 1994. – 41 с.

56 ИВН 33-5.4.02-87. Первичный учет использования вод на гидро-мелиоративных системах: Инструкция вод. надзора Минводхоз ССР. – Введ. 1986-07-01 – М., 1987. – 22 с.

57 Инструкция по выбору комплекса технических средств, для автоматизированных систем управления водохозяйственными системами. Введ. 1977-07-01. – Ч. 1, 2. – М.: Минводхоз СССР, 1977.

58 Информационно-советующая система управления орошением / под ред. В. П. Остапчука. – Киев: Урожай, 1989. – 248с.

59 ИСО/4359. Измерение потоков жидкости в открытых руслах и каналах. Прямоугольные и трапецеидальные гидрометрические лотки / Международная организация по стандартизации. – Женева, Швейцария, 1983.

60 ИСО/4374. Водосливы с широким горизонтальным порогом с закругленной кромкой / Международная организация по стандартизации. – Женева, Швейцария, 1982.

61 ИСО/4377. Водосливы с треугольными порогами с продольным вырезом в гребне / Международная организация по стандартизации. – Женева, Швейцария, 1982.

62 ИСО/5167. Измерение расхода жидкости при помощи устройств дифференциального давления. Часть 1. Диафрагмы, сопла и трубки Вентури, помещенные в заполненные трубопроводы круглого сечения / Международная организация по стандартизации. – Женева, Швейцария, 1983.

63 ИСО/8333. Водосливы с широким порогом с продольным вырезом в гребне и с закругленной входной кромкой / Международная организация по стандартизации. – Женева, Швейцария, 1984.

64 ИСО/8368. Измерение расхода жидкости в открытых руслах и каналах. Общее руководство для выбора гидрометрического сооружения / Международная организация по стандартизации. – Женева, Швейцария, 1985.

65 ИСО/6416 Измерение расходов ультразвуковым (акустическим) методом / Международная организация по стандартизации. – Женева, Швейцария, 1985.

66 ИСО/748 Измерение потоков жидкости в открытых руслах. Методы «скорость-площадь» / Международная организация по стандартизации. – Женева, Швейцария, 1981.

67 Каленюк, Н. М. Измерение расхода воды в гидромелиоративных системах / Н. М. Каленюк, Г. М. Михайлов // Эффективное использование водных ресурсов и орошаемых земель в степной зоне. – Новосибирск, 1991. – С. 58-69.

68 Каналы оросительные облицованные сборными железобетонными плитами с расходом воды до 100 м<sup>3</sup>/с: Типовой проект 822-01-80.87 / Укр-гипроводхоз. – Киевский фил. ЦИТП, 1988. – Альбом 1. – 149 с.

69 Карасев, И. Ф. Гидрометрия: учеб. для студентов вузов, обучающихся по спец. «Гидрология суши» / И. Ф. Карасев, А. В. Васильев, Е. С. Субботина. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. – 376 с.

70 Кизяев, Б. М. Водопользование и водоучет на водохозяйственных и мелиоративных системах агропромышленного комплекса страны / Б. М. Кизяев, А. Е. Погодаев, Е. Г. Филиппов. – М.: ВНИИА, 2004. – 129 с.

71 Коваленко, П. И. Автоматизация мелиоративных систем / П. И. Коваленко. – М.: Колос, 1983. – 304 с.

72 Ковальчук, Ю. Г. Средства измерения расхода и количества воды на мелиоративных системах: каталог - справочник / Ю. Г. Ковальчук, А. П. Прокопчук. – Киев: Хрещатик, 1992. – 48 с.

73 Кожемяченко, И. В. Автоматизированные средства водоучета для управления водораспределением и рационального использования воды на внутрихозяйственной оросительной сети: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / Кожемяченко Ирина Викторовна. – Киев, 1983. – 21 с.

74 Организация водоучета на мелиоративных системах в условиях платного водопользования / А. В. Колганов [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2001. – № 2. – С. 23-26.

75 Колодяжный, Г. Н. Измерение расходов воды на напорных водоводах ультразвуковой установкой / Г. Н. Колодяжный, С. В. Борзовых // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 2. – С. 48-50.

76 Комплект аппаратуры для измерения скоростей течения и расходов воды в каналах / О. Л. Кольченко [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 1996. – № 1. – С. 45-46.

