

А. Б. НЕВЗОРОВА

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ
СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ
И КАНАЛИЗАЦИИ**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра водоснабжения, химии и экологии

А. Б. НЕВЗОРОВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь
по образованию в области строительства и архитектуры
в качестве учебно-методического пособия
для студентов строительных специальностей*

Гомель 2022

УДК 628.11.2(075.8)
ББК 38.761.1
Н40

Рецензенты: кафедра водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета (заведующий кафедрой – канд. техн. наук, доцент *С. Г. Белов*; профессор кафедры – канд. техн. наук, доцент *Б. Н. Житенёв*); директор ОАО «Гефлис» *А. В. Роденко*

Невзорова, А. Б.

Н40 Автоматизация технологических процессов систем водоснабжения и канализации : учеб.-метод. пособие / А. Б. Невзорова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 151 с.
ISBN 978-985-891-038-9

Излагаются основы автоматизации систем водоснабжения и канализации. Описываются основные характеристики и области применения комплекса технических средств автоматизации; принципы автоматического регулирования; построения функциональных схем автоматизации; типовые схемы автоматизации технологических процессов на сооружениях водоподготовки и очистки сточных вод. Рассматриваются основы по диспетчеризации и цифровизации водоканалов.

Предназначено для студентов строительных специальностей, а также будет полезно для преподавателей и заинтересованных в этой области читателей.

УДК 628.11.2(075.8)
ББК 38.761.1

ISBN 978-985-891-038-9

© Невзорова А. Б., 2022
© Оформление. БелГУТ, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА	6
1.1 Понятие объема и степени автоматизации.....	6
1.2 Уровни автоматизации	11
2 СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ	13
2.1 Характеристика производственных процессов	13
2.2 Функции автоматизированной системы управления технологическим процессом..	15
2.3 Режимы работы АСУ ТП.....	17
2.4 Основные компоненты АСУ ТП.....	18
2.5 Иерархические уровни АСУ ТП водоканала	19
3 ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ И ТЕХНИКИ ИЗМЕРЕНИЙ.....	24
3.1 Классификация технических средств автоматизации	24
3.2 Функции полевых устройств для измерения физических параметров	25
3.3 Расходомеры.....	32
3.4 Измерение качественных параметров вод	39
3.5 Основные виды погрешностей измерительных приборов.....	40
4 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХ- НОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	44
4.1 Основные свойства объектов и законы автоматического регулирования.....	44
4.2 Принципы автоматического регулирования и управления	46
4.3 Микропроцессорные системы.....	51
5 ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	53
5.1 Схемы автоматизации типовых объектов	53
5.2 Порядок составления функциональных схем	54
5.2 Разработка функциональной схемы автоматизации	60
5.3 Изображение линий связи	62
6 СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНО- ЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	64
6.1 Автоматическое регулирование расхода, уровня, давления, температуры, pH воды	64
6.2 Автоматический контроль и регулирование параметров состава и качества ..	68
6.3 Сигнализация, защита и блокировка	70
6.4 Логгеры – регистраторы данных.....	74
7 АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ.....	76
7.1 Технологические параметры, подлежащие контролю на насосных станциях водоснабжения	76

7.2	Виды автоматик для насосов.....	79
7.3	Технологические параметры, подлежащие контролю на канализационных насосных станциях.....	82
7.4	Функциональные схемы автоматизации КНС.....	86
8	ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ	88
8.1	Технологические параметры, подлежащие контролю на водозаборных сооружениях.....	88
8.2	Автоматизация сооружений по очистке природных вод.....	90
8.3	Автоматические устройства водопроводных сетей.....	94
9	АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД	97
9.1	Общие положения.....	97
9.2	Параметры для автоматизации технологических процессов очистки сточных вод.....	103
9.3	Автоматизация сооружений биологической очистки.....	106
9.4	Автоматизированное управление процессами аэрации на базе программируемых логических контроллеров.....	110
9.5	Функциональная схема автоматизации отстойников.....	115
9.6	Функциональная схема автоматизации метантенков.....	116
9.6	Функциональная схема автоматизации приготовления коагулянта.....	118
10	ТЕЛЕМЕХАНИКА И ЦИФРОВИЗАЦИЯ АСУ ТП ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ	120
10.1	Средства и функции телемеханизации.....	120
10.2	Телеметрия.....	124
10.3	Видеоаналитика и телеинспекция.....	125
10.4	Инновационные технологии для оптимизации энергопотребления водозаборов.....	129
10.5	Интеллектуализация сетей водоснабжения.....	133
10.6	Формирование концепции «Цифровой водоканал».....	138
	КРАТКИЙ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ	145
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	148

ВВЕДЕНИЕ

Характерная особенность современного этапа автоматизации состоит в том, что она опирается на цифровые технологии, использование микропроцессорных контроллеров, гибких производственных систем, интегрированных систем проектирования и управления, SCADA-систем и др.

Автоматизация на объектах, обеспечивающих водоснабжение и канализацию, необходима для повышения эффективности технологического процесса добычи и транспортировки воды, снижения затрат электроэнергии, повышения качества и надежности подачи воды потребителям. К числу основных особенностей систем водоснабжения и канализации как объектов автоматизации относятся:

- высокая степень ответственности, подразумевающая гарантию надежной бесперебойной работы;
- сложность технологического процесса и зависимость режима работы сооружений от изменения качества исходной воды в условиях постоянно меняющейся нагрузки;
- территориальная разбросанность сооружений и необходимость координирования их работы из одного центра и др.

Подготовленное учебно-методическое пособие ставит своей целью дополнить учебную техническую литературу для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» по дисциплине «Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения» с учетом последних научных разработок, законодательных и нормативно-технических актов. Также представлено много информации со специализированных сайтов из свободных источников интернета.

Структура и последовательность изложения материала основывается на полученных студентами знаниях по технологическим процессам и аппаратному оформлению систем водоснабжения и канализации.

1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

1.1 Понятие объема и степени автоматизации

Современные предприятия обычно имеют большое количество сложных инженерных систем и коммуникаций. Для оптимизации их функционирования, слежения за режимами работы и удаленным управлением системами применяют специализированные комплексные решения автоматизации и диспетчеризации [1, 5, 24, 38].

Автоматика – это отрасль науки и техники, которая занимается теорией и построением систем управления, работающих без участия человека. Основой этой отрасли является теория автоматического управления. Термин «автоматика» используется иногда и в более узком смысле как совокупность механизмов и устройств, действующих автоматически.

Автоматизация производства – характеризуется освобождением человека от непосредственного управления производственным процессом и передачей этих функций автоматическим устройствам. Применение методов и средств автоматики позволяет переводить неавтоматические, ручные процессы в автоматические.

Объем автоматизации – определяется числом операций, процессов, управление которыми осуществляется с помощью средств автоматизации.

Уровень автоматизации – степень совершенства технических средств, с помощью которых осуществляется автоматизация.

По степени автоматизации различают объекты с частичной, комплексной или полной автоматизацией.

Частичная автоматизация – управление выполняется дистанционно или автоматически отдельными машинами и механизмами, имеющими внешние связи с другими производственными процессами.

Комплексная автоматизация – при которой весь комплекс производственных операций осуществляется по заранее разработанным программам и режимам различными автоматическими устройствами, объединенными общей системой управления. Человек при этой системе только наблюдает за ходом процесса, анализом и выбором режима работы оборудования.

Полная автоматизация – высшая ступень автоматизации, при которой система автоматически выполняет весь комплекс операций производственного процесса, включая выбор и установление режима работы без участия человека.

Степень, уровень и объем автоматизации для каждого объекта выбираются с учетом технико-экономической эффективности и возможности устранения тяжелых и вредных условий труда обслуживающего персонала.

Для поддержания правильного хода производственного процесса необходимо регулировать величины, характеризующие этот процесс. Они должны быть либо постоянными (const), либо изменяться по определенному закону. Так, например, при работе насосного агрегата скорость вращения рабочего колеса, состав жидкости, поступающей в рабочую зону, поддерживаются на определенном уровне. Если меняется внешний фактор (понижается уровень воды в водоисточнике, появляются взвеси), то необходимо проводить автоматическое регулирование процесса.

Автоматические устройства и системы отличаются друг от друга физической природой, принципом действия, схемными и конструктивными решениями и предназначены для выполнения одной из следующих основных задач автоматизации контроля, сигнализации, защиты или управления.

Автоматический контроль выполняет измерение различных параметров технологического процесса и их регистрацию с помощью измерительных приборов.

Автоматическая сигнализация предназначена для оповещения обслуживающего персонала о предельных или аварийных значениях каких-либо физических параметров, о месте и характере нарушений технологического процесса.

Автоматическая защита представляет собой совокупность технических средств, которые при возникновении ненормальных и аварийных режимов либо прекращают производственный процесс, либо устраняют ненормальные режимы.

Дистанционное управление – ручное управление на расстоянии механизмами в пределах производственного комплекса, использующее на каждый механизм отдельную линию связи.

Автоматизированное управление – управление, при котором сбор и обработка информации о состоянии объекта производятся автоматически (с помощью программного обеспечения (ПО)), а принятие решений и выдача команд управления осуществляются человеком. Человеко-машинная система, осуществляющая такое управление, называется автоматизированной системой управления (АСУ).

Автоматическое регулирование – процесс поддержания какого-либо параметра на заданном уровне или изменение его по определенному закону без участия человека. Совокупность устройств, обеспечивающих автоматическое регулирование, называется системой автоматического регулирования (САР).

Автоматическое регулирование предназначено для изменения управления процессом по заранее определенному закону. Существует два основных

принципа регулирования: *по отклонению* регулируемой величины от заданной и *по возмущению* – при этом применяются меры по нейтрализации внешнего возмущающего воздействия.

Автоматический контроль применяется для осуществления контроля за ходом производственного процесса. Контролируемые показатели могут быть весьма различны: температура, давление, расход, сила тока и т. д. Физические величины, значения которых требуется автоматически поддерживать постоянными или изменять в соответствии с технологическими процессами, называются *регулируемыми* или *выходными* величинами.

Под управлением будем понимать некий процесс, обеспечивающий достижение поставленной цели. Управление техническими объектами можно разделить на три вида: ручное, автоматическое и автоматизированное. Ручное управление далее не рассматривается.

Автоматическое управление – управление объектами без участия обслуживающего персонала. Совокупность технических устройств и объекта управления называется *системой автоматического управления* (САУ).

Автоматическое управление включает в себя две группы систем управления объектом: *системы автоматики*, работающие по разомкнутому циклу, и замкнутые САУ.

Системы автоматики – это системы автоматического контроля, сигнализации, пуска и остановки агрегатов, блокировки и защиты (рисунок 1.1), которые обеспечивают безаварийную работу технологического оборудования, страхуют обслуживающий персонал от ошибочных действий и оперативно дают ему информацию о предельных значениях параметров технологического процесса. Для реализации подобных систем используются соответствующие датчики, индикаторы и автоматические выключатели.

К значительно более сложным автоматическим системам следует отнести САУ (рисунок 1.2). Подобные системы во многих случаях являются так называемыми локальными автоматическими системами в составе общей АСУТП, обеспечивающей управление технологическим процессом сложного объекта.

Автоматически действующее устройство, обеспечивающее регулирование или управление какой-либо физической величины, называется *автоматическим регулятором*, а технический агрегат, в котором происходит процесс, подлежащий регулированию, называется *объектом регулирования*. Автоматический регулятор совместно с объектом регулирования составляет САР (рисунок 1.3).



Рисунок 1.1 – Виды систем автоматики технологического процесса

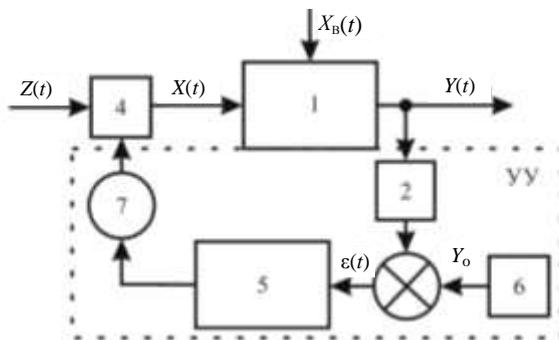


Рисунок 1.2 – Структурная схема системы автоматического управления:
 1 – объект управления; 2 – измерительное устройство; 3 – оператор; 4 – регулирующий орган;
 5 – управляющий элемент; 6 – задатчик; 7 – исполнительный механизм

Измерительное устройство служит для определения действительного значения регулируемой величины $X(t)$ и сравнения его с заданным значением. Оно вырабатывает сигнал соответствующего знака, пропорциональный разности измеренного и заданного значений регулируемой величины. Измерительное устройство УУ состоит из чувствительного, задающего и сравнивающего элементов.

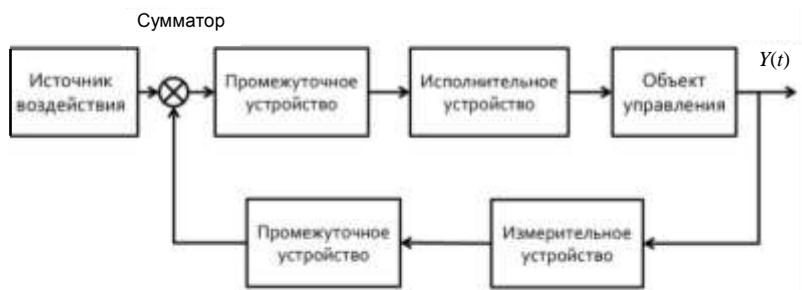


Рисунок 1.3 – Типовая структурная схема САУ

Чувствительный элемент, или датчик, выполняет функции источника информации о действительном значении регулируемой величины $Y(t)$.

Задающий элемент служит для введения в систему требуемого закона изменения регулируемой величины $\varepsilon(t)$.

Элемент сравнения осуществляет сопоставление измеренного ($Y(t)$) и заданного (Y_0) значений регулируемой величины и формирование сигнала управления.

Выходной сигнал измерительного устройства в большинстве случаев не может быть непосредственно использован для управления исполнительным устройством САУ из-за малой мощности или несовпадения по физической природе. Поэтому между измерительным и исполнительным устройствами включаются промежуточные элементы.

Промежуточные элементы преобразуют выходной сигнал измерительного устройства по виду и величине таким образом, чтобы он обеспечивал надежную работу исполнительных устройств системы. К ним относятся усилители, обеспечивающие усиление сигнала по величине или мощности, и преобразователи, осуществляющие преобразование сигнала по виду или по требуемому функциональному закону.

Исполнительное устройство – это элемент системы, который непосредственно оказывает воздействие на регулирующий орган объекта с целью восстановления требуемого значения регулируемой величины.

К основным видам автоматических устройств, используемых в водоснабжении и водоотведении, можно отнести: дистанционное и телеуправление, автоматический контроль, технологическую сигнализацию, автоматическую защиту, блокировку, регулирование и управление.

Отметим, что система автоматики и САУ принципиально исключают участие человека в процессе управления объектом (исключение составляет формирование сигнала уставки в САУ).

1.2 Уровни автоматизации

Автоматизация процессов производства минимизирует влияние человеческого фактора и используется в целях обеспечить повышение скорости выполнения многократно повторяющихся задач, качества работы, количества данных, которыми возможно оперировать для расчета и поддержки процессов, точности управления, скорости выбора вариантов решений для стандартных и внештатных ситуаций.

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) систем водоснабжения и водоотведения – группа решений технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях Водоканалов и других, связанных с подготовкой и очисткой воды для производственных процессов. АСУ ТП имеет связь с более общей *автоматизированной системой управления предприятием (АСУП)*.

Как инструмент повышения качества управления автоматизацию проводят на оперативном, тактическом и стратегическом уровнях [1, 2]:

– *нижний* (исполнительный или оперативный) – это уровень оборудования, т. е. датчиков, измерительных устройств, контролирующих управляемые параметры, а также исполнительных устройств, воздействующих на эти параметры процесса, для приведения их в соответствие с заданием. На этом уровне осуществляется согласование сигналов датчиков с входами устройства управления, а также вырабатываемых команд с исполнительными устройствами для регулярно повторяющихся операций, поддержания параметров среды и режимов работы в заданном диапазоне;

– *средний* (тактический) – это уровень управления оборудованием, т. е. контроллеров (ПЛК-PLC, Programable Logic Controller), которые получают информацию с контрольно-измерительного оборудования и датчиков о состоянии технологического процесса и выдает команды управления, в соответствии с запрограммированным алгоритмом управления, на исполнительные механизмы. На этом уровне распределяются задачи между компонентами нижнего уровня, решаются задачи в процессах планирования и управления ресурсами и данными;

– *верхний* (стратегический) – уровень промышленного сервера, сетевого оборудования, уровень операторских и диспетчерских станций. На этом уровне идет контроль хода производства: обеспечивается связь с нижними уровнями, откуда осуществляется сбор данных, визуализация и диспетчеризация (мониторинг) хода технологического процесса. Это уровень HMI, SCADA. На этом уровне задействован человек, т. е. оператор (диспетчер). Он осуществляет локальный контроль технологического оборудования через так называемый человеко-машинный интерфейс. К нему относятся: мониторы, графические панели, которые устанавливаются локально на

пультах управления и шкафах автоматики. Для осуществления контроля за распределенной системой машин, механизмов и агрегатов применяется SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) система. Эта система представляет собой программное обеспечение, которое настраивается и устанавливается на диспетчерских компьютерах. Она обеспечивает сбор, архивацию, визуализацию, важнейших данных от ПЛК. При получении данных система самостоятельно сравнивает их с заданными значениями управляемых параметров (уставками) и при отклонении от задания уведомляет оператора с помощью тревог, позволяя ему предпринять необходимые действия. При этом система записывает все происходящее, включая действия оператора, обеспечивая контроль действий оператора в случае аварии или другой нештатной ситуации. Таким образом, обеспечивается персональная ответственность управляющего оператора.

Стратегический менеджмент осуществляется владельцем или руководителем предприятия и главами структурных подразделений. К данному уровню относится внедрение программных средств для экономического отдела, логистики, закупок.

Исследование автоматизированных систем сбора и обработки информации управления технологическими процессами требует внедрения особой структуры сетей передачи данных, которая имеет следующие уровни автоматизации:

- *нулевой* – участие человека исключается только для выполнения рабочих ходов;

- *первый* – исключает участие человека при выполнении холостых ходов на конкретном оборудовании.

- *второй* – решаются вопросы доставки и отгрузки, контроля управления системами машин и удаления отходов.

- *третий* – охватывает все этапы процесса производства, начиная от самых простых и заканчивая испытаниями и отгрузкой готовой продукции.

Сложившийся опыт создания и эксплуатации автоматизированных систем в различных областях привел к *иерархическому принципу* их построения, предусматривающему распределение как функций, так и реализующих их устройств по уровням иерархии (стратам). Взаимосвязи в этом случае могут существовать только между рядом расположенными уровнями, а взаимодействие с технологическим оборудованием осуществляется только нижним уровнем интегрированной автоматизированной системы управления (ИАСУ). При прекращении работы верхних уровней процесс производства продолжается за счет продолжения работы нижних уровней в рамках их компетентности и в пределах срока их автономности. Работоспособность системы в течение определенного времени сохраняется, хотя и с меньшим уровнем автоматизации. Этим обеспечивается живучесть системы.

2 СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

2.1 Характеристика производственных процессов

Автоматизация на объектах, обеспечивающих водоснабжение и канализацию, необходима для повышения эффективности технологического процесса добычи и транспортировки воды, снижения затрат электроэнергии, повышения качества и надежности подачи воды потребителям [4, 6].

Современные системы водоснабжения и канализации – это совокупность сложных сооружений, механизмов и аппаратов, все части которой должны точно и без сбоев работать совместно 24 часа в сутки. К ним относятся водоприемные сооружения, станции очистки воды, сети водоснабжения и канализации с обслуживающими их устройствами, насосные станции. На этих объектах осуществляется ряд гидравлических, физико-химических и микробиологических процессов. К числу основных особенностей систем водоснабжения и канализации как объектов автоматизации относятся:

- высокая степень ответственности, подразумевающая гарантию надежной бесперебойной работы;
- работа сооружений в условиях постоянно меняющейся нагрузки;
- зависимость режима работы сооружений от изменения качества исходной воды;
- территориальная разбросанность сооружений и необходимость координирования их работы из одного центра;
- сложность технологического процесса и необходимость обеспечения высокого качества обработки воды;
- необходимость обеспечения наиболее экономичной работы насосных агрегатов;
- необходимость сохранения работоспособности при авариях на отдельных участках.

Возможна автоматизация следующих узлов систем водоснабжения и водоотведения:

- артезианских скважин;
- станций 1-го, 2-го подъема, повысительных насосных станций;
- фильтровальных станций;
- построение сетей диктующих точек;

– автоматизация канализационных насосных станций и очистных сооружений.

Принципиальная схема централизованного водоснабжения и водоотведения потребителей представлена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Принципиальная схема централизованного водоснабжения и водоотведения потребителей (<https://pbs.twimg.com/media/EW2mabxWoAAw-nO.jpg>)

Свойства технологических процессов (ТП) характеризуются физическими величинами (параметрами), такими как давление, уровень, расход, температура, концентрация того или другого вещества. При этом происходят механические, химические, физические, биологические и комбинированные операции в сооружениях, которые обычно характеризуются двумя параметрами: *качественным* – определяет изменение внутреннего состояния среды; *количественным* – определяет поток энергии или вещества.

Оба эти параметра находятся в тесной функциональной связи – изменяя один из них, можно управлять изменением второго.

Автоматическое управление ТП обычно связывают с решением трех задач:

- 1) управление ходом процесса (пуск и отключение оборудования);
- 2) направление процесса (вперед-назад, нагревание-охлаждение, наполнение-опорожнение);

3) управление режимом процесса как совокупностью его качественных и количественных показателей.

С внедрением автоматизации эксплуатационные расходы снижаются не только за счет сокращения штатных работников и уменьшения доли ручного управления, но и за счет повышения КПД установок, экономии материалов и энергетических ресурсов.

2.2 Функции автоматизированной системы управления технологическим процессом

Под АСУ ТП *водоснабжения и водоотведения* (ВиВ) обычно понимается целостное решение, обеспечивающее решение задач централизованного управления объектами водоснабжения и водоотведения с *централизованного диспетчерского пункта* (ЦДП).

Составными частями АСУ ТП могут быть отдельные системы автоматического управления и автоматизированные устройства, связанные в единый комплекс, такие как системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA), распределенные системы управления (DCS), системы противоаварийной защиты (ESD) и другие более мелкие системы управления (например, системы на программируемых логических контроллерах (PLC)).

Как правило, АСУ ТП имеет единую систему операторского управления технологическим процессом в виде одного или нескольких пультов управления, средства обработки и архивирования информации о ходе процесса, типовые элементы автоматике: датчики, устройства управления, исполнительные устройства (рисунок 2.2).

Главной особенностью АСУ ТП является обязательное участие человека-оператора в ее работе. Роль оператора состоит в постоянном контроле за системой операторского управления [1].

При создании АСУ ТП ВиВ должны быть определены конкретные *цели функционирования* системы и ее назначение в общей структуре управления предприятием. Такими целями, например, могут быть [15]:

- оперативное управление и контроль работы системы ВиВ;
- поддержание заданных режимов работы системы и объектов ВиВ, а также оптимизация протекающих процессов;
- оперативное обнаружение и извещение о происходящих авариях;
- сбережение воды и энергоресурсов;
- повышение эффективности и снижение трудоемкости работы эксплуатационного персонала и т. д.

Функция АСУ ТП – это совокупность действий системы, направленных на достижение частной цели управления. Совокупность действий системы представляет собой последовательность операций, выполняемых частями

системы. Функции АСУ ТП подразделяются на управляющие, информационные и вспомогательные.

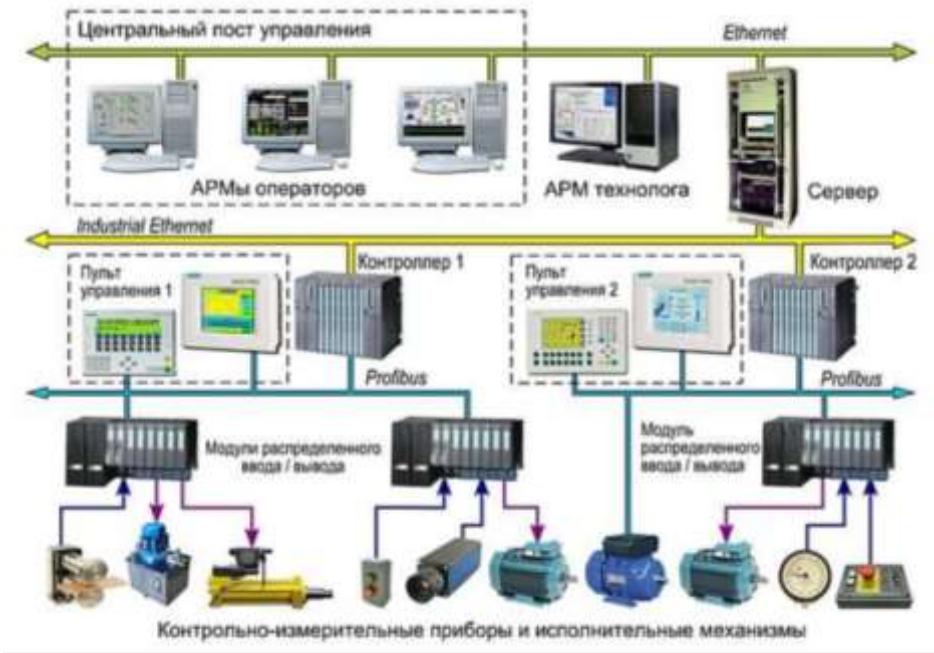


Рисунок 2.2 – Типовая структура промышленной АСУ ТП
(<https://eduprofi.com/newscentr/pravila-razrabotki-i-utverzheniya-skhem-vodosnabzheniya-i-vodootvedeniya/>)

Управляющая функция АСУ ТП – это функция, результатом которой являются выработка и реализация управляющих воздействий на технологический объект управления.

К управляющим функциям АСУ ТП относятся:

- регулирование (стабилизация) отдельных технологических переменных;
- программное логическое управление группой оборудования;
- оптимальное управление установившимися или переходными технологическими режимами или отдельными стадиями (участками) процесса;
- адаптивное управление объектом в целом (например, адаптивный алгоритм управления преобразователями частоты для поддержания стабильного давления в системе водоснабжения).

Информационная функция АСУ ТП включает сбор, обработку и представление информации о состоянии автоматизированного технологического

процесса (АТП) оперативному персоналу или передача этой информации для последующей обработки.

Отличительной особенностью управляющих и информационных функций АСУ ТП является их *направленность на конкретного потребителя* (объект управления, оперативный персонал, смежные системы управления).

Вспомогательные функции АСУ ТП – это функции, обеспечивающие решение внутрисистемных задач. Вспомогательные функции не имеют потребителя вне системы и обеспечивают функционирование АСУ ТП (функционирование технических средств системы, контроль за их состоянием, хранением информации и т. п.).

2.3 Режимы работы АСУ ТП

В зависимости от степени участия людей в выполнении функций системы различают два режима реализации функций: автоматизированный и автоматический.

Автоматизированный режим реализации управляющих функций характеризуется участием человека в выработке (принятии) решений и их реализации.

При этом возможны следующие варианты:

– *ручной режим*, при котором комплекс технических средств представляет оперативному персоналу контрольно-измерительную информацию о состоянии *технологического объекта управления* (ТОУ), а выбор и осуществление управляющих воздействий производит человек-оператор;

– *режим «советчика»*, при котором комплекс технических средств выработывает рекомендации по управлению, а решение об их использовании принимается и реализуется оперативным персоналом;

– *диалоговый режим*, при котором оперативный персонал имеет возможность корректировать постановку и условия задачи, решаемой комплексом технических средств системы при выработке рекомендаций по управлению объектом.

Автоматический режим реализации управляющих функций предусматривает автоматическую выработку и реализацию управляющих воздействий без участия человека.

При этом различают:

– *режим косвенного управления*, когда средства вычислительной техники автоматически изменяют установки и параметры настройки локальных систем автоматического управления (регулирования);

– *режим прямого (непосредственного) цифрового* (или аналого-цифрового) *управления*, когда управляющее вычислительное устройство формирует воздействие на исполнительные механизмы.

2.4 Основные компоненты АСУ ТП

Для выполнения функций АСУ ТП необходимо взаимодействие следующих ее составных частей: технического, программного, информационного и организационного обеспечения; оперативного персонала.

Техническое обеспечение АСУ ТП представляет собой полную совокупность технических средств, достаточную для функционирования АСУ ТП и реализации системой всех ее функций. В состав *комплекса технических средств* (КТС АСУ ТП) входят вычислительные и управляющие устройства; средства получения (датчики), преобразования, хранения, отображения и регистрации информации (сигналов); устройства передачи сигналов и исполнительные устройства.

Программное обеспечение АСУ ТП – совокупность программ, необходимых для реализации функций АСУ ТП, заданного функционирования КТС АСУ ТП и предполагаемого развития системы. Подразделяется на общее и специальное программное обеспечение.

Общее программное обеспечение АСУ ТП поставляется в комплекте со средствами вычислительной техники. К нему относятся необходимые в процессе функционирования и развития системы программы, программы для автоматизации разработки программ, компоновки программного обеспечения, организации функционирования вычислительного комплекса и другие служебные и стандартные программы (организующие программы, транслирующие программы, библиотеки стандартных программ и др.).

Специальное программное обеспечение АСУ ТП разрабатывается или заимствуется из соответствующих фондов при создании конкретной системы и включает программы реализации основных (управляющих и информационных) и вспомогательных (обеспечение заданного функционирования КТС системы, проверка правильности ввода информации, контроль за работой КТС системы и т. п.) функций АСУ ТП.

Информационное обеспечение АСУ ТП включает:

- информацию, характеризующую состояние автоматизированного технологического комплекса;
- системы классификации и кодирования технологической и технико-экономической информации;
- массивы данных и документов, необходимых для выполнения всех функций АСУ ТП, в том числе нормативно-справочную информацию.

Организационное обеспечение АСУ ТП представляет собой совокупность описаний функциональной, технической и организационных структур, инструкций и регламентов для оперативного персонала автоматизированной системы и управления технологическим процессом, обеспечивающую заданное функционирование оперативного персонала в составе АТК.

В состав *оперативного персонала* АСУ ТП входят:

– технологи-операторы, осуществляющие контроль за работой и управление ТОУ с использованием информации и рекомендаций по рациональному управлению, выработанных комплексом технических средств АСУ ТП;

– эксплуатационный персонал АСУ ТП, обеспечивающий правильность функционирования КТС АСУ ТП.

Создание АСУ ТП допускается осуществлять по подсистемам.

Подсистема АСУ ТП – это часть системы, выделенная по функциональному или структурному признаку.

Функциональный признак позволяет делить систему, например, на управляющую и информационную подсистемы или ряд подсистем в соответствии с целями функционирования.

Структурный признак позволяет делить АСУ ТП на подсистемы, обеспечивающие управление частью объекта или соответствующие самостоятельным частям комплекса технических средств и т. д.

2.5 Иерархические уровни АСУ ТП водоканала

Особенности разработки АСУ ТП на уровне подсистем заключаются в том, что подсистемы обычно расчленяются на отдельные элементы со строго определенной целевой функцией каждого из них. В связи с этим при разработке АСУ ТП могут быть использованы типовые решения систем автоматизированного проектирования каждого элемента системы.

В настоящее время в области АСУ ТП господствующей является *концепция открытых систем* на основе системной интеграции, базирующаяся на следующих принципах:

– совместимости программно-аппаратных средств различных фирм производителей снизу вверх;

– комплексной проверке и отладке всей системы на стенде фирмы-интегратора на основе спецификации заказчика.

В большинстве случаев АСУ ТП представляет двухуровневую систему управления.

Нижний уровень включает контроллеры, обеспечивающие первичную обработку информации, поступающей непосредственно с объекта управления. Программное обеспечение контроллеров обычно реализуется на языках технологического программирования.

Для АСУ ТП ВиВ задачи нижнего уровня, например, для насосной станции (НС), приведены на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Задачи нижнего уровня АСУ ТП НС

Верхний уровень АСУ ТП составляют мощные компьютеры, выполняющие функции серверов баз данных и рабочих станций, обеспечивающих хранение, анализ и обработку всей поступающей информации, а также взаимодействие с оператором. Основой программного обеспечения верхнего уровня часто являются пакеты SCADA (Supervision Control And DATA Acquisition). Для АСУ ТП ВиВ задачи верхнего уровня, например, для предприятия «Водоканал», приведены на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Задачи верхнего уровня АСУ ТП предприятия ВиВ

Однако с учетом имеющегося в отрасли опыта ВиВ для водоканала за основу выбрана пятиуровневая иерархическая структура АСУ (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Иерархические уровни АСУ предприятия «Водоканал»

Уровень	Описание	Задачи	Элементы
0	Полевые устройства	Локальное управление в реальном масштабе времени отдельными техническими устройствами	Датчик уровня, давления, электроды, встроенные в оборудование, технологические датчики и др. Силовое оборудование: насосы, воздухоудовки, мешалки, управление электрифицированным приводом задвижек и др.
1	Контроль и управление технологическими процессами	Автоматизированное управление и контроль технологических процессов на объектах. Сбор и обработка информации для передачи на верхние уровни управления	Локальные щиты управления. Программируемые логические контроллеры (ПЛК). Местные диспетчерские пункты. Преобразователи частоты тока (ПЧТ) и т. д.
2	Сетевой	Организация SCADA системы с поддержкой стандартных протоколов обмена как с технологическими системами АСУ ТП, так и с бизнес приложениями. Комплексный централизованный диспетчерский контроль и управление ТП. Служба оперативного сервисного обслуживания	Сеть Ethernet для системы SCADA. Сеть Ethernet службы сервисного обслуживания. Маршрутизатор-роутер. Прокси-сервер. Сервер баз данных системы SCADA. Центральная диспетчерская и ЧМИ
3	Управленческий	Организация финансово-хозяйственной деятельности. Экономическое и технологическое управление производством, планирование, учет, контроль и регулирование производства по результатам обработки технологической информации	Сеть Ethernet предприятия «Водоканал». Сервер баз данных водоканала. Почтовый сервер
4	Руководящий	Управление водоканалом в целом	Сеть Ethernet руководства

Особенностью нулевого и первого уровней АСУ является использование полного и самодостаточного пакета программного обеспечения для

управления технологическими процессами каждого конкретного объекта. Используемые программируемые логические контроллеры (ПЛК) выполняют сравнение значений параметров: текущих и заданных уставками (рисунк 2.5).

Уставка (уставка срабатывания) – заданное пороговое значение некоей величины или параметра, по достижении которой должно произойти срабатывание оборудования, схемы или иное заранее предусмотренное действие.

Датчики:

уровня, давления, электроды, встроенные в технологическое оборудование, и др.

Силовое оборудование:

насосы, воздуходувки, мешалки, УФ-лампы, задвижки и др.

Станции:

насосные, повысительные, воздуходувные, водоочистные (питьевых, сточных вод) и др.

Локальные щиты управления:

ПЛК, местные диспетчерские пункты, оснащенные сенсорными индикаторами и накопителями архивных данных, и т. п.



Рисунок 2.5 – Блок-схема нулевого уровня полевых устройств и систем первого уровня предприятия «Водоканал»

На втором сетевом уровне обеспечивают сбор, архивацию, визуализацию важнейших данных от ПЛК, а также выполняют оповещения об аварийных ситуациях на обычные портативные устройства типа смартфонов при обеспечении беспроводной локальной сети.

Верхние уровни АСУ (третий, четвертый) совершенствуют достаточно автономно. Аппаратный комплекс способен обеспечить ключевые функции: работоспособность модели единого информационного пространства (ЕИП); возможность подключения рабочих мест ключевых работников (а также других, на блок-схемах не показано) и центральной диспетчерской; удаленный мониторинг и управление объектами; отображение, хранение, архиви-

рование, протоколирование и т. д. информации различного вида и назначения; передача данных на расстояние различными способами, а также использование облачных технологий; внедрение единой системы электронного документооборота и т. д.

Методология организации интегрированной информационной системы требует обеспечения комплексной АСУ предприятия в ЕИП на основе специального программного обеспечения (ПО) в соответствии со стадиями бизнес-процесса. Информационные системы предприятия, отвечающие за управление производственными активами (SCADA, ГИС), успешно внедряются водоканалами, как правило, в рамках новых или реконструируемых объектов.

Таким образом, создание систем комплексной автоматизацией объектов водоканалов является одним из эффективных инструментов повышения их рентабельности [8].

Несмотря на различие технологических задач, решаемых на разных объектах водоканалов, с точки зрения автоматизации они похожи. Следовательно, для управления ими могут быть использованы однотипное оборудование и программное обеспечение, применение которых даст существенную экономию на комплектах запасных частей, обучении персонала, обслуживании и т. д. (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Блок-схема аппаратного комплекса АСУ предприятия «Водоканал», обеспечивающая работоспособность модели единого информационного пространства

3 ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ И ТЕХНИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1 Классификация технических средств автоматизации

Технические средства автоматизации (ТСА) обеспечивают отбор, передачу и обработку контрольной информации, выработку управляющих воздействий и реализацию их на объект управления. Все автоматические устройства состоят из элементов, каждый из которых выполняет одну простейшую операцию с сигналом – носителем информации.

По выполняемым функциям различают следующие ТСА:

- датчики – преобразуют контролируемые величины в сигналы;
- реле – преобразуют непрерывные сигналы в дискретные квантованием по уровню;
- логические элементы – выполняют логические операции с сигналами;
- усилители – увеличивают уровень или мощность сигнала;
- регуляторы – вырабатывают управляющие воздействия путем сравнения фактических величин с заданным значением;
- исполнительные устройства – передают управляющее воздействие с регулятора на объект управления.