77 Комплекс общепромышленных руководящих материалов по созданию АСУ и САПР: Общепромышленные руководящие методические материалы по созданию организационно - технологических АСУ. Общепромышленные руководящие методические материалы по созданию систем автоматизированного проектирования. – М.: Статистика, 1980. – 486 с.

78 Комплексная программа организации учета воды на оросительных системах Минводхоза РСФСР на период 1989-1995 гг. // Минводхоз РСФСР, НПО «Югмелиорация», Южгипроводхоз. – Ростов н/Д, 1989. – 148 с.

79 Коржов, В. И. Информационно-технологическое обеспечение водопользования на оросительных системах / В. И. Коржов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 6. – С. 17-19.

80 Косиченко, Ю. М. Каналы переброски стока России / Ю. М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.

81 Краснов, Б. Е. Организация учета воды на I и II очереди Энгельской ОС / Б. Е. Краснов, И. Б. Кожемяченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 8. – С. 55-56.

82 Красовский, М. Ю. Совершенствование способов и технических средств автоматизации водораспределения в открытых оросительных системах / М. Ю. Красовский. – Новочеркасск: НИМИ, 1987. – 257 с.

83 Кремлёвский, П. П. Расходомеры и счетчики количества: справочник / П. П. Кремлёвский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.

84 Централизованное автоматическое управление водораспределением / В. И. Куротченко [и др.]. – Фрунзе: Илим, 1983. – 192с.

85 Куротченко, В. И. Цифровые преобразователи угловых перемещений / В. И. Куротченко, В. И. Замай. – Фрунзе: Илим, 1980 – 161 с.

86 Маковский, Э. Э. Автоматизация процессов трансформации неравномерного стока воды / Э. Э. Маковский. – Фрунзе: Илим, 1977 – 216 с.

87 Маковский, Э. Э. Автоматизированные автономные системы трансформации неравномерного стока / Э. Э. Маковский, В. В. Волчкова. – Фрунзе: Илим, 1981. – 379 с.

88 Малышев, В. М. Гибкие измерительные системы в метрологии / В. М. Малышев, А. И. Механиков. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 176 с.

89 Малярчук, В. Ф. Методические рекомендации по градуировке подпорно-регулирующих сооружений и измерению расходов воды с применением способа УкрНИИГиМ / В. Ф. Малярчук. – Киев: УкрНИИГиМ, 1977. – 50 с.

90 Матюнин, В. Г. Техническое обеспечение коммерческого водочета / В. Г. Матюнин, М. Ю. Красовский // Мелиорация и водное хозяйство. –1996. – № 1. – С. 44-45.

91 Новицкий, П. В. Оценка погрешности результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.

92 Медведев, О. Б. Измерение расходов воды в каналах с подпорно-переменным режимом движения потока / О. Б. Медведев // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 1. – С. 31-33.

93 Методика измерения характеристик течения воды на основе эффекта Доплера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.son-tek.com>.

94 Удовиченко, Е. Т. Метрологическое обеспечение измерительных информационных систем – теория, методология, организация / Е. Т. Удовиченко [и др.] – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 192 с.

95 МИ 1759-87. Методические указания ГСИ. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость-площадь». – Введ. 1988-01.01.– М.: Изд-во стандартов, 2005. – 29с.

96 МИ 2406-97 ГСИ. Расход жидкости в открытых каналах систем водоснабжения и канализации. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков. – Введ. 1997-05-15. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 115 с.

97 Мясников, В. И. Системы измерения объема и расхода воды / В. И. Мясников // Водоснабжение и санитарная техника. – 1999. – № 3. – С. 21-25.

98 Натальчук, М. Ф. Эксплуатация гидромелиоративных систем / М. Ф. Натальчук, В. И. Ольгаренко, В. А. Сурин. – М.: Колос, 1995 – 319 с.

99 Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.

100 Нормативно-техническая документация и средства измерения, рекомендуемые к применению при организации водоучета на гидромелиоративных системах. – М.: Союзводпроект, 1990. – 135 с.

101 ОСТ 33-2.2.05-86. Каналы оросительных систем трапецеидальные на расходы до 10 м<sup>3</sup>/с. Поперечные сечения. – Введ. 1987-11-30. – М.: Минводхоз СССР, 1986. – 9 с.