По роду используемой энергии:

- электрические;
- гидравлические;
- пневматические;
- механические;
- комбинированные.

Требования к измерительным приборам.

Все первичные измерительные приборы, приборы учета энергоресурсов, а также устройства сбора и передачи данных должны быть сертифицированы органами Госстандарта, включены в Государственный реестр средств измерений и проходить соответствующую метрологическую поверку в случае использования их данных для коммерческого учета.

Измерительные преобразователи давления должны быть рассчитаны на требуемое давление и быть унифицированы по стандартам 4–20 мА и 0–10 В.

Измерительные преобразователи уровня должны быть унифицированы по стандартам 4–20 мА и 0–10 V.

Датчики уровня должны иметь выходной сигнал типа «сухой контакт».

Расходомеры должны иметь импульсный выход с гальванической развязкой либо интерфейс RS-232/485.

Приборы учета потребления энергоресурсов должны иметь импульсный выход с гальванической развязкой либо интерфейс RS-232/485.

3.2 Функции полевых устройств для измерения физических параметров

Датчики – чувствительные элементы автоматических систем, преобразующие контролируемые (измеряемые) величины в выходные сигналы, удобные для передачи и дальнейшей обработки. Они являются источниками первичной информации и стоят всегда на первом месте в измерительной цепи. Характерной для датчика является связь между его входными и выходными сигналами (величинами), которая может быть статической (выходная величина Y зависит от изменения входной величины X , т. е. $Y = f(X)$) и *динамической* (переходной процесс из одного состояния в другое представляется в виде зависимости Y от времени τ при скачкообразном изменении X , т. е. $Y = f(\tau)$).

Датчики подразделяют на параметрические и генераторные.

В *параметрических датчиках* контролируемая величина преобразуется в один из параметров электрической цепи (активное сопротивление R , индуктивность L , емкость C). К параметрическим датчикам относятся: датчики сопротивления (потенциометрические, тензометрические, терморезисторные, фоторезисторные), датчики индуктивности и взаимной индуктивности (индуктивные и индукционные, сельсины, вращающиеся трансформаторы).

Генераторные датчики преобразуют контролируемую величину в ЭДС на выходе, т. е. вырабатывают электрическую энергию. К ним относятся термопары.

По виду измеряемой величины датчики делятся на датчики положения, скорости, температуры, давления, уровня, расхода и других физических величин.

Современные методы и средства измерения *температуры* основаны на физических свойствах жидкостей, газов, твердых тел, проявляемых при изменении температуры. В настоящее время используются электрические и неэлектрические методы измерения температуры.

ТСА, предназначенные для измерения температуры, называются **термометрами**. Описание наиболее часто использующихся при автоматизации технологических процессов датчиков различных типов для измерения температуры в системах водоснабжения и водоотведения приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Описание и фото* датчиков для измерения температуры

Название	Описание	Рисунок
Погружной датчик температуры	Используется в местах, где может быть погружен непосредственно внутрь локальных резервуаров воды	
Термоманометр	Комбинированный прибор для измерения давления и температуры; действие основано на изменении давления рабочего вещества от температуры при постоянном объеме	
Термометры расширения	Действие основано на изменении линейных размеров и объема жидких и твердых тел при изменении температуры. Бывают жидкостные термометры, dilatометрические, биметаллические	
Термоэлектрические преобразователи (термопары)	Действие основано на зависимости термоэлектродвижущей силы (ТЭДС) от температуры	
Термометры сопротивления	Действие основано на зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента от температуры	

* Фотографии взяты из открытых источников интернета.

Измерение уровня жидкости с постоянной плотностью сводится к измерению давления, создаваемого столбом жидкости, т. е. $P = \rho gH$, где H – высота столба жидкости.

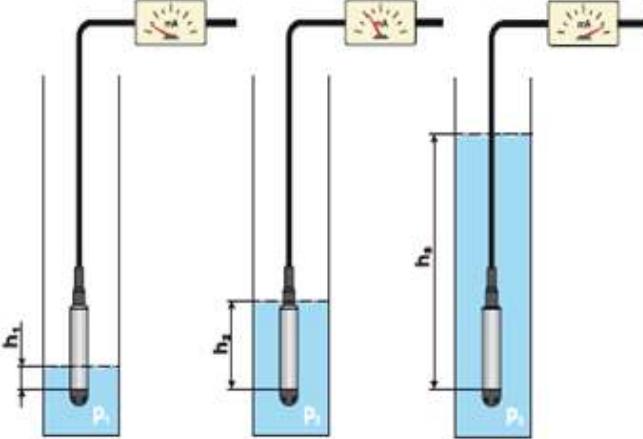
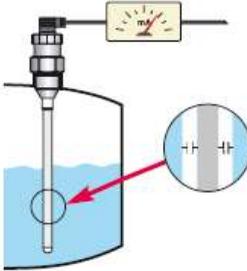
Технические средства, применяемые для измерения уровня жидкости, называются *уровнемерами*. Приборы, предназначенные для сигнализации предельных значений, называются *сигнализаторами уровня*.

При выборе уровнемера необходимо учитывать температуру, абразивные свойства, вязкость, электрическую проводимость, радиоактивность и химическую агрессивность среды. Кроме того, учитываются свойства окружающей среды – огнеопасность, взрывоопасность. Описание и принцип действия наиболее часто используемых уровнемеров при автоматизации технологических процессов в СВиВ приведены в таблице 3.2.

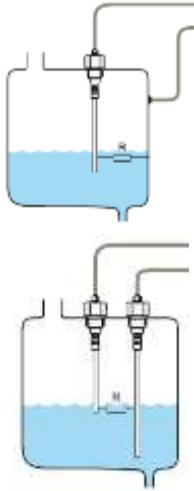
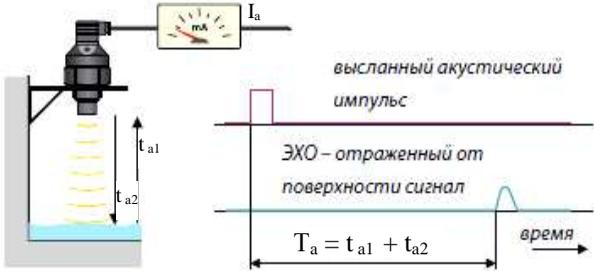
Таблица 3.2 – Описание, принцип действия и фото* уровнемеров

Название уровнемера	Описание, принцип действия	Рисунок
<p>Визуальный – индикаторы с указательными стеклами (двухцветными кварцевыми)</p>	<p>ТЭК-УВ – указатели уровня, используемые для непрерывного измерения и отображения уровня жидкости в резервуарах. Они предназначены для монтажа и эксплуатации в технологических процессах, которые проходят в различных резервуарах (закрытых, открытых, под давлением), позволяют посредством указательного стекла максимально просто провести визуальную оценку текущего положения жидкости</p>	
<p>Поплавковый</p>	<p>Промышленный измеритель, который используется для определения уровня жидкости в неподвижной емкости или баке. Измеритель отслеживает положение поплавка, преобразуя его позиционное изменение, вызванное уменьшением или увеличением уровня жидкости, в виде сигнала 4–20 мА либо релейного выхода устройства</p>	

Продолжение таблицы 3.2

Название уровнемера	Описание, принцип действия	Рисунок
Гидростатиче- ский	Принципом измерения уровня является использование прямой зависимости гидростатического давления от высоты столба уровня жидкости	$p = \rho gh$ $p_1 < p_2 < p_3$
		
Емкостной	Измерение электропроводящих веществ: емкость образована электродом датчика и измеряемым веществом (стенкой резервуара). Диэлектриком является изоляция электрода. Повышение уровня приведет к увеличению тока, протекающего через измеритель уровня	

Окончание таблицы 3.2

Название уровнемера	Описание, принцип действия	Рисунок
Электрический	<p>Оценивается изменение электрического сопротивления измеряемой среды</p> <p>Отслеживание уровня в металлических (электропроводящих) емкостях: изменение электрического сопротивления оценивается между самим токопроводящим зондом и стенкой</p> <p>Снятие уровня в пластмассовых (не электропроводящих) емкостях: изменение электрического сопротивления оценивается между двумя токопроводящими зондами</p>	
Ультразвуковой или акустический	<p>Измеритель уровня ULM излучает ряд ультразвуковых импульсов, которые распространяются в направлении к поверхности. Отраженная акустическая волна снова принимается измерителем уровня и обрабатывается микропроцессором</p>	<p>$T_a > T_b$, $I_a < I_b$</p> 
* Фотографии взяты из открытых источников интернета.		

Реле – аппараты, осуществляющие прерывистое скачкообразное управление. Такое прерывистое воздействие на процесс называется релейным управлением. Классифицируют реле по различным признакам. В зависимости от рода воспринимаемых физических величин реле делятся на электрические, тепловые, механические, оптические и др.

Электрические реле по принципу действия подразделяют на электромагнитные (нейтральные и поляризованные), магнитоэлектрические, электронные, ионные, индукционные, а по параметру – на реле тока, напряжения, мощности, частоты, сдвига фаз.

Тепловые реле делят по принципу действия на реле с линейным расширением и реле с плавлением.

Механические реле делят по воспринимаемому параметру на реле силы, перемещения, скорости, ускорения, частоты.

Мощность сигналов, получаемых от чувствительных элементов, датчиков, в большинстве случаев недостаточна для непосредственного перемещения регулирующего органа, поэтому применяют **усилители**. По виду используемой вспомогательной энергии усилители делятся на *гидравлические, пневматические, электрические*.

Автоматический регулятор – это устройство (совокупность устройств), посредством которого осуществляется процесс автоматического регулирования. Функционирование автоматического регулятора происходит в соответствии с алгоритмом регулирования, под которым понимают математическое выражение функциональной зависимости выходной величины регулятора от входной. Основная задача регуляторов заключается в формировании такого управляющего воздействия на объект регулирования в зависимости от измеренных отклонений регулируемой величины, чтобы восстановить требуемое состояние объекта. Автоматические регуляторы классифицируются по различным признакам.

По роду энергии, используемой для приведения в действия: пневматические, электрические, гидравлические, колебательные.

По назначению различают регуляторы расхода, давления, температуры, уровня, соотношения параметров.

По способу действия: непосредственного или прямого действия и косвенного действия.

В регуляторах прямого действия усилие, необходимое для перемещения регулируемого органа (РО), создается чувствительным элементом. Регуляторы косвенного действия используют энергию постороннего источника.

По характеру изменения скорости регулирующего воздействия: с постоянной и переменной скоростью перемещения РО.

По характеру действия различают регуляторы непрерывного (интегральные) и прерывистого действия.

Интегральными называют регуляторы, у которых при отклонении регулируемого параметра от заданного значения РО перемещается в одном направлении в пределах рабочего хода до тех пор, пока регулируемый параметр снова не примет заданного значения. Интегральные регуляторы делятся на И-регуляторы (астатические), пропорциональные П-регуляторы (статические) и изодромные ПИ-регуляторы. Позиционные – импульсные и релейные.

Пропорциональными называются регуляторы, у которых величина перемещения РО пропорциональна отклонению регулируемого параметра, т. е. каждому значению регулируемого параметра соответствует определенное положение РО. *Изодромные* регуляторы обладают одновременно свойствами П- и И-регуляторов.

Исполнительные механизмы (ИМ), являясь составной частью системы автоматического регулирования, предназначены для перемещения РО в соответствии с командой, получаемой от регулятора. В зависимости от вида энергии, используемой в ИМ, они подразделяются на электрические, пневматические и гидравлические.

ИМ содержат следующие элементы:

- усилитель мощности (входной управляющий сигнал 4–20 мА; 0–5 мА; 0,2–1,0 атм.);
- электро- или пневмопривод, содержащий механическую передачу (передаточный механизм).

Системой исполнительных устройств предусматривается комплектование РО исполнительными механизмами следующих видов: пневматическими мембранными пружинами, мембранными беспружинными, поршневыми, электрическими и механизмами со смешанным видом энергии.

На водопроводных и канализационных сооружениях применяются следующие основные типы РО: вентили, краны, заслонки, клапаны, задвижки, шиберы.

Вентили являются наиболее распространенными регулирующими органами и могут иметь различную форму (с коническим седлом, тарельчатый, шариковый, игольчатый и т. д.). Открывание и закрывание вентиля производится перемещением затвора в осевом направлении.

Краны управляются вращательным перемещением затвора на определенный угол (в основном 90°).

Заслонки наиболее часто используют при управлении потоками массы, обладающими большой скоростью (газ, воздух). Запорный элемент заслонки перемещается вдоль уплотняющей пластины перпендикулярно направлению потока. Тем самым при закрытом положении заслонки достигается большая степень уплотнения, и наоборот, в полностью открытом положении поток массы не встречает практически никакого сопротивления.

Клапаны воздействуют на изменение потока массы с помощью дисков, пластин, опускаемых преимущественно вертикально по отношению к направлению потока. Однако даже при тщательной подгонке запорного элемента и корпуса клапана он не обеспечивает полного уплотнения.

Задвижки – трубопроводная арматура, в которой запирающий или регулирующий элемент перемещается перпендикулярно оси потока рабочей среды.

Шибер – это задвижка, у которой запирающий элемент выполнен в виде пластины. Уплотнительные поверхности элементов затвора шиберной задвижки взаимно параллельны.

3.3 Расходомеры

Под **расходом** понимается количество вещества, проходящего через сечение трубопровода в единицу времени. Различают два вида расхода: объемный – Q_v (л/с или м³/ч) и массовый – Q_m (кг/мин или т/ч). Приборы для измерения, в свою очередь, разделяют:

- на *расходомеры* – измеряющие расход вещества;

- *счетчики* – измеряющие количество вещества, протекающее через данное сечение трубопровода за некоторый промежуток времени.

Существуют следующие принципы измерения расхода:

- *манометрический* – работающий на переменных и постоянных перепадах давления, созданных потоком измеряемой среды;

- *тахометрический* (турбинный, крыльчатый, шариковый) – основан на измерении скорости;

- *электромагнитный* (индукционный) – основан на эффекте электромагнитной индукции;

- *ультразвуковой* – основан на измерении разницы времени прохождения звукового сигнала в движущейся среде или на измерении частоты отраженного ультразвукового сигнала;

- *вихревой* – основан на оценке частоты колебаний, завихрений потока;

- *тепловой* – основан на изменении температуры датчика, обтекаемого движущейся средой.

Необходимость измерения объема жидкости, проходящей по трубе или каналу, определяется несколькими задачами:

- *технологическими* (для оптимизации режимов работы насосов и другого технологического оборудования);

- *коммерческими* (для организации взаиморасчетов между предприятиями за воду и стоки);

- *экологическими* (постоянно развивающееся экологическое законодательство требует обязательного автоматического измерения объема сбросов (стоков) на крупных предприятиях при одновременном непрерывном контроле концентрации загрязняющих веществ).

Рассмотрим виды и типы расходомеров воды.

Наиболее простым типом расходомеров являются *тахометрические водосчетчики*, в которых вращающаяся за счет движения воды крыльчатка передает вращение на счетчик (рисунок 3.1). Такие устройства в качестве стационарных приборов учета работают только на водопроводах малого диаметра.

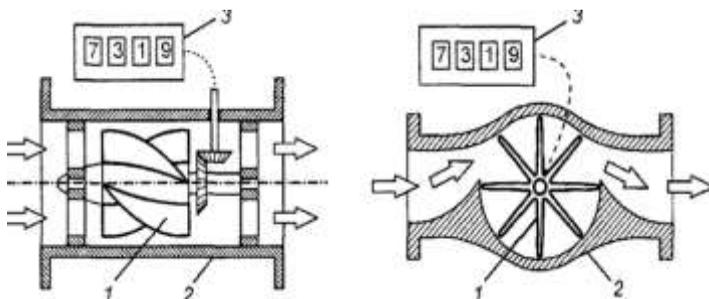


Рисунок 3.1 – Схема работы тахометрического счетчика:

1 – крыльчатка; 2 – корпус; 3 – счетный механизм

(https://nashaucheba.ru/docs/59/58825/conv_1/file1_html_2538ca12.png)

Электромагнитные расходомеры жидкости (рисунок 3.2) в качестве полнопроходных приборов применяются для решения задач измерения объема поданной воды на городских водопроводах.



Принцип работы электромагнитного (индукционного) расходомера основан на законе Фарадея – в проводнике, движущемся в магнитном поле, возникает электрический ток. Вода должна обладать достаточной электропроводностью. Для измерения расхода пара не применяется.

Рисунок 3.2 – Пример электромагнитного расходомера

(http://images.myshared.ru/17/1080614/slide_42.jpg)

Данный тип расходомеров отличается высокой точностью измерений (погрешность может составлять $\pm 0,5-0,3\%$). Это наиболее распространенные приборы для наружных трубопроводов водоснабжения малого диаметра. Полнопроходные электромагнитные счетчики используют также на сетях напорной канализации.

Штанговые электромагнитные счетчики на воду используют в напорных трубопроводах (рисунок 3.3, а). Представляют собой длинную металлическую штангу с электромагнитным датчиком на конце, вставляемую в трубопровод через шаровой кран, и обеспечивают измерение скорости потока в одной точке (как правило, в центре трубы) (рисунок 3.3, б).

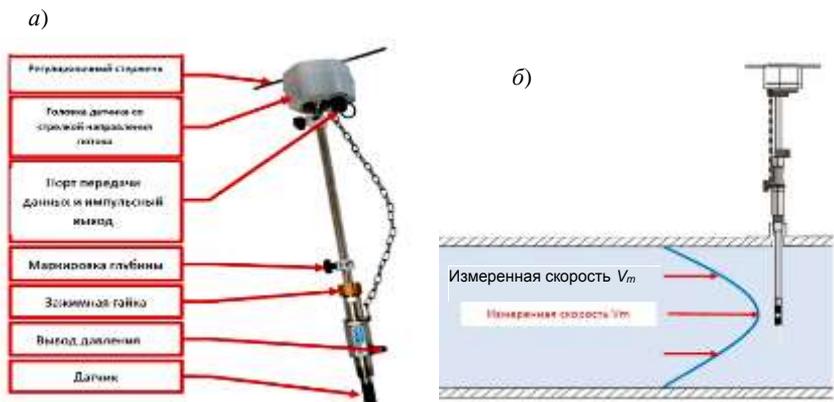


Рисунок 3.3 – Устройство штангового электромагнитного счетчика (а) и схема установки в трубопроводе (б)
(https://vistaros.ru/wp-content/uploads/2016/08/hydrins_general_view.jpg)

Ультразвуковые расходомеры (рисунок 3.4) широко применяются для напорных и безнапорных трубопроводов различного диаметра. В них могут быть использованы различные методы измерений в зависимости от диаметра трубы (рисунок 3.5): время-импульсный, кросс-корреляционный и метод Доплера.

Для работы в больших самотечных каналах иногда используют *радарные* или *лазерные бесконтактные расходомеры*. Эти устройства определяют скорость на поверхности потока радарным датчиком скорости, а уровень потока – ультразвуковым или радарным уровнемером (рисунок 3.6). Для указанной задачи используют также уровнемеры, на основе показаний которых определяется объемный расход, вычисляемый по формуле Маннинга (или Павловского) как функция уклона и сопротивления (шероховатости стенок). Однако этот метод не учитывает распределение скоростей в сечении потока и возникновение подпоров (засоров ниже по течению).

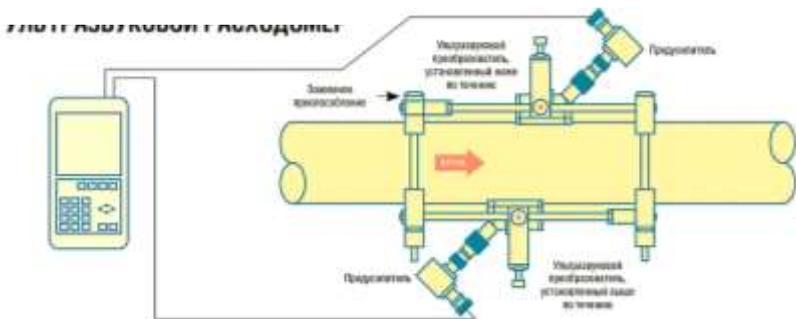


Рисунок 3.4 – Схема ультразвукового расходомера
https://stavropol-tr.gazprom.ru/_ah/img/CfnkrrR0aylu9kchRPAJ1g=s1100

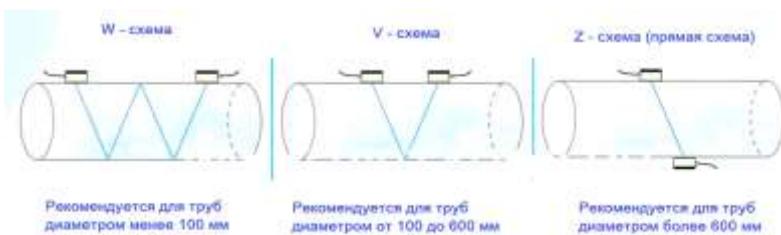


Рисунок 3.5 – Схемы установки ультразвукового измерения расхода воды в зависимости от диаметра
<https://vistaros.ru/wp-content/uploads/2017/03/Varianty-ustanovki-datchikov-rashodamera-ChronoFLO-2.jpg>

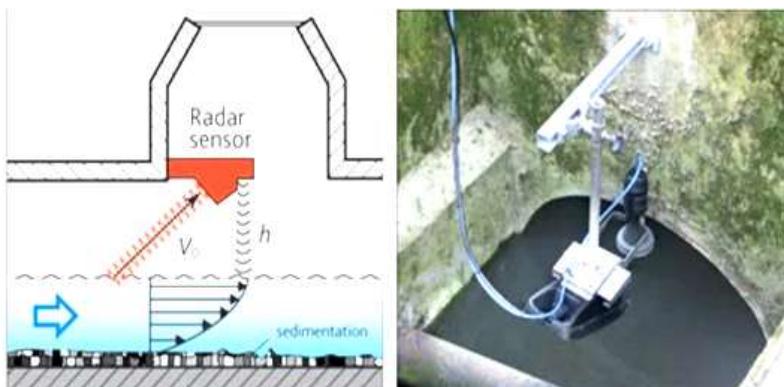


Рисунок 3.6 – Узел учета стоков на основе радарного бесконтактного расходомера
https://vps19.abok.ru/for_spec/articles/35/7062/1.jpg

Области применения различных типов водосчетчиков.

Тахометрические датчики применяются на водопроводе малого диаметра. Их обычно устанавливают на внутренних сетях в качестве квартирных или домовых расходомеров счетчиков воды.

Электромагнитные полнопроходные счетчики широко распространены на наружных сетях водоснабжения небольшого диаметра, их также применяют на больших трубах магистрального водопровода и на напорной канализации. При этом на трубах диаметром свыше 300 мм начинают проявляться основные недостатки этих устройств: большой вес, габариты и высокая цена. Поэтому имеется тенденция (в первую очередь в Германии и Западной Европе) замены полнопроходных электромагнитных приборов на канализации диаметром более 300 мм на *кросс-корреляционные* (рисунок 3.7), а на водопроводе – на *ультразвуковые время-импульсные*. Однако сегодня наиболее распространенными промышленными расходомерами воды для магистральных трубопроводов являются *электромагнитные счетчики*.



Рисунок 3.7 – Сравнение размеров и способа установки электромагнитного и кросс-корреляционного расходомеров

Стационарные время-импульсные расходомеры работают в основном с достаточно чистой и однородной жидкостью, т. к. прохождение ультразвука через непредсказуемую неоднородную среду вносит существенную погрешность в измерения. Они работают на напорных трубах от малого и до самого большого из реально существующих диаметров в водоснабжении, а также на самотечных каналах. Кроме того, *портативные время-импульсные счетчики* являются в настоящее время наиболее популярными переносными расходомерами воды (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Портативный время-импульсный счетчик
(http://www.industrial-watermeter.com/photo/pl18095451-residential_inline_water_flow_meter_lcd_irrigation_mass_flow_measurement.jpg)

Доплеровские и кросс-корреляционные приборы требуют наличия взвеси или пузырьков воздуха в жидкости, поэтому они применяются только на грязной или слегка загрязненной воде. В более сложных и ответственных случаях рекомендуются кросс-корреляционные устройства в силу их большей точности и надежности показаний, в простых и менее ответственных случаях можно устанавливать доплеровские в силу их более низкой стоимости.

Радарные и лазерные системы предназначены для измерения расхода в безнапорных каналах на основе измерения скорости на поверхности потока и уровня потока с дальнейшим вычислением средней скорости потока и, соответственно, объемного расхода по формулам и с введением поправочных коэффициентов.

В силу невозможности получения информации о распределении скоростей по слоям потока бесконтактным методом и использованием теоретических коэффициентов точность данных приборов существенно уступает точности погружных устройств, поэтому их рекомендуется применять только в тех случаях, когда установка датчиков в поток невозможна.

Электромагнитные штанговые измерительные устройства применяют только на достаточно чистой жидкости, т. к. в грязной среде их чувствительный элемент быстро покрывается налетом и перестает корректно работать.

При выборе оборудования для стационарного узла учета необходимо учитывать следующие факторы.

Степень загрязненности жидкости. Чистая вода делает невозможным применение доплеровских и кросс-корреляционных приборов. В грязной среде не смогут работать время-импульсные и тахометрические водосчетчики, а также штанговые электромагнитные расходомеры. В слегка загрязненной жидкости могут работать все типы оборудования.

Напорная труба или самотек. Тахометрические счетчики, электромагнитные штанговые и полнопроходные устройства используются на напорных сетях, а радарные расходомеры и уровнемеры – только на безнапорных. Доплеровские, кросс-корреляционные и время-импульсные устройства могут работать как в напорных, так и в безнапорных трубах, для разных случаев выбираются разные типы датчиков на воду.

Для напорных труб – максимальное давление и диаметр. Для труб водоснабжения малого диаметра (до 150–200 мм) используются тахометрические водосчетчики, для наружных сетей диаметром от 150 до 300 (400) мм чаще применяют электромагнитные счетчики, при больших диаметрах для грязной воды рекомендуются кросс-корреляционные или доплеровские, а для чистой – электромагнитные приборы учета.

Для безнапорных труб – размер и форма канала, уровень заполнения.

Скорость потока. Например, в самотечных каналах с относительно чистой водой при большой скорости потока рекомендуются время-импульсные расходомеры, при низкой и средней скоростях – кросс-корреляционные или доплеровские.

Конструкция трубы или канала в месте установки прибора, наличие доступа к внешним или внутренним стенкам канала, возможность остановки потока при монтаже.

Межповерочный интервал приборов, способы поверки (необходимость демонтажа для поверки), доступность снятия датчиков для поверки, обслуживания, замены и ремонта, срок гарантии, простота и удобство обслуживания, дружелюбный и понятный интерфейс, требования к квалификации обслуживающего персонала и другие вопросы обслуживания приборов являются важными показателями при выборе промышленных счетчиков воды.

Допустимая погрешность измерений – информация, влияющая на выбор допустимой погрешности: является ли учет технологическим или коммерческим; для узлов коммерческого учета – водопотребление объекта и средний размер платы за воду; для узлов технологического учета – дальнейшее использование результатов измерений (будут ли использованы в контуре автоматического управления технологическими процессами и т. п.). Так в одном и том же безнапорном канале при низких требованиях по точности можно поставить уровнемер или радарный расходомер, при средних требованиях – доплеровский расходомер жидкости, при высоких требованиях – кросс-корреляционный водосчетчик.

Критерии выбора завода-изготовителя счетчиков для воды: репутация и опыт производства изготовителя в сфере выпуска приборов такого рода; наличие сертификата качества продукции; положение на рынке сбыта; качество материалов изготовления; гарантийный срок; возможность сервисного обслуживания; наличие запасных частей в продаже.

3.4 Измерение качественных параметров вод

В основе работы измерительных приборов используют **физико-химические методы анализа**:

– *нефелометрический* – основан на измерении интенсивности светового потока, возникающий в следствии рассеивания, падающего на взвесь света;

– *турбодиметрический* – основан на измерении ослабления светового потока, прошедшего через суспензию;

– *колориметрический* – основан на определении концентрации вещества в жидкости по поглощению света с помощью фотометрических приборов;

– *рефрактометрический* – основан на изменении преломления световых лучей в зависимости от состава и концентрации содержащихся в воде веществ;

– *кондуктометрический* – основан на изменении электропроводности в зависимости от концентрации растворенных в жидкости веществ;

– *полярографический* – основан на зависимости между характером поляризации рабочего электрода и ионным составом (концентрации раствора).

Принцип работы кондуктомеров. При подводе к крайним электродам напряжения питания переменного тока через контролируемый раствор протекает ток. При постоянной силе тока напряжение, снимаемое с измерительных электродов, прямо пропорционально электрическому сопротивлению измеряемой среды. Зависит от концентрации растворенного вещества и температуры раствора.

Измерение мутности. В технологических системах очистки сточных вод измерение мутности и концентрации взвеси осуществляется на многих стадиях. Разгрузка осадка из первичного отстойника, обезвоживание осадка, бассейн активного ила, выход очищенных стоков со станции очистки – во всех этих точках измерение мутности и концентрации является обязательным условием для мониторинга и управления процессом. На промышленных предприятиях измерение мутности позволяет контролировать загрязненность сбросов, направляемых в дренажную систему.

Измерение концентрации хлора. Прибором для измерения концентрации хлора на основе полярографического метода измерения является автоматический анализатор КОХ-1. Принцип действия заключается в измерении силы тока на поляризованном ртутном электроде. Ток однозначно связан с концентрацией хлора в анализируемой среде. Вода из крана через дозирующий сосуд поступает в электродную ячейку. Ячейка состоит из трех электродов: ртутного положительного, отрицательного и вспомогательного каломельного, расположенного в непосредственной близости от ртутного. Вспомогательный электрод служит для поддержания постоянства потенциала измерительного электрода.

Также применяются приборы для измерения физических показателей воды: температуры, солености, прозрачности, окислительно-восстановительного потенциала (иначе редокс-потенциал или ОВП, или Eh), электропроводности.

Приборы-анализаторы измеряют химические свойства и состав воды: водородный показатель или кислотность (РН); жесткость общую (GH) и временную (KH); содержание хлора и его соединений; концентрацию азота, нитратов, нитритов; присутствие в воде свинца, ртути, кадмия и других металлов; концентрацию анионов и катионов химических элементов и соединений.

Приведем пример некоторых приборов.

Оксиметры – приборы, позволяющие определять физическое содержание растворённого в воде кислорода.

Хлориметр – используется для выполнения высокоточных измерений содержания в воде хлора.

Солемер – предназначен для определения жёсткости воды. Используется для анализа наличия в воде солей. Прибор позволяет выполнить замер проводимости воды, степень её очистки и качество.

Мутномер (турбидиметр) – работа основана на методе нефелометрии, т. е. используют рассеивание, поглощение светового потока при его прохождении через толщу водного раствора.

Фотометр (*фотоколориметр*) измеряет поток светового излучения, проходящий сквозь исследуемый раствор. Предварительно раствор окрашивают прилагаемым к прибору реагентом. Насыщенность окраса пропорциональна количеству искомого вещества в растворе и указывает на концентрацию примесей в воде.

3.5 Основные виды погрешностей измерительных приборов

В практике использования измерений очень важным показателем становится их точность, которая представляет собой ту степень близости итогов измерения к некоторому действительному значению, которая используется для качественного сравнения измерительных операций. А в качестве количественной оценки, как правило, используется погрешность измерений. Причем чем погрешность меньше, тем считается выше точность.

Погрешность измерения – это отклонение результата измерения X от истинного значения измеряемой физической величины Q :

$$\Delta = X - Q.$$

Процесс оценки погрешности измерений считается одним из важнейших мероприятий в вопросе обеспечения единства измерений. Естественно, что факторов, оказывающих влияние на точность измерения, существует огромное множество. Следовательно, любая классификация погрешностей

измерения достаточно условна, поскольку нередко в зависимости от условий измерительного процесса погрешности могут проявляться в различных группах. Классификационные признаки и виды погрешности измерений приведены на рисунке 3.9.



Рисунок 3.9 – Классификационные признаки и виды погрешностей

Погрешность сопровождает все измерения и связана с несовершенством метода, средства измерения, условия измерения (когда они отличаются от нормальных условий (н.у.)). В зависимости от принципов действия прибора те или иные факторы оказывают влияние.

Различают погрешности средств измерения (СИ) и результата измерений за счет влияния внешних условий, особенностей измеряемой величины, несовершенства СИ. Погрешность результата измерений Δ включает в себя погрешность и средства измерений, также влияние условий проведения измерений, свойств объекта и измеряемой величины.

Опишем **классификационные признаки погрешностей**.

1 По причинам и условиям возникновения.

Основная – это погрешность средств измерения, которая находится в нормальных условиях эксплуатации, возникает из-за неидеальности функции преобразования свойств и средств измерений и отражает отличие действительной функции преобразования средств измерения в н.у. от номинальной нормированной документами на средства измерений (стандарты, тех. условия). Нормативными документами предусматриваются следующие н.у.: температура окружающей среды 20 ± 5 °С; относительная влажность 65 ± 15 %; напряжение питания сети $220 \pm 4,4$ В; частота питания сети 50 ± 1 Гц; отсутствие электромагнитных полей; положение прибора горизонтальное, с отклонением $\pm 2^\circ$.

Работами климатическими условиями считают действительные параметры окружающей среды, при которых работает прибор.

Дополнительная – это составляющая погрешности средств измерений, возникающая дополнительно к основной, вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормы её значения или вследствие её выхода за пределы нормированной области значений.

Пределы допустимой основной и дополнительной погрешности могут быть выражены в форме абсолютной, относительной или приведенной погрешности.

- *абсолютная* погрешность выражается в единицах измеряемой величины;
- *относительная* – отношение абсолютной погрешности к результату измерений или действительному значению измеряемой величины;
- *приведенная* – это относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условию, принятому значению величины постоянному во всем диапазоне измерений.

Для множества средств измерений по приведенной погрешности устанавливают класс точности. Приведенная погрешность вводится потому, что относительная характеризует погрешность только в данной точке шкалы и зависит от значения измеряемой величины.

Класс точности средства измерений – это обобщенная характеристика измерительного оборудования, выражаемая пределами его допускаемых

основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Классы точности присваиваются средствам измерений при их разработке с учетом результатов государственных приемочных испытаний. Значения класса точности устанавливаются в стандартах или в технических условиях или других нормативных документах и выбираются в соответствии с ГОСТ 8.401–80 из стандартного ряда значений. Например, для электромеханических приборов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,5; 4,0; 6,0. КТ обычно наносят на шкалу прибора в разных формах, например, (2,5) (в кружочке).

2 По характеру изменений:

– *систематические* – составляющая погрешности, остающаяся постоянной или изменяющаяся по известной закономерности во все время проведения измерений. К ним относят: методические, инструментальные, субъективные и т. д.;

– *случайные* – это составляющие погрешности, изменяющиеся случайным образом, причины нельзя точно указать, а значит, и устранить нельзя. Приводят к неоднозначности показаний;

– *промахи* – грубые погрешности, связанные с ошибками оператора или неучтенными внешними воздействиями. Их обычно исключают из результатов измерений, не учитывают при обработке результатов.

3 По зависимости от измеряемой величины:

– *аддитивные* погрешности (не зависит от измеряемой величины);

– *мультипликативные* (пропорционально значению измеряемой величины), по-другому называется погрешностью чувствительности.

В зависимости от того, какая погрешность прибора является существенной, нормируют метрологические характеристики.

4 В зависимости от влияния характера изменения измеряемой величины:

– *статическая* – погрешность СИ при измерении неизменной или медленно изменяющейся величины.

– *динамическая* – погрешность СИ, возникающая при измерении быстро меняющейся во времени физической величины. Динамическая погрешность является следствием инерционности прибора.

В настоящее время на территории Республики Беларусь в рамках Государственной системы обеспечения единства измерений введены рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29-2013 «Метрология. Основные термины и определения», которые рекомендуется применять во всех видах документации, научно-технической, учебной и справочной литературе по метрологии, входящих в сферу работ по стандартизации и (или) использующих результаты этих работ.

4 КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

4.1 Основные свойства объектов и законы автоматического регулирования

Система автоматического регулирования (САР) – это замкнутая автоматическая система, основанная на принципе обратной связи (ОС) – управлении объектом с использованием информации о результатах управления. Только в случае отрицательной ОС происходит измерение и сравнение фактического контролируемого параметра объекта $x(t)$ с заданным на данный момент времени $g(t)$, в результате чего выявляется ошибка (расогласованние) $x\varepsilon(r) = x(t) - g(t)$, которая служит стимулом процесса регулирования, на ее основе формируется регулирующее воздействие $y(t)$ [9].

Системы автоматического регулирования (САР) применяются для регулирования отдельных параметров (температура, давление, уровень, расход и т. д.) в объекте управления. В современных системах автоматического управления (САУ) системы автоматического регулирования являются подсистемами САУ и их применяют для регулирования различных параметров при управлении объектом или процессом.

Принцип действия всякой системы автоматического регулирования (САР) заключается в том, чтобы обнаруживать отклонения регулируемых величин, характеризующих работу объекта или протекание процесса от требуемого режима, и при этом воздействовать на объект или процесс так, чтобы устранять эти отклонения.

Для осуществления автоматического регулирования к регулируемому объекту подключается автоматический регулятор, вырабатывающий управляющее воздействие на регулируемый орган. Это управляющее воздействие вырабатывается регулятором в зависимости от разности между текущим значением регулируемой величины (температуры, давления, уровня жидкости и т. д.), измеряемой датчиком, и желаемым её значением, устанавливаемым задатчиком. *Регулируемый объект и автоматический регулятор вместе образуют систему автоматического регулирования.*

Основным признаком САР является наличие главной обратной связи, по которой регулятор контролирует значение регулируемого параметра.

Объект регулирования является основной частью САР, свойства которой оказывают влияние на качество регулирования и выбор типа регулятора.

Любой объект регулирования характеризуется количеством энергии или вещества, проходящего через него. Режим работы объекта определяется протекающими внутренними процессами, на характер которых влияют внешние воздействия.

В САР часть внешних воздействий дает информацию о задачах регулирования. Поэтому их называют полезными (регулирующими) воздействиями. Они вырабатываются регулятором или задаются оператором. Воздействия на объект, не связанные с задачей регулирования, называют возмущениями. Именно из-за них возникает необходимость регулирования. Если объект имеет одну регулируемую величину, то он относится к простым или одномерным; при наличии нескольких регулируемых величин – к многомерным.

Различают два вида объектов регулирования:

- *стационарные*, у которых характеристики не изменяются во времени или изменяются незначительно;

- *нестационарные*, характеристики которых изменяются во времени.

Задачей автоматического регулирования является поддержание заданных параметров, определяющих условия протекания технологического процесса без участия человека. Факторы, влияющие на состояние процесса в объекте, называются воздействиями.

Инструментом для выполнения вышеуказанной задачи обычно служит *автоматический регулятор* – это устройство, которое, сравнивая текущее значение регулируемой величины с заданным, воздействует на технологический процесс таким образом, что текущее значение регулируемой величины автоматически поддерживается равным заданному.

Совокупность объектов регулирования и авторегулятора, взаимодействующих между собой, представляет собой *систему автоматического регулирования* (САР), которую можно классифицировать:

- по назначению (температуры, давления, перепада давлений, уровня, расхода);

- характеристике регулирования (позиционное, статическое, астатическое, изодромное);

- виду вспомогательной энергии (гидравлические, электрические);

- скорости перемещения регулирующего органа (с постоянной, переменной скоростью).

Одной из основных характеристик регулятора является *закон регулирования*, который устанавливает функциональную связь между входными и выходными значениями регулятора. Под входной величиной регулятора понимается сигнал рассогласования, под выходной величиной – его регулирующее воздействие m , которое вызывает перемещение регулирующего органа. При этом целенаправленно изменяются материальные, энергетические потоки, вводимые в объект регулирования или выводимые из него, вследствие чего регулируемая величина возвращается к заданному значению.

Законом регулирования называется зависимость между регулирующим воздействием (s) и рассогласованием (μ) или, иначе, зависимость между входным и выходным воздействием.

Различают линейные и нелинейные законы регулирования.

Линейные законы автоматического регулирования можно разделить:

- на простейшие: пропорциональный, интегральный, дифференциальный;
- промышленные: пропорционально-интегральный, пропорционально-дифференциальный, пропорционально-интегрально-дифференциальный.

Нелинейные законы автоматического регулирования разделяют на: функциональные, логические, оптимизирующие, параметрические.

Часто оптимальный закон автоматического регулирования состоит в переключении управляющего воздействия $h(t)$ с одного максимально возможного значения на другое. Моменты переключения определяются сложными комбинациями значений нескольких переменных и их производных.

4.2 Принципы автоматического регулирования и управления

САР предназначена для ликвидации последствий всех возмущающих факторов и приведения регулируемого параметра к заданному значению. Задачей автоматического регулирования является обеспечение заданного технологического режима работы системы без непосредственного участия человека. Технологический режим задается через параметры теплоносителя: давление, температуру, расход и т. п. Регуляторы делятся на регуляторы прямого и непрямого действия. В регуляторах прямого действия в одном элементе совмещается датчик, задатчик и командное устройство, при этом измерительный орган непосредственно воздействует на регулирующей (исполнительный) орган, кроме того, исполнительный орган для привода использует энергию самой регулируемой среды (рисунок 4.1). В зависимости от законов регулирования различают соответствующие регуляторы:

- 1) пропорциональный – П-регулятор, у которого выходная величина изменяется пропорционально входной;
- 2) интегральный – И-регулятор, у которого изменение регулирующего воздействия пропорционально интегралу входной величины;
- 3) пропорционально-интегральный – ПИ-регулятор, представляющий совокупность П- и И-регуляторов;
- 4) пропорционально-дифференциальный – ПД-регулятор, у которого изменение регулирующего воздействия пропорционально отклонению регулируемой величины и скорости этого отклонения;
- 5) пропорционально-интегрально-дифференциальный – ПИД-регулятор, у которого регулирующее воздействие пропорционально отклонению регулируемого параметра, интегралу и скорости этого отклонения.

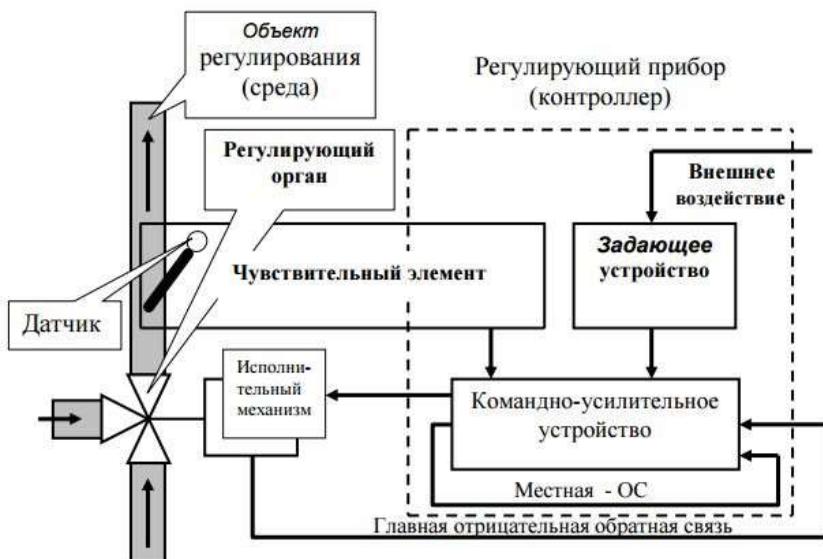


Рисунок 4.1 – Структурная схема системы автоматического регулирования

Таким образом, САР применяются для регулирования отдельных параметров (температура, давление, уровень, расход и т. д.) в объекте управления. В современных системах автоматического управления (САУ) системы автоматического регулирования являются подсистемами САУ и их применяют для регулирования различных параметров при управлении объектом или процессом.

Пример. В регуляторе прямого действия типа РР задатчиком является натяжная пружина, датчиком является командный импульс, командно-усилительным устройством – сильфонный привод, регулирующим органом – шток с клапаном.

В регуляторах непрямого действия измерительный орган воздействует на исполнительный механизм не прямо, а через командный орган, к которому подводится энергия от постороннего источника. В САР осуществляется замкнутый контур взаимодействия: объект регулирования воздействует на регулятор, а регулятор, через исполнительный орган, воздействует на объект регулирования (т. н. внутренние связи, см. рисунок 4.1). Кроме внутренних связей на регулятор влияют внешние воздействия, поступающие на систему через задающий элемент. Они исходят от человека или управляющего устройства.

Задающее воздействие формируется задающим элементом в соответствии с требуемым законом изменения регулируемой величины.

Регулирующее воздействие создается автоматическим регулятором с целью устранения отклонения регулируемой величины от заданного значения.

Возмущающие воздействия – это внешние воздействия на объект регулирования, вызывающие нарушения требуемой функциональной связи между задающим воздействием и регулируемой величиной. Они подразделяются на основные и помехи. К основным относятся воздействия, существенно влияющие на регулируемую величину и легко поддающиеся изменению. Все остальные виды возмущающих воздействий называются помехами.

В процессе работы САР могут находиться в различных состояниях. Возможны два качественно отличных друг от друга состояния системы: установившееся и неустойчивое.

При *установившемся* (статическом) режиме регулируемая величина остается постоянной или изменяется с постоянной скоростью, при этом внешние воздействия на систему остаются постоянными либо равномерно изменяются во времени.

В *неустойчивом* (динамическом) режиме регулируемая величина изменяется во времени вследствие изменения внешнего воздействия. Если внешнее воздействие изменяется скачком, то система совершает переход из одного установившегося состояния в другое. Изменение состояния системы под действием ступенчатого воздействия называется переходным процессом.

Чувствительный элемент – состоит из датчика, измерительного устройства, усилителя и преобразователя; кроме датчика всё перечисленное входит в состав контроллера (электронного блока). Измеряет действительную регулируемую величину $x(t)$ и преобразует ее в сигнал $x_1(t)$, удобный для дальнейшего использования (чаще всего в ток или напряжение).

Задающее устройство (задатчик) (ЗУ) – формирует требуемое на каждый момент времени задающее воздействие $g(t)$ в удобном для сравнения $cx_1(t)$ виде, имитирующее заданное значение регулируемой величины $x(t)$.

Командно-усилительное устройство – сравнивает сигналы от чувствительного элемента и задатчика, вырабатывает сигнал рассогласования и усиливает его до величины, необходимой для управления исполнительным механизмом. Степень усиления сигнала рассогласования определяется глубиной отрицательной обратной связи.

Исполнительный механизм (привод) – под воздействием $y_1(t)$ вырабатывает регулирующее воздействие $y(t)$, поступающее на регулирующий орган (РО) объекта управления (О).

Регулирующий орган τ (регулирующий клапан) – изменяет расход регулируемой среды.

Устройство обратной связи – передаёт воздействие с выхода исполнительного механизма на вход командно-усилительного устройства.

Если выбранный для контролируемой системы параметр достаточно полно характеризует объект, то можно считать, что задача регулирования – поддерживать регулируемую величину на заданном уровне. Некоторые элементы автоматической системы в отдельных случаях могут отсутствовать, но главная обратная связь (ГОС) должна функционировать всегда, ибо с ее помощью выявляется соответствие действительного состояния объекта регулирования состоянию, заданному на данный момент времени. Наличие ГОС – основной признак САР.

Автоматическое регулирование – это автоматическое поддержание заданной регулируемой величины (переменной состояния) объекта путем постоянного контроля его состояния и действующих на него возмущений, а также регулирующего воздействия (при необходимости) на его регулирующий орган.

Процесс регулирования происходит по отклонению (количественное) и по возмущению (качественное).

Регулирование по отклонению – регулятор измеряет величину отклонения непосредственно регулируемой среды и производит воздействие на регулирующий орган. По этому принципу работают большинство регуляторов (например, регулирование температуры горячей воды).

Регулирование по возмущению – регулятор воздействует на регулируемую среду в зависимости от величины возмущающего фактора (например, изменение температуры наружного воздуха). Преимущество данного метода в том, что регулятор начинает воздействовать на объект регулирования ещё до того, как произойдёт отклонение регулируемой величины.

По характеру процесса регулирования регуляторы подразделяются на регуляторы-стабилизаторы, программные и следящие.

Регуляторы-стабилизаторы – поддерживают на постоянном уровне заданный параметр (например, регулятор или редуктор давления, который поддерживает в норме давления воды в системах водоснабжения).

Программный регулятор – осуществляет регулирование во времени по заданному графику (например, микропроцессорный регулятор температуры горячей воды с программируемым время-температурным графиком).

Следящие регуляторы – регулируемый параметр является функцией некоторой независимой величины (например, автоматическое поддержание температуры сбрасываемого в метантенках осадка).

Автоматические системы можно классифицировать по ряду признаков: назначению, степени автоматизации, характеру алгоритма управления, виду сигнала, используемому носителю информации, применяемой элементной базе.

По назначению автоматические системы разделяются на системы управления, регулирования, контроля, сигнализации и защиты, блокировки и

др. Наиболее сложными по структуре и набору функциональных элементов являются автоматические системы управления и регулирования.

По характеру алгоритма управления, под которым понимается совокупность действий, выполняемых системой в процессе ее функционирования, различают следующие автоматические системы управления:

- *стабилизирующие* – поддерживают значение управляемой величины постоянным;

- *программные* – изменяют управляемую величину в соответствии с заранее заданной последовательностью по времени;

- *следающие* – изменяют управляемую величину в зависимости от неизвестного заранее значения переменной величины на входе автоматической системы;

- *адаптивные* (самоприспосабливающиеся) – алгоритм управления изменяется автоматическим устройством таким образом, чтобы автоматическая система осуществляла заданную цель управления;

- *логико-программные* – изменяют состояние управляемого объекта в соответствии с требуемой последовательностью рабочих операций.

По виду сигнала САР делятся на системы непрерывные и дискретные. В непрерывных системах все элементы формируют сигналы в виде непрерывных функций времени. В них регулирующей орган, будучи все время связанным с чувствительным элементом, непрерывно следует за отклонением регулируемого параметра в соответствии с сигналом чувствительного элемента.

В дискретных системах присутствует по крайней мере один элемент, производящий квантование непрерывных сигналов по уровню, времени, либо одновременно по обоим. В соответствии с этим дискретные системы, в свою очередь, делятся на релейные, импульсные и цифровые. В релейных системах осуществляется квантование по уровню, в импульсных – по времени, а в цифровых – по уровню и времени.

В зависимости *от используемого носителя информации* и соответствующих ему средств автоматизации автоматические системы подразделяются на электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные. Наибольшее применение в практике автоматизации технологических процессов получили *электрические* системы.

В условиях повышенной взрывоопасности применяются *пневматические* системы автоматизации.

Гидравлические системы используются крайне редко в связи с трудностями дистанционной передачи управляющих воздействий.

Регулируемые величины, задающие и возмущающие воздействия, могут быть различны по своей физической природе. Однако структурные

схемы системы автоматического управления (регулирования) и решаемые с их помощью задачи не зависят от физической природы объектов управления.

Поэтому принципы построения **систем автоматического управления (САУ)** вполне пригодны для различных по своей физической природе объектов управления. Если возмущающее воздействие при работе объекта может быть измерено в любой момент времени, то задача управления объектом может быть решена с помощью принципа компенсации возмущения, действующего на систему (принцип разомкнутого управления по выходному параметру объекта). Этот принцип предполагает управление, основанное на возможности измерения возмущений $f(t)$, действующих на объект управления, и их компенсации через СУ (рисунок 4.2).

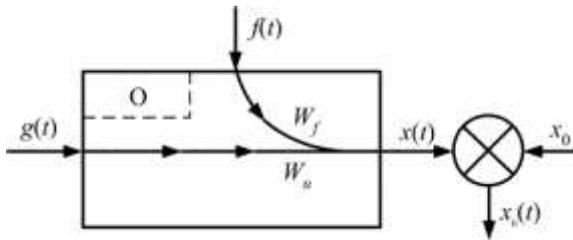


Рисунок 4.2 – Схема воздействий на объект управления:

W_f и W_u – передаточные функции объекта соответственно по возмущению и по управлению; x_0 – установленное значение регулируемой величины; $f(t)$ – возмущение; $x(t)$ – регулируемая величина; $x_c(t)$ – ошибка регулируемой величины

4.3 Микропроцессорные системы

Микропроцессорная система (МПС) представляет собой систему, включающую в себя хотя бы один микропроцессор (МП), запоминающее устройство (ЗУ), устройства ввода/вывода (УВВ), устройства сопряжения системной шины с устройствами ввода/вывода (контроллеры), системную шину (рисунок 4.3). Данную систему можно рассматривать как пример электронной системы, которая предназначена для обработки входных сигналов и выдачи выходных сигналов. В роли входных и выходных сигналов возможно использование аналоговых сигналов, одиночных цифровых сигналов, цифровых кодов, последовательности цифровых кодов. В данной системе, как в любой цифровой системе, входные аналоговые сигналы преобразуют в последовательности кодов с помощью аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), а выходные аналоговые сигналы формируют из последовательности кодов с помощью цифровых аналоговых преобразователей (ЦАП). Обработывается и хранится информация в цифровом виде.

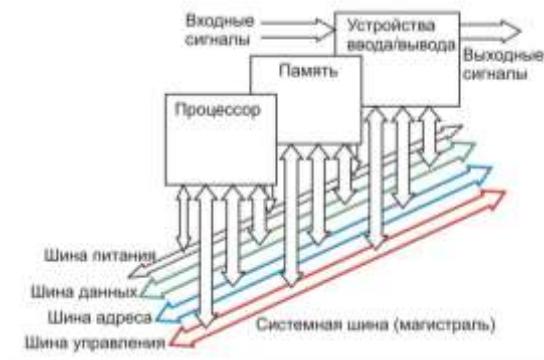


Рисунок 4.3 – Структура микропроцессорной системы

Классификация микропроцессорных систем. В связи с множеством областей применения МП и микроЭВМ можно классифицировать МПС на системном уровне. Они могут быть представлены: встроенными системами контроля и управления; локальными системами накопления и обработки информации; распределенными системами управления сложными объектами; распределенными высокопроизводительными системами параллельных вычислений.

Различают следующие основные типы МПС: *микроконтроллеры* – наиболее простой тип, в котором все или большинство узлов системы представлены в виде одной микросхемы; *контроллеры* являются управляющими МПС, выполненными в виде отдельных модулей; *микрокомпьютеры* – более мощные МПС, имеющие развитые средства сопряжения с внешними устройствами; *компьютеры любого типа* представляют собой самые мощные и универсальные МПС.

Многофункциональные микропроцессорные программируемые регуляторы – это приборы с элементами автоматизации, используемые в производственных процессах для обеспечения контроля показателей различных параметров, а также автоматизации процесса поддержания этих параметров в пределах заданных значений.

5 ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

5.1 Схемы автоматизации типовых объектов

ГОСТ 21.408–2013 Система проектной документации для строительства (СПДС) «Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов» устанавливает состав и правила оформления рабочей документации систем автоматизации технологических процессов и инженерных систем, зданий и сооружений (далее – системы автоматизации) проектируемых объектов строительства различного назначения.

Схемы автоматизации разрабатывают в целом на технологическую (инженерную) систему или ее часть – технологическую линию, блок оборудования, установку или агрегат. Схему автоматизации допускается совмещать со схемой соединений (монтажной). В зависимости от назначения и применяемых средств автоматизации разрабатывают *принципиальные электрические* и *пневматические* схемы контуров контроля регулирования и управления и принципиальные схемы электрического и пневматического питания. Используют еще схему *структурную*, которая определяет основные функциональные части сооружений, их назначение и взаимосвязи, и *схему принципиальную*, определяющую полный состав элементов и взаимосвязи между ними и, как правило, дающий полное (детальное) представление о принципах работы установки.

Объектом управления в системах автоматизации технологических процессов является совокупность основного и вспомогательного оборудования вместе с встроенными в него запорными и регулирующими органами, а также энергии, сырья и других материалов, определяемых особенностями используемой технологии.

Основным техническим документом, показывающим связи между инженерной системой (технологическим процессом) и средствами контроля и управления, является *функциональная схема автоматизации* (ФСА), определяющая функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса, и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации (в том числе средствами телемеханики и пр.).

При разработке ФСА технологических процессов необходимо:

- получить первичную информацию о состоянии технологического процесса и оборудования;
- определить непосредственное воздействие на технологический процесс для управления им;
- установить порядок стабилизации технологических параметров процесса;
- определить ТСА для контроля и регистрации технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования.

Функциональные задачи автоматизации, как правило, реализуются с помощью технических средств, включающих в себя: отборные устройства, средства получения первичной информации, средства преобразования и переработки информации, средства представления и выдачи информации обслуживающему персоналу, комбинированные, комплектные и вспомогательные устройства. Результатом составления функциональных схем являются:

- выбор методов измерения технологических параметров;
- выбор основных ТСА, наиболее полно отвечающих предъявляемым требованиям и условиям работы автоматизируемого объекта;
- определение приводов исполнительных механизмов регулирующих и запорных органов технологического оборудования, управляемого автоматически или дистанционно;
- размещение средств автоматизации на щитах, пультах, технологическом оборудовании, трубопроводах и т. п. и определение способов представления информации о состоянии технологического процесса и оборудования.

5.2 Порядок составления функциональных схем

Схемы автоматизации выполняют двумя способами:

- *развернутым*, при котором на схеме изображают состав и место расположения технических средств автоматизации каждого контура контроля и управления;
- *упрощенным*, при котором на схеме изображают основные функции контуров контроля и управления (без выделения входящих в них отдельных технических средств автоматизации и указания места расположения).

Обычно технологическое оборудование и трубопроводы автоматизируемого объекта изображают на функциональной схеме упрощенно, чтобы она давала ясное представление о принципе работы и взаимодействии со средствами автоматизации. Масштаб при этом не соблюдается.

Направление движения потоков в трубопроводах указывают стрелками. На линиях обрыва также ставят указывающие стрелки и дают необходимые пояснения о том, из какого аппарата и к какому направляется данный поток.

На технологических трубопроводах обычно показывают ту регулировочную и запорную арматуру, которая непосредственно участвует в контроле управления процессом, а также запорные и регулирующие органы, необходимые для определения относительного расположения мест отбора импульсов или поясняющие необходимость измерений.

Оборудование и коммуникации изображают тонкими линиями, технологические потоки выделяют более жирными. Допускается изображать элементы объекта в виде прямоугольников, которые должны быть снабжены соответствующими наименованиями.

Функциональные схемы составляются в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта ГОСТ 21.208–2013.

Этим стандартом устанавливаются графические и буквенные обозначения приборов и средств автоматизации в функциональных схемах. Так, графические обозначения приборов вычерчиваются сплошной основной линией. Линии связи между приборами, а также между прибором и отборным устройством вычерчиваются тонкой линией. Кроме того, тонкой линией вычерчивается горизонтальная разделительная линия внутри графического обозначения.

Порядок составления функциональных схем рекомендуется следующий. На верхней части листа условными знаками, в соответствии с действующими стандартами на технологические схемы или общепринятыми нормами, изображаются технологическое оборудование, коммуникации, линии потоков, обозначают элементы схемы автоматизации по месту их расположения, а именно: графические обозначения датчиков и чувствительных элементов, а также исполнительных механизмов.

При этом необходимо добиваться большей ясности того, где измеряется тот или иной технологический параметр. Допускается уточнять место расположения датчиков выносными линиями, оканчивающимися окружностью диаметром 2 мм. Эти выносные линии, как и линии связи, вычерчиваются тонкой линией.

Графические обозначения некоторых элементов технологического оборудования, непосредственно примыкающих к функциональным схемам, приведены в таблице 5.1.

Затем все приборы соединяются линиями, обозначающими соответствующие функциональные связи. На линиях связи с датчиками, чувствительными элементами и исполнительными механизмами указываются диапазоны измеряемых или регулируемых величин в стандартных единицах измерения. Расстояние между линиями связи, а также между контурами

графических обозначений всех несмежных элементов схемы не должно быть менее 3 мм. Разрешается разрывать линии связи с обозначением номера разрыва линии на обоих концах их разрыва. Расположение этих разрывов на схеме должно быть каким-либо способом систематизировано.

Таблица 5.1 – Обозначения условные графические на функциональных схемах

Наименование	Обозначение	Размеры	Наименование	Обозначение	Размеры
Трубопровод жидких веществ			Прибор, устанавливаемый по месту		
Трубопровод газообразных веществ			Прибор, устанавливаемый на щите, пульте		
Насосный агрегат жидких веществ			Допустимое изображение		
Насосный агрегат газообразных веществ			Исполнительный механизм, общее обозначение		
Регулирующий или запорный механизм			При прекращении подачи энергии исполнительный механизм открывает регулирующий орган		
Электрический привод			При прекращении подачи энергии исполнительный механизм закрывает регулирующий орган		
Сигнальное устройство					

Буквенные обозначения функциональных признаков измерительных и регулирующих приборов также регламентирует ГОСТ 21.208–2013. В этих обозначениях принят позиционный принцип, согласно которому значение букв зависит от позиции (места их расположения). Позиции читаются слева направо. Все буквы латинские заглавные.

На первой позиции (крайняя слева) ставится буква, соответствующая измеряемому или регулируемому технологическому параметру, например:

- D – плотность;
- F – расход;
- G – размер, положение, перемещение;
- H – ручное воздействие;
- L – уровень;
- P – давление, вакуум;
- Q – величина качества, состав, концентрация;
- S – скорость, частота;
- T – температура;
- W – масса и др.

На второй позиции ставится буква дополнения к основному обозначению, уточняющая измеряемую или регулируемую величину:

- D – разность, перепад;
- F – соотношение, доля, дробь;

J – автоматическое переключение, обегание;
Q – интегрирование, суммирование по времени.

Кроме того, на второй позиции может быть поставлена буква, обозначающая дополнительные функциональные признаки. Рекомендованы ГОСТом следующие буквы:

E – чувствительный элемент, датчик;
T – дистанционная передача, телемеханика;
K – станция управления;
Y – преобразование, вычислительные функции.

На третьей позиции указываются буквы, соответствующие основным функциональным признакам:

I – показание;
R – регистрация;
C – автоматическое регулирование и управление;
S – включение, отключение, переключение, блокировка;
A – сигнализация.

Буквы E, G, K, Q, T, V являются резервными, и их применение также должно быть расшифровано на схеме в примечаниях. На третьей позиции также может не стоять ни одной буквы, но если их несколько, то порядок их расположения должен соответствовать вышеуказанному.

На дополнительной позиции используются только две буквы:

H – верхний предел измеряемой или регулируемой величины;
L – нижний предел измеряемой или регулируемой величины.

Они выносятся за поле графического обозначения прибора и ставятся: первая – справа сверху, вторая – справа снизу.

После этого внутри верхней части графического обозначения каждого прибора, исключая исполнительные механизмы и сигнальные устройства, вписывают буквенные обозначения функциональных признаков.

Последним этапом является присвоение каждому элементу функциональной схемы позиционного номера, состоящего из комбинации заглавных букв латинского алфавита и цифр арабского начертания; проставляется преимущественно или сверху, или справа, или слева.

Для световых сигнальных устройств нумерация должна начинаться с символов HL, для звуковых сигнальных устройств – HA, для символьных сигнальных устройств – HG, далее порядковый номер. На схеме позиционные номера разных приборов не должны повторяться.

Буквенные обозначения приборов и позиционные номера выполняются чертёжным шрифтом с высотой прописных букв 2,5 мм.

Примеры построения условных обозначений приборов и средств автоматизации приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Примеры построения условных обозначений приборов и средств автоматизации

Обозначение	Наименование
	Устройство (прибор), устанавливаемый по месту (на трубопроводе, аппаратуре)
	Устройство (прибор), устанавливаемый на щите, пульте
	Прибор для измерения температуры, установленный на месте измерения
	Прибор для регистрации температуры, установленный на щите
	Регулятор температуры, регистрирующий, установленный на щите
	Регулятор температуры, бесшкальный, установленный по месту
	Прибор для измерения давления, установленный по месту (манометр)
	Регулятор давления, бесшкальный, установленный на щите
	Регулятор давления, установленный на щите (с индикацией текущего давления)
	Регулятор давления, регистрирующий, установленный на щите
	Прибор для измерения расхода, установленный по месту (например, ротаметр)
	Регулятор расхода, регистрирующий, установленный на щите
	Прибор для измерения уровня, установленный по месту
	Регулятор уровня, регистрирующий, установленный на щите
	Прибор для регулировки уровня с контактным устройством
	Регулятор качества продукта, регистрирующий (с pH метром)
	Прибор для измерения качества продукта, показывающий (газоанализатор)
	Исполнительный механизм (исполнительное устройство)
	Схема соединения прибора, исполнительного механизма и регулирующего устройства

Порядок построения функциональных схем автоматики

Функциональные схемы являются основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса, и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации. Функциональные схемы автоматизации разъясняют процессы, протекающие в системе, определяют уровень автоматизации, организацию пунктов контроля, управления и защиты, оснащение средствами сбора, обработки и передачи информации и др.

При создании функциональной схемы определяют:

- 1) целесообразный уровень автоматизации технологического процесса;
- 2) принципы организации контроля и управления технологическим процессом;
- 3) технологическое оборудование, управляемое автоматически, дистанционно или в обоих режимах по заданию оператора;
- 4) перечень и значения контролируемых и регулируемых параметров;
- 5) методы контроля, законы регулирования и управления;
- 6) объем автоматических защит и блокировок автономных схем управления технологическими агрегатами;
- 7) комплект технических средств автоматизации;
- 8) вид энергии для передачи информации;
- 9) места размещения аппаратуры на технологическом оборудовании, на щитах и пультах управления.

Все элементы систем управления показываются в виде условных изображений и объединяются в единую систему линиями функциональной связи. В верхней части функциональной схемы приводится схема процесса или объекта управления с условным обозначением первичных преобразователей (датчиков) приборов измерения. Вторичные приборы контроля и управления, т. е. элементы щита и пульта управления, изображаются в нижней части схемы в прямоугольнике произвольных размеров. Внутри контура прямоугольника располагаются условные обозначения приборов, средств автоматизации, аппараты управления и сигнализации. Связь между первичными преобразователями и вторичными приборами показывается сплошной линией или обрывом линии с нумерацией.

Номера линий связи располагают в горизонтальных рядах в возрастающем порядке. Существующую механическую связь датчиков приборов, указывающих положения регулирующих органов, исполнительных устройств и т. п., обязательно показывают на схемах автоматизации.

5.2 Разработка функциональной схемы автоматизации

Технологическое оборудование и трубопроводы на функциональной схеме должны соответствовать технологической схеме и изображаться упрощенно. Внутренние детали и элементы частей оборудования показываются только в случае, если они механически связаны с приборами и средствами автоматизации. На технологических трубопроводах показываются только те вентили, задвижки, заслонки, клапаны и другие запорные органы, которые участвуют в системе контроля и управления процессами. Приборы и средства автоматизации, встраиваемые в технологическое оборудование и коммуникации или механически связанные с ним, на схеме изображают в непосредственной близости к технологическому оборудованию, например, как указано на рисунке 5.1.

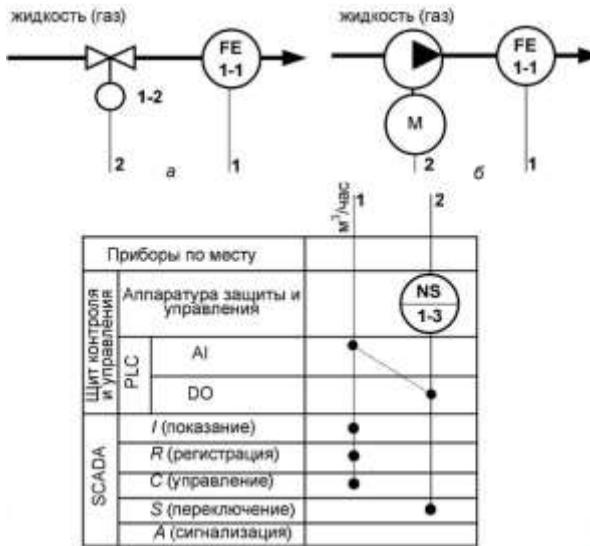


Рисунок 5.1 – Функциональные схемы САУ расхода жидкости (газа)

Функции контроля и управления на функциональных схемах автоматизации изображают в соответствии с ГОСТ 21.208–2013 и отраслевыми нормативными документами. Графические обозначения приборов, средств автоматизации и линий связи (и их размеры) должны соответствовать обозначениям, приведенным в таблице 5.1; дополнительных устройств – в таблице 5.2 (см. ГОСТ 21.208–2013).

При упрощенном методе построения приборы и средства автоматизации, осуществляющие сложные функции, например контроль, регулирова-

ние и сигнализацию, и выполняемые в виде отдельных блоков, изображают одним условным обозначением. При этом первичные измерительные преобразователи и всю вспомогательную аппаратуру не изображают.

При развернутом методе построения каждый прибор или блок, входящий в единый измерительный, регулировочный или управляющий комплект средств автоматизации, указывают отдельным условным обозначением. Условные обозначения приборов и средств автоматизации, применяемые в функциональных схемах автоматизации, могут быть графическими, буквенными и цифровыми.

Методика построения условных обозначений заключается в следующем. В верхней части графического обозначения (окружности, овала) наносятся обозначения измеряемой величины и функций, выполняемых прибором. При этом порядок их расположения (слева направо) должен быть следующим:

- обозначение измеряемой величины;
- обозначение, уточняющее (если это необходимо) основную измеряемую величину;
- обозначение (обозначения) функций, выполняемых прибором.

Например, при построении условного обозначения сигнализатора уровня обозначение функционального признака прибора и последовательность буквенного обозначения будут следующими: 15 P D I R C, где основное обозначение измеряемой величины P (давление), D (перепад давления), I (показание), R (регистрация), C (автоматическое регулирование).

Место для нанесения позиционного обозначения, снабженное контактным устройством и встроенными средствами сигнализации, следует обозначать:

- а) LS, если прибор используется только для включения, выключения насоса, блокировок и т. д.;
- б) LA, если прибор используется только для сигнализации (местной или дистанционной);
- в) LSA, если используются обе функции из пп. а и б;
- г) LC, если прибор используется для регулирования уровня.

При построении обозначений комплектов средств автоматизации первая буква в обозначении каждого входящего в комплект прибора или устройства (кроме устройств ручного управления) является наименованием измеряемой величины.

Буквенные обозначения устройств, выполненных в виде отдельных блоков и предназначенных для ручных операций, независимо от того, в состав какого комплекта они входят, должны начинаться с буквы Н. Например, переключатели электрических цепей измерения (управления) обозначаются HS, кнопки (ключи) для дистанционного управления, ручные задатчики – Н и т. п.

Местом установки отборного устройства является точка пересечения линии связи с обозначением технологического трубопровода или аппарата. Второй конец линии связи в этом случае сопрягается с обозначением первичного измерительного преобразователя или прибора.

Приборы и средства автоматизации, установленные дистанционно (например, на пультах или щитах управления), при использовании развернутого метода показывают в прямоугольниках, изображающих щиты и пульта произвольных размеров, достаточных для нанесения графических условных обозначений устанавливаемых на них приборов, средств автоматизации, аппаратуры управления и сигнализации.

В каждом прямоугольнике с левой стороны указывают соответствующее наименование. Приборы и средства автоматизации, которые расположены вне щитов (пультов) и конструктивно не связаны непосредственно с технологическим оборудованием и коммуникациями, условно показывают в прямоугольнике «Приборы местные».

5.3 Изображение линий связи

Линии связи между приборами и средствами автоматизации изображаются на функциональной схеме однолинейно тонкими линиями независимо от фактического количества труб и электропроводок, осуществляющих эту связь. Линии связи должны наноситься по возможно кратчайшему расстоянию с наименьшим количеством изгибов и пересечений. Допускается пересечение линиями связи изображений технологического оборудования и коммуникаций [23].

Для сложных объектов с большим количеством приборов и средств автоматизации, когда изображение непрерывных линий связи затрудняет чтение схемы, допускается их разрывать. В местах разрыва оба конца линии связи нумеруют одной и той же арабской цифрой. Нумерация разрыва линий связи выносится на основные базовые линии (вверх или вниз от технологического оборудования), обеспечивающие минимальное пересечение линиями связи изображения технологического оборудования и коммуникаций. Нумерация разрывов линий связи со стороны приборов дается в порядке возрастания номеров (рисунок 5.2).

На участках линий связи со стороны приборов, изображенных в прямоугольниках щитов (пультов) или прямоугольниках «Приборы по месту», слева, непосредственно у подхода их к первому прямоугольнику, допускается указывать предельные рабочие (максимальные или минимальные) значения измеряемых или регулируемых величин. Эти величины указываются в единицах шкалы выбранного прибора или в международной системе СИ.

Для приборов, встраиваемых непосредственно в технологическое оборудование или трубопроводы и не имеющих линий связи с другими приборами, предельные значения можно указывать возле обозначения прибора.

Всем приборам и средствам автоматизации, изображенным на функциональной схеме автоматизации, присваивается позиционное обозначение (позиция) во всех материалах проекта. Позиции приборов и средств автоматизации, изображенных на функциональной схеме, состоят из двух частей: цифрового обозначения, присвоенного комплекту (функциональной группе), и цифровых обозначений, присвоенных отдельным элементам, входящим в комплект (группу).

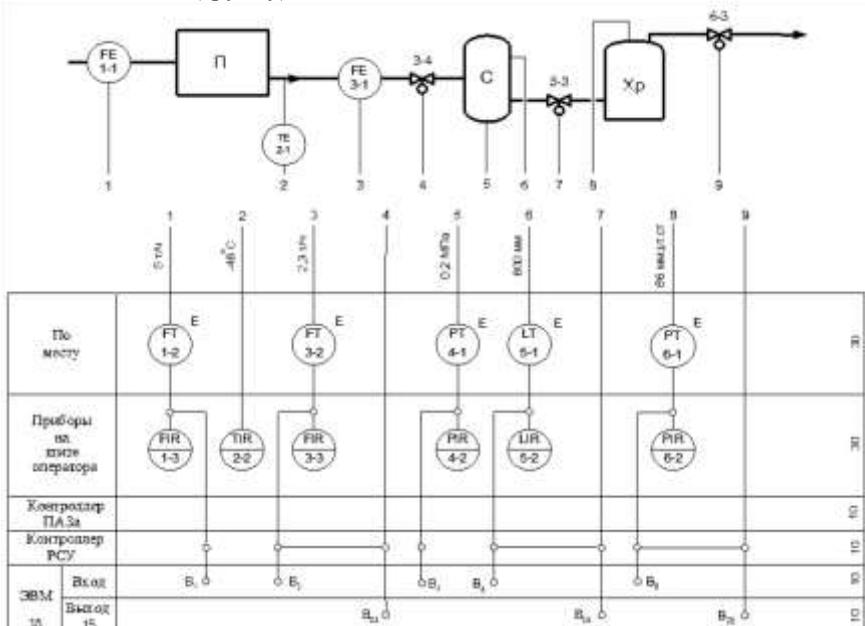


Рисунок 5.2 – Пример нумерации разрывов

В целом, система управления организована в виде двухуровневой структуры: верхний уровень и нижний уровень.