102 ОСТ 33-26-80. Система приборов и средств автоматизации мелиоративного назначения. Общие технические требования. – Введ. 1980-01-01. – М.: В/О «Союзводпроект», 1980. – 13 с.

103 Переоснащение оросительных систем в Дагестане новыми средствами водоучета / Д. С. Айдамиров [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 1993. – № 1. – С. 3-4.

104 Пособие по методам и средствам измерения для учета использования вод закрытых потоков / ЦНИИ комплексного использования водных ресурсов. – Минск, 1985. – 108 с.

105 Пособие по проектированию водомерных сооружений и выбору средств измерений расхода и стока воды на мелиоративных системах / к ВСН 33-2.2-88. Служба эксплуатации мелиоративных систем. Нормы проектирования. Союзводпроект, Союзводсистемаавтоматика Минводхоза СССР. – М., 1989. – 256 с.

106 Приборы и средства автоматизации для мелиоративных систем: каталог. Ч. I, II. – М.: Изд-во Информприбор, 1989, 1990. – 125 с., 93 с.

107 Проектирование водомерных сооружений и выбор средств измерения расхода и стока воды на гидромелиоративных системах. Пособие к СНиП 2.06.03-85. – М.: В/О Союзводпроект, 1989. – 359 с.

108 Расчет и конструирование расходомеров / под ред. П. П. Кремлевского. – М.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1978. – 224 с.

109 РД 01-81. Ведомственные руководящие методические материалы по созданию и эксплуатации автоматизированных технологических комплексов межхозяйственного водораспределения на оросительных системах Киргизской ССР (ВРММ АТК МХВ ОС Киргизии) / ВНИИКАмелиорация. – Фрунзе, 1981, в восьми частях. – 456 с.

110 Рекомендации по оборудованию гидротехнических сооружений открытых оросительных систем водомерными устройствами / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1978. – 24 с.

111 Рекомендации по применению водомерных устройств на мелиоративных системах / под ред. А. Ф. Киенчука. – Киев: УкрНИИГиМ – 1978. – 169 с.

112 Рекомендации по применению расходомерных устройств на мелиоративных насосных станциях с подачей до 6 куб. м/с / ВНИИВОДГЕО. – М., 1986. – 41 с.

113 РММ 5.1.1. 01-83. Руководство по классификации ТОО, управляющих систем, АТК и организационно-технологических АСУ на гидромелиоративных системах / ВСМО «Союзводсистемаавтоматика» – Фрунзе, 1984. – 157 с.

114 РММ 5.2.1 01-83. Руководство по предпроектному обследованию и технологическому обоснованию автоматизации водораспределения на мелиоративных системах / ВСМО «Союзводсистемаавтоматика» – Фрунзе, 1984. – 157 с.

115 РММ 5.2.1 02-83. Руководство по развернутому обследованию и анализу функционирования объектов и систем управления технологического комплекса водораспределения на автоматизируемой гидромелиоративной системе / ВСМО «Союзводсистемаавтоматика». – Фрунзе, 1984. – 157 с.

116 Способ измерения расходов воды в каналах оросительных систем / В. П. Рогунович [и др.] // Гидравлико-экологические аспекты обоснования водохозяйственных мероприятий / ВНИИГиМ. – М., 1989. – С. 74-82.

117 Рожнов, В. А. Автоматизация процессов водораспределения на оросительных системах / В. А. Рожнов. – Фрунзе: Илим, 1987. – 152 с.

118 Рожнов, В. А. Электрические системы регулирования на гидротехнических сооружениях / В. А. Рожнов. – Фрунзе: Илим, 1987. – 146 с.

119 Рожнов, В. А., Электрические системы автоматизации уровней воды в каналах / В. А. Рожнов, Р. М. Тюменев. – Фрунзе: Илим, 1979. – 188 с.

120 СНиП 2.06.03-85. Мелиоративные системы и сооружения. – Введ. 1986-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 58с.

121 СНиП 3.07.03-85. Мелиоративные системы и сооружения. – Введ. 1991-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 33с.

122 СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Общие положения» / Госстрой России. – Введ. 2004-01-01. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 30 с.



123 Сооружения. Строительство / под ред. А. В. Колганова, П. А. Полад-Заде. – М.: «Ассоциация ЭкоСт», 2002. – 601 с.