Нижний уровень системы обеспечивает контроль технологических параметров по месту; первичную обработку и расчет параметров; функционирование контуров регулирования; контроль безопасности и аварийную защиту технологического оборудования.

Верхний уровень реализован на базе станций оператора-технолога и оператора-инженера. Станции оснащены современными ПК. Верхний уровень обеспечивает ведение базы данных, визуализацию состояния технологического оборудования на мнемосхемах, обработку данных, формирование и печать отчетных документов, ручное дистанционное управление технологическим оборудованием.

6 СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

6.1 Автоматическое регулирование расхода, уровня, давления, температуры, рН воды

К основным технологическим параметрам, подлежащим контролю и регулированию в процессах водоподготовки и водоочистки, относят расход, уровень, давление, температуру, значение рН и показатели качества (концентрацию, плотность, вязкость и др.). Рассмотрим особенности регулирования этих параметров с учетом статических и динамических характеристик каналов регулирования, приборов контроля и средств автоматизации и приведем примеры наиболее распространенных систем регулирования некоторых параметров.

Регулирование расхода. Необходимость регулирования расхода возникает при автоматизации практически любого непрерывного процесса. АСР расхода, предназначенные для стабилизации возмущений по материальным потокам, являются неотъемлемой частью разомкнутых систем автоматизации технологических процессов.

Для обеспечения заданного состава смеси или для поддержания материального и теплового балансов в аппарате применяют системы регулирования соотношения расходов нескольких веществ в одноконтурных или каскадных АСР. Системы регулирования расхода характеризуются двумя особенностями: малой инерционностью собственно объекта регулирования; наличием высокочастотных составляющих в сигнале изменения расхода, обусловленных пульсациями давления в трубопроводе (последние вызваны работой насосов или компрессоров, или случайными колебаниями расхода при дросселировании потока через сужающее устройство).

В системах регулирования расхода применяют один из трех способов изменения расхода:

- дросселирование потока вещества через регулирующий орган, устанавливаемый на трубопроводе (клапан, шибер, заслонка);
- изменение напора в трубопроводе с помощью регулируемого источника энергии (например, изменением числа оборотов двигателя насоса или угла поворота лопастей вентилятора);

– байпасирование, т. е. переборс избытка вещества из основного трубопровода в обводную линию.

Регулирование расхода после центробежного насоса осуществляется регулирующим клапаном, устанавливаемым на нагнетательном трубопроводе (рисунок 6.1, а). Если для перекачивания используют поршневой насос, применение подобной АСР недопустимо, т. к. при работе регулятора клапан может закрыться полностью, что приведет к разрыву трубопровода (или к помпажу, если клапан установлен на линии всасывания). В этом случае для регулирования расхода используют байпасирование потока (рисунок 6.1, б).

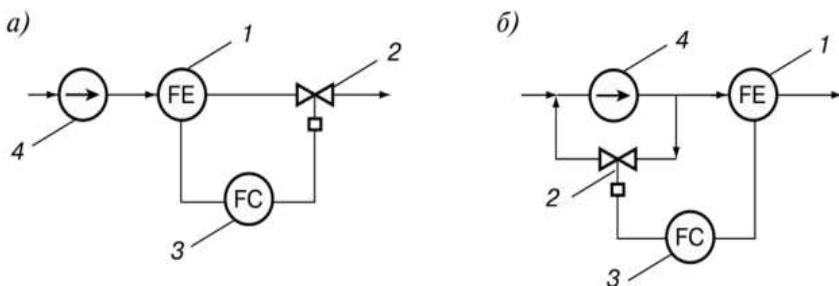


Рисунок 6.1 – Схема регулирования расхода после центробежного (а) и поршневого (б) насосов:

1 – измеритель расхода; 2 – регулирующий клапан; 3 – регулятор расхода; 4 – насос

Регулирование уровня. Уровень является косвенным показателем гидродинамического равновесия в аппарате. Постоянство уровня свидетельствует о соблюдении материального баланса, когда приток жидкости равен стоку и скорость изменения уровня равна нулю. Следует отметить, что «приток» и «сток» здесь являются обобщенными понятиями. В зависимости от требуемой точности поддержания уровня применяют один из следующих способов регулирования:

– *позиционное регулирование*, при котором уровень в аппарате поддерживается в заданных, достаточно широких пределах L . Такие системы регулирования устанавливают на сборниках жидкости или промежуточных емкостях (рисунок 6.2). При достижении предельного значения уровня происходит автоматическое переключение потока на запасную ёмкость;

– *непрерывное регулирование*, при котором обеспечивается стабилизация уровня на заданном значении, т. е. $L = LC$ (рисунок 6.3).

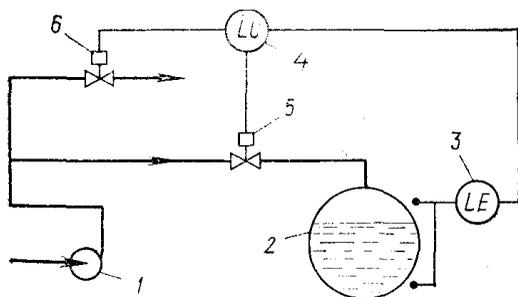


Рисунок 6.2 – Пример схемы позиционного регулирования уровня:
 1 – насос; 2 – аппарат; 3 – сигнализатор уровня; 4 – регулятор уровня;
 5, 6 – регулирующие клапаны

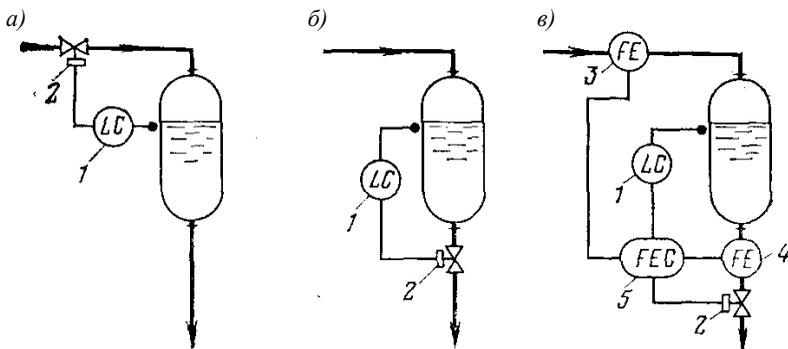


Рисунок 6.3 – Схемы непрерывного регулирования уровня:
 а – регулирование «на притоке»; б – регулирование «на стоке»;
 в – каскадная АСР; 1 – регулятор уровня; 2 – регулирующий клапан;
 3, 4 – измерители расхода; 5 – регулятор соотношения

Регулирование давления. Давление является показателем соотношения расходов газовой фазы на входе в аппарат и выходе из него. Постоянство давления свидетельствует о соблюдении материального баланса по газовой фазе (рисунок 6.4).

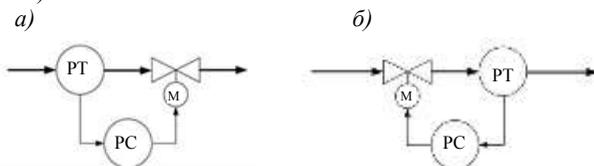


Рисунок 6.4 – Схемы регулирования давления на трубопроводе до (а) и после (б) механизированной задвижки

Регулирование температуры. Температура является показателем термодинамического состояния системы и используется как выходная координата при регулировании тепловых процессов. Динамические характеристики объектов в системах регулирования температуры зависят от физико-химических параметров процесса и конструкции аппарата. Поэтому общие рекомендации по выбору АСР температуры сформулировать невозможно, т. к. требуется анализ каждого конкретного процесса (рисунок 6.5).

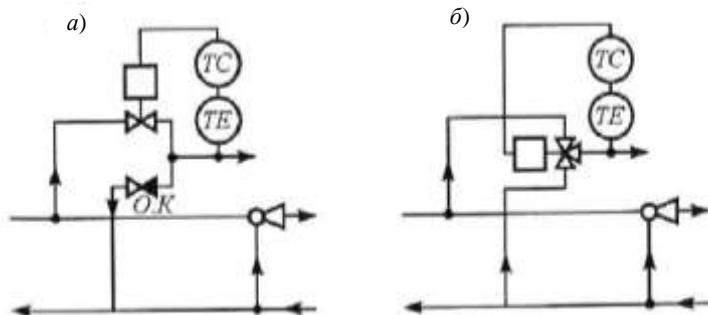


Рисунок 6.5 – Схемы автоматического регулирования температуры горячего водоснабжения при открытой системе теплоснабжения с двухходовым (а) и с трехходовым регулирующим клапаном (б)

Регулирование рН. Системы регулирования рН можно подразделить на два типа, в зависимости от требуемой точности регулирования. Если скорость изменения рН невелика, а допустимые пределы ее колебаний достаточно широки, применяют позиционные системы регулирования, поддерживающие рН в заданных пределах: $p_{НН} < pН < p_{НВ}$. Ко второму типу относятся системы, обеспечивающие регулирование процессов, в которых требуется точное поддержание рН на заданном значении (например, в процессах нейтрализации). Для их регулирования используют непрерывные ПИ- или ПИД-регуляторы.

Общей особенностью объектов при регулировании рН является нелинейность их статических характеристик, связанная с нелинейной зависимостью рН от расходов реагентов.

Для обеспечения устойчивого регулирования применяют специальные системы. На рисунке 6.6 показан пример АСР с двумя регулирующими клапанами. Клапан 1, обладающий большим условным диаметром, служит для грубого регулирования расхода и настроен на максимальный диапазон изменения выходного сигнала регулятора. Клапан 2, служащий для точного регулирования, рассчитан на меньшую пропускную способность.

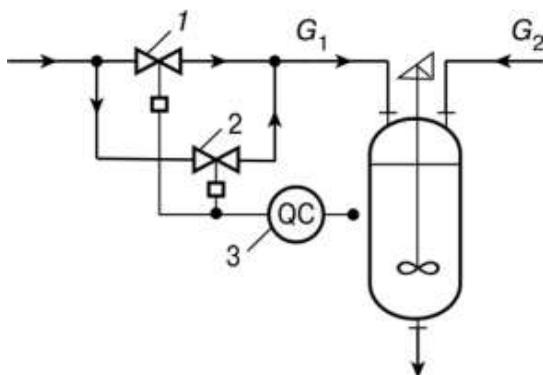


Рисунок 6.6 – Схема системы регулирования pH:
1, 2 – регулирующие клапаны; 3 – измеритель pH

6.2 Автоматический контроль и регулирование параметров состава и качества

В процессах химической технологии большую роль играет точное поддержание качественных параметров продуктов (состава газовой смеси, концентрации того или иного вещества в потоке и т. п.). Эти параметры характеризуются сложностью измерения. В ряде случаев для измерения состава используют хроматографический метод. При этом результат измерения бывает известен в дискретные моменты времени, отстоящие друг от друга на продолжительность цикла работы хроматографа. Аналогичная ситуация возникает и тогда, когда единственным способом измерения качества продукции является в той или иной степени механизированный анализ проб.

Для мониторинга водных объектов и управления технологическими процессами очистки природных и сточных вод приходится контролировать наличие в воде многих химических ингредиентов. Часть из них определяется только в условиях лабораторий, т. к. для их автоматического контроля не разработаны измерительные приборы. Методы лабораторного анализа химических показателей стандартизованы.

Для ряда ингредиентов, таких как бериллий, молибден, мышьяк, нитраты, свинец, полиакриламида, стронций, алюминий, медь, марганец, сульфаты, полифосфаты, разработаны полуавтоматические приборные методы контроля [23].

Автоматизированная система контроля качества вод позволяет проводить наблюдение, сбор, накопление, обработку и выдачу данных о качестве воды и предупреждать о нарушении норм ее качества.

Автоматизированная система диспетчерского контроля качества воды в водоисточнике обеспечивает следующие основные функции:

– контроль основных показателей качества природной воды: мутность, цветность, аммиак, фосфаты, железо, рН, растворенный кислород, электропроводность, хлориды, температура и вывод этих параметров на автоматизированное рабочее место. В основу приборов заложены оптические и электрохимические методы измерения. Интервал контроля, в зависимости от анализируемого показателя, составляет от нескольких секунд (электропроводность) до 18 минут (железо);

– аварийная сигнализация о выходе параметров качества воды за пределы допустимых значений;

– аварийная сигнализация о неисправности станции мониторинга, отсутствии электропитания, потере связи;

– формирование отчетных форм и аварийных журналов по качеству воды.

Внедрение автоматизированной системы мониторинга качества воды водоисточника позволяет:

– уменьшить время определения загрязнения с нескольких часов до нескольких минут;

– моделировать изменения качества воды водоисточников и прогнозировать его на станциях водоподготовки;

– обеспечить централизованный мониторинг качества воды в водоисточниках.

По своему назначению приборы автоматического контроля за качеством воды подразделяются на приборы для стационарных лабораторий, для работы в полевых условиях и передвижных лабораториях.

ЗАО «НПП «Автоматика» производит приборы для непрерывного контроля качества воды на предприятиях водоснабжения и водоотведения. Опишем несколько серий анализаторов качества воды:

– серия АЖК-31 – анализаторы жидкости кондуктометрические, измеряющие удельную электропроводность жидкости и пересчитывающие её в концентрацию растворённого вещества;

– серия рН-41 – рН-метры, измеряющие ЭДС электродной системы и пересчитывающие её в активность ионов водорода (рН) или в окислительно-восстановительный потенциал (ОВП);

– серия АРК-51 – анализаторы растворённого кислорода, использующие амперометрические или оптические датчики для измерения концентрации растворённого кислорода;

– серия АН-71 – анализаторы натрия, измеряющие активность ионов натрия (рNa) и пересчитывающие её в массовую концентрацию ионов натрия;

– серия АМ-81 – анализаторы мутности, измеряющие оптическую плотность жидкости и пересчитывающие её в концентрацию взвешенных твёрдых частиц;

– серия АИ-91 – анализаторы ионов с применением разнообразных ионоселективных электродов;

- серия АЖМ – анализаторы жидкости многопараметрические, измеряющие одновременно два (АЖМ-2.01) и более (ЭР-12) параметров жидкости;
- анализаторы хлора CL6587, CL7685 амперометрического типа – для автоматического контроля содержания в воде ионов хлора, который в больших масштабах используют для обеззараживания природных и сточных вод;
- анализатор мутности TU7685, переносные приборы, трансмиттеры и датчики.

Перечисленные серии анализаторов занесены в государственный реестр средств измерений. Все анализаторы имеют графический индикатор, архиватор, унифицированный аналоговый выход и интерфейс RS-485 с протоколом Modbus для включения в АСУ. Для установки аналитических датчиков в трубопроводы и ёмкости имеется широкий ассортимент арматуры. При необходимости обеспечивается очистка сенсоров воздухом, водой или ультразвуком. Анализаторы могут комплектоваться гидропанелями, обеспечивающими непрерывный отбор, подготовку и слив пробы, облегчающими монтаж и обслуживание приборов.

Для установки анализаторов в полевых условиях разработаны шкафы в пылевлагонепроницаемом исполнении, которые имеют регулируемый обогрев и необходимые аксессуары для нормального функционирования анализаторов и систем очистки датчиков.

Автоматические приборы устанавливаются не только для контроля за составом сточных вод на любой стадии очистки или при сбросе их в водоемы, но и для осуществления автоматического регулирования процессов очистки сточных вод.

Таким образом, в первую очередь автоматизации подлежит контроль параметров, требующих оперативного или непрерывного измерения, содержание взвешенных веществ, мутность, цветность, остаточный хлор, щелочность, остаточный алюминий

6.3 Сигнализация, защита и блокировка

Устройства сигнализации предназначены для извещения обслуживающего персонала о состоянии контролируемых объектов. Сигнализация может быть световая и звуковая.

Световая сигнализация подается с помощью сигнальных ламп с различным режимом свечения (ровный или мигающий свет, полный или неполный накал) или световых указателей различного цвета.

Звуковая сигнализация подается звонками, сиренами или гудками. Часто применяют сочетание световой и звуковой сигнализации. В таких случаях звуковой сигнал служит для извещения диспетчера или оператора о возникновении аварийного режима, а световой – указывает на место возникновения этого режима.

Различают также технологическую и контрольную сигнализацию.

Технологическая сигнализация извещает о нарушении нормального хода технологического процесса, что обычно проявляется в отклонении от заданного значения технических параметров: температуры, давления, уровня, расхода и т. п. В зданиях и сооружениях, где возможно появление в помещениях паров пожаро- и взрывоопасных веществ, а также токсичных продуктов, сигнализируется повышение предельно допустимых концентраций таких веществ.

Технологическая сигнализация бывает двух видов: *предупредительная* и *аварийная*.

Предупредительная сигнализация извещает о больших, но еще допустимых отклонениях параметров процесса от заданных. При появлении сигналов предупредительной сигнализации оператор должен принять меры для устранения возникающих неисправностей.

Аварийная сигнализация извещает о недопустимых отклонениях параметров процесса от регламентных или о внезапном отключении какого-либо инженерного оборудования. Она требует немедленных действий оператора по заранее составленной инструкции. Поэтому такая сигнализация подается мигающим светом и резким звуком.

Некоторые защитные мероприятия, особенно в процессах, где авария может привести к тяжелым последствиям, предусматривают полную остановку оборудования, например, посредством сброса воды из емкостей. Поскольку последующие пуск и наладка инженерной системы задача сложная, то необходимо исключить ложное срабатывание устройств автоматической защиты. Это достигается установкой двух отдельных устройств защиты, реагирующих на один и тот же признак опасности. Устройства защиты соединены так, чтобы исполнительный механизм защитного устройства включался только при их одновременном срабатывании.

При автоматизации технологических процессов систем водоснабжения и водоотведения предусматривается следующая сигнализация:

- повышения и понижения давления воды;
- повышения температуры в метантенках;
- повышения температуры подшипников электродвигателей насосов, компрессоров или воздуходувок;

Предусматриваются технологические блокировки:

- включение байпасной линии при выходе из строя двигателя насоса;
- включение резервной нитки редуцирования и отключение рабочей нитки в случае повышения давления газа на выходе из блока редуцирования выше установленного значения.

При наличии двойного дистанционного или автоматического управления оборудованием и арматурой должна предусматриваться блокировка, исключающая возможность одновременного их включения.

Технологические защиты, блокировки и сигнализация, введенные в постоянную эксплуатацию, должны быть включены в течение всего времени

работы оборудования, на которых они установлены. Ввод технологических защит должен производиться автоматически.

Рассмотрим современные способы организации удаленной сигнализации аварийных ситуаций на объектах водоканала. При этом необходимо уточнить, что GSM-сигнализация, как правило, устанавливается на недвижимые объекты, в то время как область действия GPS-сигнализации расширяется на подвижные объекты за счет функции слежения за перемещением.

Для сигнализации уровня сточных вод на локальных очистных сооружениях в настоящее время устанавливают GSM-модем, который используется для удаленной диспетчеризации (рисунок 6.7) и позволяет осуществить передачу данных на мобильные телефоны в виде СМС-оповещения.

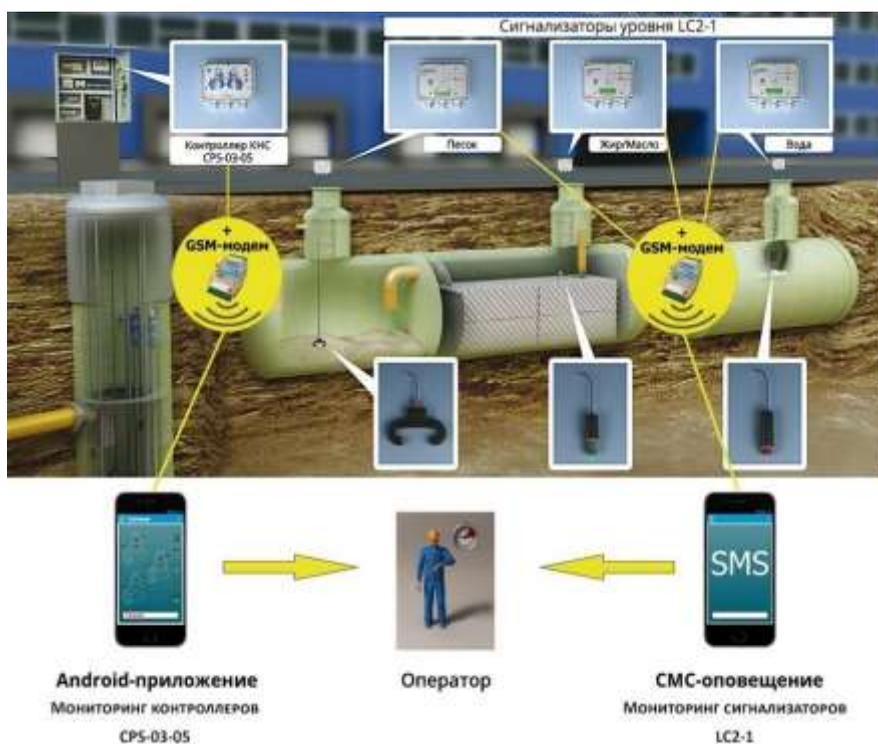


Рисунок 6.7 – Схема GSM-сигнализации уровня сточных вод

Для комплексной охраны и мониторинга небольших объектов Водоканала, таких как колодцы или насосные станции, может быть использован кон-

троллер КУБ-Инфра/GSM и датчик вскрытия ИФД-СК в герметичном исполнении (рисунок 6.8). Датчик вскрытия ИФД-СК может использоваться совместно с контроллером КУБ-Инфра/GSM или для подключения к уже существующей системе мониторинга.

Контроллер КУБ-Инфра/GSM специально предназначен для работы в условиях высокой влажности (класс защиты IP67). При этом он содержит в своём корпусе все необходимые элементы системы мониторинга (плата контроллера, блок питания, GSM-антенна), тем самым заменяя собой защищённый шкаф автоматики с набором оборудования. В таблице 6.1 представлена реализация функций контроллера КУБ-Инфра/GSM при подключении к объектам водоканала и передаче данных в диспетчерский пункт (ДП).



Рисунок 6.8 – Схема мониторинга объектов водоканала

Система мобильной авторизации – это программный продукт, позволяющий организовать авторизацию доступа на объект с помощью мобильного телефона. Сотрудник при необходимости может позвонить на многоканальный номер с голосовым меню и, следуя командам робота, ввести пароли, авторизующие его на данном объекте. Таким образом, мобильная авторизация может быть принята параллельно с технологией ЧИП-ключей, установкой на объектах ЧИП-считывателей и отслеживанием их актуальности в системе.

Таблица 6.1 – Реализация функций контроллера КУБ-Инфра/GSM

Функция	Реализация
Снятие показаний с водосчётчиков	Подключение водосчётчика с передачей данных в диспетчерский пункт
Снятие показаний с электросчётчика	Подключение электросчётчика с интерфейсом RS-232/RS-485 для дистанционного снятия показаний
Контроль вскрытия объекта с возможностью авторизации доступа	Подключение на дискретный вход датчика вскрытия ИФДСК, который реагирует на свет при вскрытии двери или крышки колодца, отправляя сигнал «Вскрытие» в ДП. Авторизация доступа обслуживающего персонала на объект
Измерение температуры	Функция измерения температуры встроена в контроллер, значение передаётся в диспетчерский центр
Измерение давления в трубопроводе	Подключение датчика давления на аналоговый вход контроллера. Датчик врезается в трубу и измеряет давление в трубопроводе, его изменение говорит об утечке
Контроль протечки/затопления	Подключение к дискретному порту КУБ-Инфра/GSM кабеля контроля протечки. Кабель способен охватить значительную территорию и может укладываться с широким диапазоном изгибов

6.4 Логгеры – регистраторы данных

Регистраторы данных, также называемые логгерами, позволяют производить измерения после чего записывать их в память устройства с функцией регистрации даты и времени выполнения измерений. Работу этих устройств возможно запрограммировать для работы в автоматическом режиме.

Комплексные логгеры (регистраторы-самописцы) в основном применяются для измерения различных физических величин (температуры и влажности воздуха, давления и пр.), предназначены для использования в различных областях человеческой деятельности: науки, промышленности, производства и т. д. Для снятия разовых показаний используются отдельные устройства, работающие в автономном режиме.

Узлы учета и контроля базируются на автономных (батарейных) GSM/NB-IoT-логгерах, которые снимают показания с расходомеров, датчиков давления и температуры. Накопленные архивы измерений через сотовый интернет отправляются в диспетчерский центр и доступны в виде графических и табличных отчетов через веб-интерфейс бесплатной информационной системы.

Автономные (батарейные) GSM/NB-IoT логгеры PROMODEM (рисунок 6.9) устанавливаются на узлах учета и контроля с нестабильным или отсутствующим питанием на магистральных трубопроводах, водохранилищах, реках, скважинах, в затапливаемых камерах и колодцах, а также в подвалах, подъездах и квартирах жилых домов, в торговых и офисных помещениях.



Рисунок 6.9 – Логгер PROMODEM: вариант исполнения IP68

К логгерам подключаются расходомеры и датчики, установленные на узле учета/контроля либо входящие в состав комплекта «Умный датчик» (рисунок 6.10).



Рисунок 6.10 – Подключение расходомеров и датчиков к внешним входам логгера

Логгеры PROMODEM с заданной периодичностью опрашивают подключенные к ним датчики давления и температуры, следят за датчиками сигнализации и затопления, считают импульсы от расходомеров и контролируют значения всех измеряемых параметров на min/max. По расписанию логгеры передают накопленные архивы измерений в диспетчерский центр как через привычные каналы связи GPRS/Internet, так и через новые специализированные сети NB-IoT для интернета вещей (IoT).

В диспетчерском центре полученные архивы измерений и аварийные события отображаются в виде графиков и отчетов через веб-интерфейс бесплатной информационной системы. Система может быть как развернута на сервере заказчика, так и предоставлена в виде облачного сервиса PROMODEM с доступом через личный кабинет.

7 АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

7.1 Технологические параметры, подлежащие контролю на насосных станциях водоснабжения

Насосные станции по оборудованию и протекающим в них технологическим процессам сравнительно легко поддаются автоматизации. Процессы, связанные с пуском, остановкой и контролем за состоянием насосно-силового оборудования, осуществляются в строго установленной последовательности автоматически, без непосредственного участия обслуживающего персонала [41].

На насосных станциях автоматически выполняются следующие операции:

- пуск и остановка агрегатов с выдержкой по времени как перед пуском после получения импульса управления, так и между отдельными операциями;
- включение одного или нескольких насосных агрегатов в установленной последовательности, причем включение производится либо на полное напряжение (прямой пуск), либо на пониженное с последующим включением на полное напряжение после установленной выдержки (ступенчатый пуск);
- создание и поддержание необходимого разрежения во всасывающем трубопроводе и насосе перед пуском, если он не находится под заливом;
- открытие и закрытие задвижек на трубопроводах в определенном порядке при пуске и остановке насосов;
- контроль за выполнением установленного режима при пуске, работе и остановке насосов, отключение работающего насоса при нарушении режима его работы и включение резервного насоса;
- передача сигналов о работе насосных агрегатов и аварийных ситуациях на диспетчерский пункт;
- защита насосных агрегатов при перегреве подшипников, вследствие работы насоса без залива, при перегрузке приводного электродвигателя и т. п.;
- отопление и вентиляция станций, их охрана от проникновения посторонних лиц, а также включение и отключение дренажных насосов.

Схема автоматизации насосных станций должна обеспечивать пуск и остановку насоса при поступлении управляющего импульса и аварийное отключение насоса при срабатывании электрических и технологических защит.

Все вспомогательные операции (открывание и закрывание задвижек, заливка насосов, охлаждение подшипников и т. д.), связанные с пуском и остановкой насосов, а также включением резервных насосных агрегатов, за исключением агрегатов станций третьей категории надежности действия, должны выполняться автоматически.

При аварийном отключении насоса в результате действия защитных устройств схемы управления насосами с пуском и остановкой на закрытую задвижку должны обеспечивать последующее автоматическое закрывание задвижки. При неисправности задвижки в процессе пуска насос следует отключить.

Для упрощения схемы автоматизации и повышения ее надежности насосы, как правило, рекомендуются устанавливать под заливом.

На автоматизированных насосных станциях должно быть предусмотрено автоматическое отключение рабочих насосов при затоплении машинного зала.

Для насосных установок с переменным режимом работы необходимо предусматривать возможность регулирования выходных параметров (давления, подачи) насосных агрегатов.

Технологические параметры, подлежащие контролю на насосных станциях, приведены в таблице 7.1.

Расход воды, подаваемой по водоводам насосных станций, следует измерять расходомерами переменного перепада с диафрагмами или трубами Вентури, ультразвуковыми, электромагнитными или турбинными водосчетчиками для измерения объема поданной воды до 100 м³/ч.

Режим работы установки рекомендуется регулировать изменением количества работающих агрегатов, дросселированием потока воды в напорных коммуникациях станции, изменением частоты вращения насосов.

Регулирование частоты вращения насосов требует применения специальных видов электропривода:

- привода с многоскоростными электродвигателями;
- привода с индукторными муфтами скольжения – асинхронных короткозамкнутых электродвигателей переменного тока;
- привода по схеме асинхронно-вентильного каскада – асинхронных электродвигателей переменного тока с фазным ротором;
- частотного привода – асинхронных короткозамкнутых электродвигателей переменного тока;
- привода на базе вентильного электродвигателя – синхронных электродвигателей переменного тока.

Регулируемым приводом из экономических соображений оборудуется, как правило, один агрегат в группе из двух-трех рабочих. В качестве регулируемого принимается наиболее крупный агрегат с наиболее пологой характеристикой. Эта мера препятствует образованию «мертвых зон». Оборуду-

довать регулируемым приводом все работающие агрегаты следует в тех случаях, когда изменение частоты вращения регулируемого агрегата выводит остальные агрегаты в ненормальный режим работы, например, в зону низких КПД или кавитации.

Таблица 7.1 – Технологические параметры, подлежащие контролю на насосных станциях

Контролируемый параметр	Вид информации	Цель измерения или сигнализации
Давление в напорных водоводах	Измерение	Контроль, регулирование подачи насосной станции
Расход воды по каждому напорному водоводу	То же	Контроль
Давление на насосном агрегате	Измерение и сигнализация	Контроль, отключение
Вакуум во всасывающих линиях насосов и в вакуум-установках	Измерение	Контроль
Уровень воды в резервуарах и приемных камерах	Измерение и сигнализация	Контроль, отключение насосов
Уровень воды в дренажном прямке	Сигнализация	Автоматизация работы
Температура подшипников агрегатов (при наличии датчиков)	То же	Отключение агрегата при перегреве
Температура обмотки статора электродвигателя (при необходимости)	Измерение	Контроль
Температура в помещениях необслуживаемых насосных станций	Сигнализация	Контроль, автоматизация электроотопления и вентиляции
Уровень воды в вакуум-котле	То же	Автоматизация работы вакуум-насосов
Давление Уровень воды в баке-ресивере	Измерение Сигнализация	Контроль Автоматизация работы насосов и компрессоров в гидropневматических насосных станциях
Затопление машинного зала	То же	Контроль
Аварийный уровень затопления	»	Контроль, автоматическое отключение всех насосов

7.2 Виды автоматик для насосов

В зависимости от принципа работы выделяют следующие виды автоматик для насосов: *реле управления* – для замыкания и размыкания электрической цепи, в зависимости от изменения давления; *частотный преобразователь*; *пускатели электромагнитные*; *схемы переключения работы на другие насосы, с автоматического режима в ручной*; *световая аппаратура*, сигнализирующая о состоянии системы; *аппаратура защиты насоса от сухого хода*, электрических цепей, геркон (концевой выключатель).

Принцип работы автоматики. В основном автоматика работает на *включение и отключение*, в зависимости от установленных настроек. Если в емкости для воды упал уровень, то поплавковая система замыкает цепь, и насос включается на подачу. Когда уровень достигнут, то цепь размыкается, насос отключается. Так работает автоматика для скважинных насосов.

Управляющий принцип обеспечивает откачку воды из скважины.

Похожий принцип работы и в замкнутой системе с циркуляционными насосами. Если давление падает, то датчик меняет сопротивление, частота тока увеличивается, производительность насоса увеличивается. При достижении необходимого давления, сопротивление снова меняется, и насос начинает работать на меньшей частоте.

В случае со счетчиками объема, они таким же образом замыкают контакты цепи, в результате насос включается. При достижении необходимого объема система отключает его автоматически.

Существует два основных вида автоматики для насосов.

Управление насосами на основании давления жидкости в трубопроводе.

Данный способ предусматривает установку реле давления в систему водоснабжения. Настраиваются основные два параметра, которые отвечают за включение или отключение насоса. Применяется в скважинах в комплексе с мембранными баками, работа которых поддерживает давление в системе. Такие реле делят на промышленные и бытовые модели. У производственных реле более мощные контактные группы. Настраивать их необходимо с манометром.

Управление насосом на основании уровня жидкости в накопительном резервуаре. Схема актуальна для наполнения емкостей и поднятия воды в водонапорные башни. Внутри монтируется поплавок или специальные электроды. Устанавливается верхний и нижний уровни. Когда вода достигает нижнего уровня, сеть замыкается, и насос включается. Достигнув верхнего уровня, сеть размыкается, и насос отключается. Данная конструкция должна быть оснащена сигнализацией о переполнении или аварийным сливом. Плюсом данной схемы является то, что насос не включается слишком часто. Он работает лишь тогда, когда необходимо набрать полную емкость. Таким образом, увеличивается срок его службы и стабильность работы.

Автоматика защиты насосов. Основной причиной выхода насоса из строя является работа его двигателя вне допустимых зон напряжения. Для этого в систему встраивают стабилизатор мощностей. На нем выставляется максимальное и минимальное значение напряжения. В случае если оно вне допустимой зоны, автоматика отключает насос. Такие стабилизаторы защищают систему от скачков напряжения, используя временную задержку. Не допустима эксплуатация без жидкости, т. е. стоит защита от «сухого» хода.

Существует три вида комбинаций защищающей управляющей автоматики.

1 *Пускозащитные устройства* подключают к системе насоса, реле давления, датчикам объема. Имеют много функций и параметров для контроля, но внести изменения в настройки практически невозможно.

2 *Релейные блоки* – это обычные пускатели, для их подключения требуется дополнительный защитный автомат.

3 *Средства управления на базе микропроцессоров* позволяют через компьютер следить за температурой, напряжением, сопротивлением и последовательностью работы фаз. Защищают от перепадов напряжения, работы без воды. Применяются в основном в системе с глубинными насосами.

Разберём в каком случае надо проводить модернизацию современного производственного оборудования для повышения энергоэффективности агрегатов и сокращения влияния человеческого фактора на работу систем и механизмов.

Проект автоматизации насосного оборудования может быть *полуавтоматизированным* или *полностью автоматизированным* объектом. Первый вариант оптимален для предприятий, в работе которых задействовано сложное оборудование, оснащенное большим количеством задвижек, или насосные станции, конструкция которых не допускает проведение автоматизации. В такой ситуации требуется привлечение к обслуживанию оборудования служебного персонала. В остальных случаях рекомендуется полностью автоматизировать работу установок, чтобы они могли работать без постоянного пребывания на объекте обслуживающего персонала.

Для полностью автоматизированных насосных станций (рисунок 7.1) нормами проектирования предусматриваются:

- полностью централизованное управление насосным и вспомогательным оборудованием;
- автоматизированные операции пуска и установки агрегатов;
- эффективный контроль состояния оборудования в последовательности, сформированной при помощи настроек;
- контроль рабочих параметров станции (уровнем давления, температурой);
- защита установки при перегрузках, коротких замыканиях (в подобных случаях происходит срабатывание защитного реле с последующим блокированием автоматического включения до устранения неисправности).

При переменном режиме работы агрегатов управление должно выполняться в зависимости от уровня воды в резервуаре, величины давления, которые фиксируются датчиками.

Дополнительным преимуществом использования автоматизированной станции становится возможность дистанционного запуска при открытых/закрытых задвижках на трубах напорных сетей. Кроме того, пожарные насосы в системе пожаротушения будут работать более эффективно с диспетчерского пункта. При этом обеспечивается срабатывание автоматики, при котором включаются только насосы, задействованные в пожаротушении.

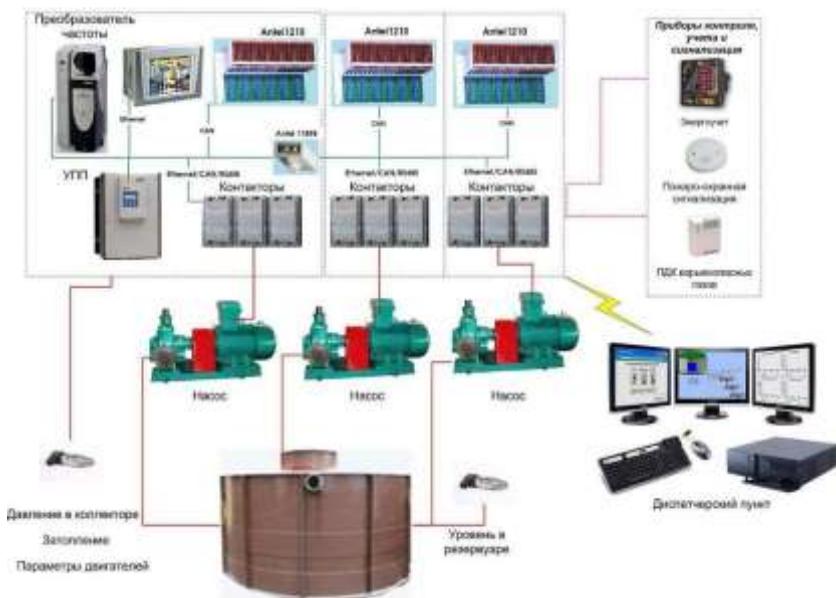


Рисунок 7.1 – Визуализация автоматизации насосной станции
(<https://dc-region.ru/proyekt-avtomatizatsii-nasosnoy-stantsii>)

- Функции системы автоматизированного управления насосной станцией:
- выдержка времени между операциями, которые связаны с пуском насосного оборудования;
 - передача сигнала для пуска/остановки агрегатов;
 - организация пуска оборудования в определенной последовательности;
 - поддержание оптимальных параметров разрежения во всасывающей линии;
 - открывание/закрывание задвижек при пуске/остановке насосов;

- отключение рабочего агрегата и включение резервного насоса в случае нарушения режима работы оборудования;
- контроль корректности пуска, работы и остановки оборудования;
- передача соответствующих сигналов на пульт диспетчера;
- контроль температуры подшипников, позволяющих избежать сложных поломок и аварийных ситуаций;
- поддержание оптимальных эксплуатационных параметров в системе.

Таким образом, используя вышеизложенные технические возможности по автоматизации технологического процесса, передачи воды насосными станциями делают их работу экономически и энергетически эффективной.

7.3 Технологические параметры, подлежащие контролю на канализационных насосных станциях

Канализационные насосные станции (КНС) следует преимущественно проектировать с управлением без постоянного обслуживающего персонала. При этом следует предусматривать следующие виды управления:

- *автоматическое* управление насосными агрегатами – в зависимости от уровня сточной воды в приемном резервуаре;
- *местное*, с периодически приходящим персоналом и с передачей необходимых сигналов на диспетчерский пункт.

В КНС, оборудованных агрегатами с электродвигателями мощностью свыше 100 кВт с электропитанием от собственных трансформаторных подстанций, следует учитывать возможность появления ударных толчков нагрузки в трансформаторах.

В КНС, оборудованных агрегатами с высоковольтными электродвигателями, не допускающими их автоматизацию «по уровню» в связи с невозможностью обеспечения необходимой частоты включения приводов масляных выключателей из-за малого ресурса или ограниченной частоты включения электродвигателей, следует рассматривать возможность использования регулируемого электропривода. Регулируемым электроприводом следует оборудовать преимущественно один насосный агрегат в группе из двух-трех рабочих агрегатов. Управление регулируемыми электроприводами следует осуществлять автоматически и в зависимости от уровня в приемном резервуаре.

На КНС, имеющих сложные коммуникации, требующие частых переключений, а также технологическое оборудование, не приспособленное для автоматизации при наличии постоянного обслуживающего персонала, управление агрегатами должно производиться централизованно со щитов управления.

На автоматизированных КНС, независимо от категории надежности действия, при аварийном отключении насосных агрегатов следует осуществлять автоматическое включение резервного агрегата.

При аварийном затоплении КНС следует предусматривать автоматическое отключение основных насосных агрегатов и закрытие запорной арматуры, обеспечивающей прекращение дальнейшего поступления сточных вод в машинное отделение и приемный резервуар, за исключением КНС, оснащенных герметичными моноблочными насосными агрегатами, не теряющих работоспособность при затоплении.

Запуск насосных агрегатов должен преимущественно производиться при открытых задвижках, установленных на напорном трубопроводе. Запуск насосных агрегатов при закрытых задвижках следует предусматривать при опасности гидравлических ударов, а также при наличии требований, связанных с запуском синхронных электродвигателей.

В КНС следует контролировать технологические параметры указанные в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Технологические параметры, подлежащие контролю на насосных станциях [39]

Контролируемый параметр	Вид информации	Цель измерения или сигнализации
Расход перекачиваемой сточной воды (при необходимости) или регистрация времени работы насосов (моточасы)	Измерение	Контроль, регулирование подачи насосной станции
Уровни сточных вод в приемном резервуаре	То же	Контроль
Уровни сточных вод в дренажном приемке	Измерение и сигнализация	Контроль, отключение
Уровень взрывоопасной концентрации паров сточных вод	То же	То же
Давление в напорных трубопроводах	»	»
Давление, развиваемое каждым насосным агрегатом	»	»
Давление воды в системе гидроуплотнения (при ее наличии)	»	»
Температура подшипников (при необходимости)	»	»
Температуру обмоток двигателей насосных агрегатов (при необходимости)	»	»

При отсутствии постоянного обслуживающего персонала должна быть предусмотрена передача общего сигнала о неисправности на диспетчерский пункт или пункт с круглосуточным дежурством.

Одним из основных назначений систем автоматического управления канализационных станций является поддержание в заданных пределах уровня жидкости в приемных резервуарах.

Электродные датчики, используемые для контроля залива насосов, широко применяются также для контроля наличия воды в трубопроводах при эксплуатации автоматизированных насосных станций. Схема автоматического управления насосной станцией с двумя агрегатами приведена на рисунке 7.2.

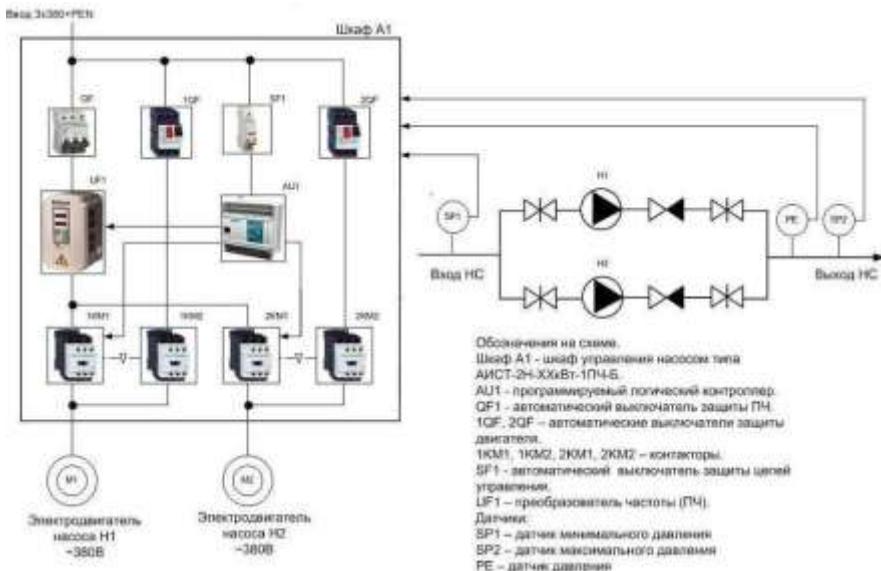


Рисунок 7.2 – Схема автоматического управления насосами при использовании релейной аппаратуры и шкафа управления

Задача автоматизированной системы управления канализационной насосной станции – контроль за уровнем сточных вод в резервуаре и работой двигателей насосов.

Принцип работы автоматики КНС заключается в поступлении сточных вод в резервуар, в котором установлены два погружных насоса, которые выкачивают сточные воды в централизованную канализационную систему. Отслеживание уровня происходит по поплавковому уровнемеру по трем точкам (рисунок 7.3). Все изменяющиеся состояния датчиков и выключателей отслеживаются программируемым логическим контроллером ОВЕН ПЛК150 с модулем расширения ОВЕН МК110-220 (к примеру).

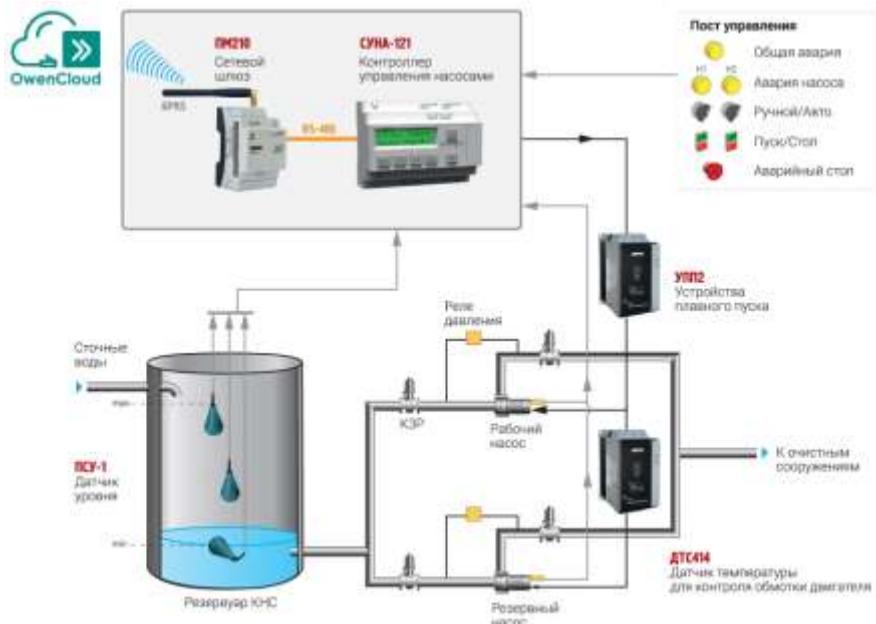


Рисунок 7.3 – Схема автоматизации управления КНС по уровню сточных вод в резервуаре с использованием шкафа управления

ПЛК по заданному алгоритму включает или отключает насосы. Работа насосов осуществляется полностью в автоматическом режиме. При заполнении резервуара стоками до среднего уровня (поплавок, установленный в середине бака) включается в работу один из насосов, который начинает откачивать стоки до достижения нижнего уровня (поплавок, установленный внизу бака). Если по истечении 30 минут уровень в баке остается на среднем уровне, то в работу включается второй насос и откачка стоков начинается в интенсивном режиме.

Предусмотрена попеременная работа насосов, когда система находится не в режиме интенсивной откачки. Запуск двигателей осуществляется при помощи одного плавного пуска двигателя (система при помощи четырех пускателей может по порядку запустить двигатели через один плавный пуск). Работу одного из насосов можно отключить вручную при помощи переключателей на щите.

Верхний уровень стоков (верхний поплавок) сигнализирует об аварийной ситуации и о том, что двигатели не могут откачать стоки. Для надежности был установлен аналоговый датчик уровня, по которому также проис-

ходил контроль уровня сточных вод (использовался аналоговый вход контроллера).

В системе предусмотрен контроль доступа в помещение КНС (установлен концевой выключатель на дверь, контакт которого выведен на ПЛК).

В системе питания предусмотрен автоматический ввод резерва и коммерческий узел учета электроэнергии, а также бесперебойный блок питания на случай обрыва питания.

При помощи GSM/GPRS модема ОВЕН ПМ01, подключенного к контроллеру, осуществляется диспетчеризация работы КНС. Модем отправляет СМС-сообщение с кодом аварии диспетчерам водоканала при возникновении аварийной ситуации. Также диспетчер может сам отправить СМС-сообщение на станцию, чтобы включить систему или выключить один из насосов.

Предусмотрены следующие аварийные ситуации: отключение основного и аварийного электрического ввода, аварийный уровень стоков, перегрузка двигателей, несанкционированный доступ в помещение КНС.

7.4 Функциональные схемы автоматизации КНС

В современных насосных станциях для их управления применяются программируемые контроллеры. Фрагмент данной схемы приведен на рисунке 7.4. Основным управляющим элементом является программируемый контроллер **1В**. Он позволяет управлять работой насосной станции как

в автоматическом режиме, так и в режиме ручного управления с помощью кнопочной станции **1Е**.

Но ручное управление производится всё равно под управлением программируемого контроллера, только ему этот режим задаётся переключателем **1Д**. В данном случае контроллер следит за соблюдением всех режимов пуска и остановкой насосных агрегатов, а при нарушении этих режимов он отменяет действия оператора.

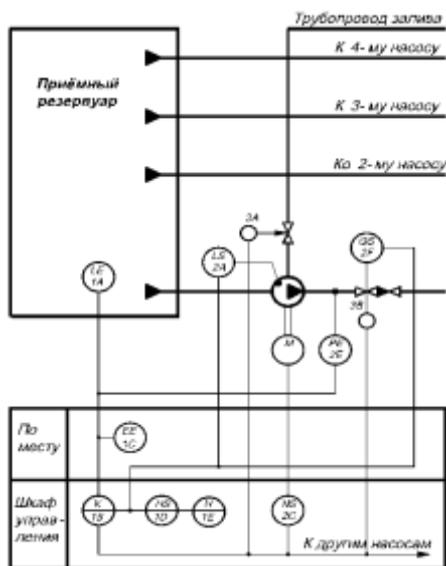


Рисунок 7.4 – Функциональная схема автоматизации канализационной насосной станции с применением программируемого контроллера

В режиме автоматического регулирования контроллер **1В** на основании данных измерителя уровня **1А** производит управление пусковой аппаратуры **2С** насосных агрегатов, напорных задвижек **3В** и электромагнитным вентилем **3А**. При этом все необходимые временные интервалы и ответные действия на сигналы концевого выключателя **2F** задвижки, датчиков-измерителей напорного давления **2Е** и реле залива **2А** необходимо заложить уже в саму рабочую программу контроллера. Одновременно контроллер должен следить за величиной тока и напряжения электропривода. Если эти данные не предусмотрены в пусковой аппаратуре привода, нужно включить в схему специальные датчики **1С** тока и напряжения.

Если насосные агрегаты не требуют залива, схема автоматизации остаётся практически неизменной, в ней исключаются только те элементы, которые относятся к процессу залива: трубопровод залива, электромагнитный вентиль **3А** залива и реле залива **2А**.

Общая структурная схема автоматизации управления артезианской скважины, водонапорной станции и канализационно-насосной станции с использованием контроллера и облачных технологий представлена на рисунке 7.5. На вышеуказанных объектах установлены локальные системы автоматики, реализованные на самых различных контроллерах. Некоторые из них имеют встроенную «фирменную» систему программирования, другие являются «открытыми» (свободно-программируемые).

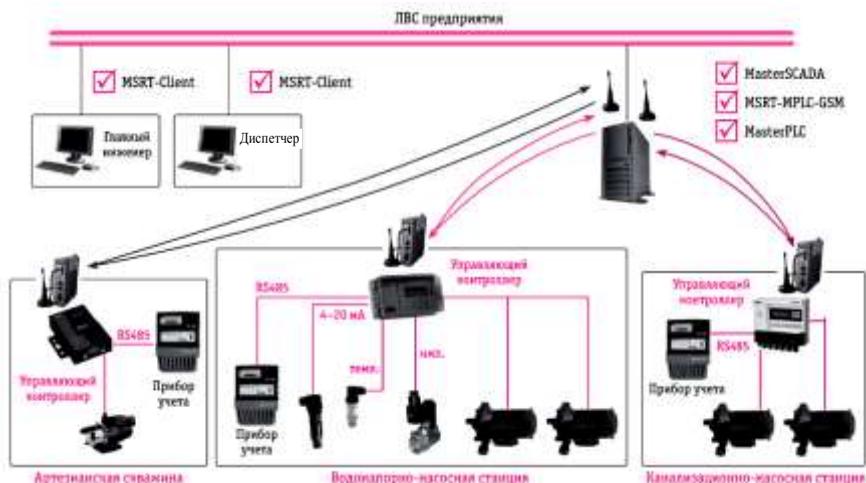


Рисунок 7.5 – Структурная схема комплексной системы диспетчеризации объектов водоканала с использованием контроллеров и облачных технологий (<https://opc-server.insat.ru/upload/medialibrary/e52/Рис.%201.png>)

8 ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

8.1 Технологические параметры, подлежащие контролю на водозаборных сооружениях

На водозаборах подземных вод при переменном водопотреблении рекомендуется предусматривать следующие способы управления насосами [41]:

– дистанционное или телемеханическое – по командам из пункта управления;

– автоматическое – в зависимости от уровня воды в резервуаре;

– автоматическое – по давлению в сети.

Технологические параметры, подлежащие контролю на водозаборных сооружениях, приведены в таблице 8.1 [41].

Таблица 8.1 – Технологические параметры, подлежащие контролю на водозаборных сооружениях

Контролируемый параметр	Вид информации	Цель измерения или сигнализации
<i>Водозаборные сооружения поверхностных вод</i>		
Уровень воды в водоеме и водоприемном колодце	Измерение	Контроль
Перепад уровней на вращающихся сетках	Сигнализация	Автоматизация промывки
<i>Водозаборные сооружения подземных вод</i>		
Температура в наземном павильоне или заглубленной камере	Сигнализация	Контроль, автоматизация электроотопления
Расход воды от каждого водозаборного сооружения	Измерение	Контроль
Аварийный уровень воды в скважинах, в приемных колодцах	Сигнализация	Отключение насоса
Давление в напорном трубопроводе каждого водозаборного сооружения	Измерение	Контроль
Открывание дверей	Сигнализация	То же

В диспетчерском пункте монтируется щиток с контроллером, а также компьютер. Контроллер связывается с компьютером посредством беспроводной связи через Ethernet.

Разберем структурную схему АСУ водоснабжения (рисунок 8.1).

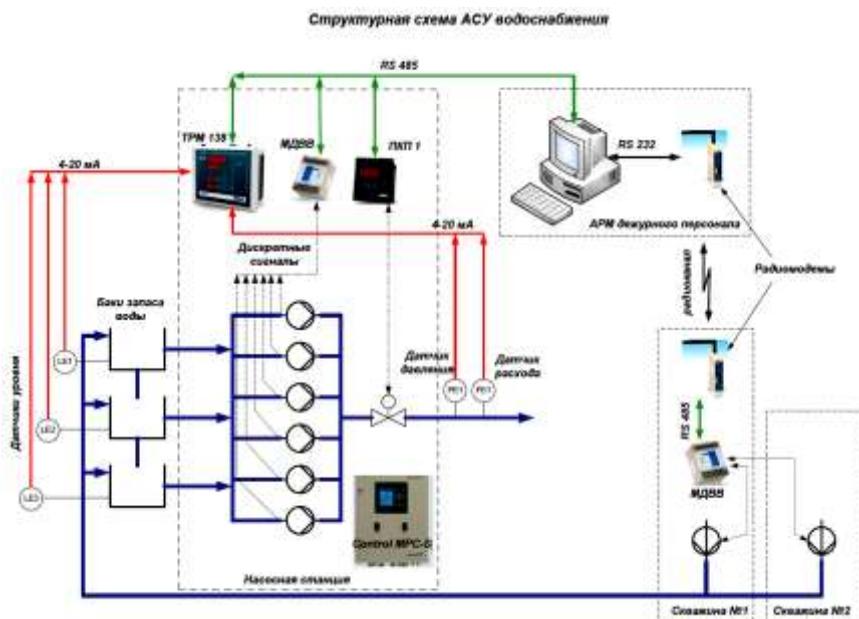


Рисунок 8.1 – Структурная схема АСУ водоснабжения из подземных скважин

Скважины автоматизированной системы водоснабжения и водоотведения оборудуются блоками ввода и вывода, датчиками для контроля над напряжением и давлением, счетчиками импульсов, механизмом плавного запуска.

Станции водозабора оборудуются блоками ввода и вывода, датчиками тока и давления, счетчиками импульсов. Блок защиты двигателя устанавливается на каждый насос.

В резервуарах чистой воды устанавливают уровнемеры.

На выходе в водопроводную сеть устанавливают манометр и расходомер.

Для соединения всех источников забора воды и станций используется кабель типа «витая пара».

Автоматизация процесса водоснабжения осуществляется с помощью:

- измерительных преобразователей;
- датчиков для измерения показателей и расхода воды;
- блоков ввода данных и вывода;
- исполнительных механизмов;
- контроллера.

Измерительные преобразователи преобразуют контролируемые параметры или сигналы в удобную для хранения или обработки форму.

Датчики определяют характеристики, регулируют и сигнализируют о неполадках в процессах.

Модули (блоки) ввода и вывода переводят информацию, полученную от датчиков, в удобный для обработки формат и поставляют далее на контроллер.

Исполнительный механизм получает сигнал от контроллера и преобразует его в движение. Схема исполнительного механизма автоматизации водоснабжения состоит из реле, гидравлического или пневматического привода, двигателя.

Контроллер управляет технологическими процессами, используя данные датчиков. В отличие от бытовых компьютеров, промышленные контроллеры оснащены мощной системой ввода и вывода сигналов с периферии. Они не требуют постоянного контроля и выдерживают неблагоприятные климатические условия.

Для доставки информации с периферии в пункт управления используются различные виды связи.

В результате АСУ насосы работают без присутствия человека, обеспечивают заданный напор в водопроводных трубах. Эффективно работает схема, когда один насос ведущий, другие – ведомые. Контроллер автоматизированной системы водоснабжения подсчитывает количество часов, наработанных каждым насосом, анализирует ошибки оборудования: обрывы или замыкания в цепях, отсутствие связи с датчиками, скачки напряжения, аварийные пределы. Если датчик ломается, на пульт управления приходит информация об этом. В автоматическом режиме контроллер разрешает насосу работать, регулируя расход воды и поток.

8.2 Автоматизация сооружений по очистке природных вод

Использование природных поверхностных вод (водоподготовка) для организации хозяйственно-питьевого водоснабжения в Республике Беларусь используется ограниченно и имеет свои особенности. Открытые водоемы подвергаются антропогенному загрязнению, и очистка природных вод от них является дорогостоящим и энергозатратным процессом. Особенности технологии очистки поверхностных природных вод заключаются в том, что они содержат большое количество органических загрязнений, коллоидных веществ, взвесей, повышенные показатели мутности и цветности, наличие промышленных загрязнителей, высокое микробное загрязнение и требуют многоступенчатого подхода. В настоящее время реализуются системы, которые включают пять стадий очистки: механическая, реагентная обработка (осветление, коагуляция, отстаивание); фильтрация на фильтрах с гравийно-песчаной загрузкой; фильтрация на угольных фильтрах, обеззараживание.

Данных этапов достаточно для получения исходной питьевой воды, если качество источника отвечает санитарным нормам.

Разберем основные этапы автоматизации этих сооружений.

Реагентное хозяйство. Для уменьшения трудоемкости, исключения контакта людей с реагентами и их экономного расходования все операции, связанные с использованием химических реагентов на водоочистных станциях, максимально автоматизируются. Для упрощения автоматизации технологическая схема реагентного хозяйства должна быть построена по блочному принципу без усложняющих переключений оборудования.

В качестве дозирующих устройств растворов коагулянтов и других реагентов в автоматизированных системах рекомендуется применять насосы-дозаторы, регулирующие клапаны и бункерные дозаторы.

При использовании плунжерных насосов-дозаторов необходимо предусматривать полную очистку раствора от абразивного шлама в отстойниках, гидроциклонах или других устройствах.

Применение плунжерных насосов-дозаторов для дозирования известковой суспензии не рекомендуется. Для дозирования известковой суспензии рекомендуется применять бункерные дозаторы.

Плунжерные насосы-дозаторы предусматриваются, как правило, при постоянных расходах обрабатываемой воды. Регулирующие клапаны должны запитываться из баков постоянного уровня или через регуляторы напора.

Бункерные дозаторы следует устанавливать выше расходных баков.

При дозировании в напорный трубопровод растворы реагентов подаются во всасывающую линию насосов.

Системы автоматического дозирования раствора коагулянта в обрабатываемую воду рекомендуется выполнять:

- по соотношению расходов обрабатываемой воды и раствора коагулянта;
- по заданному приращению удельной электрической проводимости воды, смешанной с коагулянтом.

При всех системах дозирования оптимальную дозу коагулянта следует устанавливать пробным коагулированием.

Отстойники, осветлители. В отстойниках и осветлителях предусматривается устройство для автоматического контроля предельного уровня осадка. Автоматизация выпуска осадка должна осуществляться в тех случаях, когда предусмотренная проектом частота выпуска осадка из каждой секции больше одного раза в сутки.

Автоматизацию выпуска осадка следует осуществлять по достижении предельного уровня (ПУ), при котором сигнал от датчика уровня осадка должен подаваться на привод выпускной задвижки, или при механизированном удалении осадка на привод соответствующего оборудования, например, скребков.

Возможно дистанционное управление выпуском осадка по сигналу о достижении ПУ. Продолжительность выпуска осадка должна уточняться в процессе эксплуатации.

При автоматическом выпуске осадка вводится блокировка, исключая, как правило, возможность одновременного выпуска осадка из нескольких отстойников или осветлителей.

Фильтры, контактные осветлители. На фильтрах регулирование скорости фильтрации осуществляется по расходу фильтрованной воды или по уровню воды в фильтре.

При регулировании по уровню воды в фильтрах должно быть обеспечено равномерное распределение ее между фильтрами, находящимися в работе.

В качестве дросселирующего устройства в регуляторах скорости фильтрации рекомендуется применять дисковые затворы и дроссельные поворотные заслонки. Допускается применение простейших поплавковых клапанов.

В тех случаях, когда скорость фильтрации необходимо изменять, применяются управляемые регуляторы скорости фильтрации, позволяющие регулировать режим работы фильтров дистанционно с пульта управления.

Вывод фильтров на промывку рекомендуется осуществлять по потере напора в загрузке или по положению дросселирующего органа, установленного на трубопроводе фильтрованной воды.

Допускается вывод фильтров на промывку по сигналу о повышении уровня в фильтре или по временной программе.

На станциях очистки воды с числом фильтров свыше 10 автоматизируется процесс промывки. При числе фильтров до 10 предусматриваются сигнализация о необходимости вывода фильтра на промывку и полуавтоматическое сблокированное управление промывкой с пультов или щитов.

Схема автоматизации процесса промывки фильтров и контактных осветлителей должна обеспечивать выполнение в определенной последовательности следующих операций: управление по заданной программе затворами и задвижками на трубопроводах, подводящих и отводящих обрабатываемую воду, пуск и остановка насосов промывной воды и воздуходувок при водовоздушной промывке.

В схемах автоматизации следует предусматривать блокировку, допускающую, как правило, промывку только одного фильтра.

Автоматический вывод фильтров на промывку возможен при наличии запаса промывной воды в резервуаре. При подаче промывной воды насосами перед промывкой фильтров рекомендуется предусматривать автоматический выпуск воздуха из трубопровода промывной воды. Продолжитель-

ность промывки следует устанавливать по времени или по мутности промывной воды в отводящем трубопроводе.

На ионитовых фильтрах процесс регенерации рекомендуется автоматизировать. Вывод на регенерацию катионитовых фильтров рекомендуется предусматривать по остаточной жесткости обработанной воды, анионитовых фильтров – по электропроводности воды.

Допускается полуавтоматический режим управления фильтрами, при котором вывод фильтра на регенерацию осуществляется по команде дежурного.

Процесс регенерации фильтров автоматизируется:

- взрыхление и отмывка загрузки – по времени;
- подача регенерационного раствора – по объему или по времени;
- включение фильтра в работу по окончании процесса регенерации.

Смешивание воды, прошедшей Na-катионитовые и H-катионитовые фильтры, осуществляется по заданному значению рН смешанной воды или по ее щелочности.

Технологические параметры, подлежащие контролю на станциях очистки и подготовки воды, приведены в таблице 3 [41].

Таблица 8.2 – Технологические параметры, подлежащие контролю на станциях очистки и подготовки воды

Контролируемый параметр	Вид информации	Цель измерения или сигнализации
<i>Общие параметры для площадки очистных сооружений</i>		
Расход исходной воды	Измерение	Автоматизация дозирования реагентов, контроль
рН исходной и обработанной воды	То же	Контроль
Концентрация остаточного хлора в обработанной воде	»	Контроль, автоматизация дозирования
Концентрация фтора в обработанной воде	»	То же
Мутность исходной воды	»	Контроль
<i>Реагентное хозяйство</i>		
Расход реагентов (хлора, коагулянта, извести и др.) при необходимости	Измерение	Контроль, автоматизация дозирования
Уровень в баках раствора реагентов	Сигнализация	Контроль, автоматизация приготовления
Предельная концентрация хлора или озона в помещении	То же	Контроль, автоматическое включение вентиляции
Концентрация раствора реагентов	Измерение	Контроль, автоматизация приготовления и дозирования
Давление в воздуходушных и компрессорных установках	То же	Контроль

Окончание таблицы 8.2

Контролируемый параметр	Вид информации	Цель измерения или сигнализации
<i>Отстойники и осветлители</i>		
Расход воды, проходящей через каждый осветлитель, отстойник	Измерение	Контроль распределения воды между осветлителями, отстойниками
Уровень осадка	Сигнализация	Контроль, автоматизация выпуска осадка
Мутность отстоенной воды	Измерение	Контроль
<i>Фильтры, контактные осветители</i>		
Уровень воды в фильтрах, контактных осветителях	Сигнализация	Контроль, регулирование уровня, вывод на промывку
Потери напора в фильтре, контактном осветителе	Измерение	Контроль, вывод на промывку
Скорость фильтрования	То же	Контроль, регулирование производительности
Расход промывной воды	»	Контроль
Давление промывных насосов	»	То же
Уровень в баках промывной воды	Сигнализация	Контроль, автоматизация заполнения бака
Мутность фильтрованной воды	Измерение	Контроль
Расход воздуха в воздухоподводящих и компрессорных установках	То же	То же
Цветность фильтровальной воды	»	»
<i>Ионитовые фильтры</i>		
Жесткость воды	Измерение	Вывод на регенерацию
Солесодержание	То же	То же
Расход воды на каждом фильтре	»	Контроль

8.3 Автоматические устройства водопроводных сетей

Регулирование режима работы водопровода в зависимости от его назначения, схемы управления и состава сооружений осуществляется за счет изменения режима работы насосов: по давлению в напорном коллекторе насосной станции, расходу воды в водоводе, давлению в диктующих точках и уровню воды в регулирующих резервуарах.

Технологические параметры, подлежащие контролю на водоводах, сети и регулирующих емкостях, приведены в таблице 8.3 [41].

При регулировании по давлению в диктующих точках сети их число и ориентировочное расположение определяются гидравлическим расчетом сети, уточнение – в процессе эксплуатации водопровода.

В водопроводной сети и связанных с ней сооружениях в качестве основных средств регулирования используются:

- для распределения потоков воды – электрифицированная запорная арматура,
- для регулирования давления или расхода – насосы с регулируемым приводом.

Таблица 8.3 – Технологические параметры, подлежащие контролю на водоводах, сети и регулирующих емкостях

Контролируемый параметр	Вид информации	Цель измерения или сигнализации
Давление и расход в водоводах	Измерение	САР работы сети и сооружений
Повреждение водоводов	Сигнализация	Автоматический контроль целостности водоводов
Уровень воды в водонапорных башнях и резервуарах	То же	САР работы сети и сооружений
Давление в диктующих точках	»	То же
Расход в линиях сети (при необходимости)	Измерение	»

Автоматическая оптимизация режима водопроводных сетей является основным звеном комплексной автоматизации систем водоснабжения и основным источником экономии средств на подачу воды потребителям.

Автоматические устройства применяют на водопроводных сетях для следующих целей:

- автоматического регулирования расходов и давлений воды в сетях в зависимости от колебаний водопотребления;
- аварийной защиты и отключения трубопроводов при их повреждении, нахождения мест повреждения с помощью автоматически действующих приборов;
- автоматического управления водонапорными башнями, автоматического контроля и сигнализации уровней воды в резервуарах;
- автоматического управления местными насосными установками, предназначенными для повышения напора в водопроводной сети микрорайонов или отдельных зданий.

Оптимальный режим совместной работы разводящей водопроводной сети, насосных станций и регулирующих емкостей позволяет в эксплуатационных условиях достигать минимальных затрат электроэнергии и бесперебойной подачи воды потребителям.

Необходимость автоматического управления технологически изученной и отлаженной системой водоснабжения определяется непрерывными колебаниями водопотребления по часам суток в значительных пределах. С помощью автоматических устройств в режиме слежения за водопотреблением обеспечивается бесперебойная подача воды водопотребителям без избыточных напоров в сети, т. е. при минимальных затратах.

Автоматические устройства находят применение на водопроводных сетях для решения частных задач управления регулирующими емкостями, местными водонапорными установками и подачей воды для целей пожаротушения.

Для повышения напора в водопроводной сети микрорайонов или отдельных зданий применяются автоматические установки без регулирующей емкости, которые управляются с помощью реле давления.

В ряде случаев на водоводах большого диаметра устанавливается автоматический гаситель гидравлических ударов.

На водопроводных сетях применяют устройства для автоматической локализации поврежденных участков. Для этого используют автоматически действующие клапаны или электрические схемы, воздействующие на привод задвижки при возникновении нарушения равенства дистанционно измеряемых расходов воды в конечных точках защищаемого трубопровода, не имеющего ответвления на этом участке.

Для создания такой системы автоматического управления разветвленной сетью водоснабжения наиболее сложным вопросом является получение информации о расходах и напорах воды в многочисленных так называемых характерных точках сети, разбросанных на значительных расстояниях. В простейшем случае контроль режима в сети может осуществляться с помощью простых и надежных электроконтактных манометров.

Автоматическая оптимизация режима водопроводных сетей является основным звеном комплексной автоматизации систем водоснабжения и основным источником экономии средств на подачу воды потребителям.

9 АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД

9.1 Общие положения

При проектировании станции очистки сточных вод следует предусматривать:

- устройства для равномерного распределения сточных вод и осадка между отдельными сооружениями, а также для отключения сооружений, каналов и трубопроводов на ремонт без нарушения режима работы комплекса, для опорожнения и промывки сооружений и коммуникаций;
- устройства для измерения расходов сточных вод, осадка, воздуха, биогаза;
- максимальное использование вторичных энергоресурсов (биогаза, тепла сжатого воздуха и сточных вод) для нужд станции очистки;
- устройство опломбированного аварийного выпуска из приемной камеры и после сооружений механической очистки;
- оборудование для контроля качества поступающих и очищенных сточных вод;
- автоматизацию процессов, связанных с эксплуатацией и контролем очистки сточных вод.

Категория надежности электроснабжения электроприемников объектов систем канализации, электроснабжения насосных и воздуходувных станций должна соответствовать их категории надежности действия в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПЭУ).

В системах технологического контроля необходимо предусматривать:

- средства и приборы постоянного контроля;
- средства периодического контроля, в том числе для наладки и проверки работы сооружений.

Технологический контроль качественных параметров сточных вод следует предусматривать путем непрерывного инструментального контроля или лабораторными методами.

В конструкциях сооружений канализации следует предусматривать узлы, закладные детали, проемы, камеры и прочие устройства для установки средств электрооборудования и автоматизации; на соединительных линиях – устройства, предотвращающие негативное воздействие на средства электрооборудования и автоматизации.

Так как очистные сооружения сточных вод являются технически сложным комплексом емкостного реакционного оборудования, связанного еди-

ным технологическим циклом, то перед системами автоматизации ставится ряд следующих задач:

- автоматический контроль за параметрами технологического процесса;
- автоматическое регулирование параметров процесса;
- дистанционное управление технологическим процессом, насосным и дозирующим оборудованием, оборудованием по обезвоживанию осадка;
- автоматический контроль оборудования обеззараживания сточных вод, прошедших полную биологическую очистку.

При создании автоматизированных систем управления очистными сооружениями основополагающим является её принцип построения как системы передачи данных.

Вся информация с объекта управления со всех систем, узлов и отдельных устройств поступает в локальную сеть и становится доступной авторизованному пользователю.

До настоящего времени типовым решением «устройств предоставления информации» оператору в проектах по автоматизации являлось применение шкафов управления и сигнализации, состоящих, как правило, из двух частей: щита с коммутационным оборудованием (реле и контакторы) (рисунок 9.1, *а*), устанавливаемого вблизи оборудования в производственном здании, и, непосредственно, щита сигнализации (ЩС) (рисунок 9.1, *б*), устанавливаемого на рабочем месте оператора очистных сооружений.

На такой ЩС сводится вся информация о работе насосов, состояния различных датчиков, задвижек и аварийная сигнализация, извещающая о нестандартных ситуациях оборудования очистки сточных вод. Число контролируемых устройств может быть до 40. Размер щита – 1200×800 мм.

Цифровизация оборудования позволила предложить альтернативные решения «устройств предоставления информации» оператору в проектах по автоматизации с использованием программируемых, логических промышленных контроллеров (рисунок 9.2). Их отличает высокая надёжность, понятный интерфейс и широкая линейка от различных производителей.

Размер контроллера – 150×150 мм, количество контролируемых устройств – до 100. Он предоставляет информацию о состоянии и управляет работой устройств в соответствии с логикой технологического процесса, освобождая от этого оператора.

Оператору достаточно выбрать на интерактивном сенсорном экране любой агрегат, и принять решение о необходимости влияния на автоматический процесс очистки сточных вод.

а)



б)



Рисунок 9.1 – Типовые шкаф управления (а) и щит сигнализации (б)



Рисунок 9.2 – Внешняя панель контроллера «Segnetics» российского производства

Таким образом, объем автоматизации и степень оснащения сооружений канализации средствами технологического контроля необходимо устанавливать в зависимости от их производительности, режима работы, степени ответственности, требований к надежности и энергоэффективности на основании технико-экономического обоснования.

Для обеспечения централизованного управления и контроля работы сооружений следует предусматривать диспетчерское управление системой канализации, где все параметры КНС выводятся на мнемосхему (рисунок 9.3).