124 Средства и методы водоучета в мелиорации и водном хозяйстве. Информационно-патентный обзор / ЦНТИ «Мелиоводинформ». – М., 1994. – 209 с.

125 Тевяшев, А. Д. Об одном алгоритме параметрической идентификации инженерных сетей / А. Д. Тевяшев, А. Л. Шаповалов // Методологические и прикладные аспекты системы автоматизированного проектирования: тез. докладов. – Ташкент, 1981. – С. 22-25.

126 Тевяшев, А. Д. Статистическое оценивание параметров модели пассивного участка инженерной сети / А. Д. Тевяшев, А. Л. Шаповалов // АСУ и приборы автоматики: сб. науч. тр. – Вып. 57. – Харьков: Вища школа, 1981. – С. 57-63.

127 Методы и средства организации водоучета на гидромелиоративных объектах: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. 4-8 сентября 1989 г. – Фрунзе, 1989. – 106 с.

128 Учет воды на закрытых оросительных системах / Пособие к Правилам технической эксплуатации оросительных систем. – Киев: УкрНИИ-ГиМ, 1985. – 93 с.

129 О мелиорации земель: Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ: по состоянию на 26 июня 2007 г. // Гарант Эксперт 2008 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2008.

130 О техническом регулировании: Федеральный закон РФ от 27 декабря 2002 г. №184-ФЗ: по состоянию на 6 декабря 2011 г. / Гарант Эксперт 2011 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2011.

131 Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон РФ от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ: по состоянию на 30 ноября 2011 г. // Гарант Эксперт 2011 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2011.

132 Филиппов, Е. Г. Гидравлика гидрометрических сооружений для открытых потоков / Е. Г. Филиппов. – Л.: Гидрометеиздат. 1990. – 287 с.

133 Филиппов, Е. Г. Технические требования к пунктам водоучета / Е. Г. Филиппов // Принципы рационального водообеспечения агропромышленного комплекса: сб. науч. тр. / ВНИИГиМ, ВНИИОЗ. – М., 1997. – С. 120-137.

134 Филончиков, А. В. Технология водоучета на мелиоративных системах / А. В. Филончиков, А. Б. Маслов. – М.: П/О Совинтервод, 1994. – 116 с.

135 Филончиков, А. В. Руководство по оснащению гидромелиоративных систем новейшими средствами водоучета / А. В. Филончиков, А. Б. Маслов – М.: П/О Совинтервод. 1994. – 41 с.

136 Филончиков, А. В. Технология водоучета на мелиоративных системах / А. В. Филончиков. – Кострома: КГСХА. 1997. – 156 с.

137 Фрумкин, В. Д. Теория вероятностей и статистика в метрологии и измерительной технике / В. Д. Фрумкин, Н. А. Рубичев. – М.: Машиностроение, 1987. – 168 с.

138 Хамадов, И. Б. Эксплуатационная гидрометрия в ирригации / И. Б. Хамадов, М. В. Бутырин. – М.: Колос, 1975. – 155 с.

139 Чоу, В. Т. Гидравлика открытых каналов / В. Т. Чоу. – М.: Стройиздат, 1969. – 464 с.

140 Шевченко, А. В. Обоснование косвенного метода измерения подачи воды насосной станцией в закрытую оросительную сеть / А. В. Шевченко, С. М. Яцюк // Мелиорация и водное хозяйство: сб. науч. тр. – Киев: Урожай, 1983. – № 58. – С. 43-56.

141 Щедрин, В. Н. Метрологическое обеспечение водоучета и водоизмерения в отрасли / В. Н. Щедрин, В. Я. Бочкарев // Вопросы мелиорации. –1996. – № 5-6. – С. 3-4.

142 Щедрин, В. Н. Перспективы использования ГИС-технологий в системе управления мелиоративной отраслью / В. Н. Щедрин, В. Я. Бочкарев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 2. – С. 12-16.

143 Системные принципы водоучета и управления водораспределением на оросительной сети / В. Н. Щедрин [и др.] – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – 235 с.

144 Щедрин, В. Н. Совершенствование технологии управления водораспределением на открытых оросительных каналах / В. Н. Щедрин, В. И. Коржов. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 1995. – 80 с.

145 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – Ростов н/Д: СКНЦВШ, 2004. – 388 с.

146 Эгильский, И. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды / И. С. Эгильский. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 216 с.