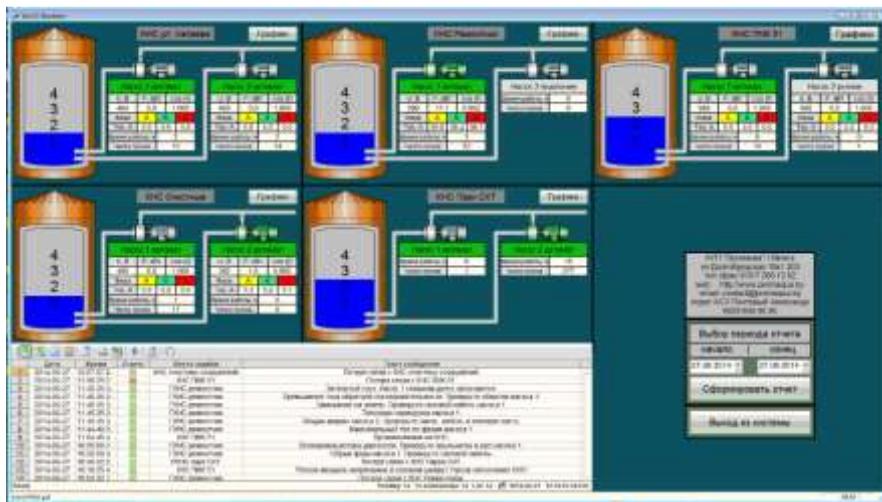


Рисунок 9.3 – Мнемосхема диспетчерского пункта по управлению насосными станциями

Мнемосхема является графическим изображением технологического процесса (технологической линии). Она позволяет оператору быстро оценить ход процесса. На мнемосхеме отражаются все основные контуры управления. Направление основного технологического процесса на мнемосхеме принимается, как правило, слева направо.

Организация контроля качества очищенной воды зависит от размеров и возможностей станции очистки стоков. Если расход стоков контролируется на входе сооружений, то минимальная комплектация данной точки контроля может включать только автоматический пробоотборник. Оснащение точки контроля очищенных стоков автоматическими пробоотборниками не только позволяет обеспечить адекватный отбор среднесуточных проб, но и анализировать пробы, соответствующие часам максимума, когда возможны залповые выносы ила и повышения концентраций других веществ.

Поскольку вынос ила из вторичных отстойников наиболее характерное нарушение процесса очистки в часы максимума, то дополнительная установка оптического датчика концентрации взвешенных веществ с его подключением к автоматическому пробоотборнику для отбора в часы выноса является необходимым составом приборов контроля для станций небольшой и средней производительности (от 50 до 200 тыс. м³/сут).

Связь между диспетчерским пунктом и контролируемыми объектами, а также помещениями дежурного персонала и мастерскими следует осуществлять посредством прямой диспетчерской связи. Следует преимущественно предусматривать прямую диспетчерскую связь между диспетчерским пунктом канализации и диспетчерским пунктом энергохозяйства объекта производства, а в случае его отсутствия – с центральным диспетчерским пунктом объекта производства. Следует рассматривать возможность использования для диспетчерского управления систем локальных сетей, беспроводных систем связи и передачи данных при обеспечении достаточной надежности эксплуатации, в том числе путем дублирования (рисунок 9.4).

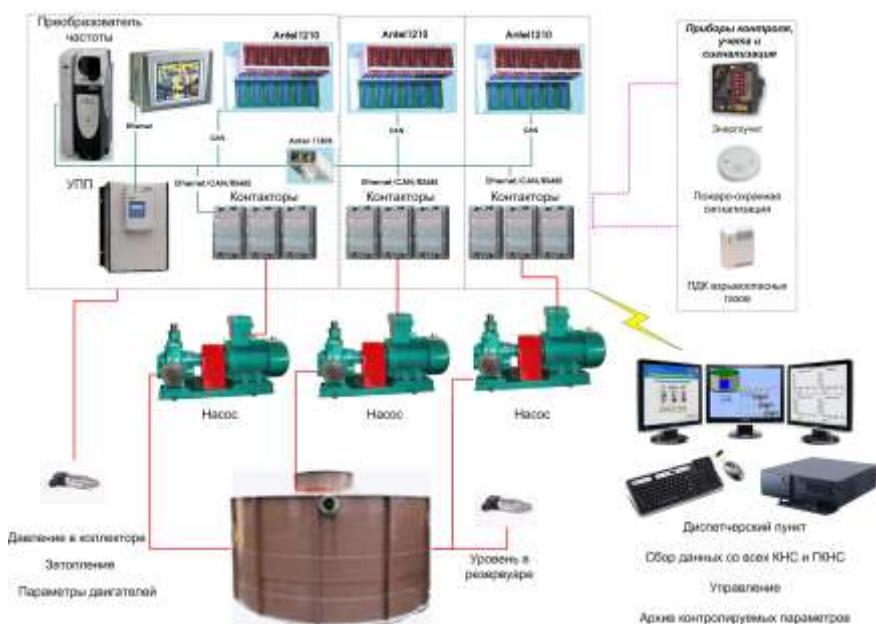


Рисунок 9.4 – Передача данных с КНС на диспетчерский пункт

Из контролируемых сооружений на диспетчерский пункт должны передаваться только те сигналы и измерения, без которых не могут быть обеспечены оперативное управление и контроль работы сооружений, скорейшая ликвидация и локализация аварий.

На диспетчерский пункт очистных сооружений следует передавать:

- а) данные измерений:

- расхода сточных вод, поступающих на очистные сооружения (рисунок 9.5), и (или) расхода очищенных сточных вод;
 - рН сточных вод (при необходимости);
 - концентрации растворенного кислорода в иловой смеси технологических сооружений биологической очистки (при необходимости);
 - температуры сточных вод;
 - общего расхода воздуха, подаваемого на аэротенки;
 - расхода циркуляционного активного ила;
 - расхода циркулирующей иловой смеси;
 - расхода избыточного активного ила;
 - расхода сырого осадка, подаваемого на сооружения для его обработки;
- б) сигналы:
- аварийного отключения оборудования;
 - нарушений технологического процесса;
 - предельных уровней сточных вод и осадков в резервуарах, в подводящем канале здания решеток;
 - предельной концентрации взрывоопасных газов в производственных помещениях.

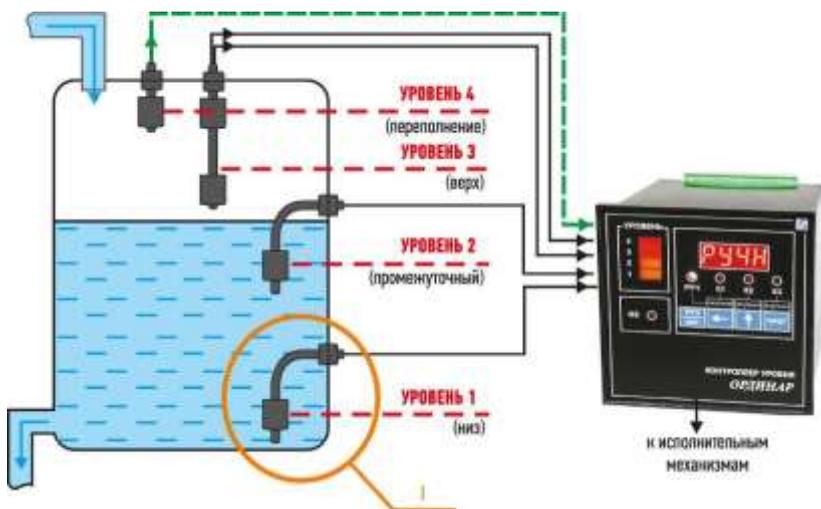


Рисунок 9.5 – Схема автоматизации измерения уровня воды в резервуарах

При необходимости помещения диспетчерских пунктов следует блокировать с технологическими сооружениями, производственным корпусом, воздуходувной станцией. При размещении диспетчерского пункта в воздуходувной станции следует предусматривать звукоизоляцию.

9.2 Параметры для автоматизации технологических процессов очистки сточных вод

Автоматизацию технологических процессов очистки сточных вод и обработки их осадков следует принимать согласно указаниям изготовителей применяемого оборудования с определением необходимого объема контрольно-измерительной аппаратуры и сигнализации основных параметров работы оборудования и сооружений.

Очистные сооружения следует оснащать приборами измерения расхода поступающей на очистку и очищенной сточной воды, также приборами измерения расхода осадка, подаваемого на сооружения по его обработке, и приборами измерения расхода иловой воды, возвращаемой на сооружения по очистке сточных вод.

Технологические параметры, подлежащие контролю на очистных сооружениях, приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Технологические параметры, подлежащие контролю на очистных сооружениях

Контролируемый параметр	Вид информации	Цель измерения или сигнализации
<i>Механизированные решетки</i>		
Перепад уровня сточной воды до и после решетки	Измерение Сигнализация	Контроль Автоматизация по заданной программе
<i>Песколовки</i>		
Уровень песка	Сигнализация	Автоматизация по заданной программе
<i>Первичные отстойники (радиальные или горизонтальные)</i>		
Уровень осадка	Измерение	Контроль Автоматизация выпуска осадка по программе или уровню
<i>Усреднитель</i>		
pH на выходе	Измерение	Контроль
<i>Усреднитель, аэрируемые песколовки, преаэрактор и биокоагулятор</i>		
Сжатый воздух	Измерение	Контроль расхода
<i>Аэротенки</i>		
Иловая смесь	Измерение	Контроль
Активный ил	То же	То же
Расход воздуха	»	Регулирование подачи воздуха по концентрации растворенного кислорода в сточной воде
<i>Высоконагружаемые биофильтры</i>		
Расход поступающей и рециркуляционной воды	Измерение	Контроль

Окончание таблицы 9.1

Контролируемый параметр	Вид информации	Цель измерения или сигнализации
<i>Вторичные отстойники</i>		
Уровень ила	Измерение	Контроль работы илососов
<i>Илоуплотнители</i>		
Уровень уплотненного ила	Измерение	Автоматизация выпуска или по заданной программе, или по уровню
<i>Метантенк</i>		
Температура осадка	Измерение	Контроль, автоматизация поддержания заданной температуры осадка
Уровень загрузки	То же	То же
Расход поступающего осадка, пара и газа	»	»
Расход давления пара и газа	»	»
<i>Сооружения механического обезвоживания осадка</i>		
Доза подаваемого реагента	Измерение	Контроль
Уровень осадка в ёмкости вакуум-филтра	То же	То же
Разрежение в ресивере	»	»
Давление сжатого воздуха	»	»
Уровень воды в ресивере	»	»
<i>На выпуске после контакта с хлором</i>		
Концентрация остаточного хлора	Измерение	Контроль

Автоматизация воздуходувок (нагнетателей)

Технологический процесс очистки сточных вод довольно энергоемок. Существенное потребление электроэнергии происходит на этапе биологической очистки воды в аэротенках, очистка воды в которых осуществляется при помощи микроорганизмов и кислорода воздуха, подаваемого мощными нагнетателями (или воздуходувками).

Воздуходувка, как любая компрессорная машина, характеризуется двумя основными параметрами: производительностью и создаваемым избыточным давлением.

В процессах аэрации, как правило, используются аэротенки глубиной от 1 до 7 м, что и определяет диапазон избыточных давлений, создаваемых воздуходувками: от 10 до 80 кПа. Что же касается производительности воздуходувки, то она зависит от объема перерабатываемой установкой воды: чем больше объем, тем больше нужно воздуха.

Воздуходувные агрегаты (нагнетатели) используются на очистных сооружениях для подачи воздуха в аэробные зоны аэротенков. Воздух расхо-

дуется на насыщение кислородом иловой смеси в процессе биологической очистки. Количество подаваемого воздуха, т. е. подача воздуходувными агрегатами, определяется в зависимости от количества растворенного кислорода в иловой смеси и требуемой интенсивности перемешивания. Количество растворенного кислорода в иловой смеси зависит от многочисленных технологических факторов: количества и качества поступающих сточных вод (нагрузки на активный ил), температуры сточных вод, концентрации активного ила и т. д.

Уровень растворённого кислорода в иловой смеси в аэробных зонах аэротенков должен находиться в определенном диапазоне в соответствии с требованиями конкретного технологического процесса и постоянно меняться. Для контроля подачи воздуха в аэротенк по содержанию растворенного кислорода можно использовать стационарные поточные датчики кислорода. При помощи этих датчиков можно не только осуществлять непрерывный мониторинг содержания растворенного кислорода в аэротенках, но и автоматизировать процесс регулирования воздуходувки с применением контроллеров. Экономия электроэнергии при внедрении этого решения может достигать 30 %. Регулирование подачи воздуха в каждый аэротенк осуществляется автоматическими задвижками на подводящих воздуховодах по показаниям датчиков растворенного кислорода, а управление производительностью воздуходувок – по изменению давления в общем воздуховоде.

Выбор контрольно-измерительных приборов для решения указанных задач следует осуществлять с учетом специфики технологического процесса биологических очистных сооружений. При подборе датчиков растворенного кислорода необходимо учитывать, прежде всего, уровень загрязнения сточной воды в аэротенке, для которого датчики должны обеспечивать надежные измерения при минимуме технического обслуживания.

Основные функции АСУ ТП воздуходувных станций:

- непрерывный контроль регулирования воздуходувных агрегатов;
- постоянный контроль и управление кислородным режимом в иловой смеси;
- учет и регистрация значений параметров оборудования (подача воздуха, давление, температура, энергопотребление, удельные расходы и др.);
- контроль нештатных и аварийных ситуаций;
- анализ и статистическая обработка параметров оборудования и технологического процесса.

Автоматизированное управление воздуходувок дает следующие преимущества: бесперебойность и надежность работы; значительная экономия электроэнергии; увеличение срока службы оборудования; централизованное управление группой воздуходувных агрегатов.

9.3 Автоматизация сооружений биологической очистки

Современные очистные сооружения с активным илом потребляют 65–80 % электроэнергии на процессы аэрации и 6–8 % на рециркуляционные процессы, поддерживающие биологические процессы очистки. Эксплуатация сооружений, работающих в условиях колебаний нагрузок (гидравлических и массовых), по законам энергосбережения требует грамотного проектирования технологической части проекта и АСУ ТП.

Представленная на рисунке 9.6 схема выбрана в качестве базовой для рассмотрения основных законов оптимального проектирования. Схема отражает наиболее полный вариант совместного удаления биогенных элементов N и P.

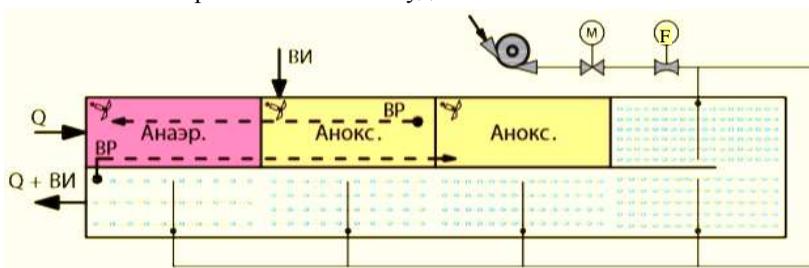


Рисунок 9.6 – Примерная схема раскладки технологических зон и системы аэрации в очистных сооружениях:

Q, VI, VP – соответственно подача сточных вод и возвратного ила, внутреннего рецикла;
Анаэр., Анокс. – зоны анаэробная и аноксидная, разделенные перегородками; М – электропривод воздушной задвижки; F – первичное устройство по определению расхода воздуха для аэрационной системы

Проектирование раскладки аэрационных систем на базе мелкопузырчатых диффузоров целесообразно выполнять по направлениям:

- полное покрытие ширины дна аэрационного коридора (плотность раскладки аэрационной плети, соответствующая расстоянию между диффузорами не более 1,2 м в любом направлении);
- распределение воздуха (или количества диффузоров) по принципу «убывающей аэрации» от начала к концу сооружения;
- поддержание предела перемешивания для плетей аэрации с полным покрытием дна с интенсивностью не менее $2,2 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$.

Необходимость проектирования разделительных перегородок целесообразно оставить на рассмотрение технологом, поскольку она связана с гидродинамическими характеристиками аэротенков. При этом перечислим факторы негативного воздействия соседних зон в случаях бесконтрольного поступления, например:

- растворенного кислорода (КРК) в аноксидную зону (денитрификатор);
- нитритов и нитратов (NO_2 , NO_3) в анаэробную зону (дефосфотации);
- разбавленных доз ила в регенератор с повышенной концентрацией активного ила;
- обратных перемешивающих потоков в селекторы-вытеснители.

Между разделительными перегородками и для поддержания активного ила во взвешенном состоянии устанавливаются электромеханические мешалки и рециркуляционные насосы. Их двигатели могут быть исполнены в соответствии с защитой: IP54 (не погружной, но противостоит пыли и дождю), IP68 (погружной) с встроенными датчиками, которые будут выдавать сведения о работоспособности оборудования.

Распределение технологических датчиков при полной автоматизация процессов требует их расстановки в каждом аэротенке. В некоторых случаях можно достичь солидного энергосберегающего эффекта, размещая датчики по длине аэротенка, что позволит реализовать:

- измерения в диапазоне минимальных погрешностей;
- обработку результирующих;
- оперативное и надежное автоматизированное управление системой SCADA, которая непрерывно обеспечивает: прием сигналов от датчиков для считывания и обработки, а также математические расчеты результирующих величин параметров, включая ПИД-регулирование.

Управление SCADA позволяет вырабатывать управляющие воздействия, которые корректируют технологические режимы работы систем биологической очистки и позволяют определить целесообразность измерения определенных параметров на станции аэрации (СА).

На каждой СА существует лаборатория, которая имеет перечень требуемых для измерения показателей величин загрязняющих воду веществ и технологических показателей, от которых зависит работа СА. Все показатели «расписаны» по точкам отбора проб относительно действующих сооружений, а также по времени/периодичности их отбора. Суть в том, что сбор и обработка данных с измерительных приборов и датчиков имеют две цели:

- для штатных отчетов перед контролирующими инстанциями;
- для управления процессами очистки (данные для технологов).

Расположение технологических датчиков, их назначение и описание контрольных функций представлены в таблице 9.2.

Стратегия управления и автоматизации. Разработка возможностей технологического управления систем биологической очистки первична по отношению к средствам автоматизации. Существуют следующие причины для разработки стратегии управления.

- Нагрузка на очистные сооружения нестационарная, т. е. зависит от уровня и режимов жизни населения. В течение суток и посезонно изменяются исходные параметры по расходам и концентрациям. Эти параметры трудно поддаются математическому описанию, поскольку многофакторны. На них влияют и праздники, и сезонность, и общая протяженность сетей канализации.

- Ресурсы (электроэнергию, реагенты, капитальные затраты и т. д.) традиционно и логически принято экономить повсеместно. Математическое описание экономики ресурсов (как и расчеты инвестиций) зависит от разработки технологической стратегии управления.

Популярно АСУ ТП – это и «железо», и «софт», как выражаются программисты (по-англ. *hardware* и *software*). «Железо» – это приборы, датчики, задвижки, электроприводы различных устройств, частотные преобразователи, кабель, устройства передачи/приема сигналов на расстояние, регуляторы, компьютеры, контроллеры и т. п., т. е. все, что можно потрогать руками. «Софт» – это программное обеспечение, имеет интеллектуальную ценность, в данном случае SCADA или программы контроллеров.

Таблица 9.2 – Расположение технологических датчиков и их назначение

Датчики	Их расположение	Назначение и контроль
NH ₄ (аммония)	Осветленная вода, перед аэротенком	Регистрация технологической нагрузки. Помогает в поиске причин нарушенного процесса
Eh (бесконтактный датчик положения), NO ₂₍₃₎ (оксида азота)	Анаэробная зона	Определение нитратной нагрузки с целью защиты от связанных форм кислорода. Управление фосфатным рециклом
NO ₂₍₃₎ , КПК (концентрация растворенного кислорода)	Нитратный цикл	Определение нитратной нагрузки на аноксидную зону
NO ₂₍₃₎ , КПК, Eh	Аноксидная зона	Необходимость поддержания минимального КПК. Управление нитратным рециклом
КПК, pH, NO ₂₍₃₎ , NH ₄	Аэробная зона	Контроль за процессом удаления органических загрязнений и степени обеспечения нитрификации
Le	Вторичный отстойник	Контроль за уровнем стояния или распределения концентрации активного ила по глубине
КПК	Зона аэрации перед выпуском сточных вод	Контроль за процессами насыщения кислородом перед сбросом вод
Динамические измерения расходомерами		
Датчики: уровня; скорости, перепада давления Расходомеры: индукционные, электромагнитные, ультразвуковые, учет количества часов работы при известной мощности	Лоток исходной и/или очищенной воды	Регистрация и контроль суточных изменений расхода вод как параметра величины суточной технологической нагрузки. Оптимизация процесса очистки и энергосбережения
	Воздуховоды и воздухоподогреватели	Регистрация и контроль суточных изменений подачи воздуха в аэротенки. Оптимизация процесса очистки и энергосбережения
	Трубопровод расхода избыточного ила	Контроль за расходом избыточного ила с целью поддержания возраста активного ила. Оптимизация процесса, обеспечение надежности очистки и ее качества

ПИД-регулирование позволяет соблюдать баланс между текущими величинами параметров (определяются, например, датчиками) и уставками.

Уставки, как правило, задаются технологами или программами оптимизации. Например, если технолог решит, что в зоне аэротенка требуется поддерживать концентрацию растворенного кислорода (КРК) на уровне 2 мг/л, значит он должен ввести в контроллер (с ПИД-регулированием) уставку: SP (set point) = 2.00. Главное назначение прибора с ПИД-регулированием – вырабатывать такие управляющие воздействия на исполнительные устройства, чтобы результат компенсировал разницу между текущими величинами и уставками.

Можно выделить три уровня технологического управления работой систем аэрации: простейший, средней сложности, сложный.

Простейший уровень предполагает адаптацию работы воздухоудовного оборудования для поддержания желаемых концентраций во всех емкостях аэротенков одновременно.

Уровень средней сложности предполагает использование индивидуальных уставок концентраций, контроллеров, управляемых задвижек для каждого отдельного аэротенка. При этом каждый из аэротенков снабжается своим отдельным воздуховодом с управляемой задвижкой, иногда расходомером воздуха.

Сложный уровень предполагает регулирование многочисленных зон и аэрационных плетей, встроенных в каждый из аэротенков. Естественно, каждая выделенная зона или плеть/(их группа) снабжаются управляемой задвижкой и, как правило, расходомером воздуха.

Примеры простого и каскадного автоматизированного управления процессами аэрации на базе измерителя-регулятора (ИР) представлены на рисунке 9.7 в зависимости от показаний датчика КРК. ИР – это приборы со стандартной настройкой П, ПИ, ПИД-регулятора. При проектировании АСУ ТП следует рассматривать оба подхода – простой и каскадный.

Простое управление (см. рисунок 9.7, а) считается адекватным в условиях отсутствия внешних воздействий. Система будет работать безупречно в условиях отсутствия изменений подачи воздуха в соседние аэротенки. Рассматриваемая система реагирует только на показания датчика КРК.

При изменении расхода воздуха в соседних аэротенках система отреагирует запоздало после изменения КРК в указанном аэротенке. В случае использования *каскадного регулирования* (см. рисунок 9.7, б) изменение скорости воздуха, зарегистрированное F, отразится изменением положения электропривода M воздушной задвижки. Система в целом старается приблизиться к величине уставки sp O₂.

На базе ИР могут быть реализованы достаточно сложные схемы АСУ ТП. Проектирование в современных условиях предполагает использование

регулируемого или управляемого воздухоудвнного оборудования, чтобы создать прецедент экономии электроэнергии, например, в периоды подач пониженных расходов воздуха. На рисунке 9.7, б сознательно не обозначено воздухоудвнное оборудование, т. к. щиты управления воздухоудвнным оборудованием, как правило, выполняются независимо от панелей управления работой аэрационных систем. Связующим звеном общей системы АСУ ТП является наличие датчиков давления P . Регулирование управляющими задвижками аэрационных систем с помощью технологических датчиков концентраций приводит к изменению давления в технологической системе, которое регистрируется датчиками давления P .

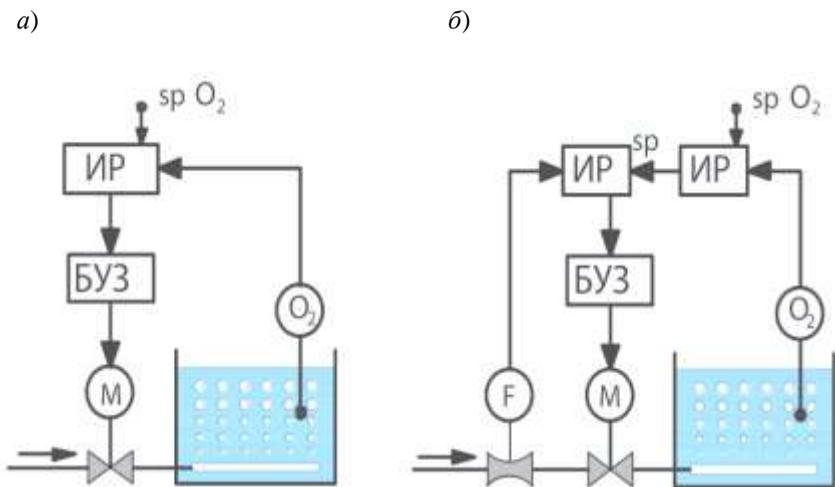


Рисунок 9.7 – Примеры простого (а) и каскадного (б) автоматизированного управления процессами аэрации:

М – электропривод задвижки, F – измерение количества подаваемого воздуха; БУЗ – блок управления задвижками; ИР – измерительный контроллер с П, ПИ, ПИД-регулированием; sp – уставки контроллеров по величинам КРК; O₂ – измерительные приборы текущих технологических концентраций КРК

9.4 Автоматизированное управление процессами аэрации на базе программируемых логических контроллеров

Зарегистрированные отклонения давления в системе – один из основных сигналов, используемых воздухоудвнным оборудованием для компенсации характеристик их работы. Экономия энергии наиболее явно выражена, если воздухоудвнное оборудование способно: 1) изменять подачу воздуха в широком диапазоне; 2) сохранять повышенный КПД во всем диапазоне. Системы,

требующие выполнения множества математических и последовательных операций, проще реализовать при использовании программируемых логических контроллеров (ПЛК) (рисунок 9.8).

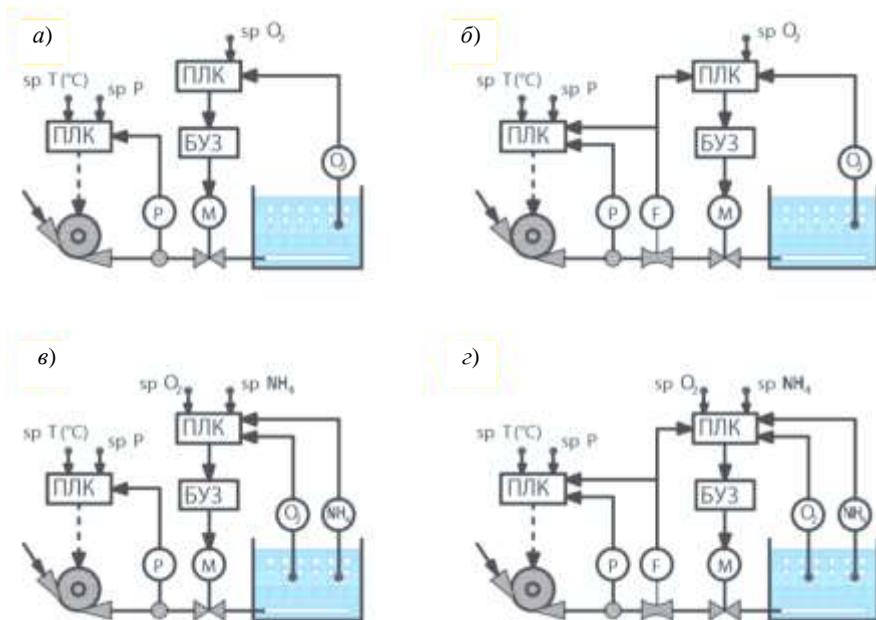


Рисунок 9.8 – Примеры автоматизированного управления процессами аэрации на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК):

М – электропривод задвижки; F – измерение количества подаваемого воздуха; P – измерение давления в воздуховоде; БУЗ – блок управления задвижками; sp – уставки контроллеров по величинам КРК, аммонийного азота, давления в воздуховоде, наружной температуры, O_2 , NH_4 ; P – измерительные приборы текущих технологических концентраций и давления

ПЛК обладают возможностью ввода управляющих зависимостей и необходимостью настройки ряда встроенных ПИД-регуляторов. Все задействованные в системе управления ПЛК многофункциональны. Приборная база (ИР, ПЛК и др.) должна быть самодостаточной для поддержания процессов управления и не зависеть от работы компьютеров, вирусных атак и состояния средств связи. Приборы выполняют локальную задачу управления.

Система управления должна решать задачи управления, сбора и передачи данных, расчетов и оптимизации. Программы оптимизации служат для получения «уставок», которые передаются для коррекции техноло-

гических параметров в приборы. Для того, чтобы обеспечить срочный энергосберегающий эффект от управляемых воздухонагнетателей, проект АСУ ТП может быть реализован достаточно быстро по упрощенной схеме. В этом случае следует выбрать контрольный аэротенк (или два аэротенка) с усредненным технологическим оснащением и средневзвешенными показателями параметров очистки. Разместить на нем контрольные датчики с первичными приборами. Далее – регистрация расхода воздуха в главном воздуховоде будет служить сигналом для воздуходувной станции на изменение режима работы. Примеры реализации АСУ ТП для управления межзонными технологическими перекачками представлены на рисунке 9.9.

Упрощенная реализация АСУ ТП позволит:

а) существенно стабилизировать и понизить концентрации нитратно-азота на выходе из аноксидной зоны; улучшение обоих показателей достигается в пределе до 6 раз;

б) защитить анаэробную зону от избыточного влияния нитратов; регулирование носит скорее настроечный характер;

в) дополнить контуром регулирования возвратного активного ила для повышения дозы активного ила в пиковые нагрузки. Контур регулирования избыточного активного ила обязателен, поскольку поддерживает возраст активного ила в расчетных пределах, соответствующих глубине нитрификации. На рисунке 9.9 для разнообразия указано дискретное регулирование D1 включением/выключением насосного оборудования, хотя на практике применимо частотное регулирование, что позволит по узлу (а) сэкономить потребляемую электроэнергию до 50 %.

На рисунке 9.10 представлена блочно-модульная система биоочистки с возможностью обмена информацией с системой SCADA.

Основным (традиционным) путем является разработка сложных комплексов SCADA с единым управляющим центральным процессором и сервером, полностью охватывающих все оборудование очистных сооружений.

Для каждого аэротенка в аналоговой форме принимается:

- пять сигналов с датчиков, по которым осуществляется управление;
- сигналы давления и температуры воздуха от ШУ воздуходувной;
- сигналы положения трех задвижек управления воздухом;
- сигналы потребляемой мощности и частоты тока, характеризующие работу насосов с шести ШУ насосов рециклов;
- 13 сигналов «установок» по кислороду, аммонийному азоту, нитратам, окислительно-восстановительному потенциалу и давлению воздуха.

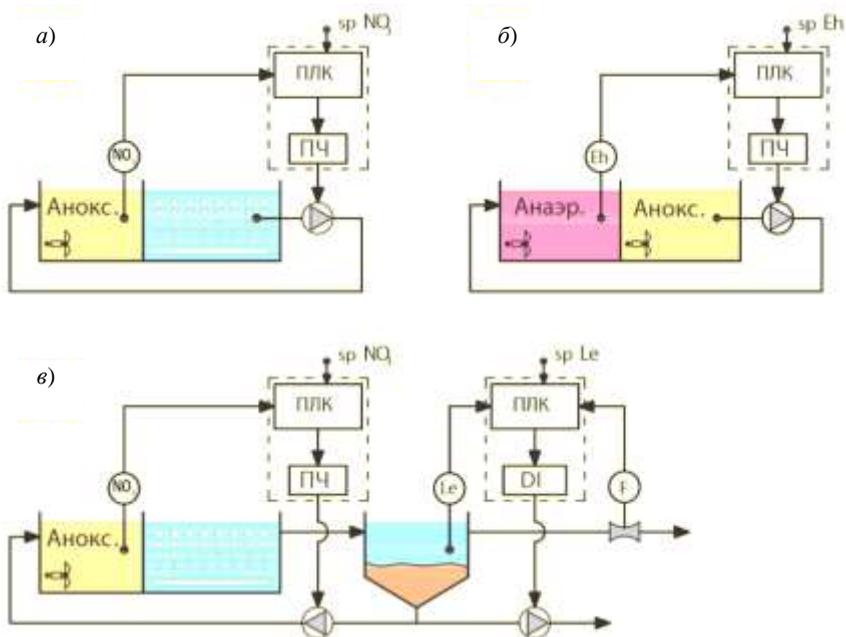


Рисунок 9.9 – Примеры автоматизированного управления процессами технологических перекачек: *а* – нитратного рецикла; *б* – фосфатного рецикла; *в* – рециклов возвратного и избыточного ила:

F – измерение количества очищенной воды; ПЧ – преобразователь частоты тока; Le – измерительный прибор уровня активного ила во вторичном отстойнике или распределения концентрации активного ила по глубине отстойника; D1 – дискретное регулирование (вкл/выкл); NO₃, E, Le – измерительные приборы текущих технологических концентраций (нитратного азота, окислительно-восстановительного потенциала) и уровня (или концентрации) осадка в отстойник

Для контроля работы насосов используются дискретные сигналы (режим автомат/режим ручной, старт, стоп, работа/авария) для того, чтобы при выходе из строя датчика (появления неверных показаний) оператор мог перевести насос в ручной режим и оставить его либо во включенном, либо в выключенном состоянии.

От мешалок принимаются сигналы (работа/авария). Отключение мешалки для планового обслуживания и ее включение после устранения аварии осуществляется с местного щита управления.

Для воздуходувки предусмотрены сигналы (работа/авария). Включение/выключение машины, ввод резервной машины и оптимальный режим работы каждой воздуходувкой осуществляется «мастер» контроллером системы.

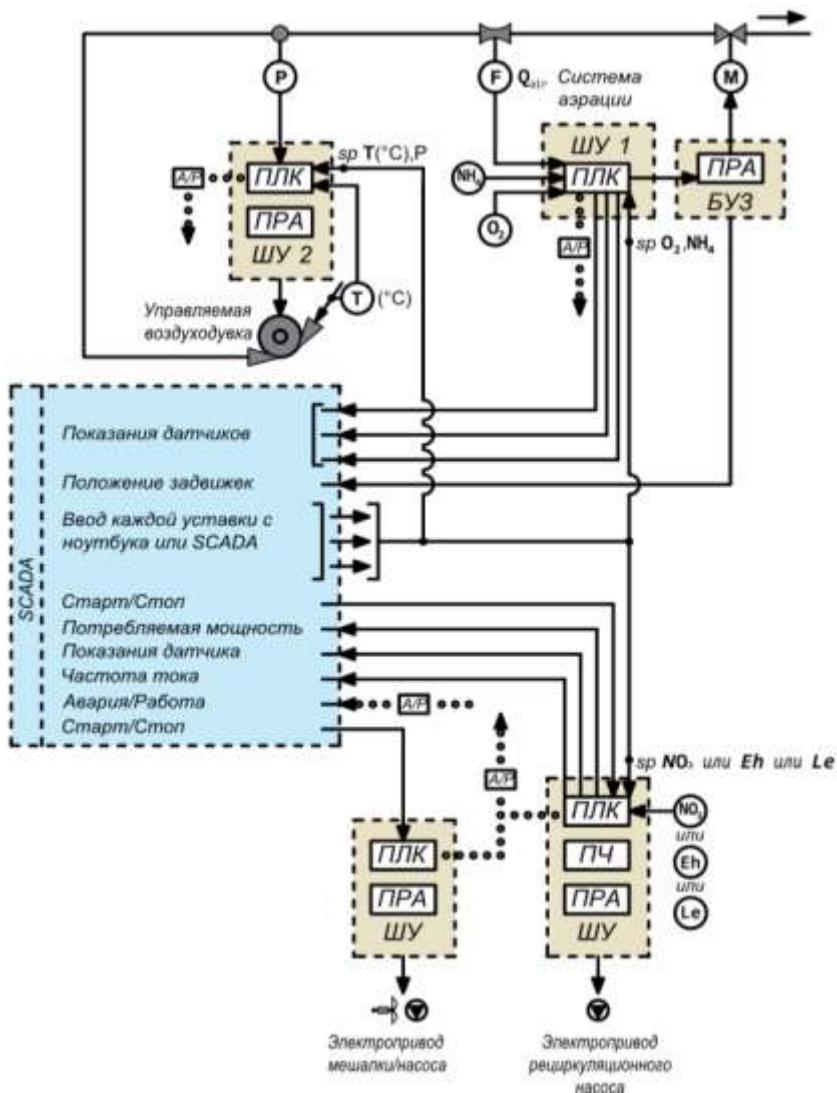


Рисунок 9.10 – Схема подключения блочно-модульных шкафов управления

Таким образом, для оптимизации энергопотребления необходимо рассматривать внедряемое оборудование (аэрационное, воздухоподувное, автоматизации) как единый технологический комплекс, в котором требуется тесное сотрудничество между заказчиками, проектировщиками и поставщиками оборудования. Это обеспечит реализацию максимального эффекта энергосбережения.

Для условий реконструкции объектов очистки сточных вод целесообразно использовать блочно-модульную схему комплектации систем локального управления на полевом уровне. Это позволит внедрять процессы АСУ ТП поэтапно, в соответствии с планами реконструкции технологической части проекта. Блочно-модульная комплектация предполагает размещение в локальном щите управления единичным оборудованием достаточно дешевого ПЛК, который начинает выполнять функцию управления технологическим оборудованием сразу же после ввода узла (сколь угодно малого) в эксплуатацию. На завершающей части проекта автоматизации единичные узлы легко объединяются посредством интегрированной SCADA.

9.5 Функциональная схема автоматизации отстойников

Основная задача автоматизации отстойников – это обеспечение своевременного удаления осадка и плавающего мусора. Задачу обеспечения удаления осадка можно решить двумя способами: либо удалять осадок периодически, либо по мере его накопления. Второй способ предпочтительнее в смысле затрат электрической энергии, но он требует применения специальных сигнализаторов предельного уровня осадка.

На рисунке 9.11 приведён фрагмент функциональной схемы автоматизации одного из радиальных отстойников, если в системе автоматического управления используется программируемый контроллер 1В.

Предполагается, что схемы автоматизации других отстойников идентичны. Эта схема разделяется на две части: управление удалением плавающего мусора и удалении накопившегося осадка. Для сбора плавающего мусора включение электрического привода грабельного устройства можно производить периодически на один оборот грабель с помощью специального командного электропневматического прибора 1В типа КЭП-12У, а выключение – с помощью концевого выключателя 1А.

Удаление осадка из отстойника производится по сигналу от измерителя уровня осадка 2А. По его сигналу исполнительный механизм 3В открывает задвижку выпуска осадка и включается привод насосного агрегата удаления осадка. Выключение привода насосного агрегата и закрытие задвижки производится по сигналу реле времени 2В.

Для контроля работы насосного агрегата используется контактный манометр 2С. Если за определённый интервал времени давление не достигает необходимого значения, производится выключение насосного агрегата. На этой схеме сигналы всех сигнальных устройств: сигнализатора уровня осадка 2А, концевого выключателя грабельного устройства 1А, контактного манометра 2С, концевых выключателей напорной задвижки 3А – поступают на входы модуля ввода дискретных сигналов, на основании которых и рабочей программы контроллера производится управление пусковыми устройствами

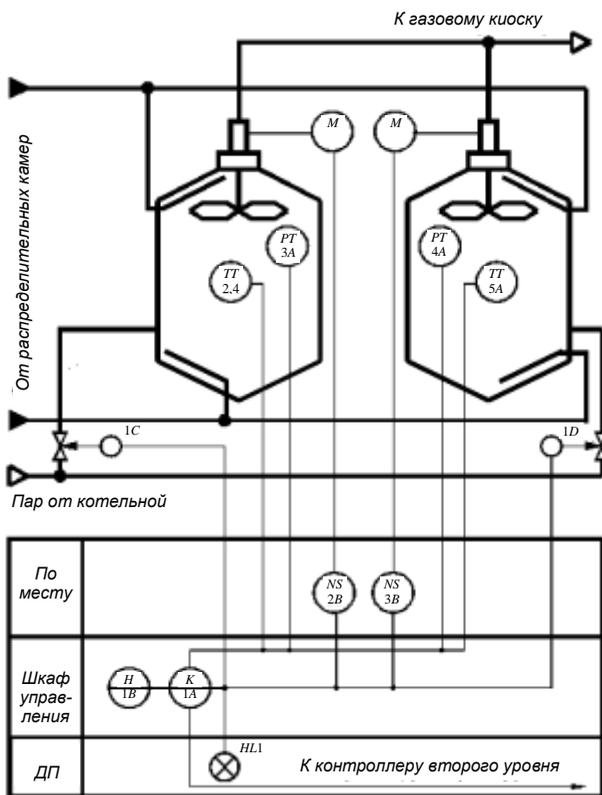


Рисунок 9.12 – Функциональная схема автоматизации двух метантенков с помощью программируемого контроллера

В качестве датчика температуры используется термометр сопротивления 2А. Подогрев осадка производится паром, подаваемым в метантенк через клапан, приводимый в действие электромагнитом 2Е. Включается он с помощью регулятора 2В. Переключение режимов с автоматического на ручное и обратно производится переключателем 2С. При подаче пара на диспетчерском пункте загораются сигнальные лампочки НЛ1.

Для большей эффективности прогрева осадка и исключения локального перегрева выполняется его перемешивание с помощью специальной мешалки, приводимой в действие с помощью пускателя 1В.

С помощью датчика температуры 4А производится непрерывный контроль за температурой в метантенке показывающим прибором 4В. Кроме того регистрируется значение температуры в метантенке автоматически с использованием термометра сопротивления 5А.

С помощью контактного манометра 3А и 3В осуществляется непрерывный контроль за давлением газа в метантенке. При превышении давления газа и температуры осадка за допустимые пределы и аварийном отключении электропривода мешалки выдается сигнал аварийного состояния.

Здесь достаточно разместить в каждом метантенке по одному манометру 3А, 4А и по одному сигнализатору температуры 2А, 5А, сигналы которых подаются на модули ввода контроллера 1А. Последний через модуль вывода управляет электромагнитными клапанами 1С и 1D подачи пара для подогрева осадка, а также пусковыми устройствами 2В и 3В приводов механических мешалок.

9.7 Функциональная схема автоматизации приготовления коагулянта

Автоматизированная система первичного дозирования коагулянта обеспечивает приготовление рабочего раствора коагулянта с заданной концентрацией и измерение его параметров. Это позволяет достичь современного, качественно нового уровня процесса приготовления реагента, необходимого для водоподготовки.

Одна из возможных схем автоматизации приведена на рисунке 9.13. Эта схема предусматривает так называемое «мокрое» хранение коагулянта, когда он предварительно растворён до высокой концентрации и хранится в цистерне или в специальном резервуаре. При снижении уровня раствора ниже минимальной отметки, что отмечается сигнализатором уровня 1С, схема приготовления раствора 2А открывает задвижку подачи коагулянта.

При поступлении сигнала от сигнализатора уровня 1С задвижка подачи коагулянта закрывается и открывается задвижка подачи воды. При достижении нужной концентрации раствора от сигнализатора 1D задвижка подачи воды закрывается и раствор коагулянта готов. Во время приготовления раствора непрерывно производится его перемешивание путём подачи сжатого воздуха с помощью электромагнитного клапана 4В в перфорированные трубы в растворном резервуаре.

Раствор для устройств дозирования отбирается из расходного резервуара. По мере снижения его ниже заданной минимальной отметки с помощью ультразвукового микропроцессорного сигнализатора уровня 3А и регулятора уровня 2В каждый раз в расходный резервуар добавляется заданный столб раствора с помощью перекачивающего насосного агрегата путём включения пусковой аппаратуры 3С привода.

Таким образом, в рамках автоматизированной системы дозирования реализуются следующие основные задачи: непрерывное дозирование раствора коагулянта, попеременное переключение работающих плунжерных насосов

10 ТЕЛЕМЕХАНИКА И ЦИФРОВИЗАЦИЯ АСУ ТП ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

10.1 Средства и функции телемеханизации

За последнее десятилетие резко возросло использование «цифровых» данных. Производственные, коммерческие и бытовые потребители выражают различные аспекты своей жизнедеятельности в цифровом виде. Возникла необходимость новой информационной модели коммуникации для управления большим количеством устройств и связи различных устройств друг с другом. Такая модель была разработана и стандартизована как стандарт МЭК 61850 (Системы и сети связи подстанций).

Произошел переход к цифровой эре. Теперь в одном микропроцессорном электронном устройстве доступны тысячи значений аналоговых и дискретных сигналов, а полоса пропускания канала связи не ограничена. Подстанции с каналами передачи данных со скоростью 64000 бит/с стали обычным явлением. Результатом технологического прогресса стали элементы конфигурирования и документирования в системе сбора данных. Следовательно, основным требованием к системе сбора данных является способность микропроцессорных электронных устройств к обмену технологическими и сервисными данными. Другие требования к системе:

- высокоскоростной обмен данными микропроцессорных электронных устройств между собой (одноранговая связь);
- привязка к подстанционной ЛВС;
- высокая надежность;
- гарантированное время доставки;
- соответствие стандартам;
- функциональная совместимость оборудования разных производителей;
- средства поддержки осциллограмм тока и напряжения;
- средства поддержки передачи файлов;
- конфигурирование / автоматическое конфигурирование;
- поддержка функций безопасности.

Телемеханизация применяется тогда, когда необходимо объединить разобщённые или территориально рассредоточенные объекты управления в единый производственный комплекс (например, при управлении удаленных

объектов водоканала). Внедрение телемеханических систем позволяет сократить численность обслуживающего персонала, уменьшает простои оборудования, освобождает человека от работы во вредных для здоровья условиях.

Телемеханическая сеть – это совокупность устройств телемеханики, линий связи, систем связи, функционирующих в реальном времени в целях управления.

Структура телемеханической сети – это совокупность пунктов управления (ПУ), терминалов и других дополнительных пультов, а также схемы, соединяющие их каналы связи. Структуры телемеханических сетей представлены на рисунке 10.1.

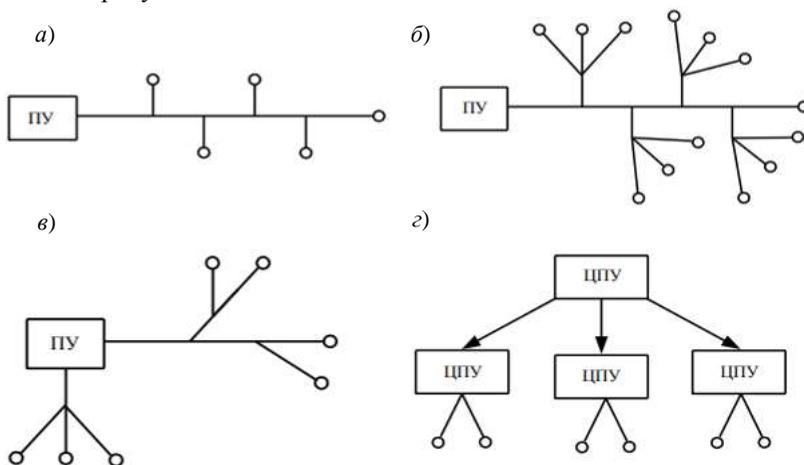


Рисунок 10.1 – Структуры телемеханических сетей:
a – централизованная телемеханическая сеть с одним ПУ; *б* – древовидная структура; *в* – кустовая структура; *з* – иерархическая структура;
 ЦПУ – центральный пункт управления

Сети бывают централизованные (ПУ-1) и децентрализованные (много равноправных ПУ с точки зрения сети). Простые сети классифицируются на последовательные, параллельные, радиальные.

Коэффициент иерархии – это количество контролируемых пунктов, одновременно подчиняющихся одному пункту управления (бывает 20–30 и до 20000). Топология телемеханических сетей представлена на рисунке 10.2.

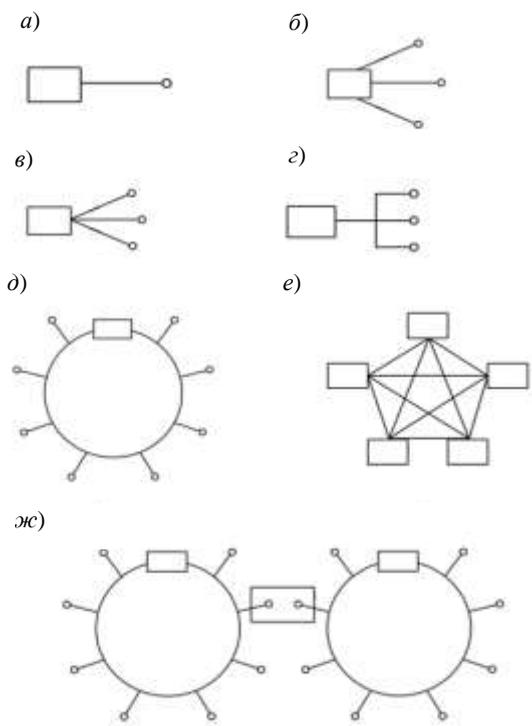


Рисунок 10.2 – Топология телемеханических сетей:
а – точка-точка; *б* – многоточечная (множественная радиальная с одновременным обменом); *в* – многоточечная (множественная радиальная с последовательным обменом); *г* – многоточечная радиальная с одной линией связи; *д* – многоточечная кольцевая; *е* – звездообразная; *жс* – мост и шлюз

Мост соединяет однородные цепи при этом трафик не меняет. Шлюз отделяет цепи не только логически, но и информационно.

Общую структурную схему современной микропроцессорной телемеханической системы можно представить в виде схемы, представленной на рисунке 10.3.



Рисунок 10.3 – Структурная схема современной телемеханической системы

Обработка данных, полученных по каналам телемеханики, на ЭВМ позволяет значительно улучшить контроль за технологическим процессом и упростить управление. Поэтому в настоящее время вместо понятия «телемеханика» всё чаще и чаще используется сокращение АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом (или SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных).

Функции систем телемеханики подразделяются на следующие уровни:

- оперативной обработки и отображения данных;
- транспортировки данных, включая все уровни передачи – физический, канальный и сетевой;
- пользовательские: основные и вторичные. Основные – это функции основного назначения системы телемеханики – телеконтроль и телеуправление технологическими процессами. Вторичные функции – производные от основных – определяют возможности системы по обработке и представлению (отображению) информации пользователю.

Телеуправление (ТУ) – передача на расстояние сигналов управления, которые воздействуют на объект управления после интерпретации средствами приема управляющего сигнала в алгоритм управления исполнительными механизмами установок.

ТУ должно предусматриваться в объеме, необходимом для централизованного решения задач по установлению надежных и экономически выгодных режимов работы электроустановок, работающих в сложных сетях, если эти задачи не могут быть решены средствами автоматизации.

Телеконтроль (ТК, telemonitoring) – наблюдение за состоянием контролируемых процессов и оборудования. Составляющими телеконтроля являются следующие передачи.

Телеизмерение (ТИ) – передача на расстояние сигналов, характеризующих режим работы установок (напряжения, тока, давления, температуры и т. п.).

Телесигнализация (ТС) – передача на расстояние сигналов о состоянии контролируемых установок. Чаще всего при ТС осуществляется передача позиций двухпозиционных объектов (включено/выключено).

Общая схема телемеханизации представлена на рисунке 10.4.

Проектирование систем телемеханики основывается на данных об объекте внедрения, составе оборудования, требованиях к системе в соответствии с типами и количеством необходимых к передаче контролируемых параметров. Проектирование систем телемеханики на подстанциях предусматривает разработку:

- **нижнего** уровня системы – измерения/контроль, сигнализация, управление;
- **верхнего** – сбор и обработка полученной от контроллеров информации;
- **сетей, каналов** (протоколов) передачи данных между уровнями системы.

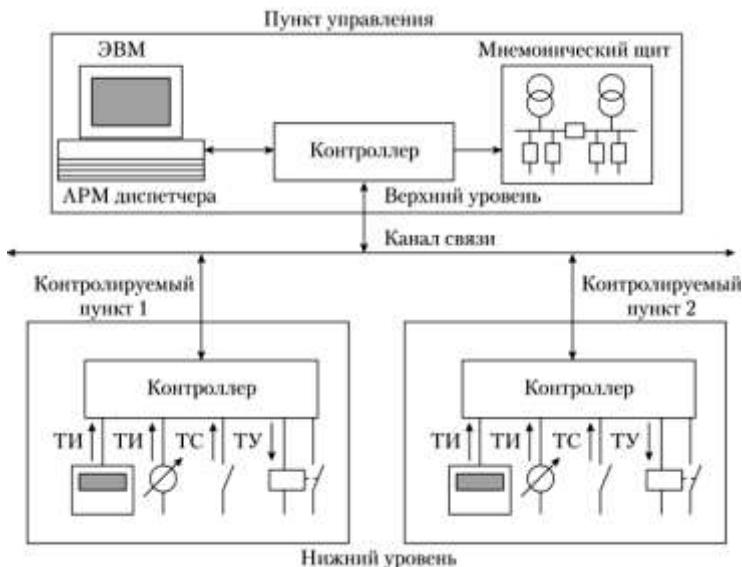


Рисунок 10.4 – Структурная схема связи при телемеханизации

Важной характеристикой функциональных возможностей системы телемеханики является спектр поддерживаемых ею протоколов обмена данными. Наиболее популярными являются протоколы, принятые в качестве международных стандартов: семейство МЭК 61850, МЭК 60870. Их применение в системах телеметрии гарантирует аппаратную и программную совместимость компонентов всех крупных производителей.

10.2 Телеметрия

Телеметрия (телеизмерение) – совокупность технологий и техники, позволяющей производить удалённые измерения и сбор информации для предоставления оператору или пользователю для контроля за состоянием объектов на расстоянии.

В качестве среды передачи данных используются как беспроводные (радио, GSM/GPRS, ZigBee, WiFi, WiMax, LTE), так и проводные (телефонные, ISDN, xDSL, компьютерные) сети (электрические или оптические).

Для сбора и передачи информации в системах телеметрии могут использоваться как последовательные протоколы (RS-232, RS-485, CAN), так и различные сетевые протоколы (TCP/IP, Ethernet).

В телевидении и видеонаблюдении встречается другое понимание слова «телеметрия» – это дистанционное управление скоростными купольными камерами, поворотными платформами, трансфокаторами, прожекторами и прочими устройствами видеонаблюдения.

Классификация телеизмерений. Различают телеизмерение по вызову и по выбору, текущих и интегральных значений.

Телеизмерение по вызову – телеизмерение по команде, посылаемой с пункта управления на контролируемый пункт и вызывающей подключение на контролируемом пункте передающих устройств, а на пункте управления – соответствующих приемных устройств. Телеизмерение по вызову позволяет использовать один канал связи для поочередного наблюдения за многими объектами телеизмерения.

Телеизмерение по выбору – телеизмерение путём подключения к устройствам пункта управления соответствующих приемных приборов при постоянно подключенных передающих устройствах на контролируемом пункте.

Телеизмерение текущих параметров – получение информации о значении измеряемого параметра в момент опроса устройством телемеханики [4].

Телеизмерение интегральных значений – получение информации об интегральных значениях измеряемых величин, проинтегрированных по заданному параметру, например, времени, в месте передачи [4].

По системе телеметрии передается уже до 1700 параметров, а датчики устанавливаются не только на водопроводных и канализационных станциях, но и на сетях водопровода (на диктующих точках сетей). С их помощью можно определить, где идет утечка и оперативно устранить аварию, т. к. они позволяют наблюдать за работой оборудования и сооружений в режиме постоянного удаленного наблюдения.

Общая компоновка оборудования и передачи сигналов ТИ, ТС и ТУ приведена на рисунке 10.5.

Интернет расширил возможности телеметрии, обеспечивая интеграцию устройств видеонаблюдения с ИТ-системами.

10.3 Видеоаналитика и телеинспекция

Систему видеонаблюдения для контроля технологических процессов устанавливают на очистные сооружения города. Обычно это технически сложный и стратегический объект, расположенный на огромной площади. Чтобы обеспечить контроль за технологическими процессами и безопасность его территории необходимо постоянно обновлять систему видеонаблюдения. С 2015 г. чаще всего такие системы на очистных сооружениях строятся по технологии «Облачное хранение». Она позволяет снимать в темноте, при наличии микрофона записывать звук, а также самостоятельно настраивать сценарии видеоаналитики: камеры могут фиксировать определенные действия, например, движение, голос или пересечение периметра территории.

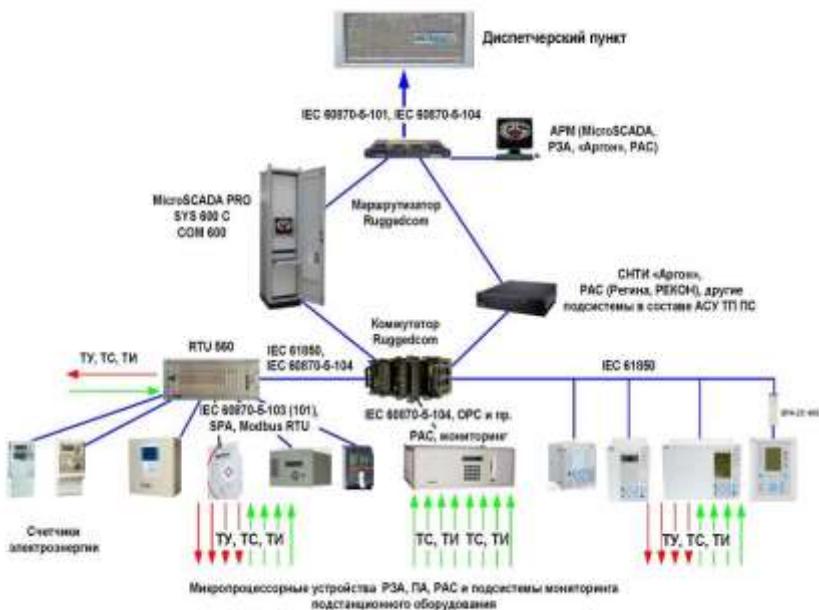


Рисунок 10.5 – Установка оборудования и линий связи в системе телемеханизации

Обновленные функции помогут не только обеспечить контроль безопасности на предприятии, но и наблюдать за технологическими процессами в режиме реального времени. В свою очередь это поможет выявлять неполадки в системе водоочистки в максимально короткие сроки, а также положительно скажется на безаварийной работе предприятия. При этом в системе используются все или на выбор следующие технологии видеоаналитики.

Видеоаналитика (video analytics) – технология, использующая методы компьютерного зрения для автоматизированного сбора данных на основании анализа потокового видео (видеоанализа). Видеоаналитика опирается на алгоритмы обработки изображения и распознавания образов, позволяющие анализировать видео без прямого участия человека. Видеоаналитика используется в составе интеллектуальных систем видеонаблюдения.

В зависимости от целей, видеоаналитика может реализовать как одну, так и несколько базовых задач:

- *обнаружение объектов* – производится при помощи видеодетекторов движения;

- *слежение за объектами* – позволяет работать с тревожными правилами и организовать поиск в архиве;
- *классификация объектов* – для фильтрации оперативных уведомлений или результатов поиска;
- *идентификация объектов*;
- *обнаружение (распознавание) ситуаций* – позволяет выделить объекты из потокового видео и распознать тревожные ситуации на основе анализа поведения данного объекта, что не дает сделать обычная система видеонаблюдения.

На предприятиях Водоканала используются также системы телеинспекции и видеоаналитики для различных диагностических целей.

Телеинспекция (видеодиагностика) труб – это процедура обследования внутренней поверхности трубопровода при помощи профессионального устройства с видеокамерой высокого разрешения, которая передает изображение обследования состояния трубопроводов на монитор специалиста в режиме реального времени с одновременной записью изображения на электронный носитель. Система телеинспекции дает возможность с использованием видеокамеры наблюдать и диагностировать процессы, происходящие внутри труб, скважин, колодцев. Такая система позволяет провести полный осмотр водопровода, не разбирая его на составные части.

Телеинспекция трубопроводов может быть проведена в трубах разных конфигураций и диаметров, изменяется лишь оборудование – оно может быть *портативным или плавающим*. Диагностику рационально проводить перед планированием ремонтных или очистных работ для точной оценки их необходимых объемов, а также подбора нужного оборудования.

Системы для телеобследования разделяются на роботизированные и проталкиваемые.

Роботизированная телеинспекция – это самоходные роботы, которые обладают высокой проходимостью в сложных условиях канализационных систем (рисунок 10.6).



Рисунок 10.6 –
Роботизированная система/телеинспекция с модулем S100
(https://geoportal.by/katalog/videokamery_dlja_diagnostiki_trub/robot-s300)

Применяется для осмотра и диагностики подземных трубопроводов, туннелей, резервуаров и других труднодоступных объектов диаметром 300–2000 мм. Для работы в трубах большого диаметра используются сменные пневматические колеса 230 мм, электрический подъемник камеры и оптимизированное светодиодное освещение. Такое оборудование имеет более широкие возможности по сравнению с проталкиваемыми телеинспекциями.

Проталкиваемые видеокамеры представляют собой кабель, на конце которого находится камера (рисунок 10.7). Длина просматриваемого участка ограничивается длиной кабеля видеокамеры.



Рисунок 10.7 – Проталкиваемая система телеинспекции Тайра-М с поворотной камерой и блоком управления (<https://teleinspekciya.ru/sistema-teleinspekicii-tajra-m-s-povorotnoj-kameroj>)

Такие системы выявляют дефекты в водопроводных и канализационных трубах. В настоящее время инновационные технологии позволили разработать цифровую систему инспектирования труб в режиме 3D.

Однако необходимо понимать, что телеинспекция (видеодиагностика) – это не способ решения проблемы, а всего лишь метод исследования, который может помочь в решении или упрощении многих задач, в том числе:

- при устранении аварийной ситуации, когда не удастся ликвидировать засор при помощи гидродинамической промывки или механической прочистки, видеодиагностика помогает выявить причину непроходимости труб;
- определить точные координаты пролома в трубе, трещины или просадки, что значительно упрощает объем работ по замене бракованного участка;
- восстановить схему прокладки инженерных путей.
- определить степень соответствия прокладки труб нормам и нормативам при сдаче в эксплуатацию новых инженерных систем;
- наличие в канализационной трубе песка, жировых или иловых отложений.

Таким образом, такой метод исследований, как телеинспекция (видеодиагностика) позволяет выявить и разработать профессиональное заключение и составить подробный план действий по устранению всех недостатков канализационной системы.

10.4 Инновационные технологии для оптимизации энергопотребления водозаборов

На предприятиях Водоканала Республики Беларусь проводится планомерная работа по повышению энергоэффективности оборудования и технологических процессов. Одним из наиболее энергоемких технологических процессов на водоканале является добыча воды, поэтому оптимизации этого процесса уделяется особое внимание.

Водоснабжение городов в Республике Беларусь осуществляется на 95 % из водозаборов, на которых эксплуатируются артезианские скважины. Вода подается из глубины 50–80 м. Протяженность водопроводных сетей, находящихся на балансе предприятий, составляет сотни тысяч км. Оптимизация подачи воды с внедрением комплексной автоматизированной системы управления объектами водоснабжения. Для этого внедряется система, базирующаяся на современных цифровых технологиях обработки данных, а также на интеллектуальных алгоритмах управления, среди которых: нечеткая логика, нейронные сети, генетические алгоритмы и др.

Модернизация оборудования на водозаборах обеспечивает:

- дистанционное управление в автоматическом и полуавтоматическом режимах скважинами водозабора;
- непрерывный сбор данных о состоянии скважин и диагностику их состояния по сети GSM;
- мониторинг давления у потребителей в зоне влияния насосной станции 2-го подъема;
- передачу данных в центральную диспетчерскую службу и др.

В качестве примера можно привести проект по диспетчеризации артезианских скважин с использованием GSM/GPRS-модема (рисунок 10.8). Задача автоматизации заключалась в том, чтобы осуществлять удаленный сбор информации с 20 артезианских скважин, разнесенных по району на расстояние от 3 до 30 км, а именно:

- учет суммарного энергопотребления всех единиц оборудования;
- включение/отключение насосов;
- включение/отключение кранов;
- учет времени открытия того или иного крана/клапана;
- учет расхода воды, протекавшей по разным магистралям;
- осуществление удаленного контроля и диагностики;
- создание системы архивирования событий;
- создание звуковой системы оповещения о предупреждающих сообщениях и возникших нарушениях.

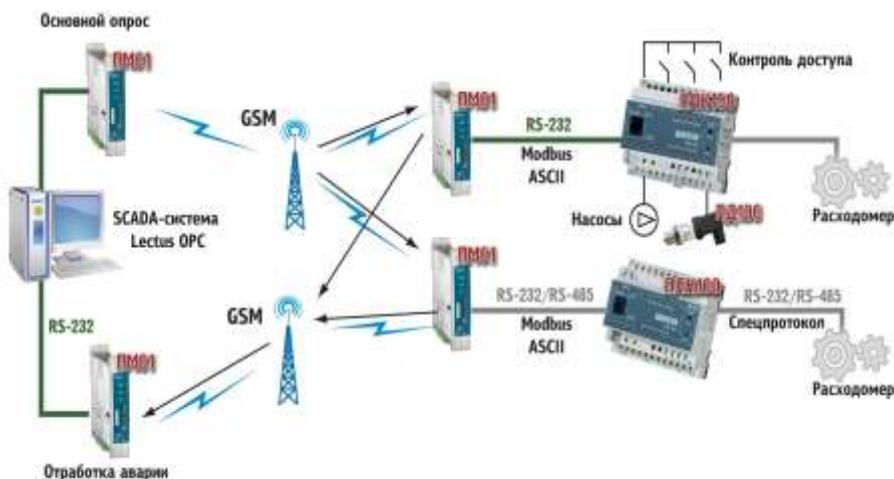


Рисунок 10.8 – Структура комплексного подхода к удаленному сбору информации водозаборов
<https://www.elec.ru/news/2015/01/21/primenenie-gsm-gprs-modema-oven-pm01-dlja-dispatch.html>

На каждом удаленном объекте (скважине) установлен программируемый логический контроллер ПЛК100 ОВЕН, который осуществляет опрос датчиков, обеспечивает создание архивов измеряемых параметров и осуществляет управление GSM-модемом ПМ01. GSM-модем ОВЕН ПМ01 обеспечивает удаленную передачу данных между объектами и диспетчерским пунктом.

На скважине установлен расходомер, который измеряет мгновенный расход воды, и в виде импульсов передает его на контроллер, там импульсы суммируются, и это значение раз в минуту сохраняется в архив ПЛК. Исходя из требований надежности и возложенных функций, для удаленного соединения выбран способ CSD-передачи. В качестве протокола передачи данных выбран Modbus ASCII. На компьютере оператора ДП установлены Modbus OPC-сервер Lectus и SCADA-система Master SCADA.

Алгоритм работы системы не только позволяет выбирать порядок взаимодействия и функционирования скважин для соблюдения оптимального общего уровня удельной нормы (количества электроэнергии на 1 м³ подаваемой воды), но и способствует экономии постоянных затрат энергоресурсов (трудозатрат, увеличению межремонтных сроков работы оборудования, уменьшению количества утечек воды).

После внедрения мероприятия информация со всех водозаборов города поступает в единый центральный сервер водоканала, и его руководство в режиме реального времени может наблюдать за их основными производ-

ственными показателями (объем добычи воды, затраты энергии, удельные затраты энергии). Эти показатели выводятся как мгновенные, так и за последний месяц или год. Они отличаются высокой степенью достоверности и оперативности, поскольку формируются на основании данных, поступающих с приборов учета напрямую в АСУТП.

На рисунках 10.9–10.12 (<https://fast-project.ru/projects/monitoring/scheduling-water-intake-site.html>) приведены примеры мнемосхем по работе диспетчерской автоматизированного водозаборного узла.

Общий экономический эффект, достигаемый за счет внедрения АСУТП, состоит в таких аспектах, как:

- снижение удельных расходов на добычу воды и платы за электроэнергию;
- снижение затрат на ремонт и обслуживание скважинных насосов за счет плавного запуска и поддержания оптимального режима работы скважин.

Рисунок 10.9 –
Мнемосхема станции
водоподготовки

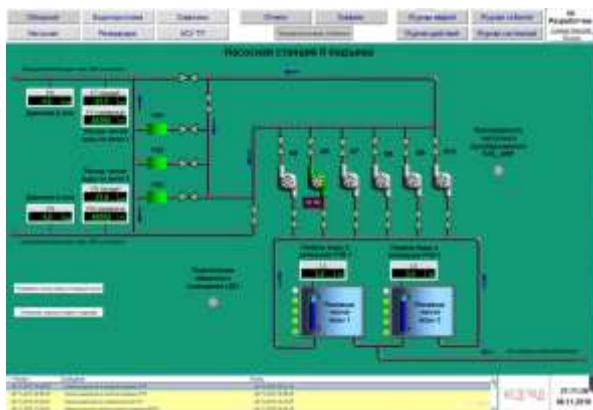
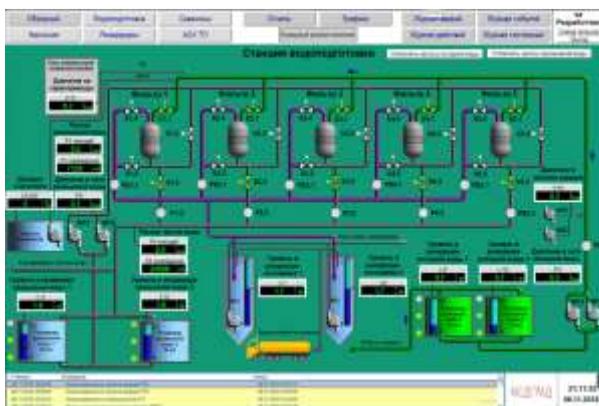


Рисунок 10.10 –
Мнемосхема насосной
станции II подъема

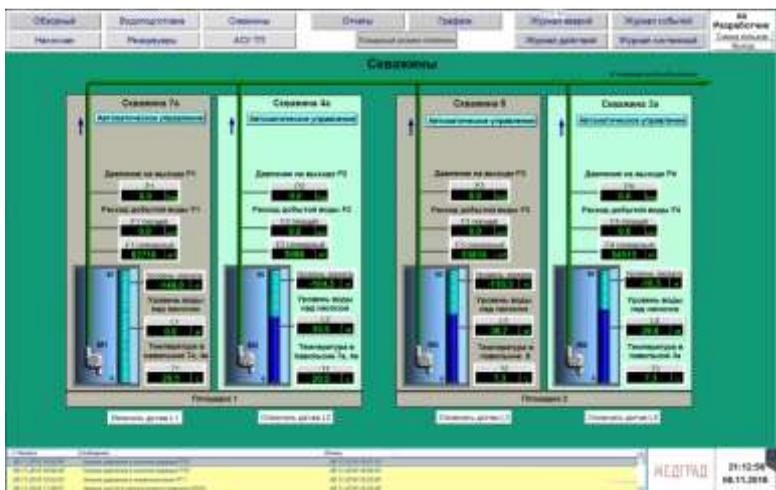


Рисунок 10.11 – Мнемосхема работы водозаборных скважин

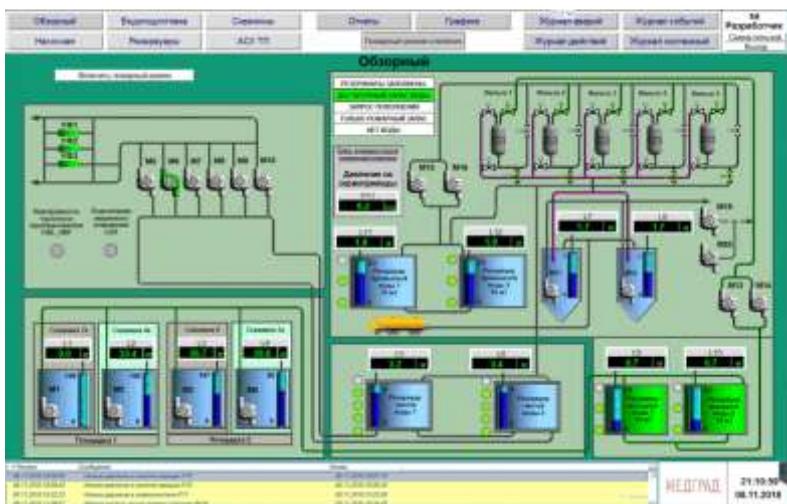


Рисунок 10.12 – Обзорная мнемосхема работы водозабора
(<https://fast-project.ru/projects/monitoring/>)

Следующим шагом развития АТУ ТП на предприятиях является переход к единому и взаимосвязанному управлению одновременно всеми водозаборами города на основе анализа как технологических факторов, так и мгновенных фактических расходов на добычу и транспортировку воды.

10.5 Интеллектуализация сетей водоснабжения

Интеллектуальная водопроводная сеть представляет собой полностью интегрированный комплекс устройств, решений и систем, позволяющих удаленно и непрерывно контролировать процессы, протекающие в элементах водоснабжения (водосборных сооружениях, насосных станциях, очистных сооружениях, трубопроводах, канализации), и диагностировать проблемы распределения воды.

Идея создания системы интеллектуального (умного) водоснабжения зародилась в 2000-х гг. Это было связано с развитием Интернета вещей, облачных вычислений и Big Data. Применительно к системе водоснабжения данные технологии позволили собирать, хранить большое количество данных, строить аналитические модели, делать прогнозы и т. д., что способствовало повышению эффективности и результативности управления водными ресурсами.

Главной проблемой является создание инфраструктуры, способной обеспечить взаимосвязь между различными элементами систем водоснабжения, датчиками, счетчиками, утилитами. Для этого используется множество технологий, включая линии электропередачи, телефонные линии, волоконно-оптические линии связи, широкополосную беспроводную, радиочастотную и сотовую связь. Сегодня умные системы водоснабжения работают во многих странах мира, в том числе России и Беларуси.

Построение интеллектуальной системы учета водных ресурсов позволяет не просто отслеживать расходы и выставлять счета потребителям ресурса, но и управлять процессами качества и бесперебойности предоставления услуги водоснабжения.

Умное водоснабжение используется для многих рабочих процессов, например, проверка утечки воды с конкретным указанием местоположения проблемного участка, сбор показаний счетчиков, контроль состояния водопроводных труб с уведомлениями о рекомендуемой замене, мониторинг качества воды, давления в элементах системы водоснабжения и прочее.

Существующие аналитические алгоритмы позволяют интегрировать интеллектуальную систему учета воды практически на любой объект водоснабжения независимо от его масштаба. Данные, получаемые в результате обработки получаемых показателей в соответствии с действующим законодательством, остаются внутри информационного пространства (хранятся на серверах) организации, предоставляющей услуги. Совокупные преимущества интеллектуальных систем учета позволят предотвратить протечки, снизить расход электроэнергии, уменьшить потери, алгоритмизировать сбор данных и выставление платежей, что соответствует современным трендам цифровизации управления предприятием.

Критически важные данные, поступающие от интеллектуальных счетчиков, позволяют автоматизировать задачи, связанные с текущим обслуживанием и эксплуатацией систем водораспределения.

Использование интеллектуальных сетей водоснабжения предоставляет возможность поставщикам иметь полный контроль за потреблением, а также за возможными потерями воды, чем значительно упрощает формирование бюджета. Данные, поступающие от счетчиков и датчиков в режиме реального времени, позволяют коммунальным предприятиям принимать взвешенные решения, чтобы быть готовыми быстро реагировать на возможные последствия стихийных бедствий.

Интеллектуальные средства автоматизации являются вычислительными устройствами, которые помимо традиционных функций выполняют и другие дополнительные функции, например, функции самодиагностики, самонастройки параметров, ведения архива в базе данных, противоаварийной защиты и др. [1, 4].

Интеллектуализация приборов и систем управления снижает влияние человеческого фактора, освобождая операторов и диспетчеров АСУ ТП от многих функций контроля хода технологического процесса при меняющихся условиях протекания процесса.

Следует отметить, что интеграция дополнительных функций при контроле и управлении технологическим процессом позволяет уменьшить число первичных и вторичных преобразователей, контроллеров и др. средств автоматизации.

Вместе с тем, значительно расширяются возможности алгоритмического и программного обеспечения интеллектуальных приборов и систем. Среди современных алгоритмов управления, заложенных в интеллектуальные системы, отметим следующие:

- алгоритмы адаптивного ПИД-регулирования одномерных и многомерных систем;
- нейросетевые и алгоритмы нечеткой логики;
- алгоритмы APC-систем усовершенствованного управления (Advanced Process Control).

К числу интеллектуальных алгоритмов управления технологическими процессами относят генетические алгоритмы, имитирующие процессы отбора в живой природе при условии того, что не работают традиционные математические методы оптимизации.

Помимо интеллектуальных приборов и систем управления интеллектуализации отвечают и интеллектуальные сети. Так, сети Smart Grid (Self Monitoring Analysis and Reporting), используемые в электроэнергетике, выполняют дополнительные функции самовосстановления после сбоев в подаче электроэнергии, устойчивости к несанкционированному вмешательству в работу сети, синхронизации и хранения электроэнергии и др.

Интеллектуальные приборы и исполнительные механизмы. Умное водоснабжение использует различные датчики, умные счетчики, цифровые средства управления и т. п. Для обнаружения утечки используются акустические датчики (чаще всего устанавливаются в воздушных клапанах на расстоянии не более 750 м друг от друга и эффективны в больших трубах), датчики давления (устанавливаются не более чем 1,5 км друг от друга), статистический анализ, направленный на выявление каких-либо отклонений от нормы. Для сбора данных о потреблении воды в режиме реального времени используются умные (интеллектуальные) счетчики воды, которые отправляют показания автоматически (рисунок 10.13).

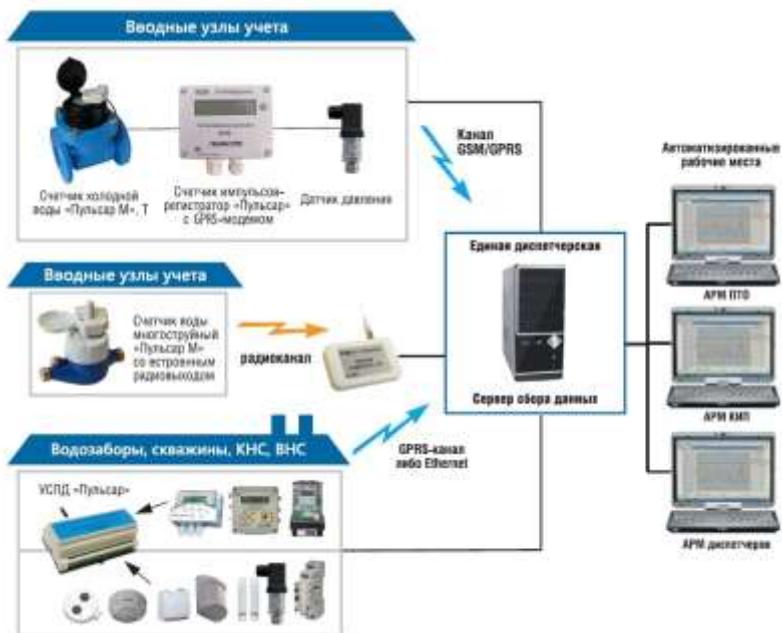


Рисунок 10.13 – Установка интеллектуальных счетчиков воды

В системах умного водоснабжения используются автоматические клапаны, которые срабатывают в чрезвычайных ситуациях, например, прорыв трубы, предотвращая тем самым затопление, дальнейшие повреждения, утечку воды. Калибровка гидравлических моделей также происходит автоматически на основе данных, получаемых с различных сенсоров.

Среди промышленных средств автоматизации получили применение интеллектуальные датчики температуры, давления и перепада давлений, уровня, анализаторы концентрации, pH/ORP, электропроводности, плотности, электроприводы и др.

Интеллектуальные датчики температуры серии STT 3000 включают датчики STT-170, STT-250, STT-350, в которых реализованы следующие дополнительные к основным функции: возможность программирования и настройки с ПК; использование обширной библиотеки НСХ датчиков температуры и интерфейсов промышленных шин FF, HART; дистанционная диагностика и обмен данными с удаленными устройствами; дистанционная настройка рабочего диапазона.

Интеллектуальные датчики давления компании Honeywell включают высоконадежные модульные датчики давления SmartLine. К числу дополнительных функций датчиков дифференциального, абсолютного и избыточного давлений серии ST 700 и ST 800 относятся: компенсация статического давления и температуры; электрические соединения без учета полярности; сертификация по стандартам SIL2/SIL3; удаленный дистанционный контроль и диагностика с пакетом Smart Connection Suite.

Интеллектуальные датчики давления и уровня LD200 компании Smart обладают дополнительными функциями: термокомпенсация показаний, дистанционная корректировка нуля и диапазона измерений; цифровая связь по протоколам HART, FF, Profibus PA; повышенная надежность (степень защиты IP68, наработка на отказ 240 лет).

Интеллектуальные анализаторы для измерения pH/ORP выполняют следующие функции: автоматическая калибровка по буферному раствору; компенсация температуры раствора; автоматическая очистка электродов.

К интеллектуальным датчикам давления относятся датчики давления серии КСК-5 с радиоканалом передачи данных. С радиоканалом также производятся интеллектуальные датчики вибраций и перемещений [7]. К дополнительным функциям этих устройств относятся: компенсация погрешностей изменения температуры, нелинейности сигнала и деградации датчика; диагностика неисправности; контроль и настройка параметров датчика; регистрация и хранение информации в виде трендов.

Интеллектуальный датчик концентрации выполняет следующие функции: термокомпенсация показаний; расчет концентрации CO₂ и преобразование концентрации в различные единицы измерения; расчет pH по дифференциальной проводимости.

Интеллектуальный газоанализатор серии 7866 компании Honeywell осуществляет дистанционную передачу показаний на расстояние до 300 м, формирует аварийные сигналы и связь по шине Modbus для настройки и сбора данных.

Интеллектуальный датчик плотности серии DT300 компании Smart снабжен системами автокалибровки, автодиагностики и конфигурирования по сетям FF и Profibus PP.

Интеллектуальные электроприводы HercuLine компании Honeywell обладают следующими дополнительными функциями: обмен данными по се-

тям RS-485/Modbus; программирование выходов аварийных сигналов, направлений вращения вала и диагностических параметров (время нахождения в неподвижном состоянии, величина хода вала, предельное значение температуры); сигнализация величины хода и конечных положений вала.

Интеллектуальные SCADA-системы и интеллектуальные информационно-измерительные системы (ИИИС). Компонентами интеллектуальных SCADA-систем являются: логико-лингвистическая модель ситуации, нечеткая производственная модель диагностирования, модель прогнозирования последствий развития аномальных ситуаций, модель оценки управляющих действий оператора [8]. Также SCADA-системы выполняют еще дополнительные функции, а именно: ситуационный анализ состояния системы управления; логический анализ аномальных ситуаций; диагностика состояния оборудования; прогноз поведения технологического процесса; выработка правомерных действий оператора.

Функции ИИИС включают управляющие, вычислительные и сервисные функции.

Управляющие функции предполагают управление переключением каналов и диапазонов измерения, управление вычислительными ресурсами, регистраторами, внешней памятью, средствами общения с оператором.

Вычислительные функции включают распределенную обработку данных, калибровку, масштабирование, фильтрацию, статистическую обработку и др.

Сервисные функции предполагают обнаружение и локализацию неисправностей.

Интеллектуальные системы управления базируются на принципах искусственного интеллекта. По выражению А. Тьюринга, интеллектуальность системы заключается в возможности моделировать разумное поведение человека.

Под *интеллектуальной системой* понимается адаптивная система, способная формировать управление на основе складывающейся ситуации в данный момент времени. К таким системам относятся нечеткие системы управления, нейронные сети, системы на базе генетических алгоритмов [9]. Совокупность аналитических моделей, экспертных систем, искусственных нейронных сетей, нечетких систем и генетических алгоритмов представляют собой гибридную интеллектуальную систему. Помимо этого, в класс интеллектуальных систем включают рефлекторные и расчетно-логические системы.

К основным достоинствам систем управления на базе нейронных сетей относятся: хранение знаний в виде распределенных по сети нейроэлементов; параллельная обработка данных и возможность адаптации в процессе обучения.

В интеллектуальных системах управления используются языки и модели представления знаний: логические модели, семантические или когнитивные сети, фреймы и продукционные правила.

Таким образом, интеллектуальные приборы и системы управления, сформировавшие в последние годы отдельный класс средств автоматизации, базируются как на результатах обработки количественных данных традиционными методами, так и на присущих интеллекту оператору-технологу с использованием алгоритмов экспертных систем, что придает им способность выполнения дополнительных функций.

Интеллектуальные системы управления используют более совершенные алгоритмы управления, к числу которых относят алгоритмы адаптивного ПИД-регулирования одномерных и многомерных систем, нейросетевые и алгоритмы нечеткой логики, генетические алгоритмы, а также алгоритмы APC-систем усовершенствованного управления (Advanced Process Control).

10.6 Формирование концепции «Цифровой водоканал»

Современный водоканал представляет собой сложную многофакторную систему с высокой ответственностью персонала за качество реализации технологических процессов. Этапу развития цифровых технологий соответствует тенденция сокращения количества штатного персонала при одновременном росте уровня его квалификации.

Смена парадигмы подхода к автоматизации процессов в контексте концепции цифрового водоканала (ЦВ) представлена на примере построения системы «Цифровое водоснабжение» (рисунок 10.14) [13]. Также вводится новая терминология по понятиям цифровых объектов.



Рисунок 10.14 – Смена парадигмы восприятия роли АСУ ТП

Цифровой водоканал – это цифровой двойник, построенный на основе реальных данных для управления технологическими процессами, снижения аварийности, повышения эффективности и безопасности. Он включает полный компьютерный образ (цифровой двойник), т. е. его проект (мнемосхемы, 3D-схемы), реализованный в виртуальном пространстве с подключением обратных связей в режиме реального времени от датчиков, задвижек, насосов и приборов учета. «Компьютерный образ» отражает использование математических имитационных моделей. Обеспечивается прогнозирование событий на перспективу на основе реальных данных, собранных SCADA-системой (на примерах ГИС ЖКХ и геоинформационной).

Рассмотрим основные терминологические особенности, которые используются при разработке цифрового объекта водоканала.

Электронная модель систем водоснабжения и (или) водоотведения может применяться как:

1) **информационная система**, включающая в себя базы данных, программное и техническое обеспечение, предназначенная для хранения, мониторинга и актуализации информации о технико-экономическом состоянии централизованных систем горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и (или) водоотведения, осуществления механизма оперативно-диспетчерского управления в указанных централизованных системах, обеспечения проведения гидравлических расчетов;

2) **математическая модель** этих систем, привязанная к топографической основе города с учетом кадастрового деления территории и предназначенная для имитационного моделирования их режимов работы.

Цифровое моделирование – цифровой двойник реальной работы систем водоснабжения и водоотведения, включающий в себя все элементы этих систем, режимы их работы, производственный процесс.

Цифровой двойник (ЦД) – электронная модель, решающая оптимизационные задачи и осуществляющая адаптивное управление с прогнозированием развития событий в рамках заданных граничных условий и уставок. Комментарий: роль цифровых двойников ограничена человеческим фактором, который обеспечивает: принятие решений на основе прогноза ЦД, граничные условия и уставки, текущий контроль качества адаптивного управления.

К основным направлениям использования технологии цифровых двойников в водоснабжении относятся: техническое обслуживание и ремонт объектов; моделирование режимов работы, сценариев и расчет затрат; обучение персонала.

Имитационное моделирование (англ. *simulation modeling*) – метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, описывающей реальную систему с достаточной точностью, с которой проводятся виртуальные эксперименты с целью получения информации об этой системе.

Является частным случаем математического моделирования; может использоваться как аналитические, так и численные методы решений.

Методика построения имитационных гидравлических моделей системы водоснабжения и водоотведения, которые являются частью электронной модели ГИС, включает в себя следующие этапы:

- формирование расчетной схемы модели;
- определение расходной характеристики модели;
- калибровка гидравлической модели сети.

На базе электронной и имитационной модели системы водоснабжения становится возможным:

- выявление проблемных участков в системе и составление списков реконструируемых трубопроводов;
- разработка мероприятий, направленных на недопущение снижения минимально необходимого давления в системе;
- разработка программы по снижению давления в городской сети;
- выбор точек контроля давления и места установки регуляторов давления;
- выбор оптимального режима работы насосных станций;
- разработка программ по снижению всех видов потерь воды.

Решение прикладных технологических задач оптимизации режимов начинается от потребителя и его можно разделить на три этапа направления: «Потребитель» (задачи 1 и 2), «Сети и трубопроводы» (задачи 3 и 4), «Насосные станции и насосы» (задачи 5–7):

- 1) контроль и исключение сверхнормативного давления у потребителя;
- 2) гармонизация работы НС, объединенных общим водоводом;
- 3) диагностика состояния насосов;
- 4) диагностики утечек;
- 5) диагностика прорывов;
- 6) оптимизация насосного оборудования;
- 7) подбор насосного оборудования.

Технологическая реализация задач 1, 2, 6, 7 способствует снижению энергозатрат, а задач 2, 3, 4, 5 – повышает бесперебойность водоснабжения. Таким образом достигается снижение затрат на электроэнергию и обслуживание, а также потерь воды на утечки.

Нечеткое регулирование – регулирование, построенное на алгоритме нечеткой логики или наборе нестрогих правил, позволяющее использовать весь диапазон значений от 0 до 1, взамен традиционных значений Истина (1) и Ложь (0). Примеры использования: определение оптимального энергопотребления, состава и режимов работы скважин.

Манифест информационной системы – промежуточный рабочий анализ для принятия управленческого решения, определяющий основные принципы и идеи процесса внедрения ИС, и его конечный результат.

Система идентификации и аутентификации – совокупность аппаратно-программных средств, обладающих технической, информационной, программной и эксплуатационной совместимостью для опознавания субъекта или объекта по присущему или присвоенному ему идентификационному признаку.

Система электронного документооборота (СЭД) – автоматизированная многопользовательская система, сопровождающая процесс управления работой иерархической организации и обеспечивающая процессы создания, управления доступом, распространения электронных документов в компьютерных сетях, а также контроль над потоками документов в организации.

Единое информационное пространство (ЕИП) – совокупность баз и банков данных, технологий их ведения и использования, информационно-телекоммуникационных систем и сетей, функционирующих на основе единых принципов и по общим правилам, обеспечивающим информационное взаимодействие организаций и граждан, а также удовлетворение их информационных потребностей в соответствии с уровнями доступа.

WMS (Web Map Service, служба веб-картографии) – стандартный протокол для обслуживания через интернет географически привязанных изображений, генерируемых картографическим сервером на основе данных из базы данных ГИС.

BIM-технология (Building Information Modelling) – технология автоматизированного компьютерного моделирования совокупности бизнес-процессов, сопровождающих все стадии жизненного цикла объекта капитального строительства (рисунок 10.15).



Рисунок 10.15 – Общая структура BIM-модели

При BIM-проектировании осуществляется сбор и обработка данных об архитектурно-планировочных, конструктивных, экономических, технологических, эксплуатационных характеристиках объекта, объединенных в едином информационном поле (BIM-модели). Все данные, заложенные в информационную модель объекта, связаны между собой и взаимозависимы. Технологии BIM базируются на виртуальной трехмерной модели, обладающей реальными физическими свойствами. К ней также присоединяются добавочные измерения: время, планы, стоимость. Они позволяют рассчитать и определить параметры процессов строительства еще до начала строительных работ на объекте. Управление данными модели поможет сократить сроки реализации проекта, упростит эксплуатацию возведенного объекта и продлит срок его службы.

В развитии цифровом пространстве цифровой двойник BIM-модели развивается в ходе жизненного цикла объектов водоканала, начиная с процесса проектирования (рисунок 10.16).



Рисунок 10.16 – Цифровой двойник объекта на разных этапах его жизненного цикла

Условия использования цифрового двойника:

- достоверные математические имитационные модели;
- ограничение виртуального пространства режимом (либо без участия человека «онлайн», либо «прогнозирование на перспективу» человеком);
- контроль оператором обратных связей в режиме реального времени от датчиков, задвижек, насосов и приборов учета при возможном возникновении объективных форс-мажорных обстоятельств и пр.

Однако главной составляющей системы «цифровой водоканал» остается руководящая роль человеческого интеллекта [5]. Поэтому современный

подход к эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения создает новые вызовы и в области подготовки кадров.

Для преодоления этих вызовов в системе образования в наше время применяется **системный инжиниринг** – комплексная методология, отвечающая за создание и выполнение процессов, охватывающих все инженерные дисциплины, участвующие в них, и обеспечивающие удовлетворение потребностей заказчиков и пользователей.

Применительно к подготовке кадров в области водоснабжения и водоотведения в данном контексте следует говорить о подготовке специалиста, владеющего не только базовыми и специальными знаниями в водохозяйственной области, но и достаточными компетенциями в области управления сложными техническими системами, элементами менеджмента и пр. В настоящее время и в ближайшем будущем общее количество технологических, политических и социальных изменений будет чрезвычайно велико. Поэтому современный специалист должен быть подготовлен к будущему так, чтобы быть способным максимально вариативно реагировать на вызовы стремительно изменяющегося мира. Для этого он должен обладать так называемыми «надпрофессиональными» навыками, которые отвечают за успешное участие в рабочем процессе, высокую производительность и являются сквозными, т. е. не связаны с конкретной предметной областью.

Гибкие навыки (софт скиллз), в отличие от профессиональных навыков («жестких», hard skills), не зависят от специфики конкретной работы, тесно связаны с личностными качествами и установками (ответственность, дисциплина, самоменеджмент), а также социальными навыками (коммуникация, в частности, слушание; работа в команде; эмоциональный интеллект) и менеджерскими способностями (управление временем, лидерство, решение проблем, критическое мышление). Овладение такими навыками позволит работнику повысить эффективность профессиональной деятельности в своей отрасли, а также даст возможность переходить между отраслями, сохраняя свою востребованность.

В таблице 10.1 приведено сравнение общих компетенций и навыков традиционного и системного инженера.

Таким образом, инженерная деятельность на современном этапе развития требует системного подхода к решению сложных научно-технических задач с применением всего комплекса социальных, гуманитарных, технических и прочих дисциплин. Овладение основами профессиональной инженерно-технологической культуры, понимание составляющих ее элементов, представления об основаниях и социокультурных смыслах инженерно-технологической культуры позволят снизить негативные последствия инженерно-технической деятельности.

Таблица 10.1 – Компетенции и навыки инженера

Традиционный инженер	Системный инженер
Рольевая специализация инженера: конструктор, технолог, испытатель, исследователь и т. п.	«Инженер» = «Команда по реализации перспективного прорывного проекта»; развитая способность к поиску новых подходов в решении профессиональных задач, умение ориентироваться в нестандартных условиях и ситуациях, анализ проблемы, ситуации, задачи, а также разработка плана действий
Разработка новых продуктов (технологий, проектов) и эксплуатация объектов	Проектирование и управление жизненным циклом объекта и цепочками кооперации, владение методами технико-экономического анализа производства с целью его рационализации, оптимизации и реновации, а также методами экологического обеспечения производства и инженерной защиты окружающей среды
Техническая специализация в направлении конкретной дисциплины	Технологическая междисциплинарность; технологический кругозор; понимание тенденций и основных направлений развития науки и техники
Знания, умения, навыки в профессиональной области	Управленческие, проектные и личные компетенции в социотехнических системах в сочетании с профессиональной квалификационностью
Владение ИТ	Навыки работы в киберфизической, виртуальной, цифровой средах
Системный анализ (система как логическая связь элементов)	Системная интеграция, системная инженерия, системное мышление

КРАТКИЙ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

Автоматизация диспетчерского управления – применение комплексной системы (класса систем «человек – машина») для автоматизации процесса управления с учетом оптимальных режимов работы управляемого объекта. Система автоматизации диспетчерского управления, как правило, включает в себя: управляющую вычислительную машину, средства связи оператора с ней и управляемыми объектами, системы датчиков и исполнительных устройств, осуществляющих контроль и исполнение приказов непосредственно на объекте.

Автоматизация, информатизация, цифровизация, цифровая трансформация – это, по сути, последовательные этапы в развитии производственных процессов. Вначале происходила замена ручного труда машинным (автоматизация), в дальнейшем, с появлением средств вычислительной техники, они стали использоваться для выполнения расчетов, а также управления оборудованием (информатизация). По мере развития цифровых, технологий и широкого их распространения в сфере телекоммуникаций, а также развитием интегрированных информационных систем и систем аналитики начался процесс цифровизации. Массовая цифровизация привела к появлению бизнес-моделей, полностью выстроенных на основе цифровых процессов, использование которых в различных областях человеческой деятельности стало качественно изменять структуру экономики. Этот процесс получил название цифровой трансформации.

Алгоритм – сформулированное на некотором языке правило или набор правил, указывающих действия, последовательное выполнение которых приводит к искомому результату.

Воздействия возмущающие – это факторы, действующие произвольно и вызывающие отклонения регулируемых параметров от заданных величин.

Датчик – средство измерения, преобразующее ту или иную физическую величину (например, температуру, скорость, давление, электрическое напряжение и др.) в сигнал для регистрации, передачи, обработки, хранения этой информации.

Диспетчеризация – осуществление оперативного контроля и управления на предприятиях, основанное на формировании, переработке и использовании информации о ходе производственного процесса.

Иерархический принцип управления – заключается в ступенчатой организации процесса управления, где каждая ступень управления имеет свои объекты и цели управления.

Измерительное устройство – это устройство для получения информации о состоянии объекта управления.

Измерительные приборы – предназначены для преобразования измеряемых сигналов в перемещение стрелки или пера относительно шкалы.

Измерительный прибор цифровой – предназначен для автоматической выработки дискретного сигнала измерительной информации; показания прибора представлены в цифровой форме.

Интегральные регуляторы – это такие регуляторы, одному и тому же значению регулируемой величины которых могут соответствовать различные положения регулирующего органа.

Интегрирующие приборы – это приборы, непрерывно суммирующие мгновенные значения измеряемого параметра.

Интерфейс – совокупность унифицированных технических и программных средств, используемых для сопряжения между устройствами или системами в вычислительной технике.

Исполнительный механизм – это устройство, управляемое регулятором или дистанционно оператором и предназначенное для управления регулирующим органом.

Компьютеризация – использование средств вычислительной техники, математических методов и специального программного обеспечения для сбора, хранения и переработки информации, используемой в различных процессах управления.

Место рабочее автоматизированное – совокупность технических и программных средств на базе компьютерной техники, предназначенная для работы оператора в человеко-машинных системах.

Микропроцессор – устройство с большой степенью интеграции, выполненное по архитектуре универсальной ЭВМ.

Объект управления – управляемый технологический процесс вместе с технологическим оборудованием, в котором он протекает.

Объекты регулирования – это такие объекты, в которых после завершения переходного процесса регулируемая величина без вмешательства извне достигает нового постоянного значения.

Объекты с распределенными параметрами – в которых значения регулируемых величин в различных точках объекта неодинаковы.

Объекты с сосредоточенными параметрами – в которых в состоянии равновесия регулируемые величины практически имеют одинаковые значения по всему объему объекта.

Орган исполнительный – устройство, посредством которого осуществляется автоматическое воздействие на объект управления или регулирования.

Процесс управления – представляет собой целенаправленное воздействие на технологический процесс.

Прямые измерения – это измерения, при которых величина измеряемого параметра определяется непосредственно по показаниям прибора.

Регулирование – это процесс поддержания равенства регулируемой величины её заданному значению.

Регулируемая величина – это параметр технологического процесса, значение которого поддерживается равным заданному.

Регулятор – это устройство, вырабатывающее необходимое воздействие на объект.

Регулятор автоматический – устройство в системе автоматического регулирования, которое вырабатывает воздействия на объект в соответствии с требуемым законом регулирования

Система управления – совокупность персонала и автоматических устройств, связанных общей задачей управления.

Технические приборы – предназначены для работы в производственных условиях.

Технологические параметры – величины, характеризующие технологический процесс, которые могут изменяться во времени.

Технологический режим – совокупность технологических параметров, полностью характеризующих данный технологический процесс.

Унифицированный сигнал – сигнал дистанционной передачи информации с унифицированными параметрами. В зависимости от вида унифицированных параметров в Государственной системе приборов применяют унифицированные сигналы четырех групп: 1) сигналы тока и напряжения электрические непрерывные; 2) сигналы частотные электрические непрерывные; 3) сигналы электрические кодированные; 4) пневматические сигналы.

Устройства защиты – предназначены для предотвращения аварий, пожаров, взрывов, выхода из строя оборудования.

Устройства контроля – это устройства, служащие для получения и отображения текущих значений параметров процесса.

Устройства программного управления – это устройства, служащие для включения и выключения различных механизмов, машин и аппаратов по заранее заданной временной программе.

Устройства регулирования – это устройства, предназначенные для поддержания текущего значения параметра равного заданному.

Устройства сигнализации – это устройства, предназначенные для оповещения оперативного технологического персонала о наступлении тех или иных событий в объекте управления подачей звуковых и световых сигналов.

Цифровая инфраструктура – комплекс технологий и построенных на их основе цифровых продуктов, обеспечивающих вычислительные, телекоммуникационные и сетевые мощности и работающие на цифровой основе.

Цифровая технология – технология, в отличие от аналоговой, работающая с дискретными, а не с непрерывными сигналами.

Цифровой двойник – виртуальная цифровая модель (прототип) существующего в реальности физического объекта или процесса, моделирующая внутренние процессы, технические характеристики и поведение реального объекта в условиях взаимодействия помех и окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Lange, T.** Intelligent SCADA Systems / T. Lange // Engineer IT Automation and Technical Control. – 2007. – P. 26–30.

2 Smart Water: The Future of water now [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://sensus.com/internet-of-things/smart-water/>. – Дата доступа : 15.10.2021.

3 Автоматизация канализационных очистных сооружений г. Бийска [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=653827>. – Дата доступа : 19.11.2021.

4 Автоматизация систем водоснабжения // Сантехника. – 2011. – № 4. – С. 10–15.

5 Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / А. Г. Схиртладзе [и др.]. – М. : ТНТ, 2013. – 524.

6 Автоматизированные системы диспетчерского управления комплексами водочистки и водоснабжения // Информатизация и системы управления в промышленности. – 2013. – № 2 (44). – Режим доступа : <https://isup.ru/articles/3/4456/>. – Дата доступа : 15.02.2020.

7 Автоматизированные системы управления машиностроительными предприятиями. – М. : Высш. шк., 1981. – 286 с.

8 **Агеев, В. М.** Современные направления оптимизации систем водоснабжения / В. М. Агеев // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2014. – № 3. – С. 28–34.

9 Адреса энергосбережения. Инновационные технологии для оптимизации энергопотребления водозаборов Могилева [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://energoeffekt.gov.by/news/news_2020/20200114_new1. – Дата доступа : 10.01.2020.

10 **Алексеев, Е. В.** Основы моделирования систем водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие / Е. В. Алексеев, В. Б. Викулина, П. Д. Викулин. – М. : Изд-во МГСУ, 2015.

11 **Бабицкий, Л. А.** Автоматизированные системы для блока реагентного хозяйства водопроводной станции [Электронный ресурс] / Л. А. Бабицкий // СТА. Современные технологии автоматизации. – 2000. – № 1. – Режим доступа : <https://www.cta.ru/cms/f/366650.pdf>. – Дата доступа : 15.02.2020.

12 **Баженов, В. И.** Цифровое развитие – путь совершенствования, повышения эффективности и надежности работы водоканалов / В. И. Баженов, Е. С. Гогина // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2019. – № 3. – С. 28–40.

13 **Баженов, В. И.** Энергосбережение как критерий разработки проекта АСУ ТП сооружений биочистки / В. И. Баженов, А. Н. Эпов, И. В. Баженов // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2013. – № 1. – С. 30–48.

14 **Валетов, В. А.** Интеллектуальные технологии изготовления приборов и устройств : учеб. пособие / В. А. Валетов, А. А. Орлова, С. Д. Третьяков. – СПб. : СПб ГУ ИТМО, 2008. – 134 с.

15 **Веселуха, Г. Л.** Типовая система автоматизации водоканала с использованием объектных возможностей MASTERSCADА [Электронный ресурс] / Г. Л. Веселуха

луха. – Режим доступа : <https://masterscada.insat.ru/articles/?id=43583>. – Дата доступа : 13.02.2020.

16 Воздуходувки в системах аэрации воды / В. Н. Сергеев [и др.] // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2005. – № 1 – С. 88–97.

17 **Втюрин, В. А.** Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы АСУТП : учеб. пособие / В. А. Втюрин. – СПб. : Санкт-Петерб. гос. лесотехн. академия им. С. М. Кирова, 2006. – 152 с.

18 **Гафаров, Ф. М.** Искусственные нейронные сети и приложения : учеб. пособие / Ф. М. Гафаров, А. Ф. Галимянов. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 121 с.

19 **Горюнов, А. Г.** Телеконтроль и телеуправление : учеб. пособие / С. Н. Ливенцов, Ю. А. Чурсин ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2011. – 139 с.

20 **Дмитриев, В. Ф.** Промышленная телемеханика / В. Ф. Дмитриев // Приборы+Автоматиз. – 2005. – № 5. – С. 1–18.

21 **Дозорцев, В. М.** Усовершенствованное управление технологическими процессами (АРС): 10 лет в России / В. М. Дозорцев, Э. Л. Ицкович, Д. В. Кнеллер // Автоматизация в промышленности. – 2013. – № 1. – С. 12–19.

22 **Дусала, Я.** Интеллектуальные сети водоснабжения: решение для вчерашней инфраструктуры и ответ на завтрашние вызовы / Я. Дусала // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2018. – № 3(123). – С. 48–50.

23 Единое информационное пространство программно-аппаратных средств / А. В. Крицкий [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – № 11. – С. 45–56.

24 **Заде, Л. А.** Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных/интеллектуальных систем / Л. А. Заде // Новости искусственного интеллекта. – 2001. – № 2–3. – С. 7–11.

25 **Зуев, К. И.** Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие / К. И. Зуев ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2016. – 224 с.

26 **Ившин, В. П.** Разработка функциональных схем контроля и регулирования технологических параметров в курсовых и дипломных проектах : метод. указания / В. П. Ившин, А. И. Айрутдинов ; Казанский гос. технолог. ун-т. – Казань, 2006. – 56 с.

27 **Ицкович, Э. Л.** Эволюция средств и систем автоматизации / Э. Л. Ицкович // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 8. – С. 3–10.

28 **Калашников, А. А.** Обзор автоматических систем управления технологическими процессами Юго-Западных очистных сооружений / А. А. Калашников // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. – 2009. – № 6. – С. 31–34.

29 **Камразе, А. Н.** Контрольно-измерительные приборы и автоматика / А. Н. Камразе, М. Я. Фитерман. – Л. : Химия, 2010. – 225 с.

30 **Капустин, Н. М.** Автоматизация производственных процессов в машиностроении : учеб. / Н. М. Капустин ; под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высш. шк., 2004. – 415 с.

31 **Лаврищев, И. Б.** Разработка функциональных схем автоматизации при проектировании автоматизированных систем управления процессами пищевых производств : метод. указания / И. Б. Лаврищев, А. Ю. Кириков. – СПб. : СПб ГУНиПТ, 2002. – 51 с.

32 **Леонов, В. В.** Комплекс интеллектуальных датчиков для контроля промышленных объектов / В. В. Леонов, В. М. Гладченко, И. В. Леонов // Датчики и системы. – 2007. – № 1. – С. 12–15.

33 Логгеры-регистраторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://kip-expert.by/g603584-registratory-dannyh-testo>. – Дата доступа : 10.01.2020.

34 Методы классической и современной теории автоматического управления : учеб. в 5 т. / под ред. К. А. Пулкова, Н. Д. Егупова. – М. : Изд-во МГТУ, 2004.

35 Мониторинг скрытых утечек в водопроводной сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://smartertechnologysolutions.com.au/smart-water/>. – Дата доступа : 15.10.2021.

36 **Мур, Э.** Интеллектуальная энергосистема : примеры использования / Э. Мур, А. В. Тюнякин // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 4. – С. 17–23.

37 Насосы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://nasosovnet.ru/avto-avtomatika-dlya-nasosov.html>. – Дата доступа : 08.01.2020.

38 **Невзорова, А. Б.** Основы автоматизации систем водоснабжения и водоотведения / А. Б. Невзорова. – Гомель : БелГУТ, 2006. – 110 с.

39 Пособие по проектированию автоматизации и диспетчеризации систем водоснабжения (к СНиП 2.04.02-84). – М. : Центральный институт типового проектирования, 1985. – 32 с.

40 Приборы ЗАО «НПП «Автоматика» на службе контроля качества воды для водоканалов // Строительство. Технологии. Организация. – 2019. – № 06/71. – С. 5–9.

41 **Примин, О. Г.** Современные системы автоматизированного управления для предприятий коммунального водоснабжения и водоотведения / О. Г. Примин // Водоснабжение и канализация. – 2010. – № 11–12. – С. 72–78.

42 **Прошин, А. И.** Современный взгляд на комплексную автоматизацию водоканалов / А. И. Прошин, А. В. Бодырев // Сантехника. – 2020. – № 1. – С. 28–31.

43 Распределенное прогнозирующее управление технологическим процессом в металлургии / А. С. Казаринов [и др.] // Автоматизация в промышленности. – 2013. – № 2. – С. 54–59.

44 **Рульнов, А. Л.** Автоматическое регулирование : учеб. / А. Л. Рульнов, И. И. Горюнов, К. Ю. Евсафьев. – М. : Инфра-М, 2005. – 218 с.

45 Системы автоматизированного управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pandia.ru/text/79/299/56009-7.php>. – Дата доступа : 15.11.2021.

46 СН 4.01.02-2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования. – Минск : Энергопресс, 2020. – 160 с.

47 СН 4.04.02-2019. Системы связи и диспетчеризации инженерного оборудования жилых и общественных зданий. – Минск : Энергопресс, 2020. – 24 с.

48 **Сорока, Н. И.** Телемеханика : конспект лекций : в 5 ч. Ч. I : Сообщения и сигналы / Н. И. Сорока, Г. А. Кривинченко. – Минск : БГУИР, 2000. – 133 с.

49 СТО 56947007-29.240.10.257-2018. Цифровая подстанция. Сети и системы коммуникаций на подстанциях (на основе группы стандартов МЭК 61850). Ч. 1. МЭК 61850-6.

50 Телеинспекция (Видеодиагностика) канализации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://zasor.by/obslugivanie-kanalizacii/teleinspekciya-trub>. – Дата доступа : 10.01.2020.

51 **Тихонов, Ю. Б.** Конспект лекций по основам телемеханики / Ю. Б. Тихонов. – Омск : СибАДИ, 2012. – 63 с.

52 ТКП 45-4.04-326-2018. Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Строительные нормы проектирования. – Минск : Мин-во арх. и стр-ва, 2018. – 42 с.

53 Умная вода. Программа для проектирования внутреннего водопровода и канализации зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.smartwater.su/>. – Дата доступа : 14.10.2021.

54 **Харазов, В. Г.** Интеллектуальные приборы и системы управления / В. Г. Харазов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2014. – № 26 (52). – С. 92–94.

55 Цифровое предприятие: трансформация в новую реальность / В. И. Ананьин [и др.] // Бизнес-информатика. – 2018. – № 2(44). – С. 45–54. – DOI: 10.17323/1998-0663.2018.2.45.54.

56 **Чуприков, К. К.** Диспетчеризация расхода, давления, температуры на узлах учета и контроля PROMODEM в сетях водоснабжения и газораспределения, тепловых камерах, нефтепроводах и скважинах / К. К. Чуприков, А. Д. Яманов // Информатизация и Системы Управления в Промышленности (ИСУП). – 2020. – № 6(90).

57 **Шалягин, Д. В.** Автоматика, телемеханика и связь. Автоматика и телемеханика : учеб. пособие / Д. В. Шалягин. – М. : Изд-во РГОТУПС, 2004. – 600 с.

58 **Шкатов, Е. Ф.** Основы автоматизации технологических процессов химических производств / Е. Ф. Шкатов, В. В. Шувалов. – М. : Химия, 2011. – 304 с.

59 Энергетика, Smart Grid, интеллектуальные промышленные решения в области энергетики / В. П. Куприяновский [и др.] // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 4. – С. 12–16.

60 **Якубовская, Е. С.** Проектирование систем автоматизации / Е. С. Якубовская. – Минск : БГАТУ, 2018. – 360 с.

Учебное издание

НЕВЗОРОВА Алла Брониславовна

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Я. В. Войтеховская*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 15.03.2022 г. Формат 60×84 ¹/₁₆
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 9.14. Уч.-изд. л. 8,84. Тираж 50 экз.
Зак. № 579. Изд. № 17.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации, издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

№ 3/1583 от 14.11.2017.

Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель