

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,  
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Ю. Н. Дуброва, А. С. Кукреш, А. С. Анженков

# **МЕТРОЛОГИЯ, КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ОБСЛЕДОВАНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области сельского хозяйства в качестве  
учебно-методического пособия для студентов учреждений,  
обеспечивающих получение высшего образования II ступени  
по специальности I-74 80 02 Мелиорация, рекультивация  
и охрана земель*

Горки  
БГСХА  
2022

УДК 626.8: 006.91(075.8)  
ББК 40.6я73  
Д80

*Рекомендовано методической комиссией  
мелиоративно-строительного факультета  
25.04.2022 (протокол № 8)  
и Научно-методическим советом БГСХА  
25.05.2022 (протокол № 9)*

**Авторы:**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Ю. Н. Дуброва*;  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. С. Кукреш*;  
кандидат технических наук, доцент *А. С. Анженков*

**Рецензенты:**

кандидат технических наук, доцент *О. П. Мешик*;  
директор ГП «Витебскгипроводхоз» *М. С. Самохвалов*

**Дуброва, Ю. Н.**  
Д80

Метрология, контроль качества и обследование мелиоративных и водохозяйственных систем : учебно-методическое пособие / Ю. Н. Дуброва, А. С. Кукреш, А. С. Анженков. — Горки : БГСХА, 2022. — 258 с.  
ISBN 978-985-882-271-2.

В пособии изложены основные вопросы, возникающие при обследовании мелиоративных и водохозяйственных систем. Обследование мелиоративных и водохозяйственных систем направлено на установление необходимости реконструкции с целью улучшения эксплуатационных характеристик наиболее распространенных систем в области мелиорации и водного хозяйства. Одним из эффективных путей, служащих качественному проведению обследования, является использование современных приборов и оборудования для технических измерений.

Для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования II ступени по специальности 1-74 80 02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель.

**УДК 626.8: 006.91(075.8)  
ББК 40.6я73**

**ISBN 978-985-882-271-2**

© УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2022

## ВВЕДЕНИЕ

Необходимость интенсификации мелиорации в Беларуси определяется мировыми тенденциями, связанными с ростом населения планеты и грозящим голодом. Республика Беларусь по своему природному потенциалу является одной из стран, которая может не только обеспечить себя полностью качественными продуктами питания, но и экспортировать их в другие страны. Важнейшее направление в осуществлении этой задачи – восстановление и дальнейшее развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения как основного фактора интенсификации и устойчивости производства растениеводческой продукции страны.

В современных экономических условиях дорогостоящие мероприятия по ремонту и реконструкции мелиоративных систем должны планироваться на основании обследований, изысканий, экономической и социальной значимости объектов. А ремонт отдельных объектов следует проводить на основании достоверных данных об их техническом состоянии и способности выполнять свои функции.

Самым простым и в то же время экономически эффективным мероприятием по снижению затрат на эксплуатацию мелиоративных объектов является исключение из ремонта и реконструкции исправных элементов и своевременное восстановление неисправных.

В значительной степени общепринятый подход к оценке состояния труднодоступных сооружений на мелиоративной сети вызван отсутствием широкого распространения специализированного диагностического оборудования и технологий, позволяющих проводить эффективную диагностику с малыми затратами без разрушения исследуемых объектов.

Одним из признаков технического совершенства мелиоративной системы является ее автоматизация в той или иной степени, позволяющая производить измерения, контроль и регулирование основных параметров мелиорируемого объекта с тем, чтобы способствовать получению высоких, устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур.

Предложенное направление развития сельскохозяйственных мелиораций ориентировано на инновационное развитие, которое базируется на достижениях фундаментальных и приоритетно-прикладных научных исследований и разработок. Первоочередной задачей, определя-

ющей жизнеспособность и будущее мелиорации земель сельскохозяйственного назначения, становится готовность науки и практики к созданию, внедрению и эксплуатации систем комплексных мелиораций нового поколения, основанных на энергоэффективных, ресурсосберегающих инновационных технологиях, использовании новых материалов и конструкций, направленных на максимально приемлемую интенсификацию использования природно-ресурсного потенциала агроландшафта при соблюдении требований к его экологической безопасности.

Все эти технологии относятся к наукоемким технологиям, отражающим связь с фундаментальными и приоритетно-прикладными научными исследованиями и разработками. Что же касается готовности науки, то можно констатировать, что ученые-мелиораторы подошли к решению проблемы создания высокопродуктивных и устойчивых мелиорируемых агроландшафтов средствами комплексной мелиорации на новой энергетической основе. Разработаны теоретические основы создания и эксплуатации мелиоративных систем нового поколения, модели их функционирования и управления. При этом обеспечивается не только высокая урожайность сельскохозяйственных культур, превышающая более чем в 5 раз урожайность в богарных условиях, экономия природных, энергетических и материальных ресурсов, но и устойчивость ландшафта к проявлению деградационных процессов.

# **1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ**

## **1.1. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь**

Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь – комплекс мер по государственному регулированию и управлению, государственному метрологическому надзору и метрологическому контролю, осуществляемых государственными органами, юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями и иными физическими лицами в целях обеспечения единства измерений.

Результаты измерений, выполненные в системе обеспечения единства измерений, выражены в узаконенных единицах величин, имеют прослеживаемость до национальных и международных эталонов, гарантированную степень точности и достоверности и являются основанием для принятия решений в экономике, промышленности, науке, торговле, здравоохранении, охране окружающей среды, оценке и контроле продукции и природных ресурсов, обороне, безопасности, транспорте и связи и других отраслях.

Цели системы: обеспечение единства измерений как одного из важнейших элементов единого рынка продукции, работ и услуг Республики Беларусь; защита интересов населения и государства от последствий неточных и неправильных измерений; достоверный учет материальных, энергетических и природных ресурсов; совершенствование техники измерений в соответствии с уровнем технико-экономического развития; повышение качества товаров и услуг и обеспечение конкурентоспособности продукции; объективная и сопоставимая оценка параметров среды обитания; достижение доверия к результатам измерений при проведении поверки, калибровки, испытаний.

Задачи системы: разработка научно-методических, правовых и организационных основ Системы; научно-методических, правовых и организационных основ системы; организация и проведение научных исследований по использованию новейших достижений науки и техники с целью создания и совершенствования методов и средств измерений высшей точности и определения значений физических констант; стандартизация основных положений, правил, требований и норм Системы; установление допускаемых к применению единиц величин; создание, утверждение, ведение, хранение и сличение национальных и

исходных эталонов Республики Беларусь; установление единого порядка передачи размеров единиц величин от эталонов другим средствам измерений; установление требований к метрологическим характеристикам средств измерений; установление общих требований к аттестации испытательного оборудования; установление порядка и проведение метрологической аттестации методик выполнения измерений, разработка методик оценивания погрешностей (неопределенностей) измерений и обеспечения требуемой точности; проведение метрологической экспертизы конструкторской, технологической, проектной и программной документации, научно-технических программ; установление порядка организации и проведения испытаний, метрологической аттестации, поверки и калибровки средств измерений; установление общих требований к СО, их аттестация; установление значений физических констант, получение и стандартизация данных, характеризующих свойства веществ и материалов; разработка методов и средств измерений; разработка и аттестация методик выполнения измерений; государственный метрологический надзор и метрологический контроль за производством, состоянием, применением и ремонтом средств измерений и соблюдением метрологических правил, требований и норм, а также за деятельностью метрологических служб предприятий; организация и осуществление подготовки и повышения квалификации специалистов в области метрологии; организация работ по международному сотрудничеству в области метрологии, обеспечения единства и требуемой точности измерений, необходимых для международной торговли, научно-технического и экономического сотрудничества.

Основные организационно-методические документы:

СТБ 2542-2021 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Лаборатории поверочные. Общие требования.

СТБ 8008-98 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Приборы для измерения твердости по шкалам Бринелля. Методика поверки.

СТБ 8024-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Системы измерительные для жидкостей, не являющихся водой. Общие требования и методы испытаний.

СТБ 8025-2005 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверочные схемы. Построение и содержание.

СТБ 8026-2006 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Измерение твердости. Методы оценивания неопределенности измерений.

СТБ 8031-2007 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Требования к организациям, осуществляющим ремонт средств измерений/

СТБ 8032-2007 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Измерения геодезические. Термины и определения.

СТБ 8033-2009 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Статические счетчики электрической энергии переменного тока. Методика поверки.

СТБ 8034-2011 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Методика поверки.

СТБ 8037-2014 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Приборы и преобразователи измерительные напряжения, тока, сопротивления цифровые. Общие требования к методике поверки.

СТБ 8045-2016 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Приборы давления цифровые измерительные ИПДЦ. Методика поверки.

СТБ 8046-2015 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Счетчики холодной питьевой воды и горячей воды. Методика поверки.

СТБ 8047-2015 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Уровнемеры автоматические. Методика поверки.

СТБ 8056-2015 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напорометры, тягомеры и тягонапорометры показывающие и самопишущие. Методика поверки.

СТБ 8057-2015 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Манометры и вакуумметры деформационные эталонные с условными шкалами. Методика поверки.

СТБ 8069-2017 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Преобразователи давления измерительные. Методика поверки.

СТБ 8072-2018 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Нивелиры оптические и рейки нивелирные. Методика поверки.

СТБ 8074-2020 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Преобразователи измерительные тока, напряжения, мощности, частоты, сопротивления аналоговые. Методика поверки.

СТБ 8089-2021 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Термометры биметаллические. Методика поверки.

СТБ OIMLD 31-2015 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Общие требования к средствам измерений с программным управлением.

ТКП 8.3-2007 (03220) Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Вертушки гидрометрические. Методика поверки в градуировочном лотке.

ТКП 355-2011 (03220) Система обеспечения единства измерений республики Беларусь. Порядок метрологического обеспечения автоматизированных систем контроля и учета электрической энергии.

СТБ 8026-2006 Стандарт устанавливает методы оценивания неопределенности при измерении твердости металлов по шкалам Виккерса, Бринелля и Роквелла. Стандарт предназначен для применения калибровочными и испытательными лабораториями, занимающимися измерениями твердости, а также органами, осуществляющими аккредитацию данных лабораторий [1].

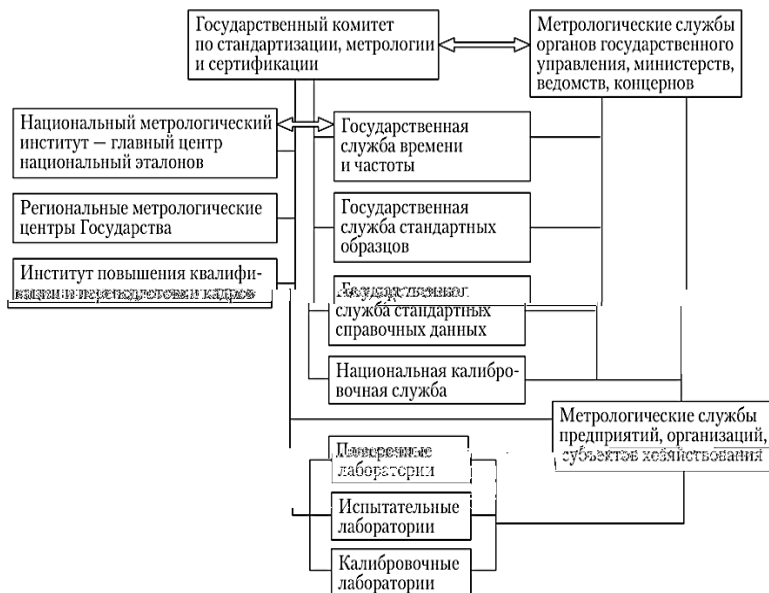


Рис. 1.1. Структура системы обеспечения единства измерений

## 1.2. Основные термины и определения в области метрологии

В практической жизни человек всюду имеет дело с измерениями. На каждом шагу встречаются измерения таких величин, как длина, объем, вес, время и др.

*Измерения* являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая человеку действующие в природе закономерности. Все отрасли техники не могли бы существовать без развернутой системы измерений, определяющих как все технологические процессы, контроль и управление ими, так и свойства и качество выпускаемой продукции.

Велико значение измерений в современном обществе. Они служат не только основой научно-технических знаний, но имеют первостепенное значение для учета материальных ресурсов и планирования, для внутренней и внешней торговли, для обеспечения качества продукции, взаимозаменяемости узлов и деталей и совершенствования технологии, для обеспечения безопасности труда и других видов человеческой деятельности.

Особенно возросла роль измерений в век широкого внедрения новой техники, развития электроники, автоматизации, атомной энергетики, космических полетов. Высокая точность управления полетами космических аппаратов достигнута благодаря современным совершенным средствам измерений, устанавливаемым как на самих космических аппаратах, так и в измерительно-управляющих центрах.

Большое разнообразие явлений, с которыми приходится сталкиваться, определяет широкий круг величин, подлежащих измерению. Во всех случаях проведения измерений, независимо от измеряемой величины, метода и средства измерений, есть общее, что составляет основу измерений – это сравнение опытным путем данной величины с другой подобной ей, принятой за единицу. При всяком измерении мы с помощью эксперимента оцениваем физическую величину в виде некоторого числа принятых для нее единиц, т. е. находим ее значение.

В настоящее время установлено следующее определение измерения: *измерение* есть нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Отраслью науки, изучающей измерения, является *метрология*. Слово «метрология» образовано из двух греческих слов: метрон – мера и логос – учение. Дословный перевод слова «метрология» – учение о мерах. Долгое время метрология оставалась в основном описатель-

ной наукой о различных мерах и соотношениях между ними. С конца прошлого века благодаря прогрессу физических наук метрология получила существенное развитие. Большую роль в становлении современной метрологии как одной из наук физического цикла сыграл Д. И. Менделеев, руководивший отечественной метрологией в период 1892–1907 гг.

Метрология в ее современном понимании – наука об измерениях, методах, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

*Единство измерений* – такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Единство измерений необходимо для того, чтобы можно было сопоставить результаты измерений, выполненных в разных местах, в разное время, с использованием разных методов и средств измерений.

Точность измерений характеризуется близостью их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Таким образом, важнейшей задачей метрологии является усовершенствованием эталонов, разработкой новых методов точных измерений, обеспечение единства и необходимой точности измерений.

Метрология занимается получением количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью.

К сфере вопросов, рассматриваемых метрологией, следует отнести:

- обеспечение единства измерений;
- защита населения и государства от последствий неточных и неправильных измерений;
- достоверный учет материальных, энергетических и природных ресурсов;
- развитие техники измерений в соответствии с уровнем технико-экономического развития страны;
- повышение качества товаров и услуг и обеспечение конкурентоспособности продукции;
- достижение доверия в международных экономических отношениях к результатам измерений при проведении поверки, калибровки, испытаний;
- создание и развитие метрологических инфраструктур, обеспечивающих совместимую, заслуживающую доверия систему измерений, необходимую для развития науки, промышленности, торговли, экономики.

Задачами метрологии являются:

- разработка фундаментальных научно-методических, правовых и организационных основ метрологии;
- стандартизация в области метрологии;
- создание, утверждение, содержание и сличение эталонов;
- установление единого порядка передачи размера единиц;
- установление требований к метрологическим характеристикам средств измерений;
- разработка методик выполнения измерений и их аттестация;
- установление порядка организации и проведения испытаний, метрологической аттестации, поверки и калибровки средств измерений;
- аккредитация испытательных, калибровочных и поверочных лабораторий;
- государственный метрологический надзор и метрологический контроль;
- международное сотрудничество в области метрологии.

Метрология делится на три самостоятельных, взаимно дополняющих раздела: теоретическая, прикладная и законодательная метрология.

**Теоретическая метрология** – раздел метрологии, предметом которого является разработка ее фундаментальных основ.

В **законодательной метрологии** рассматривается комплекс вопросов, относящихся к деятельности, направленной на обеспечение единства и необходимой точности измерений, требующей регламентации и контроля со стороны государства.

Раздел **практической (прикладной) метрологии** посвящен изучению вопросов практического применения разработок теоретической и положений законодательной метрологии.

Основным разделом является теоретическая метрология. В сферу вопросов, которые она рассматривает, входят основные представления метрологии; теория единства измерений; теория построения средств измерений и теория точности измерений. Структура теоретической метрологии представлена на рис. 1.2.

Роль метрологии как науки об измерениях в жизни современного общества очень велика, так как измерения присутствуют практически во всех сферах деятельности человека. Практическая значимость измерений определяется тем, что они обеспечивают получение информации о физических величинах, параметрах, об объекте управления или

контроля, которая служит основой для принятия решений в торговле, в том числе и международной, в промышленности, науке, технике, здравоохранении, при оценке безопасности труда, защите окружающей среды и охране природных ресурсов.



Рис. 1.2. Структура теоретической метрологии

Значимость метрологии как фундаментальной науки заключается в ее особой роли в системе научного знания, состоящей в том, что метрология разрабатывает теоретические и методологические аспекты

одного из важнейших методов познания. Методология важна и для внутреннего развития метрологии в связи с тем, что она объединяет различные области измерений, которые существенно отличаются друг от друга природой объектов и методами исследований.

Социальная значимость определяется решаемой метрологией задачей – защитой населения и государства от последствий неточных и неправильных измерений. Без измерений не может обойтись ни одна наука, поэтому метрология как наука об измерениях находится в тесной связи с другими науками. Понятия и методы метрологии имеют общенаучную значимость; исследования в этой области непосредственно связаны с естественными и социальными науками – математикой, физикой, философией.

Развитие метрологии обеспечивает научно-технический прогресс в стране и экономическую независимость. В связи с этим в промышленно развитых странах стоимость измерений и связанных с ними операций составляет от 4 до 6 % от валового национального продукта. Исследования экономической роли метрологии, выполненные в США, Великобритании, Канаде и ЕС, подтвердили, что инвестиции, вкладываемые правительствами в создание признаваемой на международном уровне инфраструктуры, относятся к числу наиболее эффективных с точки зрения их окупаемости и приносят большую прибыль общественному сектору. Характерной особенностью современного периода развития метрологии является повышение доверия к измерительной информации, которая служит основным объектом обмена при решении научно-технических проблем, основой взаиморасчетов между покупателем и продавцом при торговле, государственных учетных, банковских, налоговых, таможенных и т. п. операциях как на внутреннем рынке, так и во внешнеэкономической деятельности.

В эпоху глобализации экономики и торговли роль метрологии направлена на обеспечение условия «Одно измерение – и достижение его всемирного признания». В этом случае возможно избежать повторных измерений и испытаний, добиться экономии ресурсов, материалов, времени, персонала, финансов. В связи с этим возникла необходимость создания всемирной системы измерений, обеспечивающей гармонизированные условия, требуемую точность, «прозрачность», «прослеживаемость». Составляющими международной глобальной системы являются согласованные законы в области измерений, базирующиеся на Международной системе единиц и соответствующей реализации единиц в виде эталонов; прослеживаемость до национальных и международных

эталонов и их эквивалентность; гармонизированные требования к поверке, калибровке и оформлению их результатов; оценка компетентности лабораторий третьей стороной; утверждение типа и оценка соответствия средств измерений; обучение персонала и оценка их квалификации.

С начала XXI в. требования, предъявляемые к точности и достоверности измерений, изменялись очень быстро. На сегодняшний день количество областей человеческой деятельности, в которых требуются достоверные измерения, заметно возросло даже по сравнению с недавним прошлым.

До недавнего времени метрология была связана почти исключительно с наукой и техникой. Быстрая разработка новых методов и рост общей необходимости в более качественных, достоверных измерениях в сочетании с разнообразием материалов привели к появлению дополнительных требований в этой части метрологии. Действительно, во многих областях этой науки, таких как линейно-угловые и электрические измерения, измерения времени и частоты, оптические измерения и измерения давления, уровень точности за последние пятьдесят лет увеличивался в десять раз через каждые десять-двадцать лет. И эта тенденция не прекращается, а напротив, точность измерений повышается все быстрее. Это касается эталонов времени и частоты, которые являются основой систем космической навигации и определения местоположения. В настоящее время предъявляются очень жесткие требования к линейно-угловым измерениям и измерениям механических величин различных деталей, предназначенных для сборки и изготавливаемых на разных заводах (часто в разных странах) для того, чтобы обеспечить их совместимость.

В нефтегазовой промышленности можно было бы сэкономить много финансовых ресурсов, если бы, например, удалось значительно повысить точность измерения расхода. Погрешность в несколько тысячных обходится в несколько сотен миллионов долларов.

Сейчас существует необходимость в количественном определении и измерении многих физических свойств, для которых до недавнего времени не было установлено никаких процедур метрологической прослеживаемости. Среди них можно назвать различные реологические и термомеханические свойства материи (сила, вязкость, упругость, передача тепла и др.).

Общая тенденция в сторону миниатюризации продукции и внедрения субмикронных технологий ведет к появлению существенно новых типов измерений. Нано метрология (включая измерения в биотехноло-

гических областях) – это новое направление, связанное с разработкой новых методов измерений на нано уровне. Например, нанометровая точность необходима при обработке граней оптических волокон, предназначенных для использования в телекоммуникационных системах; при улучшении текстур поверхности, стеклянных покрытий с использованием очень тонких пленок и т. д. Для этого требуется не только разрабатывать новые измерительные приборы для больших разрешений, но также создавать эталоны, которые могли быть использованы для измерения объектов с малыми размерами.

Нано метрология применяется не только в линейно-угловых измерениях. В некоторых других областях также требуется измерение малых величин. К ним относятся очень слабое ионизирующее излучение, очень малые силы и крутящие моменты в микромеханике, малое давление, получаемое с помощью вакуумных методов, а также многие величины в области биологии, прослеживаемого химического анализа, фармакологии и т. д.

Важные успехи были достигнуты за прошедшее десятилетие в области здравоохранения. Благодаря повышению точности измерений значительно улучшилось качество диагностирования пациентов, что повысило шансы на их успешное лечение. В настоящее время существует проблема прослеживаемости измерений в области здравоохранения. Такая прослеживаемость будет в скором времени узаконена в ЕС путем принятия директивы на медицинские приборы лабораторной диагностики.

Достоверные и сравнимые измерения в области испытаний пищевой продукции приобретают все большую важность не только вследствие ее большого объема и высокой экспортной стоимости, но и в связи с вопросами, поднимаемыми обществом и касающимися безопасности пищевой продукции. Сюда относится такая проблема, как контроль генетически модифицированных продуктов.

Измерения, связанные с качеством жизни, биотехнологией и мониторингом окружающей среды, а именно уровня загрязнений и изменения климата также требуют достоверных и сравнимых измерений и соответствующих эталонов. Для решения всех этих вопросов измерения должны проводиться в рамках глобальной системы измерений, надежность которой будут обеспечивать работающие вместе национальные и международные метрологические организации.

Глобальная система измерений, базирующаяся на национальных системах, рассматривается как важнейший инструмент для технического, торгового и социального прогресса в XXI столетии [2].

### 1.3. Классификация и основные характеристики измерений

*Измерение* является важнейшим понятием в метрологии. Это организованное действие человека, выполняемое для количественного познания свойств физического объекта с помощью определения опытным путем значения какой-либо физической величины.

Существует несколько видов измерений. При их классификации обычно исходят из характера зависимости измеряемой величины от времени, вида уравнения измерений, условий, определяющих точность результата измерений и способов выражения этих результатов.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяются на: *статические*, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени; *динамические*, в процессе которых измеряемая величина изменяется и является непостоянной во времени.

Статическими измерениями являются, например, измерения размеров тела, постоянного давления, динамическими – измерения пульсирующих давлений, вибраций. По способу получения результатов измерений их разделяют на: прямые; косвенные; совокупные; совместные.

*Прямые* – это измерения, при которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных. Прямые измерения можно выразить формулой:

$$X = Y, \quad (1.1)$$

где  $X$  – искомое значение измеряемой величины,

$Y$  – значение, непосредственно получаемое из опытных данных.

При прямых измерениях экспериментальным операциям подвергают измеряемую величину, которую сравнивают с мерой непосредственно или же с помощью измерительных приборов, градуированных в требуемых единицах. Примерами прямых служат измерения длины тела линейкой, массы при помощи весов и др. Прямые измерения широко применяются в машиностроении, а также при контроле технологических процессов (измерение давления, температуры и др.).

*Косвенные* – это измерения, при которых искомую величину определяют на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, поддающимися прямым измерениям, т. е. измеряют не собственно определяемую величину, а другие, функционально с ней связанные. Значение измеряемой величины находят путем вычисления по формуле:

$$= (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1.2)$$

где  $x_i$  – искомое значение косвенно измеряемой величины;  
 $f$  – функциональная зависимость, которая заранее известна;  
 $x_1, x_2, \dots, x_n$  – значения величин, измеренных прямым способом.

Примеры косвенных измерений: определение объема тела по прямым измерениям его геометрических размеров, нахождение удельного электрического сопротивления проводника по его сопротивлению, длине и площади поперечного сечения.

Косвенные измерения широко распространены в тех случаях, когда искомую величину невозможно или слишком сложно измерить непосредственно или когда прямое измерение дает менее точный результат. Роль их особенно велика при измерении величин, недоступных непосредственному экспериментальному сравнению, например размеров астрономического или внутриатомного порядка.

*Совокупные* – это производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомую определяют решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Примером совокупных измерений является определение массы отдельных гирь набора (калибровка по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь).

*Совместные* – это производимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для нахождения зависимостей между ними.

В качестве примера можно назвать измерение электрического сопротивления при 20 °С и температурных коэффициентов измерительного резистора по данным прямых измерений его сопротивления при различных температурах.

По условиям, определяющим точность результата, измерения делятся на три класса:

1. *Измерения максимально возможной точности*, достижимой при существующем уровне техники.

К ним относятся в первую очередь эталонные измерения, связанные с максимально возможной точностью воспроизведения установленных единиц физических величин, и, кроме того, измерения физических констант, прежде всего универсальных (например, абсолютного значения ускорения свободного падения, гиромагнитного отношения протона и др.).

К этому же классу относятся и некоторые специальные измерения, требующие высокой точности.

2. *Контрольно-поверочные измерения*, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некоторого заданного значения.

К ним относятся измерения, выполняемые лабораториями государственного надзора за внедрением и соблюдением стандартов и состоянием измерительной техники, и заводскими измерительными лабораториями, которые гарантируют погрешность результата с определенной вероятностью, не превышающей некоторого, заранее заданного значения.

3. *Технические измерения*, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерений. Примерами технических измерений являются измерения, выполняемые в процессе производства на машиностроительных предприятиях, на щитах распределительных устройств электрических станций и др. По способу выражения результатов измерений различают абсолютные и относительные измерения.

*Абсолютными* называются измерения, которые основаны на прямых измерениях одной или нескольких основных величин или на использовании значений физических констант.

Примером абсолютных измерений может служить определение длины в метрах, силы электрического тока в амперах, ускорения свободного падения в метрах на секунду в квадрате.

*Относительными* называются измерения отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

В качестве примера относительных измерений можно привести измерение относительной влажности воздуха, определяемой как отношение количества водяных паров в  $1 \text{ м}^3$  воздуха к количеству водяных паров, которое насыщает  $1 \text{ м}^3$  воздуха при данной температуре.

Основными характеристиками измерений являются: принцип измерений, метод измерений, погрешность, точность, правильность и достоверность.

*Принцип измерений* – физическое явление или совокупность физических явлений, положенных в основу измерений. Например, измерение массы тела при помощи взвешивания с использованием силы тяжести, пропорциональной массе, измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта.

*Метод измерений* – совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Средствами измерений являются используемые технические средства, имеющие нормированные метрологические свойства.

Погрешность измерений – разность между полученным при измерении  $X'$  и истинным  $Q$  значениями измеряемой величины:

$$\Delta = X' - Q. \quad (1.3)$$

Погрешность вызывается несовершенством методов и средств измерений, непостоянством условий наблюдения, а также недостаточным опытом наблюдателя или особенностями его органов чувств.

*Точность измерений* — это характеристика измерений, отражающая близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Количественно точность можно выразить величиной, обратной модулю относительной погрешности:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{Q}^{-1}. \quad (1.4)$$

Например, если погрешность измерений равна  $10^{-2}\% = 10^{-4}$ , то точность равна  $10^4$ .

*Правильность измерения* определяется как качество измерения, отражающее близость к нулю систематических погрешностей результатов (т. е. таких погрешностей, которые остаются постоянными или закономерно изменяются при повторных измерениях одной и той же величины). Правильность измерений зависит, в частности, от того, насколько действительный размер единицы, в которой выполнено измерение, отличается от ее истинного размера (по определению), т. е. от того, в какой степени были правильны (верны) средства измерений, использованные для данного вида измерений.

Важнейшей характеристикой качества измерений является их *достоверность*; она характеризует доверие к результатам измерений и делит их на две категории: достоверные и недостоверные, в зависимости от того, известны или неизвестны вероятностные характеристики их отклонений от истинных значений соответствующих величин. Результаты измерений, достоверность которых неизвестна, не представляют ценности и в ряде случаев могут служить источником дезинформации.

Наличие погрешности ограничивает достоверность измерений, т. е. вносит ограничение в число достоверных значащих цифр числового значения измеряемой величины и определяет точность измерений [3, 4].

#### **1.4. Физические величины и их единицы.**

##### **Системы физических единиц.**

##### **Международная система единиц СИ**

Человека окружает множество различных предметов, явлений, процессов, характеризующихся определенными свойствами. **Свойство** – философская категория, выражающая такую сторону объекта, которая обуславливает его различие или общность с другими объектами и обнаруживается в его отношениях с ним. Свойство – категория качественная, определяемая тем, какую особенность материального мира эта величина характеризует (длину, твердость, прочность и др.). Для количественного описания различных свойств, процессов и физических объектов вводится понятие величины. **Величина** – это свойство, которое может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно.

Их принято делить на величины материального мира (реальные величины) и величины идеальных моделей (математические), которые являются обобщением (моделью) конкретных реальных понятий. В свою очередь величины материального мира делятся на физические и нефизические. К нефизическим следует отнести величины, присущие общественным (нефизическим) наукам, – философии, социологии, экономике и т. п. (например, себестоимость, цена и др.).

Физическая величина может быть определена как величина, применяемая для описания материальных объектов (процессов, явлений), изучаемых в естественных (физика, химия и др.) и технических науках. К физическим величинам относятся длина, масса, температура, время, напряжение, электрическое сопротивление, давление, скорость и многие другие.

Идеальные величины вычисляются тем или иным способом. Нефизические можно оценить или вычислить. А физические величины можно измерить или оценить, в зависимости от чего они делятся на измеряемые и оцениваемые. Измеряемые физические величины могут быть выражены количественно в виде определенного числа установленных единиц измерения (рис. 1.3).

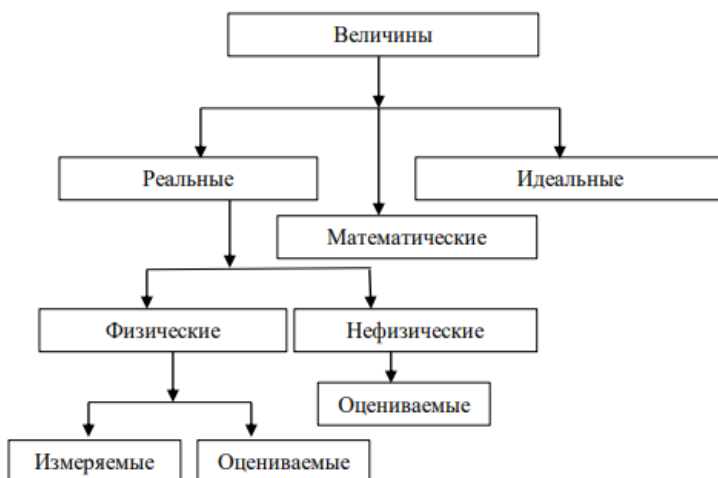


Рис. 1.3. Структура величин

Физические величины, для которых по тем или иным причинам нет единицы измерения, могут быть только оценены. Под **оцениванием** понимается операция приписывания данной величине определенного числа, проводимая по установленным правилам. Оценивание величины осуществляют при помощи установленных шкал. Соответственно, метрология как наука об измерениях изучает только измеряемые физические величины, т. е. величины, для которых может существовать физически реализуемая и воспроизводимая в специальных технических средствах (эталонах) единица величины. Балльная оценка свойств (знаний школьников, выступлений спортсменов, силы ветра и др.), экспертная и органолептическая оценка (вкуса, запаха и т. д.), а также квалиметрическая оценка качества продукции не являются объектами метрологии.

В соответствии с определением **физическая величина (ФВ)** – одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. Качественная общность состоит в том, что определенное свойство может характеризовать многие физические объекты. Например, свойство инерционности и способности создавать гравитационное

поле характеризуется такой физической величиной, как масса, которую имеют все окружающие человека предметы. Однако количественное значение массы каждого отдельного предмета различно.

Физическая величина представляет собой измеренные свойства физических объектов или процессов, с помощью которых они могут быть изучены. Для выражения количественного содержания свойства конкретного объекта употребляется понятие «размер ФВ», оценку которого устанавливают в процессе измерения. **Размер физической величины** – это количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу. Размер физической величины не зависит от того, знаем мы его или нет. Например, каждое тело обладает определенной массой, вследствие чего тела можно различать по их массе, т. е. по размеру интересующей нас ФВ.

Выразить размер, т. е. произвести его оценку, мы можем при помощи любой из единиц данной величины и числового значения.

Выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц называют **значением физической величины**. Например, значения физических величин: массы – 2 кг, длины – 3 м, прочности – 100 МПа; где цифры 2, 3 и 100 – отвлеченные числа, входящие в значение величины и являющиеся **числовыми значениями физических величин**. Значения физических величин будут зависеть от выбранной единицы измерения. Например, длина объекта: 2 м, 20 дм, 200 см и 2000 мм. Нахождение значения физической величины является основной целью и результатом измерений.

Значение физической величины получают в результате измерения и вычисляют в соответствии с основным уравнением измерения:

$$Q = q[Q], \quad (1.5)$$

где  $Q$  – значение физической величины;

$q$  – числовое значение физической величины, показывающее отношение значения физической величины к ее единице;

$[Q]$  – единица физической величины.

Под **единицей ФВ** понимают физическую величину фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и которая применяется для количественного выражения однородных с ней физических величин. Единица физической величины – такое ее значение, которое принимается за основание масштаба для сравнения с ним однородных физических величин.

**Однородными** называются физические величины, выражающие одно и то же в количественном отношении свойство. Однородные физические величины выражаются в одинаковых единицах и могут сравниваться друг с другом (например, длина и диаметр детали).

Выделяют три группы физических величин. В первую группу входят физические величины, характеризующие свойства объектов: длина, масса, электрическое сопротивление и т. п. Во вторую группу – физические величины, характеризующие состояние системы: давление, температура, магнитная индукция и т. п. В третью – физические величины, характеризующие процессы – скорость, ускорение, мощность и др.

Существуют и другие классификации физических величин.

По видам явлений ФВ делятся на:

- вещественные, описывающие физические и физико-химические свойства веществ, материалов и изделий из них. К этой группе относятся масса, плотность, электрическое сопротивление, емкость, индуктивность и др.;

- энергетические – величины, описывающие энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и использования энергии. Это ток, напряжение, мощность, энергия и др.;

- характеризующие протекание процессов во времени. К ним относятся различного рода спектральные характеристики, корреляционные функции и др.

По принадлежности к различным группам физических процессов физические величины делятся на пространственно-временные, механические, тепловые, электрические, магнитные, акустические, световые, физико-химические и др.

В зависимости от возможности проведения арифметических действий над значением физической величины различают аддитивную и неаддитивную физические величины.

Физическая величина, разные значения которой могут быть суммированы, умножены на числовой коэффициент, разделены друг на друга, является **аддитивной** физической величиной. К аддитивным величинам относятся длина, масса, сила, давление, время, скорость и др.

**Неаддитивная** физическая величина – физическая величина, для которой умножение на числовой коэффициент или деление друг на друга ее значений не имеет физического смысла. Например, термодинамическая температура.

В зависимости от цели измерения различают измеряемые и влияющие физические величины.

**Измеряемой физической величиной** является физическая величина, подлежащая измерению, измеряемая или измеренная в соответствии с основной целью измерительной задачи. **Влияющая физическая величина** – физическая величина, непосредственно не измеряемая средством измерений, но оказывающая влияние на него и на объект измерения таким образом, что это приводит к искажению результата измерения. Например, если измеряемой физической величиной является плотность, то влияющей величиной – температура.

По степени условного постоянства выделяют постоянную и переменную физические величины. **Постоянной физической величиной** является физическая величина, размер которой по условиям измерительной задачи можно считать не изменяющимся на протяжении времени измерения.

**Переменная физическая величина** – это физическая величина, изменяющаяся по размеру в процессе измерения.

По степени условной независимости от других величин физические величины делятся на основные (условно независимые в конкретной системе единиц) и производные, образуемые из основных единиц (условно зависимые). В международной системе СИ, действующей в настоящее время, используются семь физических величин, выбранных в качестве основных: длина, время, масса, термодинамическая температура, сила электрического тока, сила света и количество вещества. Другие величины – условно зависимые (производные), образованы из независимых величин с использованием связей между ними.

Связи между физическими величинами принято описывать с помощью физических уравнений, где под символами понимают физические величины, разные в качественном отношении.

В метрологии существует два вида уравнений, связывающих между собой различные физические величины: уравнение связи между величинами и уравнение связи между числовыми значениями величин.

**Уравнения связи между величинами** – уравнения, отражающие законы природы, в которых под буквенными символами понимаются физические величины. Они могут быть записаны в виде, не зависящем от выбора единиц измерений входящих в них физических величин:

$$= \alpha \beta, \quad (1.6)$$

где  $K$  – числовой коэффициент;

$X, Y, Z$  – физические величины.

Коэффициент  $K$  не зависит от выбора единиц измерений, он определяет связь между величинами. Например, в уравнении кинетической энергии  $E_k = \frac{1}{2} m v^2$  есть коэффициент  $\frac{1}{2}$ , наличие которого объясняется только содержанием понятия о кинетической энергии и ее связи со скоростью и массой тела, но не выбором единицы измерения.

**Уравнения связи между числовыми значениями физических величин** – уравнения, в которых под буквенными символами понимают числовые значения величин, соответствующие выбранным единицам.

$$x = \alpha \beta y, \quad (1.7)$$

где  $\alpha$  – числовой коэффициент, зависящий от выбранной системы единиц.

Например, уравнение связи между числовыми значениями площади прямоугольника и его геометрическими размерами имеет вид (при условии, что площадь измеряется в квадратных метрах, а длина и ширина соответственно в метрах и миллиметрах)  $1 \text{ м}^2 = 10^3 \text{ мм}^2$ ,  $1 \text{ мм}^2 = 10^{-3} \text{ м}^2$ .

По наличию размерности физические величины делятся на размерные, т. е. имеющие размерность и безразмерные.

Размерность, обозначаемая  $\dim Q$  (dimension), является важной характеристикой физической величины. **Размерность** физической величины – PP ^ÊÍG P U IUE \ÖÀ S™R W w P d

$J$  – силы света. Систему СИ обозначают символами входящих в нее основных величин:  $LMTIONJ$ .

Размерность производной физической величины выражается через размерность основных физических величин. Например, скорость равномерно и прямолинейно движущегося тела, определяемая как пройденный путь ( $S$ ), деленный на затраченное время ( $t$ )  $v = S / t$ , имеет размерность  $\dim v = LT^{-1}$ ; сила ( $F$ ), определяемая как произведение массы тела на ускорение ( $a$ )  $F = ma$  имеет размерность  $= L^{-2}$ .

Показатель степени, в которую возведена размерность основной физической величины, входящая в размерность производной физической величины, называют **показателем размерности**. Если все показатели размерности равны нулю, то такую величину называют безразмерной. Безразмерными являются относительные (например, относительная плотность  $= \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1}{1} = 1$ , логарифмические величины. **Размерной** является физическая величина, в размерности которой хотя бы одна из основных физических величин возведена в степень, не равную нулю.

Размерность физической величины является более общей характеристикой, чем определяющее ее уравнение связи, поскольку одна и та же размерность может быть присуща величинам, имеющим разную качественную природу и различающимся по форме определяющего уравнения. Например, работа силы ( $A$ ), описываемая уравнением  $A = \frac{1}{2} mv^2$  и кинетическая энергия  $E_k = \frac{1}{2} mv^2$  имеют одинаковую размерность:  $[A] = [E_k] = \frac{1}{2} [m] [v]^2 = ML^2 T^{-2}$ .

Размерности широко используются для перевода единиц из одной системы в другую, для образования производных единиц и проверки однородности уравнения.

Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин, называется **системой физических величин**.

Система единиц строится следующим образом. Выбираются несколько физических величин, называемых основными. **Основной единицей** системы единиц физических величин является единица основной физической величины в данной системе. Основные величины выбираются из условия независимости между собой и с учетом возможности установить с их помощью связи с другими величинами. Остальные величины выражаются через основные и называются производными единицами. **Производная единица** системы единиц физиче-

ских величин – единица производной физической величины системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами или с основными и уже определенными производными.

Исторически первой успешной системой единиц величин стала метрическая система, разработанная во Франции в 90-е гг. XVIII в. Она была принята на международном уровне через Метрическую Конвенцию, подписанную 17 государствами в 1875 г. в Париже. Ныне это соглашение подписано 48 странами мира. Первоначально в метрическую систему входили четыре величины: длина, масса, площадь и объем. С развитием науки и техники метрическая система мер стала дополняться единицами других величин.

В различных областях науки и техники использовались различные метрические системы, количество которых увеличивалось, что создавало неудобства в применении единиц и являлось препятствием для сопоставления результатов измерений. Наиболее важные метрические системы, применяемые ранее, в том числе и применяемая в настоящее время система СИ, которая является логическим развитием предшествовавших ей систем единиц, представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Основные единицы величин международной системы (СИ)

| Величина                                     | Наименование единицы величины |                      | Обозначение единицы величины |         |             |
|----------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------|---------|-------------|
|                                              | на русском языке              | на белорусском языке | международное                | русское | белорусское |
| Время                                        | секунда                       | секунда              | s                            | с       | с           |
| Длина                                        | метр                          | метр                 | m                            | м       | м           |
| Масса                                        | килограмм                     | килограмм            | kg                           | кг      | кг          |
| Электрический ток (сила электрического тока) | ампер                         | ампер                | A                            | А       | А           |
| Термодинамическая температура                | кельвин                       | кельвин              | K                            | К       | К           |
| Количество вещества                          | моль                          | моль                 | mol                          | моль    | моль        |
| Сила света                                   | кандела                       | кандела              | cd                           | кд      | кд          |

С целью унификации систем единиц на XI Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ) в октябре 1960 г. была утверждена единая система единиц, названная «Международная система единиц».

На территории нашей страны система единиц СИ действует с 1 января 1982 г. с введением в действие ГОСТ 8.417-81 «ГСИ. Единицы физических величин».

Международная система единиц «СИ» – это сокращенное название в русской транскрипции. В международной транскрипции используется сокращенное название «SI», образованное из начальных букв французского названия этой системы «Systeme International».

В систему СИ входят не только семь основных независимых друг от друга единиц физических величин, но и множество производных. До 1995 г. в систему СИ входили две дополнительные единицы: плоского (радиан) и телесного (стерадиан) угла. Но с целью упрощения эти единицы были переведены в категорию производных.

Основные единицы и их определения представлены в табл. 1.2.

**Таблица 1.2. Основные единицы производных физических величин, имеющие специальные наименования и обозначения**

| Величина                          | Наименование единицы величины |                      | Обозначение единицы величины |         |             | Выражение через основные единицы величин Международной системы единиц (СИ) |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------|---------|-------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                   | на русском языке              | на белорусском языке | международное                | русское | белорусское |                                                                            |
| 1                                 | 2                             | 3                    | 4                            | 5       | 6           | 7                                                                          |
| Плоский угол                      | радиан                        | радиан               | rad                          | рад     | рад         | $\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$                                             |
| Телесный угол                     | стерадиан                     | стерадиан            | sr                           | ср      | ср          | $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$                                           |
| Частота                           | герц                          | герц                 | Hz                           | Гц      | Гц          | $\text{s}^{-1}$                                                            |
| Сила                              | ньютон                        | ньютон               | N                            | Н       | Н           | $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$                             |
| Давление, механическое напряжение |                               |                      |                              |         |             |                                                                            |

Окончание табл. 1.2

| 1                                                                   | 2              | 3              | 4   | 5   | 6   | 7                                        |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----|-----|-----|------------------------------------------|
| Электрический заряд                                                 | кулон          | кулон          | С   | Кл  | Кл  | $A \cdot s$                              |
| Разность электрических потенциалов (напряжение электрического тока) | вольт          | вольт          | V   | В   | В   | $kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$ |
| Электрическая емкость                                               | фарад          | фарад          | F   | Ф   | Ф   | $kg^{-1} \cdot m^2 \cdot s^4 \cdot A^2$  |
| Электрическое сопротивление                                         | ом             | ом             | W   | Ом  | Ом  | $kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$ |
| Электрическая проводимость                                          | сименс         | сименс         | S   | См  | См  | $kg^{-1} \cdot m^2 \cdot s^3 \cdot A^2$  |
| Магнитный поток                                                     | вебер          | вебер          | Wb  | Вб  | Вб  | $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$ |
| Плотность магнитного потока, магнитная индукция                     | тесла          | тесла          | T   | Тл  | Тл  | $kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$           |
| Индуктивность                                                       | генри          | генри          | H   | Гн  | Гн  | $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$ |
| Температура Цельсия                                                 | градус Цельсия | градус Цельсия | °C  | °C  | °C  | K                                        |
| Световой поток                                                      | люмен          | люмен          | lm  | лм  | лм  | $cd \cdot sr$                            |
| Освещенность                                                        | люкс           | люкс           | lx  | лк  | лк  | $cd \cdot sr \cdot m^{-2}$               |
| Активность радионуклида                                             | беккерель      | беккерель      | Bq  | Бк  | Бк  | $s^{-1}$                                 |
| Поглощенная доза, керма                                             | грей           | грэй           | Gy  | Гр  | Гр  | $m^2 \cdot s^{-2}$                       |
| Эквивалент дозы                                                     | зиверт         | зиверт         | Sv  | Зв  | Зв  | $m^2 \cdot s^{-2}$                       |
| Активность катализатора                                             | катал          | катал          | kat | кат | кат | $mol \cdot s^{-1}$                       |

При образовании производных единиц СИ, как правило, полученная единица имеет наименование, состоящее из наименований соответствующих основных. Например, метр в секунду (м/с, м/с); вольт на метр (V/м, В/м); джоуль на кельвин (J/K, Дж/К); ватт на метр – кельвин (W/(м · К), Вт/(м · К)). Из практических соображений 21 производной единице дали специальные наименования и обозначения по именам ученых. Например, единица силы – ньютон (N, Н); давления – паскаль (Pa, Па); энергии, работы – джоуль (J, Дж); мощности, потока

энергии – ватт (V, Вт); количества электричества – кулон (С, Кл) и т. п.

В соответствии с определением все единицы физических величин материализованы в технических устройствах – эталонах. Основная единица массы – килограмм – определена как масса международного прототипа килограмма, который представляет собой цилиндр из сплава платины (массовая доля 0,9) и иридия (массовая доля 0,1) высотой и диаметром 39 мм. Он хранится в Международном Бюро Мер и Весов (МБМВ) и является единственным уничтожимым эталоном физической величины.

Другие шесть основных единиц определены с помощью физических экспериментов и связаны с мировыми атомными константами, что делает возможным их воспроизведение на уровне национальных лабораторий.

Производные единицы вместе с основными формируют когерентную систему. Когерентность системы СИ заключается в том, что в уравнениях, связывающих производную единицу с другими единицами системы, числовой коэффициент всегда равен единице.

Например, для образования когерентной единицы энергии, описываемой уравнением  $E = 1/2mv^2$ , необходимо произвести следующие преобразования:

$$= 0,5(2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2) = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = \text{Дж}. \quad (1.9)$$

Следовательно, когерентной единицей энергии в системе СИ является джоуль (равный ньютон-метру). Он равен кинетической энергии тела массой 2 кг, движущегося со скоростью 1 м/с.

Наряду с единицами СИ допущено к применению ограниченное число внесистемных единиц (т. е. не входящих в систему СИ) из-за их практической важности и повсеместного применения в различных областях деятельности: массы – тонна (t, т), атомная единица массы (u, а.е.м.); времени – минута (min, мин), час (h, ч), сутки (d, сут); плоского угла – градус (°...), минута ('...), секунда объема ("...), вместимости – литр (l, л); длины – астрономическая единица (ua, а.е.), световой год (ly, св. год), парсек (pc, пк); оптической силы – диоптрия (D, дптр); площади – гектар (ha, га); энергии – электрон-вольт (eV, эВ); полной мощности – вольт-ампер (VA, ВА); реактивной мощности – вар (var, вар).

Особое место занимает небольшая группа единиц (морская миля, узел, карат, оборот в секунду, оборот в минуту, бар, текс и непер), которые разрешается применять временно и только в тех областях, в ко-

торых ими пользовались ранее. Эти единицы будут постепенно изыматься из обращения и заменяться единицами СИ.

Некоторые внесистемные единицы уже были изъяты из употребления. Например, единица длины – ангстрем, массы – центнер, мощности – лошадиные силы и другие. Некоторые, например единицы давления: килограмм-сила на квадратный сантиметр, миллиметр водяного столба, миллиметр ртутного столба должны быть изъяты до 2005 г.

К основным достоинствам СИ следует отнести универсальность – она охватывает все области науки и техники; унификацию всех областей и видов измерений; когерентность величин; возможность воспроизведения единиц с высокой точностью в соответствии с определением; упрощение записи формул в связи с отсутствием переводных коэффициентов; единую систему кратных и дольных единиц, имеющих собственные наименования [5].

### 1.5. Шкалы и их применение в метрологии

Как уже отмечалось, некоторые свойства объектов, процессов, явлений проявляются только качественно и потому могут быть только оценены, другие, для которых могут быть установлены единицы измерения, могут быть измерены. Оценивание и измерение физических величин осуществляется при помощи различных шкал.

**Шкала физической величины** – это упорядоченная последовательность значений ФВ, принятая по соглашению. Различают четыре основных типа шкал: наименования, порядка, интервалов и отношений.

**Шкала наименований** является самой простой из существующих шкал. Она основана на приписывании объекту знаков (числа, наименования или других условных обозначений), играющих роль простых имен. Шкала наименований позволяет составлять классификации, идентифицировать и различать объекты; в них отсутствует понятия нуля, меньше, больше и единиц измерения. Примером использования шкалы наименований для оценки физических величин является шкала цветности, предназначенная для идентификации цвета.

**Шкала порядка** (шкала рангов) предполагает упорядочение объектов относительно какого-то определенного их свойства, т. е. расположение их в порядке убывания или возрастания данного свойства. Полученный при этом упорядоченный ряд называют ранжированным рядом, а саму процедуру ранжированием. Например, оценка знаний

учащихся и выступлений спортсменов в баллах. По шкале порядка сравниваются между собой однородные объекты. Ранжированный ряд может дать ответ на вопросы что больше или что меньше. Более подробную цифру, на сколько больше или на сколько меньше, шкала порядка не дает. Результаты, оцениваемые по шкале порядка, не могут подвергаться каким-либо арифметическим действиям. Примером использования этой шкалы для оценивания физических величин может служить используемая в минералогии шкала твердости Мооса. Она содержит десять минералов с различными условными числами твердости: тальк – 1, гипс – 2, кальций – 3, флюорит – 4, апатит – 5, ортоклаз – 6, кварц – 7, топаз – 8, корунд – 9, алмаз – 10. Коэффициент твердости определяется так: если какой-либо минерал царапает, например, апатит (твердость 5) и не царапает ортоклаз (твердость 6), то его твердость обозначается коэффициентом 5,5 (или от 5 до 6). Оценка силы землетрясения в баллах, морского волнения, скорости ветра также являются примерами применения шкалы порядка для оценивания физических величин.

Определение значения величин при помощи этой шкалы нельзя назвать измерением, так как на этих шкалах не могут быть введены единицы измерения.

Для построения **шкалы интервалов** вначале устанавливают единицу ФВ. На шкале интервалов откладывается разность значений ФВ, сами же значения остаются неизвестными. Шкала интервалов состоит из одинаковых интервалов, имеет единицу измерения и произвольно выбранное начало – нулевую точку. Результаты измерений по шкале интервалов можно складывать друг с другом и вычитать друг из друга, т. е. определять на сколько одно значение физической величины больше или меньше другого.

К таким шкалам относится летоисчисление по различным календарям, в которых за начало отсчета принято сотворение мира, рождение Христова и т. д., температурные шкалы Цельсия, Фаренгейта и Реомюра.

На температурной шкале Цельсия за начало отсчета принята температура таяния льда. Для удобства пользования шкалой интервал между температурой таяния льда и температурой кипения воды разделен на 100 равных частей – градусов. Когда говорят температура 20 °С, это означает, что она на 20 градусов выше температуры, принятой за нулевую. По этой шкале можно не только выразить результат в числовом виде, но и оценить погрешность измерения.

**Шкала отношений** представляет собой интервальную шкалу с

естественным началом. Эта шкала охватывает значения от 0 до бесконечности и не содержит отрицательных значений. Шкала отношений является самой совершенной, наиболее информативной. Результаты, полученные по шкале отношений, можно складывать, вычитать, перемножать или делить. Их примерами являются шкала массы, термодинамической температуры.

Частным случаем шкалы отношений является «абсолютная» шкала, которая, кроме фиксированной нулевой точки («естественного нуля»), имеет еще и «естественную единицу». Такие шкалы соответствуют относительным величинам: коэффициенту усиления, ослабления, относительной влажности и др.

Шкалы наименований и порядка называют не метрическими (концептуальными), а шкалы интервалов и отношений – метрическими (материальными).

Понятию «измерение» отвечают процедуры определения величин по шкале интервалов и отношений [5].

## **1.6. Технические средства измерений**

Средства технических измерений подразделяются на три основные группы: меры, калибры, универсальные средства измерения (измерительные приборы, контрольно-измерительные приборы, «КИП» и системы).

Мера представляет собой средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера. К мерам относятся плоскопараллельные меры длины (плитка) и угловые меры.

Калибры представляют собой устройства, предназначенные для контроля и нахождения в заданных границах размеров, взаимного расположения поверхностей и формы деталей. К ним относятся, например, гладкие предельные калибры (скобы и пробки), резьбовые калибры (резьбовые кольца или скобы, резьбовые пробки) и т. п.

Измерительный прибор – устройство, вырабатывающее сигнал измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателей.

Измерительной системой называется совокупность средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи. Она предназначена для выработки сигналов измерительной ин-

формации в форме, удобной для автоматизированной обработки, передачи или использования в автоматических системах управления.

Универсальные средства измерения предназначены для определения действительных размеров. Этим они и отличаются от калибров, позволяющих убедиться лишь в том, что размер лежит в заданных пределах. Любое универсальное измерительное средство характеризуется назначением, принципом действия, т. е. физическим принципом, положенным в основу его построения, особенностями конструкции и метрологическими характеристиками.

К основным метрологическим характеристикам универсальных средств измерений относятся следующие:

- 1) номинальное значение однозначной меры  $n$ ;
- 2) градуировочная характеристика – зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерений;
- 3) длина деления шкалы – расстояние между серединами двух соседних отметок (штрихов, точек и т. п.);
- 4) цена деления шкалы – это разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы (см. рис. 1.4);

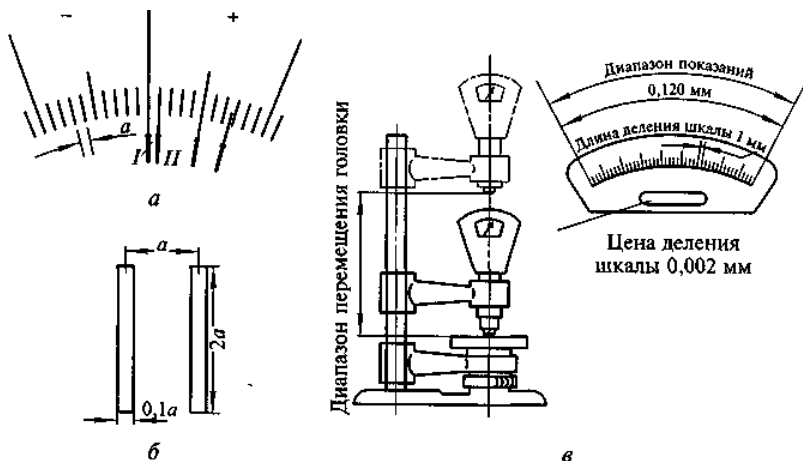


Рис. 1.4. Метрологические характеристики средств измерений

$$= \pm 1 - , \quad (1.10)$$

где  $\pm 1$  – значения измеряемой величины, соответствующие двум соседним отметкам шкалы;

5) диапазон показаний – область значений, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы, т. е. наибольшим и наименьшим значениями измеряемой величины:

$$\Delta_{\text{ш}} = X_{\text{к}} - X_{\text{нш}}; \quad (1.11)$$

6) диапазон измерений – область значений измеряемой величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений:

$$\Delta_{\text{и}} = X_{\text{ки}} - X_{\text{ни}}; \quad (1.12)$$

7) Чувствительность прибора – отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к изменению измеряемой величины (сигнала) на входе. Так, если изменение измеряемой величины составило  $\Delta = 0,01$  мм, что вызвало перемещение стрелки показывающего устройства на  $\Delta = 10$  мм, то абсолютная чувствительность прибора составляет  $S = \frac{\Delta}{\Delta} = \frac{10}{0,01} = 1000$ . Для шкальных измерительных приборов абсолютная чувствительность численно равна передаточному отношению:

$$S = \frac{y_{\text{к}}}{\Delta_{\text{см}}}, \quad (1.13)$$

где  $y_{\text{к}}$  – перемещение указателя (стрелки, луча света и т. д.) или шкалы при неподвижном указателе;

$\Delta_{\text{см}}$  – изменение измеряемой величины (перемещение измерительного стержня контактных приборов).

$$S = \frac{y_{\text{к}}}{\Delta_{\text{см}}}, \quad (1.14)$$

где  $y_{\text{к}}$  – перемещение указателя (стрелки, луча света и т. д.) или шкалы при неподвижном указателе;

$\Delta_{\text{см}}$  – изменение измеряемой величины (перемещение измерительного стержня контактных приборов);

8) вариация (нестабильность) показаний прибора – алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим результатами измерений

при многократном измерении одной и той же величины в неизменных условиях;

9) стабильность средства измерений – свойство, выражающее неизменность во времени его метрологических характеристик (показаний).

Главным метрологическим (эксплуатационным) показателем прибора, как и любого средства измерений, является его точность, количественно характеризующаяся погрешностью  $\Delta$ . Рассеивание погрешности измерения зависит от цены деления функциональных шкал измерительных приборов, поделенных на аналоговые и цифровые.

**Принципы проектирования средств технических измерений и контроля.** Принцип Тэйлора. При наличии погрешностей формы и расположения геометрических элементов сложных деталей в соответствии с принципом Тэйлора надежное определение соответствия размеров всего профиля предписанным предельным значениям возможно лишь в том случае, если определяются значения проходного и непроходного пределов. Следовательно, любое изделие должно быть проконтролировано по крайней мере дважды, точнее, по двум схемам контроля: с помощью проходного и непроходного калибров по действительным значениям наибольшего и наименьшего размеров.

На определение качественного состояния деталей могут влиять геометрические отклонения: отклонение от округлости, не параллельность торцов, несоосность поверхностей, отклонение шага и угла профиля резьбы и др. Взаимодействие измерительного средства с контролируемым объектом может быть точечным (сферический наконечник), линейным (плоские профильные шаблоны) и поверхностным (калибры-пробки). Большинство универсальных и специальных средств измерения имеют точечный контакт с контролируемым изделием и осуществляют локальный контроль размеров в одном или нескольких сечениях. Такой контроль не гарантирует попадания бракованных изделий в годные. Контроль значительно усложняется, если к недопустимости попадания в годные бракованных изделий по непроходному пределу предъявляются повышенные требования. В этих случаях либо используют двух- или трехкоординатные машины, либо применяют устройства, обеспечивающие последовательный непрерывный контроль с заданным шагом текущего размера детали.

Методы, основанные на использовании линейного и поверхностного контактов средств контроля с поверхностью детали, обеспечивают высокую производительность и универсальность используемых

средств измерения, но позволяют надежно отбраковывать детали лишь по проходному пределу. Часто выбор этих методов контроля обусловлен видом технологического процесса, обеспечивающего незначительные погрешности формы и взаимного положения поверхностей.

**Принцип Аббе.** Рассматривая процесс сравнения контролируемых и образцовых штриховых мер на продольных и поперечных компараторах, сформулирован принцип, в соответствии с которым минимальные погрешности измерения возникают, если контролируемый геометрический элемент и элемент сравнения находятся на одной линии – линии измерения. Принцип Аббе справедлив для поступательно перемещающихся звеньев. Его широко используют при выборе схем и конструирования средств измерения, при проектировании станков и т. п. Однако последовательное расположение контролируемого и образцового элемента на одной линии приводят к увеличению габаритов измерительных средств, поэтому в ряде случаев применяют параллельное расположение сравнительных элементов, но и тогда необходимо соблюдать условия, при которых погрешности измерения минимальны.

**Принцип инверсии.** Принцип инверсии основывается на существовании преемственности между тремя последовательными процессами, в которых участвует деталь: обработки, контроля, эксплуатации. Хотя при расчете погрешностей механизма и самой детали главное значение имеет эксплуатация, тем не менее анализ точности детали невозможен без совместного последовательного изучения всех фаз прохождения детали.

Из принципа инверсии (обращений) следует, что для определения погрешностей схема измерения должна соответствовать кинематической схеме формообразования, а также схеме функционирования детали, откуда вытекает условие правильности измерения.

Измерение считается правильным, если: траектория движения при измерении будет соответствовать траектории движения при формообразовании; линия действия при измерении будет совпадать с линией действия при работе механизма (принцип Аббе); базы измерения будут совпадать с конструкторской и технологической базами (правило единства баз).

Принцип инверсии применим почти при всяком измерении деталей, при котором осуществляется непрерывное перемещение измерительного наконечника прибора по поверхности детали. Наконечник при этом образует с контролируемой деталью кинематическую пару. Непрерывное относительное перемещение элементов пары в процессе

контроля совершается со сравнительно малыми скоростями и ускорениями.

В тех случаях, когда принцип инверсии не может быть осуществлен полностью, следует установить, какой из показателей качества должен быть обеспечен в результате контроля и положить его в основу схемы измерения.

**Выбор средств измерения и контроля.** Выбор средств измерения и контроля основывается на обеспечении заданных показателей процесса технического контроля (ТК) и анализе затрат на реализацию процесса контроля. К обязательным показателям процесса контроля относят точность измерения, достоверность, трудоемкость, стоимость контроля. В качестве дополнительных показателей контроля используют объем, полноту, периодичность, продолжительность.

При выборе средств измерения точность средств измерений должна быть достаточно высокой по сравнению с заданной точностью выполнения измеряемого размера, а трудоемкость измерения и их стоимость должны быть возможно более низкими, обеспечивающими наиболее высокие производительность труда и экономичность.

Недостаточная точность измерений приводит к тому, что часть годной продукции бракуют, в то же время по той же причине другую часть фактически негодной продукции принимают как годную.

Излишняя точность измерений, как правило, бывает связана с повышением трудоемкости и стоимости контроля качества продукции и, следовательно, ведет к удорожанию производства и ограничению выпуска продукции. Средства линейных измерений СЛИ и контроля СЛК подразделяют на контактные (К) и бесконтактные (Б), автоматические (А) и неавтоматические (//).

В измерительный прибор для линейных измерений входят измерительная и установочная база, а также измерительный преобразователь с отсчетным устройством. Съемный измерительный преобразователь с встроенным отсчетным устройством обычно называют измерительной головкой. При этом средства автоматических измерений могут иметь адаптирующийся цифровой отсчет (АЦО), самопишущий (СПВ) или цифропечатающий выход (ЦПВ). Средства автоматического контроля делят на измерительные контрольные (ИКА), измерительные контрольно-сортировочные (ИКСА) автоматы (полуавтоматы) и средства активного (управляющего) размерного контроля (САРК) [6].

### 1.6.1. Средства измерения и контроля размеров и перемещений

Линейные и угловые размеры, перемещения принято относить к первой группе механических величин. Как правило, это изометрические параметры различных деталей в обрабатывающей промышленности, характеристики профилей и шероховатостей поверхностей, уровни сыпучих веществ и жидкостей в различных сосудах (баках, танкерах, паровых котлах и т. п.), перемещения режущего инструмента относительно обрабатываемой детали, параметры износа трущихся частей различных механизмов, биения валов, расстояния и т. д.

Диапазон, охватываемый величинами этой группы, простирается от долей микрона до тысяч метров, т. е. составляет примерно десять порядков. Диапазон угловых размеров равен 3–4 порядкам.

Ко второй группе относятся различного рода силовые воздействия. Это механические напряжения в деталях и конструкциях машин и сооружений, силы, крутящие моменты, давления жидкостей и газов, акустические шумы, разности давлений и т. п.

Диапазоны значений величин этой группы, как правило, весьма широки. Например, в вакуумной технике приходится измерять давления до  $1,3 \cdot 10^{-8}$  Па ( $10^{-10}$  мм рт. ст.), а в технике высоких давлений до  $10^8$  Па и выше, следовательно, диапазон давлений охватывает 16 порядков. Примерно такой же диапазон занимают значения сил, встречающихся в технике и научных исследованиях ( $10^{-8} \dots 10^8$  Н).

Третью группу механических величин представляют так называемые параметры движения. Это перемещения объектов в пространстве, линейные и угловые скорости и ускорения перемещений. Значения параметров этой группы могут достигать астрономических цифр (космические расстояния и скорости). В эту группу входят также параметры вибраций (вибрационные перемещения, скорости и ускорения), скорости вращения валов и т. д.

Конструкция подавляющего большинства механических средств измерения состоит из последовательно расположенных элементов и устройств, каждое из которых в этой последовательности выполняет определённую задачу при измерении. Для того чтобы в дальнейшем при изучении средств измерения было легче представлять их действие, рассмотрим коротко эти устройства и их назначения.

Основание измерительного средства – это конструктивный элемент, на базе которого смонтированы все элементы данного действу-

ющего средства измерения. Например, штанга штангенциркуля, скоба микрометра, корпус индикатора часового типа.

Воспринимающий элемент – это часть средства измерения, которая осуществляет его соприкосновение с объектом измерения и воспринимает величину этого объекта, например измерительные губки штангенциркуля, измерительный наконечник индикатора. Часть воспринимающего элемента, непосредственно касающаяся поверхности объекта, иногда называют чувствительным элементом.

Размерный элемент – это одна из деталей средства измерения, которая обладает собственным точным, обычно многозначным, размером, с величиной которого в процессе измерения непосредственно сопоставляется воспринятая средством измерения величина объекта измерения (например, штанга со шкалой штангенциркуля: размер детали, воспринятый губками, сравнивается с ней).

Преобразующее устройство – это внутренний механизм или элемент средства измерения, который преобразует (видоизменяет) малые перемещения, воспринятые от объекта измерения, в большие перемещения на отсчётном устройстве так, что эти большие перемещения исполнитель может непосредственно наблюдать и отсчитывать (например, зубчатая передача в индикаторе часового типа).

Отсчётное устройство создаёт возможность отсчитывать показания средства измерения. В большинстве случаев отсчётные устройства имеют шкалу и указатель, которым служит отдельный штрих, группа штрихов или стрелка. В последнее время распространяются средства измерения с цифровыми отсчётными устройствами. Примером отсчётного устройства может быть нониус штангенциркуля, круглая шкала индикатора и стрелка индикатора часового типа, цифровое табло прибора с цифровой индикацией.

В зависимости от назначения и принципа действия конкретного средства измерения и его конструкции используются те или иные комплексы этих устройств и элементов, составляющих структуру этого средства измерения.

Линейка измерительная представляет собой гибкую стальную полосу с нанесённой на ней прямой шкалой с ценой деления 1 мм. Линейки изготавливают со шкалами от 0 до 150 мм, от 0 до 300 мм, от 0 до 500 мм и от 0 до 1000 мм. Началом шкалы линейки является плоскость торца полосы; торец расположен перпендикулярно продольному ребру полосы. С торцом совпадает середина нулевого штриха шкалы. Конец штрихов шкалы выходит на продольное ребро. Каждый 5-й и 10-й

штрих шкалы удлинён, каждый 10-й снабжён цифрой, показывающей расстояние в сантиметрах от этого штриха до начала шкалы. Второй конец полосы закруглён и снабжён отверстием для подвешивания линейки.

На рис. 1.5 показан штангенциркуль ШЦ-1, состоящий из штанги с линейкой, которая имеет шкалу с ценой деления 1 мм.

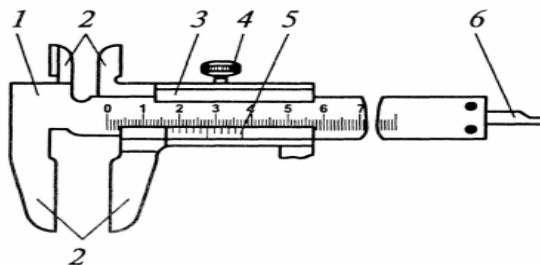


Рис. 1.5. Штангенциркуль ШЦ-1

По штанге 1 передвигается рамка 3 со вспомогательной шкалой-нониусом 5. Штангенциркуль снабжён губками 2 для наружных и внутренних измерений, а также зажимом 4. К рамке 3 прикреплена линейка глубиномера 6. Нониус 7 (рис. 1.5) служит вспомогательной шкалой, позволяющей отсчитывать доли деления шкалы штанги. Он наносится на скошенной поверхности рамки или отдельной пластинке, укреплённой в окне рамки. ГОСТ 166-80 предусматривает изготовление и использование трёх типов штангенциркулей: ШЦ-1 с ценой деления 0,1 мм, ШЦ-2 с ценой деления 0,05 мм и ШЦ-3 с ценой деления 0,05 и 0,1 мм. Кроме того, на заводах применяют ранее изготовленные штангенциркули с ценой деления нониуса 0,02 мм, а также индикаторные штангенциркули с ценой деления индикатора 0,1; 0,05; 0,02 мм.

Порядок отсчёта показаний штангенциркуля по шкалам штанги и нониуса: читают число целых миллиметров – для этого находят на шкале штанги штрих, ближайший меньший к нулевому штриху нониуса, и запоминают его числовое значение (на рис. 1.4 – 12 мм); читают долю миллиметра в отсчёте – для этого находят на шкале нониуса штрих, совпадающий со штрихом шкалы штанги, запоминают его порядковый номер и умножают этот номер на величину отсчёта по данному нониусу. Это будет искомая доля миллиметра в отсчёте (на рис. 1.6 совпадающий

штрих нониуса имеет номер 8, а величина отсчёта по нониусу равна 0,1 мм, значит, доля миллиметра в отсчёте здесь равна  $8 \cdot 0,1 \text{ мм} = 0,8 \text{ мм}$ ). Погрешности измерения штанге инструментом. Погрешность измерения зависит в значительной мере от величины отсчёта и значения измеряемого размера. Погрешность измерения штангенциркулем наружных размеров до 500 мм при величине отсчёта 0,05 мм будет составлять 0,1 мм (т. е. равна удвоенному значению величины отсчёта).

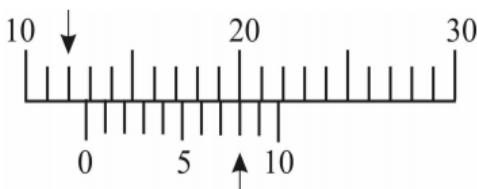


Рис. 1.6. Отсчет по нониусу (12,8 мм)

При измерении внутренних размеров тем же штангенциркулем погрешность измерения составляет 0,15...0,25 мм для этого же диапазона размеров. При измерении штангенциркулем с отсчётом 0,1 мм наружных размеров в том же диапазоне, т. е. до 500 мм, погрешность составляет 0,15...0,25 мм, а для внутренних размеров 0,2...0,3 мм.

Необходимо обратить внимание на то, что указаны погрешности измерения, а не погрешности измерительного средства.

Погрешность только самого штанге инструмента в условиях его поверки, т. е. погрешность, которая нормируется, будет меньше (обычно не более величины отсчёта). Погрешность измерения штанге инструментом возникает в основном от двух причин – это, в первую очередь, погрешность отсчёта, вызванная параллаксом, а для штангенциркуля ещё и погрешность от нарушения принципа Аббе.

Параллакс (от греческого слова *parallaxis* – отклонение) – это видимое изменение относительного положения предметов вследствие перемещения глаза наблюдателя. Исследование параметров помещения с помощью ультразвукового измерителя объема и длины. Прибор (рис. 1.7) относится к классу средств измерения, действие которых основано на акустическом отражении ультразвуковой волны от плоской преграды.



Рис. 1.7. Общий вид ультразвукового измерителя объема и длин

Прибор имеет кнопки включения и выключения питания on/off, режимы работы I, начала отсчета, сброса С/МС и вспомогательных функций MR и M+. При первом нажатии кнопки режима работы I прибор устанавливается на измерение длины, с появлением знака. Повторное нажатие кнопки режима I переводит прибор на измерение площади помещения. При этом, на отсчетном устройстве появляется знак. При троекратном нажатии кнопки работы, появляется знак и прибор автоматически переводится на измерение объема.

Так как прибор имеет лазерный указатель места падения ультразвуковой волны, следует избегать попадания лазерного луча в органы зрения.

Так как измерения объема помещения производятся в разных точках, но несколько раз, различными операторами, то по условиям измерений такие измерения будут неравноточными. Известно, что за результат неравноточного многократного измерения принимается среднее взвешенное,  $V$ . В таком случае, применительно к объему помещения  $V$ , данная величина находится по формуле:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot V_i)}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1.15)$$

где  $V$  – объем помещения,  $m^3$ , как результат неравноточного измерения,

$P_i$  – вес  $i$ -го измерения данного ряда;

$V_i$  – текущее значение объема в серии измерений,  $m^3$ ;

$n$  – число измерений.

Микрометр относится к классу микрометрических измерительных инструментов, принцип действия которых основан на использовании винтовой пары (винт – гайка), позволяющей преобразовать вращательное движение микровинта в поступательное. Приборостроительная промышленность изготавливает микрометры с пределами измерений от 0 до 300 мм с интервалом 25 мм (0–25, 25–50 и т. д. до 275–300). При необходимости микрометры могут быть укомплектованы специальной стойкой с зажимом, позволяющей исключить дополнительную погрешность из-за нарушения температурных условий измерений. Устройство микрометра изображено на рис. 1.8. Основанием микрометра является скоба 1, а передаточным механизмом служит винтовая пара, состоящая из микрометрического винта 3 и микрометрической гайки, расположенной в стебле 5. В скобу 1 запрессована пятка 2 и стебель 5. Измеряемая деталь охватывается измерительными поверхностями микровинта и пятки. Барабан 6 присоединен к микровинту установочным колпачком 8.

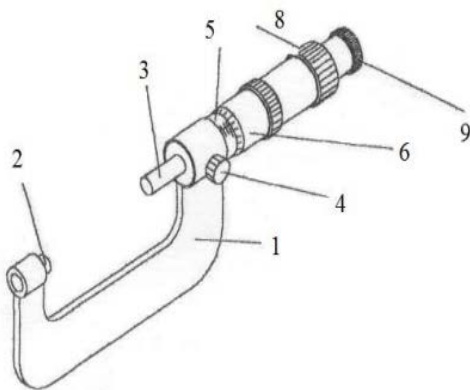


Рис. 1.8. Устройство микрометра с диапазоном измерения от 25 до 50 мм

Вращение барабана должно осуществляться с помощью трещотки 9 для создания одинакового калибровочного и измерительного усилия, которое для микровинта равно  $F = 7 \pm 2H$ .

Превышение измерительного усилия ограничивается трещоткой. Закрепляют микровинт в требуемом положении стопорным винтом 4. Накатной выступ 7 служит для удобства работы с микрометром.

Отсчетное устройство микрометра состоит из двух шкал (рис. 1.9): продольной (на стебле измерительной системы) и круговой (на круговой поверхности барабана). Продольная (грубого отсчета) шкала имеет два ряда штрихов, расположенных по обе стороны горизонтальной линии и сдвинутых один относительно другого на 0,5 мм. Оба ряда штрихов образуют одну продольную шкалу с ценой деления 0,5 мм, равной шагу микровинта. Отсчет снимается по последнему делению, которое видно.

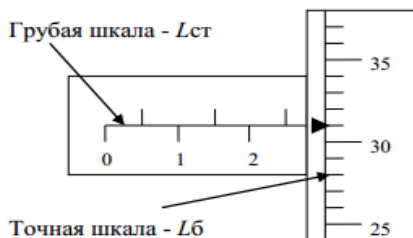


Рис. 1.9. Шкалы микрометра

Круговая (точного отсчета) шкала имеет 50 делений с ценой деления 0,01 мм (при шаге винта  $S = 0,5$  мм), нанесенных на поверхности барабана по окружности. Индексом для снятия отсчета служит продольная линия грубой шкалы. По продольной шкале отсчитывают число целых миллиметров и 0,5 мм, по круговой – десятые и сотые доли миллиметра. Третий десятичный знак отсчитывают приближенно, зрительно интерполируя цену деления шкалы барабана до 0,1 деления (до 0,001 мм) [7, 8]. Результат получают суммированием отсчетов по шкале стебля и отсчета по шкале барабана. Например, на рис. 1.9 полный отсчет показания микрометра равен:

$$L_m = L_{CT} + L_6 = 2,5 + 0,31 = 2,81 \text{ мм.}$$

### 1.6.2. Измерение давления и разности давления

Результаты измерений, выполненные в системе обеспечения единства измерений, выражены в узаконенных единицах величин, имеют прослеживаемость до национальных и международных эталонов, гарантированную степень точности и достоверности и являются основанием для принятия решений в экономике, промышленности, науке, торговле, здра-

воохранении, охране окружающей среды, оценке и контроле продукции и природных ресурсов, обороне, безопасности, транспорте и связи и других отраслях. Физическую атмосферу, равную нормальному давлению атмосферного воздуха 760 мм рт. ст. при 0 °С и нормальном ускорении свободного падения (760 мм рт. ст. = 101, 325 кПа = 1,0332 кгс/см<sup>2</sup>).

При измерении давления различают абсолютное, избыточное и вакуумметрическое давление. Под термином абсолютное давление подразумевается полное давление  $p$ , под которым находится жидкость или газ. Оно равно сумме давлений избыточного  $p_{и}$  и атмосферного  $p_{а}$ :

$$p = p_{и} + p_{а}. \quad (1.16)$$

*Избыточное давление* равно разности между абсолютным давлением, большим атмосферного, и атмосферным давлением.

Под термином *вакуумметрическое давление* (разрежение или вакуум)  $p_{п}$  понимается разность между атмосферным давлением и абсолютным давлением, меньшим атмосферного:

$$p_{в} = p_{а} - p. \quad (1.17)$$

Устройства для измерения давления и разности (перепада) давлений получили общее название *манометры*. Их классифицируют следующим образом: *барометры* – для измерения атмосферного (или барометрического) давления; *манометры абсолютного давления* – для измерения абсолютного давления; *манометры избыточного давления* – для измерения избыточного давления (в практике называют манометрами); *вакуумметры* – для измерения вакуумметрического давления, т. е. давления ниже атмосферного (в практике применяют термин «разрежение»); *напорометры и тягометры* – для измерения малых (до 40 кПа) избыточного давления и вакуумметрического давления (разрежения) газовых сред; *мановакуумметры* – для измерения избыточного и вакуумметрического давлений одновременно; *тягионапорометры* – для измерения малых (до 40 кПа) давлений и разрежений газовых сред одновременно; *дифференциальные манометры* (диафаномеры) – для измерения разности (перепада) давлений; *микроманометры* – для измерения очень малых давлений (ниже и выше барометрического) и незначительной разности давлений.

Чувствительные элементы всех манометров воспринимают два давления  $p_1$  и  $p_2$  и вырабатывают сигнал, пропорциональный их разности. У манометров избыточного давления, вакуумметров, тягометров и

напорометров давление  $p_2$  обычно равно атмосферному. Диафанометры также могут использоваться для измерения как избыточного, так и вакуумметрического давления, если один из двух штуцеров для подвода давления соединить с атмосферой.

По принципу действия манометры делят на две основные группы: жидкостные и деформационные (с упругими чувствительными элементами).

Жидкостные манометры (рис. 1.10) всех систем заполняются жидкостью таким образом, чтобы над жидкостью были образованы две полости, воспринимающие давления  $p_1$  и  $p_2$ . В этих манометрах величина измеряемого давления определяется по высоте столба жидкости  $h$  или по силе, образующейся за счет действия давления на поверхность сосудов. К приборам первой группы относятся U-образные (двухтрубные), чашечные (однотрубные) и поплавковые манометры, к приборам второй группы – колокольные.

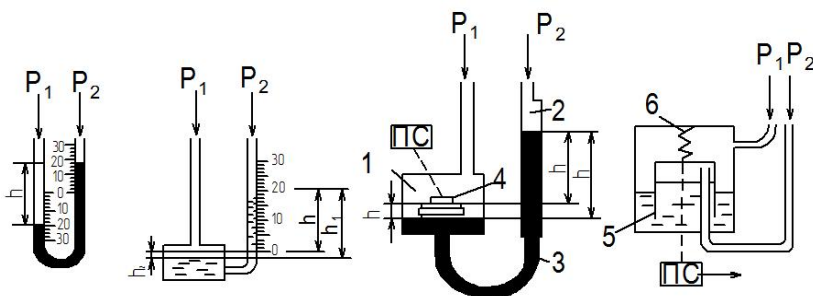


Рис. 1.10. Жидкостные манометры: а – U-образный (двухтрубный); б – чашечный (однотрубный); в – поплавковый; г – колокольный

U-образный (двухтрубный) манометр (рис. 1.10, а) состоит из одной прозрачной трубки, согнутой в виде латинской буквы U (или двух трубок, соединенных в нижней части). Трубки вертикально укреплены на основании, и по всей их высоте нанесена двухсторонняя шкала с нулем посередине. Трубки заливают жидкостью (обычно водой или ртутью, а иногда спиртом или трансформаторным маслом) до нулевой отметки. При применении U-образный манометр должен устанавливаться вертикально по отвесу. Отсчет производят по разности уровней жидкости  $A$  в обеих трубках, что не всегда удобно.

Обычно с помощью U-образного манометра давление, разрежение

или разность давлений измеряют в миллиметрах водяного или ртутного столба.

Если отсчет высоты столба жидкости  $h$  по U-образному манометру производят невооруженным глазом, то при цене деления шкалы прибора в 1 мм при отсчете в двух коленах пределы допускаемой основной погрешности измерения давления, разрежения или разности давлений не превышают  $\pm 2$  мм столба рабочей жидкости. Для увеличения точности отсчета высоты столба рабочей жидкости U-образные приборы снабжают зеркальной шкалой. В этом случае пределы допускаемой основной погрешности показаний не превышают  $\pm 1$  мм столба рабочей жидкости. Отечественная промышленность выпускает двухтрубные манометры типа ДТ - 5 и ДТ - 6.

Чашечный (однотрубный) манометр (рис. 1.10, б) состоит из цилиндрического сосуда и сообщающейся с ним измерительной стеклянной трубки. При этом диаметр сосуда  $D$  значительно больше диаметра трубки  $d$  (обычно отношение  $d^2/D^2 > 1/400$ ). При измерении давления в объекте его соединяют с атмосферой. При изменении разрежения с объектом соединяют измерительную трубку, а с атмосферой – сосуд. При измерении разности (перепада) давлений большее давление подается в сосуд, а меньшее – в измерительную трубку.

Когда под действием давления или разрежения жидкость в измерительной трубке поднимется на высоту  $h_1$ , а в широком сосуде опустится на высоту  $h_2$ , то высота столба  $h$ , соответствующая значению измеряемой величины, будет равна

$$h = h_1 + h_2. \quad (1.18)$$

Если  $F_t$  – площадь сечения измерительной трубки, а  $F_2$  – широкого сосуда, то

$$F_t h_1 = F_2 h_2. \quad (1.19)$$

Поскольку объем жидкости  $F_t h_1$  в измерительной трубке равен объему  $F_2 h_2$  жидкости, вытесненной из широкого сосуда то, решив уравнения получим

$$h = h_1(1 + \frac{F_t}{F_2}) = h_1(1 + \frac{d^2}{D^2}). \quad (1.20)$$

Величиной  $d^2/D^2 > 1/400$  ввиду ее малости на практике пренебрегают, и отсчет ведут по столбу жидкости  $h$ , только в одной измерительной трубке, что упрощает измерение по сравнению с U-образным

манометром. При цене деления шкалы в 1 мм отсчет высоты столба в измерительной трубке может быть произведен с погрешностью, не превышающей  $\pm 1$  мм столба рабочей жидкости. Промышленностью нашей страны выпускаются однотрубные манометры типа ДТЖ и ММН-240.

Поплавковые манометры (рис. 1.10, в) работают по принципу рассмотренных выше чашечных манометров. В поплавковом манометре имеется два U-образных сосуда 1 и 2, соединенных трубкой 3. Большее давление подводится к широкому сосуду, в котором на поверхности рабочей жидкости (ртути или трансформаторного масла) находится поплавок 4. Перемещение поплавка, зависящее от величины разности (перепада) давлений, передается стрелке отсчетного П или регистрирующего ПС устройства прибора. Поплавковые манометры сегодня уже не выпускаются, хотя в эксплуатации еще имеются.

В колокольных манометрах (рис. 1.10, г) чувствительным элементом является тонкостенный стальной колокол 5, подвешенный на винтовой пружине 6. Колокол свободно плавает в разделительной жидкости (трансформаторное масло), будучи частично погруженным в нее. Разделительная жидкость отделяет камеру большого давления («плюсовую») под колоколом от камеры меньшего давления («минусовой») над колоколом. Под действием разности давлений колокол и кинематически связанная с ним подвижная часть передающего преобразователя  $P_p$  перемещаются до тех пор, пока усилие от приложенной к колоколу разности давлений не уравнивается упругими силами винтовой пружины. Перемещение подвижной части передающего преобразователя приводит к изменению выходного сигнала. В настоящее время выпускаются колокольные манометры типа ДКО.

Действие деформационных манометров основано на использовании деформации или изгибающего момента упругих чувствительных элементов, воспринимающих измеряемое давление и преобразующих его в перемещение или усилие. Манометры этого типа широко применяют в диапазоне измерений от 50 Па (5 кгс/м<sup>2</sup>) до 1000 МПа (10 000 кгс/м<sup>2</sup>). Они выпускаются в виде тягомеров, напорометров, манометров, вакуумметров. В качестве упругих чувствительных элементов в них используются трубчатые пружины, мембраны, сильфоны и вялые мембраны.

Одними из наиболее распространенных являются трубчато-пружинные манометры с одновитковой трубчатой пружиной (рис. 1.11, а). Трубчатая пружина (трубка Бурдона) представляет собой изогнутую трубку, имеющую эллиптическое или плоскоовальное поперечное сечение.

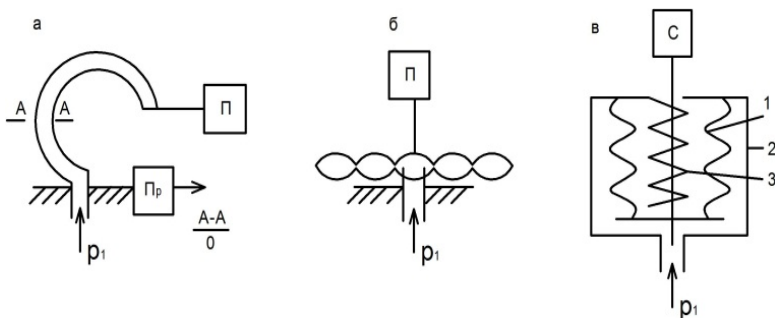


Рис. 1.11. Манометры с упругими чувствительными элементами (деформационные): а – трубчато-пружинный; б – мембранный; в – сильфонный

Трубка Бурдона представляет собой первичный преобразователь давления и является основным конструктивным элементом современного манометра, его чувствительным элементом.

Один конец трубчатой пружины, сообщающийся с измеряемой средой, закрепляют неподвижно, а другой – свободный, закрытый пробкой и запаянный – соединяют с механизмом показаний прибора, передающим преобразователем или другим устройством.

Под действием внутреннего давления пружина стремится уменьшить свою кривизну, вследствие чего ее свободный (запаянный) конец перемещается. Это перемещение передается на отсчетное или регистрирующее устройство манометра либо воспринимается передающим преобразователем (на рис. 1.11 изображен показывающий прибор  $\Pi$ , имеющий передающий преобразователь  $\Pi_p$ ).

Наиболее востребованными среди потребителей на территории Республики Беларусь, являются манометры, оснащенные трубкой Бурдона (и мановакуумметры) с осевым (тыловым), радиальным подключением и с креплением переднего кольца, диаметром корпуса 50, 63, 80, 100, 160 мм, диапазоном рабочего давления от – 1 до 2000 бар (рис. 1.11).

Некоторые модификации манометров снабжаются контактным устройством, срабатывающим при достижении измеряемой величиной заданного значения. Такие приборы называются электроконтактными манометрами. Промышленностью выпускаются трубчато-пружинные манометры типа ОБМ, МТП, ЭКМ.

В мембранных манометрах упругий чувствительный элемент выполняется в виде мембранной коробки (рис. 1.12, б), состоящей из

двух спаянных по периметру дисковых металлических гофрированных мембран. Внутренняя полость коробки сообщается со средой с большим давлением.

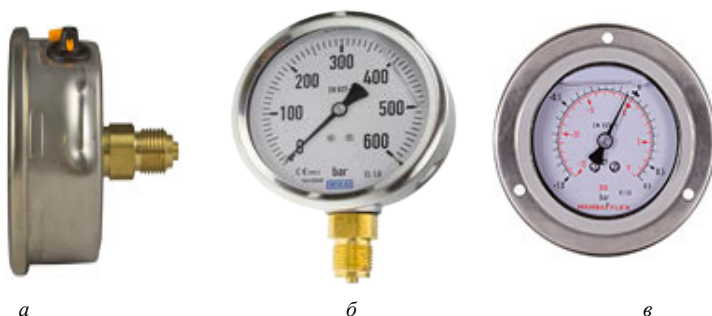


Рис. 1.12. Манометры: *а* – с осевым (тыловым) подключением; *б* – с радиальным подключением; *в* – с креплением переднего кольца

Под воздействием разности атмосферного и измеряемого давлений мембранная коробка сжимается или разжимается, что передается стрелке отсчетного устройства манометра П.

В сильфонных манометрах (рис. 1.12, *в*) упругий чувствительный элемент выполнен в виде сильфона 7, представляющего собой гофрированную тонкостенную металлическую трубку, открытую с одной стороны. Сильфон помещается в камеру 2, в которую подводится измеряемое давление.

Изменение величины этого давления вызывает упругую деформацию сильфона и находящейся в нем винтовой пружины 3. Перемещение дна сильфона передается регистрирующему устройству прибора Пр. Сильфонные манометры в настоящее время уже не выпускаются, хотя в эксплуатации они ещё встречаются (типа МСС).

У мембранного диафанометра (типа ДМ) упругим чувствительным элементом является мембранный блок (рис. 1.13, *а*), состоящий из двух заполненных дистиллированной водой мембранных коробок 1 и 3, закрепленных с обеих сторон в основании 2. Основание с верхней и нижней крышками корпуса образуют две камеры: нижнюю – плюсовую и верхнюю – минусовую. Внутренние полости мембранных коробок сообщаются через отверстие в перегородке. Большее давление подводится к нижней камере, а меньшее – к верхней. Под действием разности давлений нижняя мембранная коробка сжимается, вытесняя находящуюся в ней воду в верхнюю коробку 2. Последняя расширяется, что воспринимается передающим преобразователем Пр.

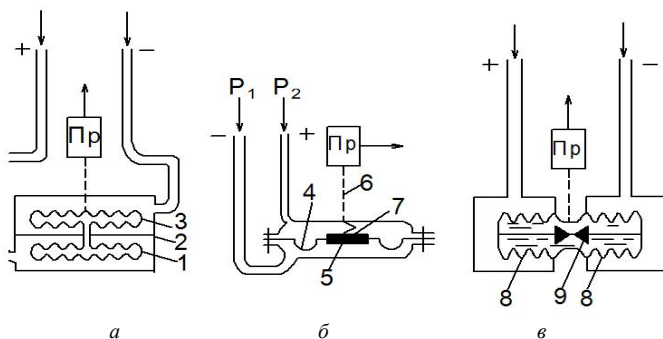


Рис. 1.13. Дифференциальные манометры с упругими чувствительными элементами (деформационные): *а* – мембранный; *б* – с вялой мембраной; *в* – сильфонный

Устройство диафанометра мембранного типа ДМЭ (или ДМЭР) состоит из измерительный блока диафанометра с чувствительным элементом, состоящим из двух мембранных коробок 1 и 3, выполненных аналогично измерительному блоку диафанометра ДМ (рис. 1.13, *б*).

С центром верхней мембранной коробки 3 с помощью немагнитного штока жестко связан магнитный плунжер 10. Он может перемещаться внутри разделительной трубки 7 из немагнитной нержавеющей стали. На разделительной трубке 7 установлен передающий преобразователь с магнитной компенсацией Преобразователь снабжен корректором нуля. Рядом с преобразователем расположен полупроводниковый усилитель 4. В диафанометрах ДМЭ применяют усилитель, а в диафанометрах-расходомерах ДМЭР – усилитель. У диафанометров ДМЭР выходной сигнал постоянного тока пропорционален расходу, а у диафанометров перепада давления [9].

Подвод давлений в камеры диафанометра осуществляется через две трубки и каналы в перегородке – 2. На трубках установлены два запорных (6 и 8) и один уравнивающий вентиль 9. Устройство диафанометра мембранного типа ДМЭ (или ДМЭР) состоит из измерительный блока диафанометра с чувствительным элементом, состоящим из двух мембранных коробок 1 и 3, выполненных аналогично измерительному блоку диафанометра ДМ (рис. 1.14, *б*). С центром верхней мембранной коробки 3 с помощью немагнитного штока жестко связан магнитный плунжер 10. Он может перемещаться внутри разделительной трубки 7 из немагнитной нержавеющей стали. На разделительной трубке 7 установлен передающий преобразователь с магнитной компенсацией

Преобразователь снабжен корректором нуля. Рядом с преобразователем расположен полупроводниковый усилитель 4. В диафанометрах ДМЭ применяют усилитель, а в диафанометрах-расходомерах ДМЭР – усилитель. У диафанометров ДМЭР выходной сигнал постоянного тока пропорционален расходу, а у диафанометров перепаду давления. Подвод давлений в камеры диафанометра осуществляется через две трубки и каналы в перегородке – 2. На трубках установлены два запорных (6 и 8) и один уравнивающий вентиль 9.

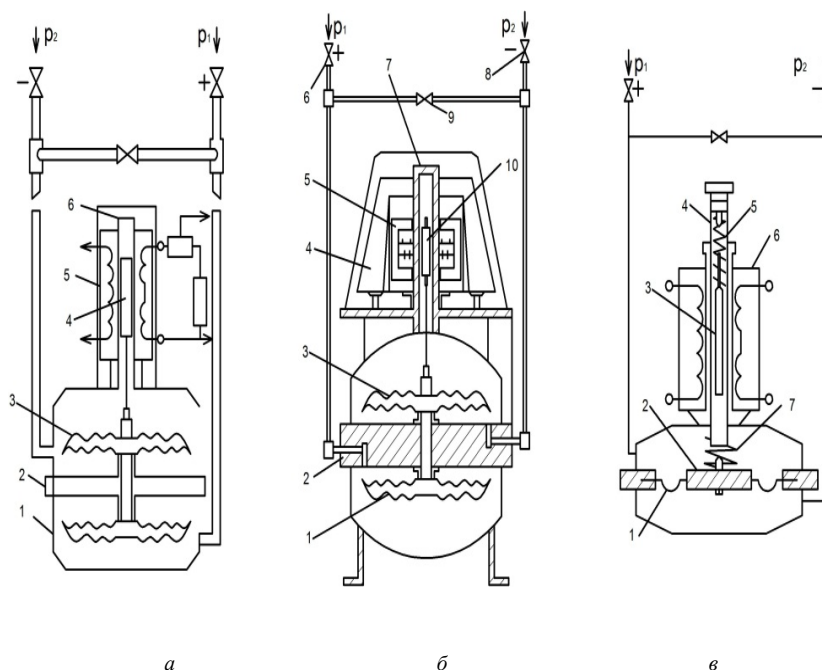


Рис. 1.14. Конструкция дифманометров мембранных: *а* – тип ДМ; 1, 3 – мембранные коробки; 2 – основание; 4 – сердечник; 5 – дифференциально-трансформаторный преобразователь; 6 – немагнитная разделительная трубка; *б* – тип ДМЭ (или ДМЭР): 1, 3 – мембранные коробки; 2 – основание; 4 – полупроводниковый усилитель; 5 – передающий преобразователь с магнитной компенсацией; 6, 8 – запорные вентили; 9 – регулирующий вентиль; 10 – магнитный плунжер; *в* – тип ДМИ: 1 – вялая (неметаллическая) мембрана; 2 – жесткий центр; 3 – сердечник; 4 – разделительная трубка; 5 – винтовая цилиндрическая пружина; 6 – дифференциально-трансформаторный преобразователь; 7 – дополнительная пружина

На рис. 1.14 приведена упрощенная схема устройства диафанометра типа ДМИ. Чувствительным элементом прибора является вялая (неметаллическая) мембрана 1 с жестким центром 2, работающая совместно с винтовой Цилиндрической пружиной 5. Мембрана, укрепленная между двумя крышками корпуса прибора, образует две камеры, в которые подводятся давления. Снаружи разделительной трубки 4, изготовленной из немагнитной нержавеющей стали, находится дифференциально-трансформаторный преобразователь 6. Для обеспечения устойчивости нуля прибора между жестким центром мембраны и корпусом установлена дополнительная пружина 7, создающая предварительное натяжение основной измерительной пружины 5.

Под действием разности давлений жесткий центр мембраны и связанный с ним полый сердечник 3 дифференциально-трансформаторного преобразователя перемещаются до тех пор, пока сила, вызываемая разностью давлений, не уравнивается силой упругости винтовой пружины. Перемещение сердечника изменяет взаимную индуктивность между обмотками преобразователя, а вместе с тем и напряжение (э. д. с.) на выходе прибора. Выходной сигнал диафанометра пропорционален измеряемой разности давлений.

### 1.6.3. Измерение расхода и количества вещества

Расход вещества определяется его количеством, проходящим в единицу времени через данное сечение канала (например, трубопровода). Различают массовый расход  $Q_m$  и объемный расход, обозначаемый через  $Q_v$ .

*Массовый расход* определяют как массу вещества, проходящего через поперечное сечение потока в единицу времени. В системе СИ единицей массового расхода является килограмм в секунду (кг/с).

*Объемный расход* определяют как объемное количество вещества в  $m^3$ , проходящее через сечение потока в единицу времени. В системе СИ единицей объемного расхода является кубический метр в секунду ( $m^3/c$ ).

Внесистемными единицами, широко распространенными на практике, для массового расхода служат килограмм в час (кг/ч) и тонна в час (т/ч), а для объемного – кубический метр в минуту ( $m^3/мин$ ), кубический метр в час ( $m^3/ч$ ), литр в секунду (л/с), литр в минуту (л/мин) и литр в час (л/ч).

Соотношения между единицами расхода следующие:

– массовый –  $1 \text{ кг/с} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ кг/ч} = 3,6 \text{ т/ч}$ ;

$$- \text{объемный} - 1 \text{ м}^3/\text{с} = 60 \text{ м}^3/\text{мин} = 3,60 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч} = 10^3 \text{ л/с} = 3,60 \cdot 10^6 \text{ л/ч}.$$

Для получения сравнимых результатов измерений объемный расход газа приводят к нормальным условиям, которыми при промышленных измерениях считаются: температура –  $T_{\text{ном}} = 293,15 \text{ К}$  (или  $t_{\text{ном}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ); давление –  $p_{\text{ном}} = 101\,325 \text{ Па}$  ( $1,0332 \text{ кгс/см}^2$ ); относительная влажность –  $W = 0 \text{ \%}$ .

Устройство для измерения количества вещества, протекающего через данное сечение трубопровода за некоторый промежуток времени (смену, сутки и т. д.), называют *счетчиком количества*. При этом количество вещества определяется как разность двух показаний счетчика в начале и в конце этого промежутка. Показания счетчика выражаются в единицах объема, а иногда в единицах массы.

Устройство для измерения расхода, т. е. количества вещества, протекающего через данное сечение трубопровода в единицу времени – час (ч), называют *расходомером*, а для измерения расхода и количества вещества одновременно – *расходомером со счетчиком*. Счетчики (интегрирующие устройства) могут быть встроены практически во все приборы, измеряющие расход.

Для измерения расхода и количества жидкостей и воздуха применяются расходомеры, которые можно разделить на следующие группы: переменного перепада давления в сужающем устройстве; постоянного перепада давления (обтекания); электромагнитные и переменного уровня. При напорном движении измеряемой среды, когда поток со всех сторон ограничен жесткими стенками, применяют первые две группы расходомеров.

Работа *расходомеров переменного перепада давления* основана на зависимости перепада давления, создаваемого установленным в трубопроводе неподвижным сужающим устройством, от расхода вещества. Принцип измерения по методу переменного перепада давления основан на известном в физике принципе неразрывности установившегося движения жидкости и уравнении Бернулли для жидкости:

$$+ \frac{\alpha}{\rho} + \frac{\alpha^2}{2} = \text{const}, \quad (1.21)$$

где  $\frac{\alpha^2}{2}$  – удельная кинетическая (скоростная) энергия жидкости;

$+$   $\frac{\alpha}{\rho}$  – удельная потенциальная энергия (давление) жидкости.

Согласно принципу неразрывности, поток протекающего

в трубопроводе вещества во всех сечениях одинаков, следовательно, в один и тот же момент времени протекают одинаковые количества этого вещества. Если на каком-то участке сечение сужается, то в этом месте скорость потока должна возрасти.

Согласно уравнению Бернулли, устанавливается постоянство суммы удельных кинетической (скорость) и потенциальной (давление) энергии в любом сечении потока. Следовательно, увеличение скорости вызывает уменьшение статического давления.

Сужающее устройство выполняет функции первичного преобразователя и создает в трубопроводе местное сужение, вследствие чего при протекании через него вещества скорость в суженном сечении повышается по сравнению со скоростью потока до сужения. Увеличение скорости, а следовательно, и кинетической энергии, вызывает уменьшение потенциальной энергии потока в суженном сечении. Соответственно, статическое давление в суженном сечении будет меньше, чем в сечении до сужающего устройства.

Таким образом, при протекании вещества через сужающее устройство создается перепад давления  $\Delta p = p_1 - p_2$  (рис. 1.14, а), зависящий от скорости потока и, значит, от расхода среды. Следовательно, перепад давления, создаваемый сужающим устройством, может служить мерой расхода вещества, а численное значение этого расхода может быть определено по перепаду давления  $\Delta p$ , измеренному диафрагмометром. В качестве сужающих устройств для измерения расхода жидкостей, газов и пара применяют стандартные и нестандартные устройства.

К стандартным (нормализованным) сужающим устройствам относятся *диафрагмы, сопла, сопла и трубы Вентури*.

Диафрагма (рис. 1.15, а) представляет собой тонкий плоский диск 1 с круглым отверстием, центр которого лежит на оси трубы.

Отверстие имеет цилиндрическую и конусную части. Диафрагма всегда устанавливается цилиндрической частью (острой кромкой) против потока измеряемой среды. Сужение потока начинается до диафрагмы, и на некотором расстоянии за ней поток достигает минимального сечения.

Затем поток постепенно расширяется до полного сечения трубопровода. Кривая, характеризующая распределение давлений вдоль стенки трубопровода, представлена сплошной линией (рис. 1.15, а), а кривая распределения давлений по оси трубопровода – штрихпунктирной линией. Как видно, давление за диафрагмой полностью не восстанавливается.

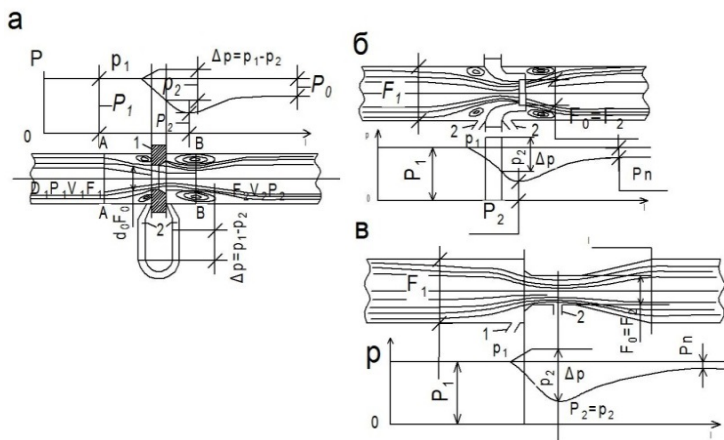


Рис. 1.15. Характер потока и распределение статического давления при установке в трубопроводах диафрагмы (а), сопла (б) и сопла Вентури (в)

При протекании вещества через диафрагму за ней в углах образуется «мертвая зона», в которой вследствие разности давлений возникает обратное движение жидкости, называемое вторичным потоком. Двигаясь в противоположных направлениях, струйки основного и вторичного потоков вследствие вязкости среды свертываются в виде вихрей. На вихреобразование за диафрагмой затрачивается значительная часть энергии, а следовательно, имеет место и значительная потеря давления. Измерение направления струек перед диафрагмой и сжатие струи после нее оказывают незначительное влияние на величину давления. Отбор давлений  $p_x$  и  $p_2$  производится через расположенные непосредственно до и после диска диафрагмы два отдельных отверстия 2 (или специальные камеры), к которым подключаются импульсные соединительные линии, идущие к измерительному прибору.

Сопло (рис. 1.15, б) представляет собой насадку с круглым концентрическим отверстием, имеющим плавно сужающуюся часть на входе и развитую цилиндрическую часть на выходе. Профиль сопла обеспечивает достаточно полное сжатие струи, поэтому площадь (сечение) цилиндрической части сопла может быть принята равной наименьшему сечению струи ( $F_0 = F_2$ ). Вихреобразование за соплом вызывает меньшую потерю энергии, чем у диафрагмы. Отбор давлений  $p_x$  и  $p_2$  осуществляется так же, как и у диафрагмы.

Сопло Вентури (рис. 1.15, в) конструктивно состоит из цилиндрического входного участка, плавно сужающейся части, переходящей в короткий цилиндрический участок, и из расширяющейся конической части – диффузора. При такой форме сужающего устройства в основном благодаря наличию выходного диффузора потеря давления значительно меньше, чем у диафрагмы и сопла. Отбор давлений  $p_1$  и  $p_2$  осуществляется с помощью двух кольцевых камер, каждая из которых соединяется с внутренней полостью сопла Вентури группой равномерно расположенных по окружности отверстий. Труба Вентури отличается от сопла Вентури тем, что входной цилиндрический участок переходит во входной конус, затем идут короткий участок (горловина) и диффузор.

Принцип измерения расхода вещества по перепаду давления, создаваемому сужающим устройством, и основные уравнения одинаковы для всех типов сужающих устройств, различны лишь некоторые коэффициенты в этих уравнениях, определяемые экспериментальным путем.

Для измерения расхода жидкостей, газов и пара по перепаду давления в сужающем устройстве применяются *дифференциальные манометры* (диафанометры), принцип действия которых рассмотрен ранее. По способу выдачи измерительной информации диафанометры подразделяют на показывающие и самопишущие.

Для измерения расхода загрязненных жидкостей (в частности, природных и сточных вод) применяются электромагнитные и щелевые расходомеры. Принцип действия *электромагнитных расходомеров* основан на законе электромагнитной индукции, по которому проведенная в проводнике электродвижущая сила пропорциональна скорости его движения в магнитном поле. Таким движущимся в магнитном поле проводником является электропроводная жидкость, протекающая через первичный электромагнитный преобразователь расхода, установленный в трубопроводе. Измеряя э. д. с., наведенную в электропроводной жидкости, которая при своем движении пересекает магнитное поле первичного преобразователя, можно определить среднюю скорость текущей жидкости, а вместе с ней и объемный расход. При круглом сечении трубопровода величина этой ЭДС (в вольтах) находится по формуле:

$$= \quad , \quad (1.22)$$

где  $v$  – средняя скорость потока жидкости, м/с;

$B$  – индукция магнитного поля, Тл;

$d$  – внутренний диаметр трубопровода, м.

Магнитное поле электромагнитного расходомера типа ИР (рис. 1.16, *а*) внутри участка трубы 7, выполненной из немагнитного материала и покрытой изнутри электроизоляционным слоем, создается электромагнитом 2.

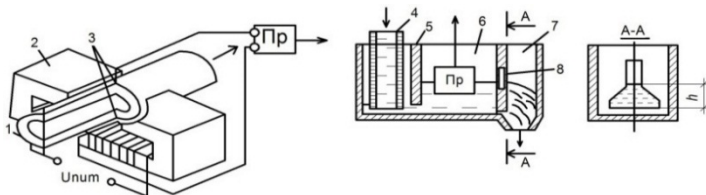


Рис. 1.16. Расходомеры жидкостей и пульп: *а* – электромагнитный; *б* – переменного уровня (щелевой)

В пересекающей магнитное поле жидкости наводится э. д. с. В одном поперечном сечении трубопровода диаметрально противоположно установлены два электрода 3. Снимаемая с них разность потенциалов подается на вход промежуточного преобразователя Пр, где преобразуется в выходной сигнал, пропорциональный расходу. Электромагнитные расходомеры могут применяться на жидкостях с удельной электрической проводимостью не менее  $10^{-3}$  См/м.

Отсутствие в измерительном канале каких-либо сужающих устройств и движущихся деталей позволяет измерять расходы как однородных жидкостей, так и суспензий и пульп, твердая фаза которых не содержит ферромагнитных частиц.

Принцип действия щелевых расходомеров переменного уровня со сливом типа ЩРП (рис. 1.16, *б*) основан на зависимости уровня жидкости над сливной стенкой 5 от ее объемного расхода  $Q_0$ .

Для прямоугольного слива с тонкой стенкой справедливо соотношение:

$$= \overline{2}^{-3/2}, \quad (1.23)$$

где  $m$  – коэффициент расхода, учитывающий потерю напора и эффект бокового сжатия струи;

$b$  – ширина сливной стенки, м;

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

$H$  – напор жидкости на пороге водослива, м.

Расходомер состоит из расходомерной емкости *б* и уровнемера Пр, являющегося измерительным преобразователем расхода. К емкости *б*

суспензия подводится по патрубку 4, а отводится в сливную коробку 7 через отверстие 8. Для измерения высоты суспензии в таких расходомерах используются поплавковые, пьезометрические и электроконтактные уровнемеры.

Для измерения расходов воды в закрытых трубопроводах применяются расходомеры постоянного и переменного перепада, а также индукционные.

Принцип действия расходомеров постоянного перепада основан на восприятии динамического давления потока, действующего на чувствительный элемент.

Ротаметр с электрическим преобразователем показан на рис. 1.17. Он состоит из двух основных частей – ротаметрической и электрической, собранных в одном корпусе 1. Основным элементом ротаметрической части является конический поплавок 2, перемещающийся внутри кольцевой диафрагмы 3 в вертикальном направлении.

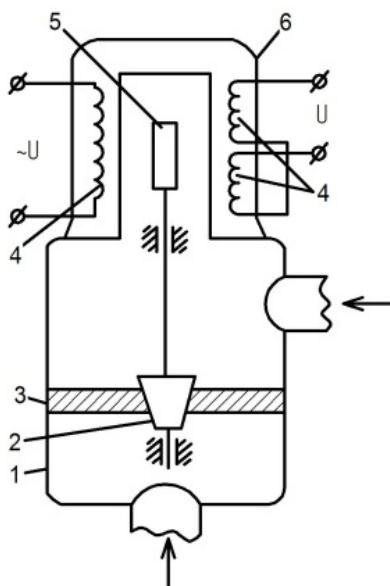


Рис. 1.17. Ротаметр с дифференциально-трансформаторным преобразователем:

- 1 – корпус; 2 – конический поплавок; 3 – кольцевая диафрагма;  
4 – катушка индуктивности; 5 – плунжер; 6 – кожух

Электрическая часть состоит из индуктивных катушек 4 с плунжером 5, жестко связанным с поплавком, и представляет собой дифференциально-трансформаторный преобразователь. Электрическая часть ротаметра снаружи защищена кожухом 6. Ротаметры устанавливаются в вертикальном участке трубопровод.

Поток воды поступает в трубку снизу вверх и, увлекая за собой поплавок, перемещает его вверх. При этом увеличивается зазор между поплавком и стенкой кольцевой диафрагмы, в результате чего уменьшается скорость воды в зазоре и возрастает давление над поплавком. В равновесном состоянии при любом положении поплавка разность давлений, действующих на него с обеих сторон, остается постоянной и определяется силой, необходимой для его уравнивания.

Перемещение поплавка передается плунжеру и преобразуется дифференциально-трансформаторным элементом в напряжении переменного тока, которое изменяется по величине к фазе функционально расходу [9].

Достоинствами ротаметров являются равномерность шкалы, большой диапазон измерения 10:1, малая и постоянная потеря давления, постоянство погрешности во всем диапазоне. Ротаметры с электрическим выходом типа РЭ выпускаются промышленностью на диаметры условного прохода от 6 до 100 мм и расходы 25–1600 л/ч.

Промышленностью выпускается несколько модификаций индукционных расходомеров. Индукционные расходомеры типа ИР-51 изготавливаются на диаметры условного прохода 10–300 мм и расходы от 0,32 до 2500 м<sup>3</sup>/ч. Расходомеры типа ЧРИ применяются на трубопроводах с условными диаметрами 400, 600 и 800 мм и расходами до 5000 м<sup>3</sup>/ч.

Измерительные блоки расходомеров имеют процентную шкалу и унифицированный выход по постоянному току. К нему может подключаться счетная приставка типа С-1 для определения суммарного количества измеряемой среды за любой промежуток времени.

Индукционные расходомеры 5РИ выпускаются с унифицированным пневматическим выходом. Пневмопреобразователь встраивается непосредственно во вторичный прибор. Эти приборы могут устанавливаться на насосных станциях, где имеются компрессорные установки.

Достоинства индукционных расходомеров: они не создают дополнительных сопротивлений протеканию жидкости, позволяют измерять расход загрязненных жидкостей в широких пределах изменения расходов, обладают высокой точностью во всем измеряемом диапазоне (основная погрешность не превышает 1–1,5 %).

К недостаткам относится сравнительно большая масса преобразователя. Так, преобразователь на диаметр условного прохода 300 мм имеет массу около 300 кг. Этого лишены индукционные расходомеры ИР-56 (рис. 1.18).

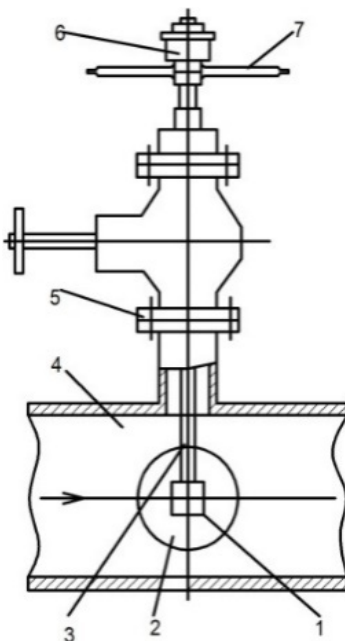


Рис. 1.18. Индукционный расходомер ИР-5Р: 1 – преобразователь; 2 – водяной поток; 3 – штанга; 4 – рабочий трубопровод; 5 – фланец; 6 – клеммная коробка; 7 – рукоятка

Их конструктивной особенностью является расположение преобразователя 1 в середине рабочего трубопровода 4. Крепится преобразователь к трубопроводу с помощью фланца 5. Преобразователь закреплен на стальной металлической штанге 3 и регулируется внутри трубопровода рукояткой 7. Два электрода (на рисунке не показаны) располагаются на боковых поверхностях преобразователя. Исследуемый водяной поток, входящий в зону измерения, представляет собой сферу 5, охватывающую преобразователь. Подключают его ко вторичному измерительному прибору с помощью клеммной коробки 6.

Такая конструкция позволяет уменьшить габариты и массу преобразователя и, что особенно важно, измерять расход в трубопроводах большого диаметра (до 3,6 м).

При измерениях в открытых каналах расход зависит от скорости потока и его сечения. В общем случае методы и приборы измерения расходов в открытых руслах предусматривают контроль указанных параметров и реализацию операции умножения «скорость на сечение». Но выполнение этого достаточно сложно в полевых условиях. Поэтому при измерениях чаще всего исключают один из контролируемых параметров, а расход определяют по значениям второго. Влияние неконтролируемого параметра учитывают методом тарирования или расчетным путем по известным аналитическим зависимостям. Различают измерения расходов на нерегулируемых участках русел и на регулируемых перегораживающих сооружениях, водосливах.

На нерегулируемых участках каналов в качестве контролируемого параметра принимают уровень воды, а на регулируемых – скорость водяного потока. На нерегулируемых участках измерения выполняются с использованием специальных водомерных сооружений и без них.

При отсутствии специальных водомерных сооружений используется метод тарирования. Он основан на использовании (установленной предварительными измерениями) зависимости расхода от уровня воды  $Q = f(H)$ . Метод применяется для открытых русел вне зоны подпорного действия перегораживающих сооружений и для нерегулируемых гидротехнических сооружений – быстротоков, перепадов, глухих перегораживающих сооружений и т. д.

Для повышения точности строятся специальные сооружения – водосливы, водомерные лотки и пороги, позволяющие снизить погрешность измерений до 2–3 %. Тип водомерного сооружения выбирается в зависимости от расхода: при расходах до  $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  применяются водосливы с тонкой стенкой трапецидальной или треугольной формы и острым заложением откосов; при расходах до  $7 \text{ м}^3/\text{с}$  – водомерные лотки; до  $30 \text{ м}^3/\text{с}$  – водомерные пороги.

Водомерные сооружения не требуют экспериментальной тарировки, а зависимость  $Q = f(H)$  определяется по аналитическим зависимостям, учитывающим геометрические размеры сооружения.

На регулируемых гидротехнических сооружениях для измерения расхода используются водомерные приставки и трубчатые водомеры с сужающими устройствами (ТВС). Принцип измерения основан на контроле скорости водяного потока при постоянном сечении и аналогичен измерениям в закрытых трубопроводах.

Водомерные приставки представляют собой трубы круглого или прямоугольного сечения длиной  $L_{\text{пр}}$ , в полтора – три раза превышающей диаметр или высоту трубы. Приставка устанавливается перед регулирующим щитом. Величина расхода (в м<sup>3</sup>/ч) определяется по измеряемому перепаду давлений  $z_{\text{пр}}$  между верхним бьефом и водомерным сечением, удаленным от выхода на расстояние  $l = 0,3 - 1,5$  диаметра или высоты приставки:

$$= \mu_{\text{пр}} \omega_{\text{пр}} \sqrt{2 z_{\text{пр}} g} \quad (1.24)$$

где  $\mu_{\text{пр}}$  – коэффициент расхода приставки;

$\omega_{\text{пр}}$  – площадь сечения;

$z_{\text{пр}}$  – перепад давлений;

$g$  – ускорение свободного падения.

Коэффициент расхода  $\mu_{\text{пр}}$  зависит от конструкции и геометрических размеров приставки. Водомерные приставки используют для измерений расходов до 20 м<sup>3</sup>/с в диапазоне перепадов 1–6. Ошибка измерений не превышает  $\pm 5\%$ . Их достоинством является работа в широком диапазоне изменения перепадов от 2 до 60 см, нечувствительность к изменению режима нижнего бьефа. Для измерений расходов до 2 л/с применяют трубчатые водомеры с сужающими устройствами (ТВС). Сужающие устройства выполняются в виде конусной насадки, кольца или сегментной диафрагмы.

Диапазон измерений уровня ТВС составляет 1–4, погрешность измерений не превышает  $\pm 5\%$ . Для измерения уровня используются самописцы и уровнемеры с преобразующими устройствами для дистанционной передачи. К недостаткам ТВС относится создание дополнительных сопротивлений водяному потоку.

На сооружениях, оборудованных автоматическими затворами-регуляторами, учет воды ведется на основании контроля положения затвора и выполнения операции умножения «сечение на время» с введением поправок на скорость потока. В этом случае не требуется специальных водомерных сооружений. Большой интерес представляет внедрение в мелиорацию ультразвукового метода измерений, основанного на зависимости величины смещения ультразвуковых колебаний от скорости водяного потока. Достоинством этого метода является его бесконтактность, что не создает препятствий протеканию жидкости.

Для измерения количества вещества в коммунальном хозяйстве применяют тахометрические *счетчики количества*, состоящие из тахометрического преобразователя расхода и счетного суммирующего механизма.

*Тахиметрическим преобразователем расхода* называют первичный преобразователь, в котором скорость движения чувствительного элемента, взаимодействующего с потоком вещества, пропорциональна объемному расходу. По принципу действия тахиметрические счетчики разделяют на скоростные и объемные. В *скоростных счетчиках* (типа УВК, ВК, МС) в качестве рабочего элемента применяют вертушки (крыльчатки, турбинки или другие тела) с вертикальной (рис. 1.19) или горизонтальной осью вращения. Под действием потока вещества вертушка 3 на опорном шипе 4 совершает непрерывное вращательное движение с угловой скоростью, пропорциональной скорости потока, а следовательно, и расходу.

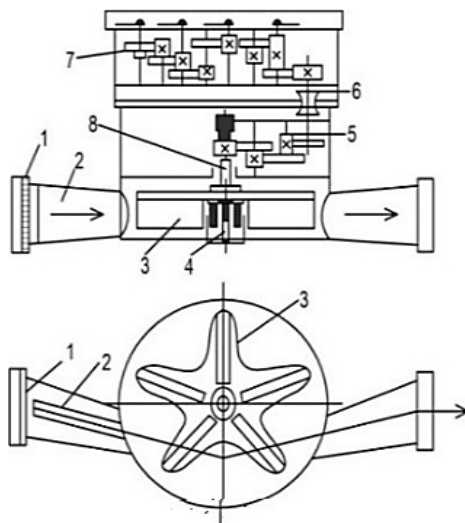


Рис. 1.19. Схема устройства счетчика количества вещества (скоростного с вертикальной осью вращения вертушки)

Число оборотов вращающегося элемента суммируется счетным механизмом 7, с которым вертушка соединяется с помощью передаточного механизма (редуктора) 5. Редуктор и счетный механизм соединены между собой осью с сальниковым уплотнением 6. Счетный механизм отделен от проточной части прибора герметичной перегородкой, в которой установлен сальник передаточной оси 8. На входном патрубке счетчика устанавливается металлическая сетка 1 предохраняющая прибор от

попадания в него посторонних тел, и струе выпрямитель 2. В объемных счетчиках вещество измеряется отдельными равными по объему дозами. В поршневом счетчике (рис. 1.19) жидкость из трубы 1 через распределительный четырехходовой клапан 2 поступает под поршень 3 и поднимает его. Поршень, перемещаясь вверх, вытесняет жидкость, находящуюся в верхней полости цилиндра, через распределительный клапан в трубу 4. Когда поршень достигнет верхнего крайнего положения, четырехходовой кран, связанный специальным механизмом 5 со штоком поршня, перемещается в положение, показанное на рис. 1.20, б пунктиром. Вследствие этого жидкость из трубы 1 будет поступать в верхнюю полость цилиндра, поршень начинает перемещаться вниз и из нижней полости жидкость вытесняется через четырехходовой кран и трубу 4. С момента достижения поршнем крайнего положения цикл повторяется.

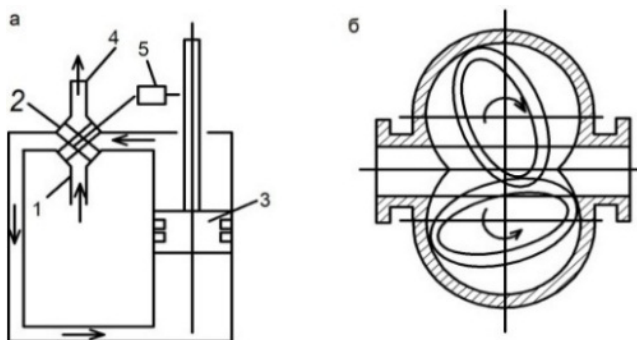


Рис. 1.20. Схема объемных счётчиков: а – поршневой счетчик;  
б – счетчик с овальными шестернями

Число доз за определенный промежуток времени суммируется счетным механизмом, связанным со штоком поршня с помощью передаточного механизма, а количество жидкости, равное сумме объемов протекших доз, показывается счетным указателем (на рис. 1.20 счетный механизм и указатель не показаны). В коммунальном хозяйстве применяются счетчики типа СМ для измерения объемного количества жидкостей. Для измерения объемного расхода и учета объемного количества газа используются счетчики типа «Тургас», состоящие из турбинного преобразователя (датчика) объемного расхода ПРГ и электронного блока измерения.

На рис. 1.20, б приведена схема объемного счетчика жидкости с овальными шестернями типа ШЖУ. В измерительной камере счетчика имеются две овальные шестерни, которые находятся друг с другом в зацеплении и при вращении под действием потока измеряемой жидкости непрерывно обкатывают друг друга. Измерение объемного количества жидкости происходит путем периодического перемещения определенных ее объемов, заключенных в полостях между цилиндрической поверхностью измерительной камеры и овальными поверхностями шестерен. Вращение шестерен через кинематическую цепь передается счетному механизму [9].

#### 1.6.4. Измерение температуры

*Температура* (от лат. *temperatura* – нормальное состояние) – физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия системы и являющаяся одним из основных параметров в инженерных системах. Она отличается рядом принципиальных особенностей, обусловивших необходимость применения разнообразных методов и технических средств для ее измерения.

Для измерения температуры были предложены различные температурные шкалы, а наибольшее распространение получила 100-градусная температурная шкала Цельсия. По этой шкале за основные (реперные) точки, ограничивающие основной температурный интервал, были приняты точка плавления льда ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и точка кипения воды ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) при нормальном атмосферном давлении. Единица температуры, равная одной сотой части основного температурного интервала, получила название градус. По шкале Цельсия градус обозначается прибавлением к числовому значению температуры в градусах символов  $^{\circ}\text{C}$ , например  $94\text{ }^{\circ}\text{C}$ . За рубежом наряду с условной температурной шкалой Цельсия используют шкалу Фаренгейта в градусах Фаренгейта –  $^{\circ}\text{F}$  и шкалу Реомюра в градусах Реомюра –  $^{\circ}\text{R}$ :  $1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1,8\text{ }^{\circ}\text{F} = 0,8\text{ }^{\circ}\text{R}$ .

Температурные шкалы строятся на допущении о линейной зависимости между термометрическими (физическими) свойствами тела и температурой. В действительности нет ни одного такого свойства, которое в полной мере могло бы удовлетворить этим требованиям во всем интервале измеряемых температур.

Независимой от свойств термометрического вещества является термодинамическая температурная шкала, предложенная в середине XIX веке Кельвином. В этой шкале нижней границей основного тем-

пературного интервала служит точка абсолютного нуля ( $0\text{ }^{\circ}\text{K}$ ), а в качестве верхней границы принята «тройная точка воды», лежащая выше точки таяния льда на  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Этой точке было присвоено числовое значение  $273,16\text{ }^{\circ}\text{K}$ . Тройной точкой воды называется температура равновесия между тремя фазами воды: твердой (лед), жидкой (вода) и газообразной (пары воды).

Единицей термодинамической температуры является кельвин (К) вместо прежнего наименования – градус Кельвина ( $^{\circ}\text{K}$ ). Единица кельвин равна  $1/273,16$  части интервала от абсолютного нуля температуры до температуры тройной точки воды. Теоретическая термодинамическая шкала не получила широкого практического применения из-за больших трудностей ее реализации. Более удобной оказалась международная практическая температурная шкала (МПТШ).

Согласно МПТШ и введенному в нашей стране ГОСТ 8.157-75 «Государственная система обеспечения единства измерений. Шкалы температурные практические», предусматривается применение двух температурных шкал: термодинамической температурной шкалы и практической температурной шкалы. Температура по этим шкалам выражается двояко: в Кельвинах (К) и в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ). Градус Цельсия равен кельвину ( $1\text{ K} = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Между температурой  $T$ , выраженной в Кельвинах, и температурой  $t$ , выраженной в градусах Цельсия, установлено соотношение:

$$= - 0 \quad (1.25)$$

где  $T_0 = 273,16\text{ K}$  (температура тройной точки воды  $273,16\text{ K}$  соответствует, как указывалось выше,  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ , следовательно,  $273,16$ ;

$K$  – температурный промежуток, на который смещено начало отсчета). Наименование «градус Цельсия» дано в честь шведского астронома и физика А. Цельсия. Наименование «кельвин» дано в честь английского физика Уильяма Томсона-Кельвина.

Существуют контактные и бесконтактные методы измерения температуры. В первом случае необходимо обеспечить надежный тепловой контакт чувствительного элемента прибора с объектом измерения. При отсутствии возможности такого контакта применяют различные бесконтактные методы измерения.

Средство для контактного измерения температуры называется *термометром*. По принципу действия термометры разделены на три группы: *расширения*, *сопротивления* и *термоэлектрические*.

Действие термометров расширения основано на тепловом расши-

рении (изменении объема) термометрического вещества (жидкостные, газовые) или линейных размеров твердых тел (дилатометрические, биметаллические) в зависимости от температуры. Пределы измерения этими термометрами составляют от  $-190$  до  $+600$  °С.

*Жидкостный стеклянный технический термометр* (рис. 1.21, а) имеет заполненный жидкостью (обычно ртутью) резервуар 1, тонкостенную капиллярную трубку 2, пластину 3 с нанесенной на ней шкалой, наружную стеклянную оболочку 4. Такие термометры применяются для измерения температуры от  $-90$  до  $+30$  °С и от  $-60$  до  $+200$  °С. Их изготавливают прямыми (типа П и А) и угловыми – изогнутыми под углом 90 или 135° (типа У и Б). Нижняя часть выполняется различной длины (от 66 до 2000 мм). Для предохранения стеклянной оболочки от повреждения термометры помещают в защитные стальные оправы 5, которые, как и термометры, выполняют прямыми и угловыми. Для сигнализации и измерения температуры в лабораторных и производственных условиях применяют технические термометры – ртутные электроконтактные (типа ТПК или ТЭК).

Их изготавливают с электроконтактами, впаянными к капиллярную трубку термометра. Замыкание или размыкание электрической цепи между контактами происходит вследствие расширения или сжатия ртути при нагревании или охлаждении нижней части термометра.

Принцип действия манометрических термометров (типа ТДГ, ТПГ, ТДЖ, ТПЖ, ТКП и др.) основан на изменении давления рабочего (термометрического) вещества в замкнутой герметичной термосистеме (рис. 1.21, б), состоящей из термобаллона 6, погружаемого в среду, температура которой измеряется, гибкого соединительного капилляра 7 и манометрической трубчатой пружины 8, один конец пружины впаян в держатель 9 канал которого соединяет внутреннюю полость пружины, герметизирован и шарнирно через тягу 10 зубчатый сектор 11 и шестерню 12 связан с показывающей стрелкой прибора 13.

Термосистема термометра заполнена рабочим веществом: газом, жидкостью или смесью жидкости с ее насыщенным паром. При нагревании термобаллона увеличивается давление рабочего вещества в замкнутом объеме герметичной термосистемы, вследствие чего пружина 8 деформируется (раскручивается) и ее свободный конец перемещается. Движение свободного конца пружины передаточными механизмами 10, 11, 12 преобразуется в перемещение указателя относительно шкалы Прибора, по которой производят отсчет температуры.

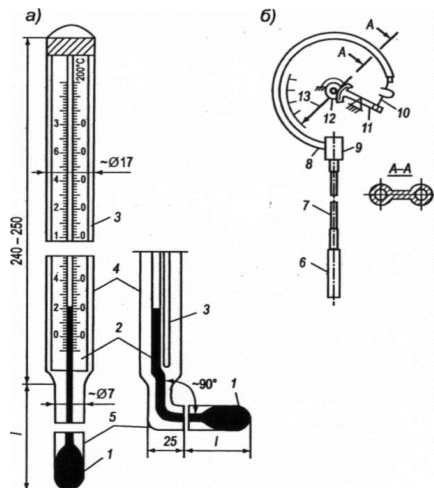


Рис. 1.21. Термометры: *а* – технический жидкостный стеклянный; *б* – показывающий манометрический

*Дилатометрические* и *биметаллические* термометры основаны на использовании свойств твердого тела изменять свои линейные размеры при изменении температуры. Действие биметаллического термометра основано на измерении разности линейных расширений при нагревании двух сваренных между собой по всей плоскости соприкосновения разнородных металлов, обладающих различными коэффициентами линейного расширения. При нагревании биметаллического элемента он изгибается в сторону металла с меньшим коэффициентом линейного расширения и при заданной температуре замыкает контакты. Биметаллические температурные реле применяются для интервала температур от  $-60$  до  $+300$  °С.

Дилатометрический термометр (типа ТУДЭ, РТ и др.) состоит из металлической трубки, внутри которой имеется связанный с доньшком трубы стержень, причем материал стержня обладает меньшим коэффициентом линейного расширения, чем материал трубки. При измерении трубка должна быть полностью погружена в среду, температура которой измеряется. С повышением температуры среды трубка удлиняется больше, чем стержень, вследствие чего он перемещается вниз. Это перемещение стержня через систему рычагов преобразуется в перемещение стрелки относительно шкалы прибора. Пределы измерения таких термометров составляют от  $-150$  до  $+700$  °С.

Принцип действия термометра сопротивления (рис. 1.22) основан на зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента от температуры.

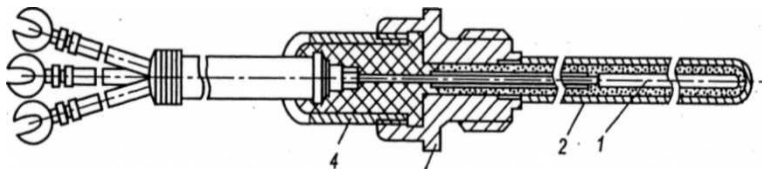


Рис. 1.22. Конструкция термометров сопротивления

Чувствительным элементом термометра сопротивления является тонкая платиновая или медная проволока 1, намотанная на каркас, заключенный в защитную арматуру 2. Концы проволоки в колпачке 4 приварены к выводам, которые соединяются с кабелем для передачи показаний. Штуцер 3 служит для монтажа термометра.

Платиновые термометры сопротивления (ТСП) используются для измерений от  $-200$  до  $+650$  °С, медные термометры сопротивления (ТСМ) – для измерений от  $-50$  до  $+180$  °С. Наиболее благоприятные для надежной работы этих термометров верхние пределы измерения составляют:  $600$  °С для ТСП и  $100$  °С для ТСМ.

Термометры сопротивления, чувствительные элементы которых изготовлены из полупроводниковых материалов, называются термисторами или терморезисторами. Их применяют для измерения температуры от  $-90$  до  $+180$  °С.

Передача информации от термометров сопротивления осуществляется с помощью логометров и мостов, измеряющих изменение электрического сопротивления термометра при изменении температуры контролируемой среды. Логометры сегодня почти не применяются в связи с широким распространением автоматических электронных мостов, имеющих более высокий класс точности.

Принципиальная схема уравновешенного моста с включенным термометром сопротивления  $R$  изображена на рис. 1.23 ( $R_1$  и  $R_3$  – резисторы с постоянными известными сопротивлениями,  $R_2$  – реохорд, который является регулируемым плечом моста). Сопротивление двух соединительных линий  $2 R_{\text{Л}}$  прибавляется к сопротивлению термометра  $R$ . К одной из диагоналей моста (BD) подключен внешний источник постоянного тока, к измерительной диагонали AC – чувствительный измерительный прибор (нуль-прибор НП).

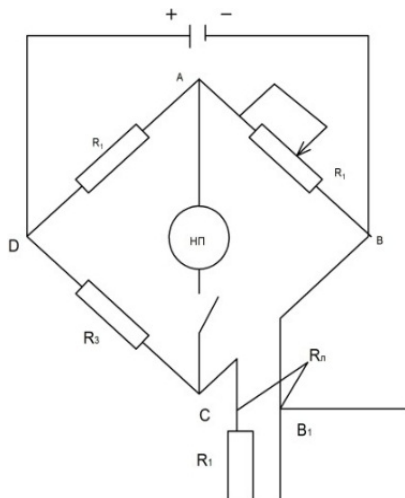


Рис. 1.23. Принципиальная схема уравновешенного моста с термометром сопротивления

Изменяя значение сопротивления  $R_2$  путем перемещения движка реохорда, всегда можно добиться такого состояния схемы, при котором при определенном соотношении между сопротивлениями плеч моста потенциалы точек А и С, а следовательно, и ток в нуль-приборе НП, равны нулю. Такое состояние обычно называют состоянием равновесия схемы.

При изменении сопротивления термометра  $R$ , нарушается равновесие моста. Поскольку мостовая схема приходит в равновесие при равенстве произведений сопротивлений противоположных плеч, то, перемещая движок реохорда  $R_2$ , можно найти положение равновесия схемы по отсутствию отклонения стрелки нуль-прибора.

Таким образом, по положению движка реохорда можно определить значение измеряемого сопротивления термометра, а следовательно, и его температуру. Следует отметить, что величина сопротивления  $2R_n$  в общем случае может изменяться, так как сопротивление приводов зависит от колебаний температуры окружающей среды. Если возникающие при этом погрешности измерения превышают допустимые пределы, то применяют так называемую техпроводную схему подключения термометра. При этом минус источника питания с помощью дополни-

тельного третьего привода подключается непосредственно к термометру сопротивления  $R$ . Кроме того, сопротивления соединительных линий  $R_n$  должны быть равны между собой. Для выполнения этого условия в цепь соединительных линий последовательно включают специальные уравнивательные катушки с номинальным сопротивлением 2,5 Ом. Изменением сопротивлений этих катушек можно добиться равенства сопротивлений соединительных линий.

Способ измерения температуры *термоэлектрическими термометрами* основан на существовании определенной зависимости между термо э. д. с., устанавливающейся в цепи, состоящей из разнородных проводников, и температурами мест их соединений. В цепи (рис. 1.24, а), составленной из двух различных термоэлектрически однородных по длине проводников А и В (например, меди и платины), при подогреве спая 1 появляется электрический ток, который в спаях 1 направлен от платины В к меди А, а в холодном спаях 2 – от меди А к платине В.

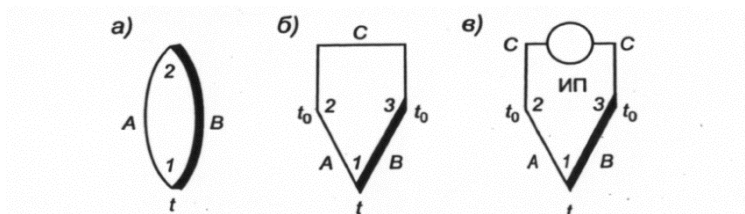


Рис. 1.24. Термоэлектрические цепи термоэлектрических термометров:

- а – цепь из двух различных однородных проводников;
- б – с третьим проводом, включенным в разрыв холодного спая;
- в – с включением в свободные концы измерительного прибора ИП

При подогреве спая 2 ток получает обратное направление. Такие токи называются термоэлектрическими. Электродвижущая сила, обусловленная неодинаковыми температурами мест соединения 1 и 2, называется термо э. д. с., а создающий ее преобразователь – термоэлектрическим термометром (старое название – термопара).

Принцип действия такого термометра состоит в том, что если проводник нагрет по длине неравномерно, то на его нагретом конце повышается концентрация свободных электронов, которые диффундируют к холодному концу. При этом горячий конец заряжается положительно, а холодный – отрицательно. Если замкнутая цепь состоит из

двух различных проводников А и В, то разность термо э. д. с., возникающих в каждом проводнике, зависит от температуры спаев  $t$ .

Вследствие того, что в различных металлах плотность свободных электронов неодинакова, в месте соприкосновения двух разнородных металлов, например в спае (рис. 1.24, б), электроны будут диффундировать из металла А в металл с меньшей плотностью электронов В в количестве большем, чем из металла В в металл А. Поэтому между металлами А и В возникает контактная разность потенциалов.

Поскольку плотность электронов в металле зависит также и от температуры спаев металлов А и В, то в месте соприкосновения этих проводников при любых температурах возникает термо э. д. с., значение и знак которой зависят от природы металлов А и В и температуры места их соприкосновения.

В представленной на рис. 1.24, б замкнутой цепи из двух разнородных проводников А и В появляется термоток. Направление этого тока в спае 2 определяет знак как самого проводника, так и термо э. д. с. Поскольку в рассматриваемой цепи ток в спае 2 направлен от меди А к платине В то термоэлектрод А – термоположительный, а В – термоотрицательный. Общая термо э. д. с. является функцией температур  $t$  и  $t_0$  и зависит от физической природы проводников.

Конструкции термоэлектрических термометров разнообразны и зависят в основном от условий их применения. Типовая конструкция приведена на рис. 1.25. Концы термоэлектродов 10 сварены между собой и образуют горячий спай 11. По всей длине термоэлектроды изолированы друг от друга керамическими изоляторами 9.

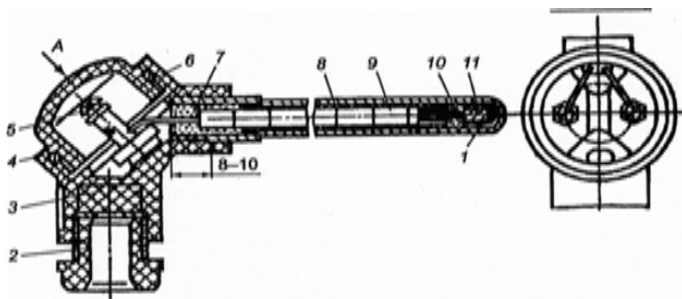


Рис. 1.25. Конструкция термоэлектрических термометров

Свободные концы термоэлектродов присоединяются к контактам колодки 5. Контактные зажимы и термоэлектроды помещены в защитную арматуру 8 и герметизированы эпоксидным компаундом 7.

Водозащитная головка термометра 6 закрыта крышкой 4. Сальниковый ввод головки 3 со штуцером 2 допускает использование кабеля наружным диаметром до 11 мм. Горячий спай термопары изолирован от защитной арматуры керамическим наконечником 1.

Термоэлектрические термометры градуируются при температуре свободных концов (холодного спая)  $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Действительная температура свободных концов может быть постоянной, но отличаться от  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На практике температура свободных концов изменяется в зависимости от режимов работы технологических агрегатов и условий окружающей среды. Поэтому свободные концы термоэлектрического термометра стараются удалить от нагретых поверхностей и вывести в зону относительно низкой постоянной температуры. Для этого не увеличивают длину термоэлектрического термометра, а выполняют продление электродов термометра с помощью гибких удлиняющих проводов, обычно называемых термоэлектродными или компенсационными. Компенсационные провода изготавливают из более дешевых материалов, чем термоэлектроды термометров, что весьма актуально при применении термоэлектрических термометров с электродами из благородных металлов.

Таким образом, при применении компенсационных проводов свободными концами термоэлектрического термометра можно считать места соединения компенсационных проводов с медными жилами или с зажимами измерительного прибора, если компенсационные провода присоединяются к ним непосредственно.

Пределы измерения термоэлектрических термометров зависят от материала термоэлектродов. Термометры типа ТПП с платинородий-платиновыми термоэлектродами применяются для диапазона температур от  $-20$  до  $+1300\text{ }^{\circ}\text{C}$  (допускается до  $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$  при кратковременных измерениях); типа ТПР с платинородий-платинородиевыми – от  $-50$  до  $+1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$  кратковременно); типа ТХА с хромель-алюмелевым – от  $-50$  до  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$  кратковременно); типа ТХА с хромель-алюмелевыми – от  $-50$  до  $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  кратковременно).

Для измерения термо э. д. с. в комплекте с термоэлектрическими термометрами в качестве вторичных приборов применяются магнитоэлектрические милливольтметры и автоматические потенциометры. Последние, получившие наибольшее распространение, применяются для непрерывного измерения, записи, сигнализации или регулирования температуры в комплекте с термометрами [9].

### 1.6.5. Измерение и визуализация уровня жидкостей в закрытых емкостях и открытых каналах

По характеру выходной величины различают уровнемеры с плавным выходом, предназначенные для непрерывного измерения, и с релейным выходом, называемые уровнемерами-сигнализаторами.

Уровнемеры – это датчики, предназначенные для непрерывного измерения уровня жидкостей. Их работа базируется на определённых физических принципах, благодаря которым электронный блок уровнемера преобразует значение уровня жидкости в пропорциональный аналоговый сигнал или в цифровой код.

Сигнализаторы – это датчики, предназначенные для определения заданного положения уровня (заполнение/опустошение) жидкости в ёмкости или трубе. Такие датчики имеют дискретный (релейный или транзисторный) выходной сигнал. Как правило, срабатывание сигнализатора происходит при блокировании или освобождении чувствительного элемента жидкостью.

Датчики уровня жидкостей делятся на два типа: контактные (весь датчик или его часть контактирует с измеряемой средой) и бесконтактные (измерение происходит без контакта с жидкой средой). Каждый из этих типов имеет достоинства и недостатки и находит своё применение в той или иной области.

Все датчики уровня жидкостей различаются по функционалу назначению (уровнемеры, сигнализаторы), типу (контактные, бесконтактные), по принципу действия (ёмкостные, гидростатические, байпасные, магнитострикционные, магнитные, микроволновые рефлексные, буйковые, бесконтактные, микроволновые радарные, радиоизотопные, табл. 1.3).

Таблица 1.3. Классификация датчиков уровня жидкости

| Виды          | Уровнемеры               | Сигнализаторы                     |
|---------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Контактные    | Ёмкостные                | Ёмкостные/Ёмкостно-частотные (RF) |
|               | Гидростатические         | Гидростатические                  |
|               | Байпасные                | Оптические                        |
|               | Магнитострикционные      | Вибрационные                      |
|               | Магнитные                | Поплавковые магнитные             |
|               | Микроволновые рефлексные | Поплавковые кабельные             |
|               | Буйковые                 | Кондуктивные                      |
| Бесконтактные | Ультразвуковые           | Ультразвуковые                    |
|               | Микроволновые радарные   |                                   |
|               | Радиоизотопные           |                                   |

*Емкостные датчики уровня* – это экономичное решение для контроля уровня там, где не возникает вспенивания и налипания среды на датчик, а также там, где не требуется высокая точность измерения уровня. Как правило применяется для измерения уровня жидкости в небольших резервуарах. Для пищевых продуктов и агрессивных сред рекомендованы модели с пластиковым покрытием измерительного зонда. Существенным недостатком является высокая погрешность при измерении жидкостей с низкой диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon = 1,5 \dots 3,0$ ), а также неспособность работать с диэлектрическими жидкостями.

Однако производителям удалось решить проблему обнаружения жидкостей с низкой диэлектрической проницаемостью и проблему определения границы раздела сред с близкими значениями диэлектрической константы. *Емкостно-частотный сигнализатор* в отличие от емкостного, благодаря RF-технологии и тонкой настройке способен детектировать слабопроводящие жидкости и одновременно не реагировать на пену.

Форма электродов может быть различной, чаще всего используют цилиндрические электроды, занимающие весь объем жидкости и газового пространства. Схема емкостного уровнемера приведена на рис. 1.26. Первичный преобразователь емкостного прибора представляет собой электрод 1 (металлический стержень или провод), расположенный в вертикальной металлической трубке 2 (рис. 1.26. а). Стержень вместе с трубкой образуют конденсатор. Емкость такого конденсатора зависит от уровня жидкости  $H$  и от диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  жидкости, которая может изменяться с увеличением ее температуры и изменением состава.

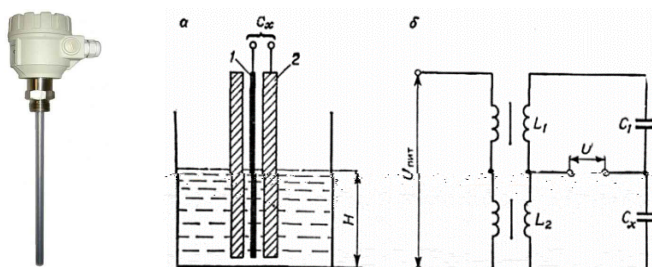


Рис. 1.26. Емкостной уровнемер: а – внешний вид; б – устройство датчика; в – электрическая схема уровнемера; 1 – электрод; 2 – труба

На рис. 1.26, в приведена электрическая схема емкостного уровнемера. Измерение электрической емкости первичного преобразователях  $C$  производится неуравновешенным мостом переменного тока, плечами которого являются индуктивности  $L_1$  и  $L_2$ , емкость  $C_1$  и емкость первичного преобразователях  $C$ . При изменении уровня изменяется емкость  $C_x$ , что приводит к изменению выходного напряжения моста  $U$ . Большое распространение получили емкостные сигнализаторы уровня. Для повышения чувствительности их электроды устанавливают в горизонтальном положении. В этом случае погрешность измерения не превышает 3 мм.

Диапазон измерения уровнемеров зависит от типа преобразователя и составляет от 1 до 20 м; допускаемая основная погрешность – 2,5 %.

Недостатками емкостных уровнемеров являются невозможность измерения уровня вязких, пленкообразующих, кристаллизирующихся жидкостей, а также высокая чувствительность к изменению диэлектрических свойств жидкости и емкости измерительных проводов.

*Гидростатические уровнемеры и сигнализаторы* имеют более высокую точность измерения по сравнению с емкостными и такую же невысокую стоимость. Поэтому являются оптимальным выбором по соотношению цена/качество. Вычисление значения уровня происходит благодаря измерению давления столба жидкости, поэтому гидростатические датчики применяются в открытых резервуарах или в закрытых, но в которых давление воздушной среды соответствует атмосферному, в противном случае уровнемер выдаст некорректные результаты. В том числе на определение уровня влияет плотность жидкости, для применения гидростатических уровнемеров необходимо быть уверенным, что её значение остаётся постоянным на протяжении всего времени измерения. Поэтому не рекомендуется использовать гидростатический метод определения уровня для жидкостей с переменной плотностью (радиохимическое производство, нефтепродукты при изменении температуры). Применяются для контроля уровня чистых и сточных вод, жидких пищевых продуктов или химических веществ, не реагируют на пену. Являются фактически безальтернативным решением для измерения уровня жидкости в скважинах.

Использование гидростатического метода определения уровня в погружных устройствах основано на преобразовании измеренных значений давления столба жидкости над датчиком в уровень этого столба. Преобразователь формирует унифицированный выходной сигнал. Величина давления, оказываемого на датчик, складывается из давления

водяного столба и атмосферы. Атмосфера компенсируется при помощи связи датчика с ней через специальную трубку. Уровень воды рассчитывается по стандартным формулам (рис. 1.27).

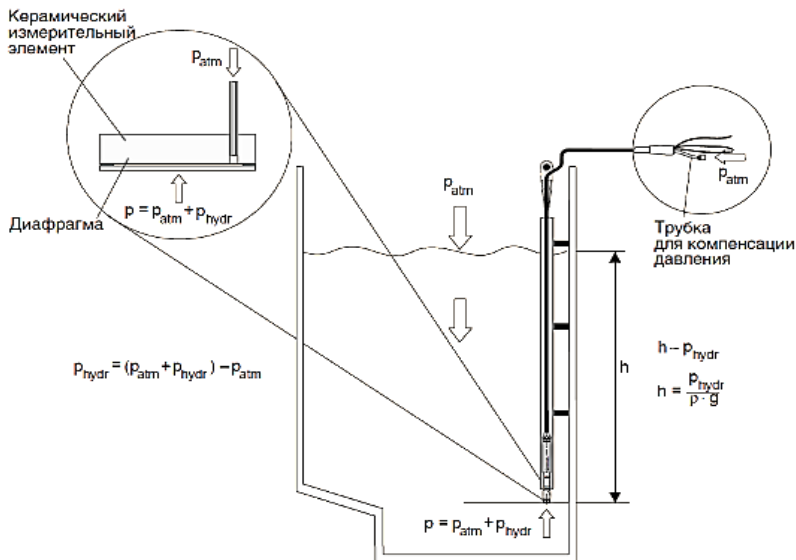


Рис. 1.27. Принцип работы гидростатического уровнемера

Работа *байпасных уровнемеров* основана на принципе сообщающихся сосудов, что делает процесс измерения весьма наглядным и понятным. Такие уровнемеры применяются в небольших резервуарах, находящихся под давлением с температурой рабочей среды до +250 °С. Могут использоваться совместно с магнитострикционными уровнемерами, что позволит их интегрировать в АСУ. Байпасные уровнемеры не следует применять с вязкими жидкостями или жидкостями вязкость которых повышается при снижении температуры, так как температура жидкости в байпасной камере из-за тепловых перемычек в соединительной арматуре ниже, чем в сообщающемся с ним сосуде (рис. 1.28).

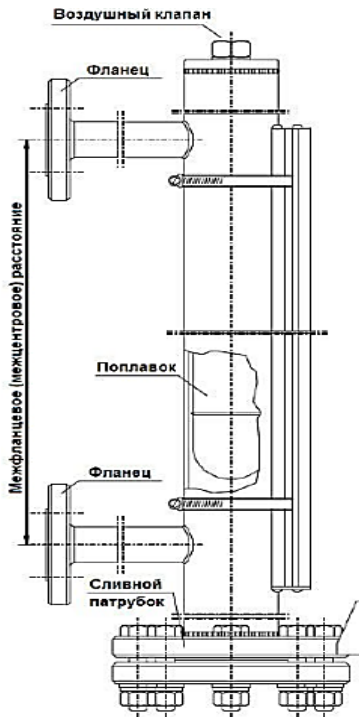


Рис. 1.28. Устройство байпасного поплавкового магнитного уровнемера

Работа байпасного поплавкового магнитного уровнемера NivoFlip основана на принципе сообщающихся сосудов. Уровень в поплавковой камере идентичен уровню в резервуаре.

Прибор состоит из байпасной трубы, присоединяемой на боковую стенку емкости при помощи резьбового, фланцевого соединения, либо с помощью приварных патрубков. Труба устанавливается максимально плотно к резервуару, чтобы обеспечить идентичность условий в измерительной трубе и резервуаре. Внутри трубы располагается поплавок с магнитами, который всегда находится на поверхности измеряемого продукта. Через стенку трубы магнитное поле поплавка взаимодействует с локальным дисплеем, который представляет собой линейку двухцветных магнитных индикаторов. Эти индикаторы переворачиваются в зависимости от уровня и меняют свой цвет. Таким образом,

визуальное наблюдение за уровнем является однозначным и не требующим вспомогательной энергии.

*Магнитострикционные и магнитные уровнемеры* относятся к типу поплавковых, это значит, что поплавков «лежит» на поверхности жидкости и измерение уровня происходит относительно положения этого поплавка. Такие уровнемеры отличаются большей точностью, особенно магнитострикционные. Их целесообразно применять при коммерческом учёте светлых нефтепродуктов, химических веществ и других дорогостоящих жидкостей. Поплавковые уровнемеры подходят для измерения уровня пенящихся жидкостей, однако не применимы с вязкими жидкостями.

*Микроволновые рефлексные уровнемеры* конструктивно состоят из электронного блока и волновода. Длина волновода должна соответствовать высоте резервуара, что ограничивает применение датчиков в высоких резервуарах. С такой бедой сталкиваются все датчики с аналогичной конструкцией (емкостные, магнитные, магнитострикционные). Однако принцип действия и конструкция рефлексного датчика делает его высокоточным и пригодным для использования в тяжёлых условиях (высокая температура и давление), а также с пенящимися и налипающими жидкостями. Этот вид уровнемеров можно назвать наиболее универсальным, подходящими для применения фактически с любыми жидкостями, не зависимо от давления воздушной среды над поверхностью жидкости или диэлектрической проницаемости среды.

*Буйковые уровнемеры* – это датчики для тяжёлых условий, в которых ко всему прочему требуется высокая точность измерений. Принцип работы буйковых уровнемеров схож с работой поплавковых датчиков и основан на использовании закона Архимеда. Некоторые модели способны обеспечивать непревзойдённые результаты измерения при температурах от  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давление рабочей среды до 414 атмосфер. Отсюда складывается высокая стоимость. Как правило, используются на нефтехранилищах и в химической промышленности.

Буйковые уровнемеры работают на ареометрическом принципе. Входным параметром датчика уровнемера является действующая на буюк сила, величина которой пропорциональна глубине погружения буйка в жидкость. Промышленностью выпускаются буйковые уровнемеры с унифицированными электрическими выходными сигналами в виде постоянного тока 0–20 и 0–5 мА и выходом в виде давления воздуха. На рис. 1.29 показана принципиальная электрическая схема уровнемера УБ-Э. Выталкивающая сила, действующая на буюк 1, через подвиж-

ную опору 2 и систему рычагов 3 перемещает плунжер 6 в катушке рассогласования 7.

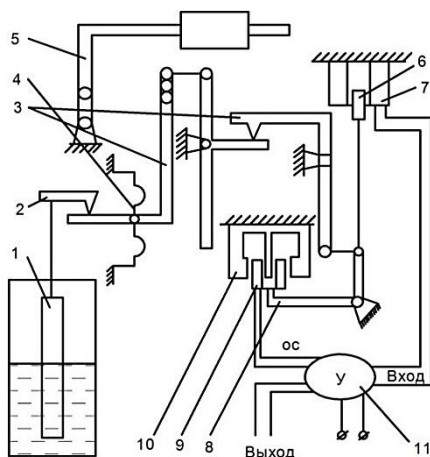


Рис. 1.29. Принципиальная схема уровнемера УБ-Э: 1 – буйек; 2 – подвижная опора; 3 – система рычагов; 4 – мембрана; 5 и 8 – рычаги; 6 – плунжер; 7 – катушка неподвижная; 9 – катушка подвижная; 10 – магнит; 11 – полупроводниковый усилитель; ОС – сигнал обратной связи; У – усилитель

Сигнал рассогласования подается на вход полупроводникового усилителя 11, к выходу которого подключена подвижная катушка 9 с магнитоэлектрической обратной связью ОС. Сила взаимодействия катушки 9 с магнитом 10 через рычаг 8 компенсирует выталкивающее действие жидкости на буйек, и система приходит в равновесие. Унифицированный сигнал постоянного тока снимается с выходного усилителя У и может использоваться для дистанционного измерения или в системе автоматического регулирования.

Рычаг 5 с навинченным противовесом служит для начального уравнивания веса буйка, т. е. установки нуля. Мембрана 4 применяется для разделения измерительной части прибора и буйка, выпускаемые уровнемеры имеют предел измерения от 0–20 до 0–16000 мм, который определяется габаритами буйка. Масса буйка составляет от 2,6 до 5,3 кг, а длина – от 40 до 16000 мм.

Сигнализатор уровня типа СУЖ с электроконтактным выходом

служит для сигнализации изменения уровня воды в диапазоне до 45 мм.

*Микроволновый радарный уровнемер* – это универсальное устройство непрерывного измерения уровня жидкостей. Обладает всеми преимуществами бесконтактного метода измерения и отличается крайне высокой точностью. Применим со всеми жидкими средами, исключением в некоторых случаях может стать пена. Помехой для импульс-радарного уровнемера может стать газовая подушка над поверхностью жидкости, в таком случае следует применять FMCW-радарные уровнемеры. Наилучшее применение таких датчиков – это резервуары с медленным изменением уровня жидкости, где важна высокая точность измерения. Недостатком может стать их высокая стоимость.

*Ультразвуковые датчики уровня* ещё один бесконтактный тип датчиков. По большому счёту, именно ультразвуковые датчики наиболее часто применяются для бесконтактного контроля уровня жидкостей. Ведь далеко не всегда важна очень высокая точность измерения как у радарных датчиков, а стоимость таких устройств в несколько раз ниже. Ограничение на применение накладывают пенящиеся жидкости и ёмкости, в которых образуется газовая подушка (ёмкости с азотной кислотой), собственно, как и в случае с импульс-радарными уровнемерами.

*Оптические сигнализаторы уровня жидкостей* – это миниатюрные датчики, предназначенные для контроля уровня в небольших ёмкостях и резервуарах, находящихся под вибрацией.

*Вибрационные сигнализаторы* или как их ещё называют «вибровилки» врезаются в ёмкость на требуемых уровнях. Чувствительный элемент постоянно вибрирует, что позволяет использовать датчик с вязкими и пенящимися жидкостями, не боясь ложных срабатываний. Такие датчики имеют среднюю точность и стоимость, относительно других сигнализаторов.

*Поплавковые сигнализаторы* наиболее простые и экономичные устройства контроля уровня жидкости и сточных вод, а также слабo-агрессивных жидких сред. Поплавковые сигнализаторы делятся на два типа – это поплавковые кабельные и поплавковые магнитные сигнализаторы. Отличие заключается в том, что кабельные имеют определённую длину кабеля и погружаются в жидкость через верх резервуара, а магнитные врезаются в боковую стенку ёмкости на требуемом уровне. Для агрессивных сред поплавки и кабель изготавливаются из различных пластиков. Как правило их применяют для включе-

ния/отключения насосов. Отличаются низкой ценой и невысокой точностью. Поплавковые датчики уровня используются и для измерения положения затворов. В этом случае преобразующая часть датчиков вместо поплавка кинематически сочленяется с затвором или его приводом. Наряду с этим для измерения положения затворов перегораживающих сооружений выпускаются специальные устройства типа ДПЗ-1, ДПЗ-2 и ДПМ.

На рис. 1.30 представлена схема датчика положения затвора ДПЗ-1.

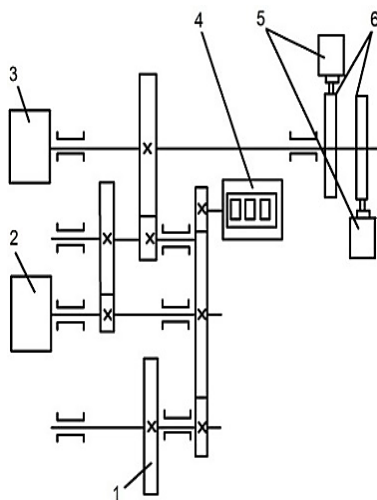


Рис. 1.30. Схема датчика положения затвора ДПЗ-1: 1 – звездочка; 2 и 3 – реостатные преобразователи соответственно точного и грубого отсчета; 4 – счетчик местного отсчета; 5 – микровыключатели; 6 – кулачки

Звездочка 1 сочленяется с винтом затвора, при перемещении которого поворачивается и с помощью зубчатых передач вращает счетчик местного отсчета 4, ползунки реостатных преобразователей точного 2 и грубого 3 отсчетов. Для сигнализации крайних положений затвора применяются микровыключатели 5, переключение которых выполняется кулачками 6. В устройстве ДПЗ-2 вместо реостатных преобразователей дистанционных измерений устанавливается телемеханический частотный преобразователь.

В мелиорации применяются приборы и устройства для измерения расхода воды в закрытых трубопроводах и открытых каналах. Для из-

мерения расходов воды в закрытых трубопроводах применяются расходомеры постоянного и переменного перепада, а также индукционные.

Принцип действия расходомеров постоянного перепада основан на восприятии динамического давления потока, действующего на чувствительный элемент [9].

#### **1.6.6. Ультразвуковые средства измерения расхода воды на открытых каналах мелиоративных систем**

Основным критерием оценки систем и средств измерения расхода и объема воды является достоверность получаемой информации, которая определяется надежностью работы систем и метрологическими характеристиками средств измерений. Оценивать эти характеристики необходимо в реальных условиях эксплуатации, так как высокая точность прибора, указанная в паспорте или рекламном проспекте, часто задается для идеальных условий, которые могут существенно отличаться от условий эксплуатации, в результате чего погрешность измерения существенно возрастает.

Для организации эффективной системы водоучета на мелиоративных системах рассмотрим отечественные и зарубежные ультразвуковые средства измерения расхода воды для энергообеспеченных пунктов водоучета на открытых каналах.

В основе работы расходомеров-счетчиков лежит ультразвуковой доплеровский метод измерения объемного расхода. Измерение объемного расхода производится путем умножения измеренного значения средней скорости протекающей жидкости на значение площади поперечного сечения потока. Рассмотрим расходомер-счетчик жидкости ВЗЛЕТ-РСЛ для безнапорных трубопроводов и открытых каналов (рис. 1.31).

Ультразвуковой расходомер-счетчик ВЗЛЕТ РСЛ предназначен для бесконтактного измерения объемного расхода, объема, уровня различных жидкостей (в том числе сточных вод) в безнапорных трубопроводах и открытых каналах и имеет свои особенности:

- минимальное влияние пены на поверхности жидкости на результат измерений;
- периодическая самоочистка пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) от конденсата и загрязнений;
- возможность ввода расходной характеристики контролируемого канала;

- возможность размещения блока измерения на удалении до в 50 м от объекта измерения.



Рис. 1.31. Общий вид расходомера-счетчика ВЗЛЕТ-РСЛ

Расходомер NivuChannel предназначен для выполнения измерений в открытых каналах и реках шириной в 0,40 м. Измеряет уровень воды до 50 м. Погрешность измерений – 1 %. Максимальное удаление вторичного прибора от датчика в 00 м. Внешние коммуникации: TCP, Internet, GPRS, DSL, ISDN. Расходомер NivuChannel (рис. 1.32).



Рис. 1.32. Общий вид расходомера-счетчика NivuChannel

Прибор сертифицирован. Это стационарный ультразвуковой расходомер, основанный на методе Transittime, для труб, каналов и откры-

тых водоемов (с частичным и полным заполнением). Измерения в водах различной степени чистоты (от совсем чистой до сильно загрязненной). Соответствует требованиям стандарта IEC 41. Ультразвуковой расходомер для открытых каналов Sarasota 200 представлен на рис. 1.33.



Рис. 1.33. Общий вид расходомера-счетчика Sarasota 200

Имеет интуитивно легкое программирование на нескольких языках в диалоговом режиме, большой графический дисплей с подсветкой. Сохранение результатов и настроек измерения производится на флеш-карте (CompactFlash). Передача данных и настройка могут осуществляться через Интернет. Расстояние между датчиками может достигать 300 м.

Ультразвуковой расходомер Sarasota 200 измеряет расход в открытых каналах без нарушения течения потока и необходимости использования дамб или спускных желобов. Техническая характеристика представлена в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Техническая характеристика расходомера Sarasota 200

| Характеристики                    | Значения            |
|-----------------------------------|---------------------|
| Ширина канала, м                  | 0,5-в 00            |
| Глубина измеряемого канала, м     | 0,01-в 0            |
| Форма поперечного сечения канала  | программируется     |
| Число измерительных сенсоров, шт. | до 8                |
| Число каналов, шт.                | до 4                |
| Питание                           | автономный режим    |
| Стандарт ISO 6416                 | одобрен             |
| Вид коммуникации                  | местные и удаленные |

Расходомер Sarasota в 00 используется также в сточных водах. Благодаря включенной в программное обеспечение фильтрации предотвращаются ошибки от ложных сигналов, скорость расхода вычисляется с точностью от  $\pm 5\%$ . Ультразвуковой расходомер УЗ для открытых каналов производства фирмы TOKYO KEIKI INC представлен на рис. 1.34.



Рис. 1.34. Общий вид расходомера-счетчика УЗ  
(Модель UF-960)

Техническая характеристика расходомера представлена в табл. 1.5.

Таблица 1.5. Техническая характеристика расходомера УЗ  
(Модель UF-960)

| Характеристики        | Значения             |
|-----------------------|----------------------|
| Модель                | UF-960               |
| Параметры канала, м   | 0,3–15               |
| Скорость потока, м/с  | 0–10                 |
| Точность измерений, % | $\pm 3$              |
| Метод измерений       | временнóй импульсный |
| Датчика уровнемера    | имеется              |
| Вид дисплея           | большой ЖК           |

Расходомер Sigma 950 AV Optiflow [8] для измерения расхода в открытых каналах и частично заполненных трубах представлен на рис. 1.35. Расходомер Sigma 950 AV Optiflow относится к двухканальным расходомерам, работающим по методу «скорость – площадь». Отличительными особенностями данного расходомера являются наличие двух типов исполнения, жидкокристаллического дисплея, клавиатуры и расширенного набора датчиков уровня и скорости. Расходомер Sigma 950 AV Optiflow позволяет проводить измерения не только расхода, но и проводить качественный анализ воды. Для определения

средней скорости движения потока воды используется доплеровский датчик непрерывного излучения. В датчике расположено два пьезокерамических элемента: передатчик и приемник. Рабочая частота передатчика 1 МГц, что позволяет добиться хорошей разрешающей способности.



Рис. 1.35. Расходомер Sigma 950 на прямоугольном канале

Ультразвуковой расходомер ОСМ III – Openchannelflow [9], предназначен для измерения с высокой точностью расхода воды в открытых каналах, представлен на рис. 1.36.



Рис. 1.36. Общий вид расходомера ОСМ III – Openchannelflow

Отмечают следующие его особенности:

- контроль подачи и отвода;
- вычисления по BS 3680 для исключительной точности при измерении расхода;
- запись данных от одного до 4 месяцев в зависимости от повторяемости записей;
- обширная последовательная коммуникация, включая RS-вЗв;
- высокая точность в оригинальных и специальных водосливах и каналах пользователя;
- режим AC и DC. Автоматическое переключение на батарейный режим для бесперебойного питания;
- двойной сетевой вход; дистанционный контроль с низкой потребляемой мощностью ПО FlowReporter для дистанционного контроля и обеспечения данными.

Прибор может записывать данные в различных форматах (от минут до дней). Записывается среднее количество расхода за этот промежуток времени. Ежедневно записываются минимальное, максимальное и суммарное значение температуры и расхода воды, а также время события. В качестве дополнительной функции имеется переменная запись данных. При необходимости возможна запись при большом количестве расхода.

Расходомер EASZ 11, выпускаемый фирмой EESIFLO, для открытых каналов представлен на рис. 1.37.



Рис. 1.37. Общий вид расходомера EASZ 11

Расходомер предназначен для измерения расхода жидкостей в открытых каналах, трубах, лотках, шлюзах. Удобен в обращении тем, что имеет простую программу, которая позволяет технику настроить расходомер без помощи сложной книги, содержащей исходные коды. Процедура настройки управляется из меню с помощью вопросов и выбираемых ответов. На основе проведенного анализа ультразвуковых расходомеров-счетчиков для открытых каналов оросительных систем, можно сделать предварительные выводы и заключения о применимости данных приборов.

Современный ультразвуковой расходомер-счетчик для энергообеспеченных пунктов водоучета на открытых каналах мелиоративных систем должен отвечать следующим требованиям:

- иметь высокую надежность и адекватность измерений независимо от изменений режимов водоисточников;
- не вносить искажений в водный поток;
- не требовать строительства дополнительных сооружений, изменяющих давление или уровень;
- не иметь движущихся частей;
- иметь многоканальный датчик скорости;
- наличие стандартных выходных сигналов для передачи информации через телекоммуникационные системы;
- блочное построение для безопасного демонтажа оборудования на зимнее хранение.

Всеми перечисленными выше требованиями обладают ультразвуковые расходомеры с большим числом измерительных сенсоров, такие как ВЗЛЕТ-РСЛ и Sarasota 200 [9].

### **1.6.7. Измерение влажности**

Объектом измерения влажности в сельскохозяйственном производстве являются воздух и почва. В закрытых помещениях (насосных станциях, диспетчерских пунктах и т. д.) влажность, наряду с температурой, влияет на комфортные условия, работоспособность и общее состояние людей; условия работы оборудования, аппаратуры и приборов, а содержание влаги в приземном воздухе – на характер и интенсивность биохимических процессов в растениях, косвенно характеризует влагообеспеченность выращиваемых культур.

Важное значение имеет измерение влажности почвы, которая является основным параметром при создании автоматических систем

управления влажностным режимом почв на мелиорированных землях.

Для дистанционного измерения и записи относительной влажности используется автоматический электронный психрометр типа ПЭ. Как преобразователи используются термометры сопротивления, один из них смачивается водой из специального резервуара. Термометры размещены в каналах, через которые с помощью вентилятора прокачивается исследуемый воздух. В качестве вторичного прибора используется автоматический электронный мост. Разность сопротивлений термометров пропорциональна психрометрической разности, что позволяет проградуировать шкалу моста непосредственно в единицах относительной влажности.

Измеритель относительной влажности воздуха типа УДРОВ работает на гигрометрическом методе измерений. Первичный преобразователь в приборе – влагочувствительная пленка, сопротивление которой меняется с изменением влажности окружающей среды. Как измерительный прибор используется электронный автоматический мост.

Для измерения влажности почвы применяются прямые и косвенные методы. Из прямых наиболее распространен термостатно-весовой метод. Он является основным при контрольно-испытательных измерениях и тарировании влагомеров, принцип действия которых основан на косвенных методах измерения. Однако этот метод трудоемок, предусматривает отбор проб и их сушку в течение длительного времени (до 24 ч и более).

Косвенные методы измерений предусматривают оценку влажности почвы по изменению различных ее свойств. Наиболее широко используют тензиометрический, кондуктометрический, емкостный и нейтронный методы. Тензиометрическим методом измеряют всасывающее давление почвы, зависящее от влажности. Рассмотрим устройство и принцип действия выпускаемого серийно тензиометра типа АМ20-II (рис. 1.38).

Он состоит из закрытого трубчатого сосуда 2 с пористым наконечником 1. Трубчатый сосуд соединен с измерительной чашкой 3, одна из стенок которой выполнена в виде мембраны 4. В центре ее закреплен штифт 7, связанный через механическую передачу со съемным микрометрическим индикатором перемещения 6. Трубчатый сосуд заполняется кипяченой или дистиллированной водой, после чего герметично закрывается пробкой 5. Прибор устанавливается в предварительно пробуренную скважину глубиной до 1 м, соответствующую исследуемому слою почвы.

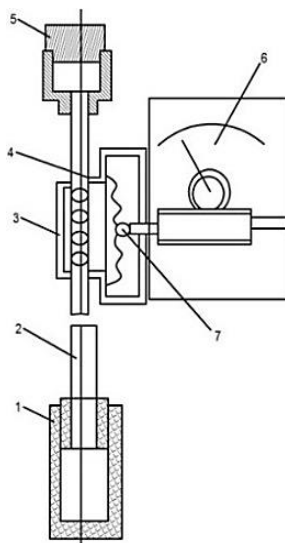


Рис. 1.38. Почвенный тензиометр:  
 1 – пористый наконечник; 2 – трубчатый сосуд;  
 3 – измерительная чашка; 4 – мембрана;  
 5 – пробка; 6 – микрометрический индикатор перемещения;  
 7 – штифт

За счет всасывающей силы вода через стенки пористого наконечника всасывается в почву и внутри трубчатого сосуда создается разрежение, вызывающее прогиб мембраны. По показаниям индикатора прогиба мембраны определяют всасывающую силу, а при соответствующей тарировке и влажность почвы. Прибор пригоден для измерения влажности почв в диапазоне от полной влагоемкости (ПВ) до 0,7–0,8 наименьшей влагоемкости. При более низких влажностях, вследствие проникновения воздуха через пористый наконечник в трубчатый сосуд, точность измерений резко снижается и погрешность достигает 5 % и более влажности.

Для автоматизации используют тензиометры с вакуумметрическими электроконтактными преобразователями, позволяющие получить сигнал о достижении предельно допустимых значений влажности.

Для того чтобы получить аналоговый выходной сигнал, применяют тензиометры с емкостными и ферродинамическими преобразователя-

ми, однако в настоящее время они серийно не выпускаются.

Принцип действия кондуктометрических влагомеров основан на измерении электрической проводимости при постоянном и переменном токе низкой частоты, зависящей от влажности почвы.

В кондуктовлагодетрии используются методы: непосредственного измерения сопротивления почвы; измерения сопротивления промежуточного тела, помещенного в исследуемую почву. К приборам непосредственного измерения относится влагомер типа «Днестр», который использует зависимость сопротивления почвы и электродвижущей силы поляризации, возникающей на электродах первичного преобразователя в почве, от влажности. Влагомер состоит из зондового контактного преобразователя, вторичного прибора и используется для определения сроков полива. Недостатком является влияние на его показания солевого состава, структуры почвы и переменного характера контакта почва – электроды.

Более стабильные показания обеспечивает метод измерений с использованием промежуточного сорбента. Сущность метода заключается в том, что измеряется сопротивление пористого сорбента, помещенного в почву и находящегося в равновесном по влажности состоянии с почвой. Гипс, нейлон, стекловату и другие материалы используют в качестве сорбента.

Наиболее распространены преобразователи с промежуточными гипсовыми блоками. Их электроды изготавливают из никеля или другого коррозионностойкого материала и размещают в гипсовом блоке. Для удобства установки в пробуренную скважину гипсовый блок чаще всего изготавливают в форме цилиндра или усеченного конуса с диаметром основания 25–50 мм. Величина сопротивления между электродами зависит от влажности гипса и при установлении влажностного равновесия характеризует влажность почвы. Для устранения влияния поляризации измерения выполняют на переменном токе частотой 1–2 кГц.

Измерения с применением гипсовых преобразователей позволяют существенно уменьшить влияние неинформативных параметров, в частности изменения солевого состава. При движении влаги из почвы в гипсовый блок солевой раствор нейтрализуется гипсом, что ограничивает срок службы преобразователя, который, как правило, не превышает одного летнего сезона. Гипсовые преобразователи имеют и другие недостатки: инерционность, подверженность влиянию гистерезисных явлений.

Емкостный метод основан на измерении параметров первичного

преобразователя (электрической емкости и угла диэлектрических потерь), функционально зависящих от влажности. Существенное отличие диэлектрической проницаемости (ДП) воды от ДП других компонентов обеспечивает ощутимую зависимость суммарной диэлектрической проницаемости почвы от ее влажности.

Конструкция емкостных преобразователей влажности зависит от свойств исследуемой среды и условий измерений. Для измерения влажности почвы без отбора проб в естественных условиях залегания чаще всего используют преобразователи цилиндрической формы с гребенкообразными и спиралеобразными электродами, которые можно устанавливать в пробуренную скважину практически без нарушения структуры измеряемого слоя почвы.

Чтобы улучшить работу измерительной схемы исключением потерь, вызванных токами прямой проводимости, электроды преобразователей могут покрываться водостойкой изоляцией (фторопластом, слоем эпоксидной смолы и водостойкими лаками).

Напряжение с кварцевого генератора усиливается резонансным усилителем, собранным на транзисторе Т2, и через эмиттерный повторитель и трансформатор подается в диагональ питания мостовой схемы, в одно из плеч которой включен преобразователь влажности.

Рассмотренные приборы предназначены для измерения точечного значения влажности в месте установки первичного преобразователя.

В системах автоматического управления поливом требуется информация об интегральном значении влагозапасов по площади в активном слое почвы. Для получения такой информации необходимо использовать зависимость:

$$= ( , ) , \quad (1.26)$$

где  $U$  – влагосодержание в слое почвы толщиной  $t$  на площади  $S$ ;

$W(t, S)$  – влажность в контролируемой точке поля.

Интегрирование по глубине слоя почвы достигается выбором длины первичного преобразователя. Усреднение по площади выполняют путем контроля влажности в нескольких характерных точках для данного участка с последующим переносом полученных усредненных результатов на всю площадь. Количество контролируемых точек зависит от рельефа местности, разнородности минерального и механического состава почвы.

Нейтронный метод измерения влажности основан на взаимодействии быстрых нейтронов, испускаемых источником с ядрами атомов

водорода почвенной влаги, и регистрации тепловых нейтронов, появляющихся в результате взаимодействия. Так работает нейтронный индикатор влажности почво-грунтов типа НИВ-2. Влагомер устанавливается в предварительно пробуренную вертикальную скважину. Плутониево-бериллиевый источник питания и счетчик располагаются в одном корпусе и экранируются между собой. Плотность потока тепловых нейтронов и интенсивность  $\gamma$ -излучения регистрируются счетчиком с кадмиевым экраном. Влажность почвы определяется по тарировочной кривой в зависимости от скорости счета. Прибор измеряет объемную влажность в диапазоне 20–40 % точно до 2 % и является влагомером локального влагосодержания с радиусом сферы исследуемой почвы до 30 см.

Для измерения влажности в поверхностном слое почвы без погружения измерителя в скважину используется универсальный нейтронный влагомер НВУ-1. Принцип действия его аналогичен прибору НИВ-2. Диапазон измеряемых влажностей – от 4 до 42 % по объему. Прибор НВУ-1 изготавливается также с погруженным измерительным зондом, который устанавливается в скважину и позволяет измерять влажность более низких слоев почвы.

Определение сроков и норм полива при использовании широкозахватной дождевальной техники требует получения оперативной информации об усредненных значениях влагосодержания почвы вдоль фронта полива. С этой целью разработан нейтронный влагомер типа «Крот». Для измерений в почве на глубине 35 и 90 см стационарно прокладываются полиэтиленовые трубы. По ним протягивается измерительный зонд с помощью электропривода или пневмотяги. В зонде смонтированы источник излучений, приемник и запоминающее устройство. После прогонки зонда по трубам считывают данные измерений с запоминающего устройства и по тарировочным графикам или таблицам определяют влагозапасы в исследуемом слое.

Достоинствами нейтронных влагомеров являются широкий диапазон измерений и бесконтактность с измеряемой средой. К недостаткам относится влияние на данные измерений имеющихся в почве аномальных поглотителей медленных нейтронов В, Cl, Li, K, Н в твердой фазе почвы и особенно в гумусовом горизонте, плотности почвы, а также опасность для биологической среды, что требует применения специальных средств защиты.

Метод определения влажности в зависимости от степени отражения электромагнитной волны влажной поверхностью. Молекулы воды спо-

способны поглощать часть высокочастотной энергии электромагнитной волны. Степень ее отражения изменяется в зависимости от степени влажности материала и измеряется датчиком, а процессор высчитывает показатель в зависимости от вида измеряемого материала. Прибор сравнивает амплитуды, падающей и отражённой волн, а МП рассчитывает коэффициент отражения и на его основе определяет какое количество влаги содержится в почве.

Недостатки метода:

- 1) калибровка под разные типы грунтов;
- 2) отсутствие способности учитывать особенности грунта;
- 3) при измерении влажности на участке прохождения ЛЭП возможно возникновение погрешности и искажение результатов;
- 4) наличие соединительного провода между щупом и индикаторным устройством (возможно повреждение в процессе длительной эксплуатации).

Достоинства метода:

- 1) высокая точность ( $\pm 1\%$ );
- 2) диапазон измерения влажности 0–100 %;
- 3) стабильная работа при наличии солей в почве;
- 4) мобильность и портативность устройства (рис. 1.39).



Рис. 1.39. Внешний вид прибора МГ-44

### **1.6.8. Измерение физических величин. Элементы процесса измерений**

Не каждая физическая величина может быть измерена. Сформулированы условия измеряемости величин (аксиомы или постулаты измеряемости). Измерение возможно при условиях:

- возможности выделения данной величины среди других величин;

– установления единицы измерений выделенной величины; создания технического средства, воспроизводящего установленную единицу и хранящего его размер;

– сохранения неизменным размера единицы (меры) в пределах установленной погрешности как минимум на срок, необходимый для данного измерения или одной серии измерений.

**Измерение** физической величины – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины. В этом определении отражена техническая сторона измерений – совокупность операций с применением технических средств, и раскрыта метрологическая суть измерений – сравнение с единицей в соответствии с основным уравнением измерения.

К измерениям можно отнести также получение измерительной информации, например, при допусковом контроле по обнаружению наличия или отсутствия каких-либо свойств, так как эта процедура связана с применением технических средств.

Процесс измерения – сложный познавательный процесс, который включает в себя взаимодействие целого ряда структурных элементов, оказывающих влияние на результат измерения. К ним относятся объект и субъект измерений, принцип, метод и средство измерений, условия измерений.

Процесс измерения невозможен без объекта и субъекта измерений. Субъектом измерений является человек, который осуществляет постановку измерительной задачи, сбор и анализ априорной информации об объекте, техническую операцию измерений, обработку их результатов. От знаний, практических навыков, квалификации оператора, его психофизиологического состояния, санитарно-гигиенических условий труда зависит качество результатов измерений.

**Объектом измерений** является тело (физическая система, процесс, явление и т. д.), которое характеризуется одной или несколькими измеряемыми физическими величинами.

Первым начальным этапом любого измерения является постановка задачи. Задача любого измерения заключается в определении значения выбранной (измеряемой) физической величины с требуемой точностью в заданных условиях. При постановке измерительной задачи необходимо выбрать модель измерений. Моделью может служить любое приближенное описание объекта, которое позволяет выделить параметр модели,

являющийся измеряемой величиной и отражающий то свойство объекта, которое необходимо оценить для решения измерительной задачи.

Таким образом, взаимодействие субъекта и объекта возможно только на основе математической модели. Модель объекта измерений должна удовлетворять следующим требованиям:

- погрешность, обусловленная несоответствием модели объекту измерений, не должна превышать 10 % от предела допускаемой погрешности измерений;
- составляющая погрешности измерений, обусловленная нестабильностью измеряемых физических величин в течение времени, необходимого для проведения измерений, также не должна превышать 10 % от предела допускаемой погрешности измерений.

Основная проблема – выбор таких моделей, которые бы адекватно описывали измеряемую величину данного объекта. Построение адекватной модели является сложной творческой задачей и требует высокой квалификации, опыта и практики.

Процесс измерения можно представить как преобразование (или цепочку преобразований) измеряемой физической величины в иную. Сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой физической величине, называемый **измерительным сигналом**, поступает на вход средства измерений, при помощи которого преобразуется в выходной сигнал, имеющий форму, удобную либо для непосредственного восприятия человеком, либо для последующей обработки и передачи. Конечной целью преобразования измерительной информации о физической величине является получение числа, которое определяет отношение измеряемой физической величины к единице этой величины. Выполнение измерительного преобразования осуществляется на основе выбранных физических закономерностей, которые реализуются в соответствующих технических устройствах – средствах измерений. В основе работы средства измерений заложен определенный принцип и реализуется определенный метод измерений.

**Принцип измерений** – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений (измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта, измерение массы взвешиванием, как определение пропорциональной искомой массе силы тяжести).

**Метод измерений** – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Метод измерений обычно обусловлен устройством средств измерений. Важнейшими факторами,

влияющими на результат, являются условия измерений. Под **условиями измерений** понимают совокупность влияющих величин, описывающих состояние окружающей среды и средств измерений.

В соответствии с установленными для конкретных ситуаций диапазонами значений влияющих величин различают нормальные, рабочие и предельные условия измерений.

**Нормальными условиями измерений** являются условия, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости. Нормальные условия измерений устанавливаются в ТНПА на средства измерений конкретного типа или по их поверке (калибровке), а также в ТНПА на методики выполнения измерений. В нормальных условиях влияющая величина должна иметь нормальное значение или находиться в нормальной области значений.

**Нормальное значение** влияющей величины – это значение, установленное в качестве номинального. Например, при измерении многих величин нормальное значение температуры 20 °С (293 К).

**Нормальная область значений** влияющей величины – область значений влияющей величины, в пределах которой изменением результата под ее воздействием можно пренебречь в соответствии с установленными нормами точности. При нормальных условиях определяется основная погрешность средства измерений. В табл. 1.6. приведены номинальные значения основных влияющих величин.

Таблица 1.6. Номинальные значения влияющих величин

| Влияющая величина                                                                                                                                                                                    | Значение    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1                                                                                                                                                                                                    | 2           |
| 1. Температура для всех видов измерений, °С (К)                                                                                                                                                      | 20 (293)    |
| 2. Давление окружающего воздуха для измерения ионизирующих излучений, теплофизических, температурных, магнитных, электрических измерений, измерения давления и параметров движения, кПа (мм рт. ст.) | 100 (750)   |
| 3. Давление окружающего воздуха для линейных, угловых измерений, измерения массы, силы света и измерений в других областях, кроме указанных в п. 2, кПа (мм рт. ст.)                                 | 101,3 (760) |
| 4. Относительная влажность воздуха для линейных, угловых измерений, измерений массы, измерений в спектроскопии, %                                                                                    | 58          |
| 5. Относительная влажность воздуха для измерения электрического сопротивления, %                                                                                                                     | 55          |
| 6. Относительная влажность воздуха для измерений температуры, силы, твердости, переменного электрического тока, ионизирующих излучений, параметров движения, %                                       | 65          |
| 7. Относительная влажность воздуха для всех видов измерений, кроме указанных в п. 4–6 %                                                                                                              | 60          |

| 1                                                                                                                                          | 2                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 8. Плотность воздуха, кг/м <sup>3</sup>                                                                                                    | 1,2                                      |
| 9. Ускорение свободного падения, м/с <sup>2</sup>                                                                                          | 9,8                                      |
| 10. Магнитная индукция (Тл) и напряженность электрического поля (В/м) для измерений параметров движения, магнитных и электрических величин | 0                                        |
| 11. Магнитная индукция и напряженность электрического поля для всех видов измерений, кроме указанных в п. 10                               | Соответствует характеристикам поля Земли |
| 12. Частота питающей сети переменного тока, Гц                                                                                             | 50 ± 1 %                                 |
| 13. Среднеквадратическое значение напряжения питающей сети переменного тока, В                                                             | 220 ± 10 %                               |

**Рабочими** называются условия измерений, при которых влияющие величины находятся в пределах рабочих областей. Рабочая область значений влияющей величины – это область значений влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний средства измерений. Например, для измерительного конденсатора нормируют дополнительную погрешность вследствие отклонения температуры от номинального значения.

**Предельными** считаются условия измерений, характеризующиеся экстремальными значениями измеряемой и влияющей величин, которое средство измерений может выдержать без разрушений и ухудшения его метрологических характеристик.

Завершающим этапом процесса измерений является получение результата. Результатом является значение величины, полученное путем ее измерения. Совместно с результатом оценивается и качество. До недавнего времени для оценки качества результата измерений использовали такие характеристики, как точность, правильность, достоверность, сходимост и воспроизводимост.

**Точность результата измерений** – одна из характеристик качества измерений, отражающая близост к нулю погрешности результата измерений. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям всех видов (как систематических, так и случайных). Точность категория качественная, количественно она может быть выражена обратной величиной модуля относительной погрешности. Например, при значении относительной погрешности 0,001 точность измерений будет равна 1000.

**Правильность результатов измерений** – качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в их результатах.

**Достоверность результатов измерений** определяется степенью доверия к результату измерения и характеризуется вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины с определенной вероятностью находится в указанных пределах. Данная вероятность называется доверительной.

**Сходимость результатов измерений** – близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Высокий уровень сходимости измерений соответствует малым значениям случайных погрешностей при многократных измерениях одной и той же физической величины с использованием одной методики выполнения измерений. Сходимость измерений двух групп многократных измерений может характеризоваться размахом, средней квадратической погрешностью.

**Воспроизводимость измерений** – близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

Оценками воспроизводимости могут служить разности средних значений, разности противоположных экстремальных значений или средние квадратические погрешности сравниваемых рядов измерений.

В соответствии с национальным стандартом СТБ ИСО 5725-1-2002 все чаще для оценки качества результатов измерений используют такие характеристики как точность, правильность и прецизионность (подробнее в разделе 3.6.3)

**Точность** – близость результата измерений к принятому эталонному значению величины.

**Правильность** – близость среднего значения, полученного на основании большой серии результатов измерений, к принятому эталонному значению величины.

**Прецизионность** – близость между независимыми результатами измерений, полученными при определенных условиях (повторяемости, воспроизводимости или промежуточной прецизионности). Это общий термин для всех видов случайных погрешностей.

**Повторяемость** – прецизионность в условиях повторяемости (один метод, одна лаборатория, один образец, один оператор).

**Воспроизводимость** – прецизионность в условиях воспроизводимости (один метод, идентичные образцы, но разные лаборатории).

**Промежуточная прецизионность** – прецизионность в условиях промежуточной прецизионности (в одной лаборатории, но в разных условиях).

### 1.6.9. Методы измерений

**Метод измерений** – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Различают два основных метода измерений: непосредственной оценки и сравнения с мерой.

При использовании метода **непосредственной оценки** значение измеряемой физической величины определяют непосредственно по показывающему устройству средства измерений (отсчет по часам, термометру и т. п.). Суть метода непосредственной оценки, как любого метода измерения, состоит в сравнении измеряемой величины с мерой, принятой за единицу, но в этом случае мера «заложена» в измерительный прибор опосредовано.

Формальное выражение для описания метода непосредственной оценки может быть представлено в следующей форме:

$$Q = x, \quad (1.27)$$

где  $Q$  – измеряемая величина,

$x$  – показания средства измерения.

**Метод сравнения с мерой** характеризуется тем, что измеряемая величина сравнивается с известной величиной, воспроизводимой мерой (измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирями).

Принципиальные различия между двумя основными методами измерений заключаются в том, что метод непосредственной оценки реализуется с помощью приборов и не требует дополнительного применения мер, а метод сравнения с мерой предусматривает обязательное использование о вещественной меры.

Формально метод сравнения с мерой может быть описан следующим выражением:

$$= +_{\text{м}}, \quad (1.28)$$

где  $X_{\text{м}}$  – величина, воспроизводимая мерой.

Метод сравнения с мерой реализуется в нескольких разновидностях:

- дифференциальный и нулевой методы;
- метод совпадений;
- методы замещения и противопоставления.

Дифференциальный и нулевой методы отличаются друг от друга в зависимости от степени приближения размера, воспроизводимого мерой, к измеряемой величине.

**Дифференциальный метод измерений** – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины. При этом на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой, что формально соответствует  $x \neq 0$  в выражении  $Q = x + X_{\text{м}}$ . Например, измерения, выполняемые при поверке мер длины сравнением с эталонной мерой на компараторе.

**Нулевой метод измерений** – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля ( $x \approx 0$ ).

Например, измерения электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием, взвешивание на равноплечих весах).

**Метод совпадений** – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины оценивают, используя совпадение ее с величиной, воспроизводимой мерой (т. е. с фиксированной отметкой на шкале физической величины). Например, при измерении длины с помощью штангенциркуля с нониусом наблюдают совпадение отметок на шкалах штангенциркуля и нониуса.

В зависимости от одновременности или неодновременности воздействия на прибор сравнения измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой, различают методы замещения и противопоставления.

**Метод замещения** – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой, т. е. эти величины воздействуют на прибор последовательно (взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы груза и гири на одну и ту же чашу весов, измерение электрического сопротивления резистора путем замены его магазином сопротивлений и подбо-

ром значения его сопротивления до получения прежних показаний омметра).

**Метод противопоставления** – метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами.

### 1.6.10. Погрешность и неопределенность измерений

Целью измерений является нахождение истинного значения измеряемой физической величины. Качество результатов измерений характеризуется близостью достижения цели, т. е. близостью измеренного значения к истинному. **Истинное значение** физической величины – это значение, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину. Оно является абсолютной истиной и может быть получено только в результате бесконечного процесса измерений с бесконечным совершенствованием методов и средств измерений. Количественной оценкой точности результата измерений является **погрешность**, определяемая отклонением результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Формально погрешность можно представить выражением:

$$\Delta = X - X_0, \quad (1.29)$$

где  $\Delta$  – абсолютная погрешность измерения;

$X$  – результат измерения физической величины;

$X_0$  – истинное значение измеряемой физической величины (физическая величина, представленная ее истинным значением).

**Результат измерения** является приближенной оценкой истинного значения физической величины, которая найдена путем измерения.

Погрешность результата измерения указывает границы неопределенности значения измеряемой величины.

Так как истинное значение неизвестно и его применяют только в теоретических исследованиях, то на практике это абстрактное понятие заменяют понятием «действительное значение». За **действительное значение** физической величины принимают значение, полученное экспериментальным путем (в результате измерений) и настолько близкое к истинному, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него:

$$x_{\text{дт}} = Q, \quad (1.30)$$

где  $x_{\text{дт}}$  – действительное значение физической величины;

$Q$  – истинное значение физической величины.

Заменяя истинное значение действительным, погрешность можно определить как отклонение измеренного значения от действительного:

$$\Delta = x_{\text{дт}} - Q. \quad (1.31)$$

Для характеристики точности технических устройств, применяемых при измерениях, используется понятие погрешность средства измерений, как разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины.

Погрешности результата и средств измерений классифицируют по различным признакам. По способу выражения различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности.

**Абсолютная погрешность** описывается формулой (1.29) и выражается в единицах измеряемой величины. **Относительная погрешность** – это погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности к действительному или измеренному значению измеряемой величины

$$\delta = \frac{\Delta}{x}, \quad (1.32)$$

где  $\Delta_x$  – абсолютная погрешность измерений;

$x$  – действительное или измеренное значение величины.

Относительная погрешность может быть рассчитана в именованных относительных единицах (долях) по формуле (1.33) или в именованных относительных единицах (например, в процентах или в промилле). При использовании именованной относительной погрешности, выраженной в процентах, формулу для относительной погрешности можно записать в виде

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100 \%. \quad (1.33)$$

Для характеристики средств измерений используют приведенную погрешность  $\gamma$ . **Приведенная погрешность** – это относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины (нор-

мирующему значению), постоянному во всем диапазоне измерений или в его части:

$$\gamma = \Delta \quad 100 \%, \quad (1.34)$$

где  $\Delta$  – абсолютная погрешность средства измерений;

– нормирующее значение.

В качестве нормирующей величины могут использоваться верхний предел измерений либо больший из модулей пределов измерений, если нулевое значение находится внутри диапазона измерений, а верхний и нижний пределы неодинаковы по модулю, и другие величины, оговоренные в ГОСТ 8.401-80.

По характеру проявления погрешности делятся на систематические, случайные и грубые.

**Систематическая погрешность** (СТБ П 8021-2003) – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины. Отличительная особенность систематических погрешностей заключается в том, что они могут быть предсказаны, выявлены, оценены и исключены из результата измерения путем внесения поправок. Исключение систематических погрешностей измерения из отдельных результатов или серий, полученных при многократных измерениях одной и той же физической величины, называется «исправлением результатов», а полученные при этом значения – исправленными.

В зависимости от характера изменения систематические погрешности подразделяют на постоянные, прогрессивные, периодические и погрешности, изменяющиеся по сложному закону.

Составляющие систематические погрешности, которые могут длительное время сохранять свое значение, например, в течение времени выполнения всего ряда измерений, являются постоянными (например, прибор с неправильно выставленным нулем). Непрерывно возрастающие или убывающие погрешности называют прогрессивными. Значения периодических погрешностей является периодической функцией времени или перемещения указателя измерительного прибора (например, спешащие или отстающие часы).

Систематическая погрешность может изменяться по сложному закону и включать постоянную, прогрессивную и периодическую составляющие. В общем виде может быть описана выражением:

$$\Delta = a + b \sin \varphi + d \cos \psi, \quad (1.35)$$

где  $a, b, d$  – постоянные составляющие сложной систематической погрешности;

$\psi, \varphi$  – соответственно аргументы прогрессирующей и периодической составляющих систематической погрешности.

**Случайная погрешность** – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же величины. Они обнаруживаются при повторных измерениях одной и той же величины в виде разброса получаемых значений. Причиной появления таких погрешностей чаще всего является совокупное действие различных факторов, среди которых нельзя выделить доминирующий.

Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения. Описание случайных погрешностей, как и любой случайной величины, возможно только на основе теории вероятностей и математической статистики.

В отличие от систематических случайные погрешности нельзя исключить из результатов измерений путем введения поправки, однако их можно существенно уменьшить путем увеличения числа наблюдений. Поэтому для получения результата, минимально отличающегося от истинного значения измеряемой величины, проводят многократные измерения с последующей математической обработкой данных.

**Грубая погрешность (промах)** – это погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, который для данных условий резко отличается от остальных результатов ряда. Они, как правило, возникают из-за ошибок или неправильных действий оператора или резких изменений условий проведения измерений. Такие погрешности в принципе непредсказуемы, и их значения (в отличие от случайных погрешностей) невозможно прогнозировать с учетом теории вероятностей. Если промахи обнаруживаются в процессе измерений, то результаты, их содержащие, отбрасывают. Однако чаще всего промахи выявляют только при окончательной обработке результатов измерений с помощью специальных критериев. В зависимости от места возникновения различают инструментальные, методические, субъективные и погрешности условий.

**Инструментальная погрешность** – составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства из-

мерений. К ней относят погрешности всех применяемых в данной методике средств измерений и вспомогательных устройств, включая погрешности прибора, мер для его настройки и т. п.

**Методическая (погрешность метода измерений)** – это составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода. Они обусловлены:

- отличием принятой модели объекта измерения от модели, адекватно описывающей его свойства, которое определяется путем измерения;
- влиянием способа применения СИ;
- влиянием алгоритмов (формул), по которым производятся вычисления результатов измерений;
- влиянием других факторов, не связанных со свойствами используемых средств измерений.

**Погрешность условий** – составляющая погрешности измерения, которая возникает из-за отклонений условий от нормальных.

По влиянию внешних условий различают основную и дополнительную погрешность СИ. **Основной** называется погрешность СИ, определяемая в нормальных условиях его применения. Для каждого СИ в технических нормативных правовых актах (ТНПА) оговариваются условия эксплуатации – совокупность влияющих величин (температуры окружающей среды, влажности, давления, напряжения и частоты питающей сети и др.), при которых нормируется его погрешность. **Дополнительной** называется погрешность СИ, возникающая вследствие выхода какой-либо из влияющих величин за пределы нормальной области значений. Например, изменение температуры влияет на результат определения размеров, плотности и др.

**Субъективная (личная) погрешность** – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная индивидуальными особенностями оператора. Они вызваны недостаточно высокой квалификацией оператора, его состоянием, положением во время работы, несовершенством органов чувств, эргономическими свойствами СИ и др. Чаще всего они обусловлены погрешностью отсчета оператором показаний по шкалам СИ и др. Погрешности отсчитывания возникают при необходимости оценивания на глаз доли деления шкалы, соответствующей положению указателя (погрешность интерполяции при считывании), а также из-за параллакса при «косом» направлении взгляда оператора (погрешность от параллакса).

Погрешность измерения  $A$  является интегральной погрешностью,

которая образуется в результате объединения составляющих погрешностей от разных источников:

$$\Delta = \Delta_{\text{си}} \cdot \Delta_{\text{м}} \cdot \Delta_{\text{у}} \cdot \Delta_{\text{оп}}, \quad (1.36)$$

где  $\Delta_{\text{си}}$  – инструментальная погрешность;

$\Delta_{\text{м}}$  – методическая погрешность;

$\Delta_{\text{у}}$  – погрешность условий;

$\Delta_{\text{оп}}$  – субъективная погрешность.

Знак \* является знаком объединения (не сложения), поскольку погрешности различные погрешности объединяют с использованием разных математических операций.

Каждый из источников, в свою очередь, может дать одну либо несколько элементарных составляющих.

По значимости все погрешности (составляющие и интегральные) можно разделить на значимые и пренебрежимо малые. К **пренебрежимо** малым составляющим погрешностям относят погрешности, которые значительно меньше доминирующих составляющих, т. е.

$$\Delta_{\text{min}} \quad \Delta_{\text{max}}. \quad (1.37)$$

Статическая и динамическая погрешности относятся к погрешностям средств измерений. **Динамической погрешностью** средства измерений называют погрешность, возникающую при измерении изменяющейся (в процессе измерений) физической величины. Она равна грешность средства измерения при использовании его в динамическом режиме:

$$\Delta_{\text{дин}} = \Delta_{\text{д.р}} - \Delta_{\text{ст.р}}, \quad (1.38)$$

где  $\Delta_{\text{дин}}$  – динамическая погрешность средства измерения;

$\Delta_{\text{д.р}}$  – динамическая погрешность средства измерения;

$\Delta_{\text{ст.р}}$  – погрешность при использовании средства измерений в статическом режиме.

При этом **статической погрешностью** называют погрешность средства измерения, применяемого при измерении физической величины, принимаемой за неизменную. Динамический режим измерений встречается не только при измерении изменяющейся величины, но и при измерении величины постоянной в том случае, когда скорость изменения сигнала измерительной информации на входе средства измерений оказывается соизмерима и даже выше скорости преобразования измерительной информации.

По зависимости абсолютной погрешности от значений измеряемой величины различают погрешность:

- **аддитивную** – не зависящую от измеряемой величины (рис. 1.40, а);

- **мультипликативную**, которая прямо пропорциональна измеряемой величине (рис. 1.40, б);

- **суммарную**, имеющую и аддитивную, и мультипликативную- составляющие (рис. 1.40, в) или нелинейную. Эти погрешности применяются в основном для описания метрологических характеристик СИ и определения их класса точности.

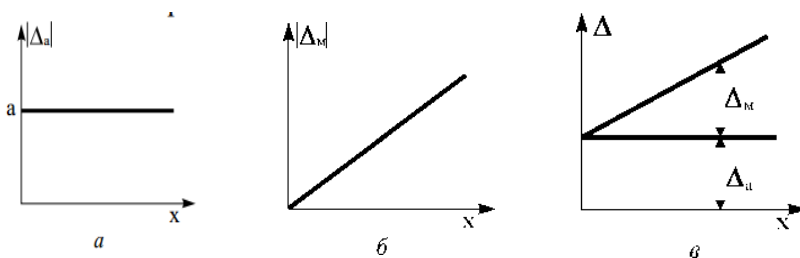


Рис. 1.40. Аддитивная (а), мультипликативная (б) и суммарная (в) погрешности

Эти погрешности применяются в основном для описания метрологических характеристик СИ и определения их класса точности.

Нормальное распределение (*normal distribution*) – играет важную роль в анализе данных. Иногда вместо термина нормальное распределение употребляют термин гауссовское распределение в честь К. Гаусса (более старые термины, практически не употребляемые в настоящее время: закон Гаусса, Гаусса-Лапласа распределение).

**Нормальное распределение (распределение Гаусса-Лапласа)** – распределение вероятностей непрерывной случайной величины  $X$  такое, что плотность распределения вероятностей при  $-\infty < x < +\infty$  принимает действительное значение:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (1.39)$$

где  $\mu$  – математическое ожидание;

$\sigma$  – стандартное отклонение нормального распределения;

$x$  – независимая переменная.

Нормальным называется такое распределение случайной величины  $x$ , для которого плотность вероятности описывается функцией, где  $\sigma$  и  $\mu$  – среднее квадратичное отклонение и математическое ожидание случайной величины соответственно.

Как видно из формулы, нормальный закон распределения характеризуется двумя параметрами:  $\mu$  и  $\sigma$ . Математическое ожидание  $\mu$  характеризует положение центра распределения, а стандартное отклонение  $\sigma$  является характеристикой рассеивания. Достаточно знать эти параметры, чтобы задать нормальное распределение. График этой функции получен при расчёте некоторой выборки данных, столбцы гистограммы представляют собой интервалы значений выборки, распределение которых близко (незначимо отличаются) к собственно графику функции плотности нормального распределения, который представляет собой кривую красного цвета (рис. 1.41).

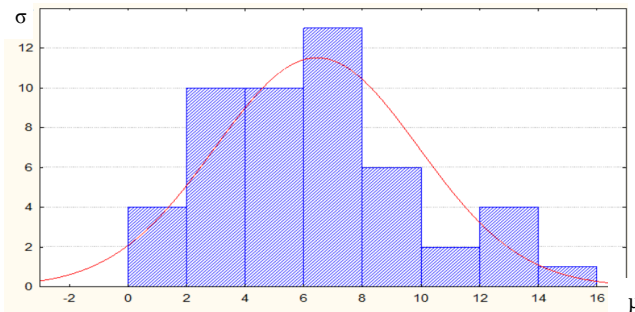


Рис. 1.41. Нормальное распределение вероятностей непрерывной случайной величины

Нормальное распределение во многом ценно благодаря тому, что, зная только математическое ожидание непрерывной случайной величины и стандартное отклонение, можно вычислить любую вероятность, связанную с этой величиной. Отправное понятие для вычисления вероятности попадания нормально распределённой случайной величины в заданный интервал – интегральная функция нормального распределения.

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (1.40)$$

Однако проблематично получить таблицы для каждой возможной комбинации среднего и стандартного отклонения. Поэтому одним из простых способов вычисления вероятности попадания нормально распределённой случайной величины в заданный интервал является использование таблиц вероятностей для стандартизированного нормального распределения. Линейное преобразование нормально распределённой случайной переменной  $x$ , после которого получается случайная переменная  $Z$  с математическим ожиданием 0 и отклонением 1, называется нормированием. Нормальное распределение с  $\mu = 0$ ,  $\sigma^2 = 1$  называется нормированным (стандартным) нормальным распределением. Вид функции нормированного нормального распределения представлен на рис. 1.42.

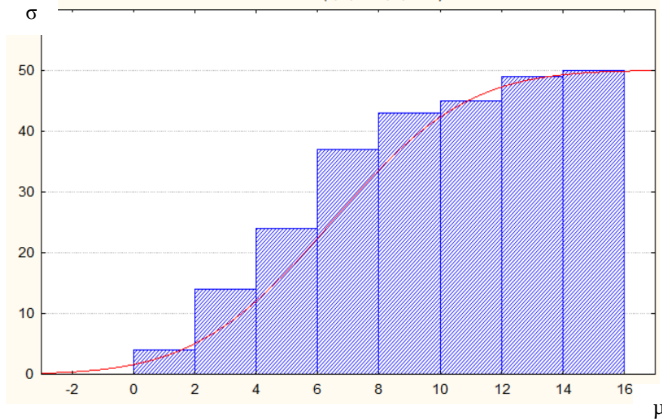


Рис. 1.42. Функция нормированного нормального распределения

Стандартизация случайной величины означает переход от первоначальных единиц, используемых в задании, к стандартизованным единицам. Стандартизация выполняется по формуле:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1.41)$$

На практике все возможные значения случайной величины часто не известны, поэтому значения среднего  $\mu$  и стандартного отклонения  $\sigma$  точно определить нельзя. Их заменяют средним арифметическим наблюдений  $\bar{x}$  и стандартным отклонением  $s$ . Величина  $z$  выражает

отклонения значений случайной величины от среднего арифметического при измерении стандартных отклонений.

**Пример.** Предприятие производит детали, срок службы которых нормально распределён со средним значением 1000 и стандартным отклонением 200 часов.

Для случайно отобранной детали вычислить вероятность того, что её срок службы будет не менее 900 часов.

*Решение.* Введём первое обозначение:

$(x \geq 900)$  – искомая вероятность.

Значения случайной величины находятся в открытом интервале. Поэтому, чтобы найти искомую вероятность, нужно из единицы вычесть упомянутую вероятность того, что случайная величина примет значение, меньше заданного 900:

$$(x \geq 900) = 1 - (x \leq 900).$$

Теперь случайную величину нужно стандартизировать.

Продолжаем вводить обозначения:

$$= (x \leq 900);$$

$x = 900$  – заданное значение случайной величины;

$\mu = 1000$  – среднее значение;

$\sigma = 200$  – стандартное отклонение.

По этим данным условия задачи получаем:

$$= \frac{x - \mu}{\sigma} = \frac{900 - 1000}{200} = -0,5.$$

По таблицам стандартизированной случайной величины (границе интервала)  $z = -0,5$  соответствует вероятность 0,30854. Вычтем ее из единицы и получим то, что требуется в условии задачи:

$$(x \geq 900) = 1 - 0,30854 = 0,69146.$$

Итак, вероятность того, что срок службы детали будет не менее 900 часов, составляет 69 % [9].

## **2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА**

### **2.1. Входной контроль**

Входной контроль – это контроль поступающих материалов, изделий и конструкций, грунта, а также технической документации. Контроль осуществляется преимущественно регистрационным методом (по сертификатам, накладным, паспортам и т. п.), а при необходимости – измерительным методом.

При входном контроле строительных конструкций, изделий, материалов и оборудования производится проверка их соответствия требованиям стандартов, технических условий или технических свидетельств, указанных в проектной документации. При этом проверяется наличие и содержание паспортов, сертификатов и других сопроводительных документов, подтверждающих качество указанных конструкций, изделий, материалов и оборудования. При необходимости могут выполняться измерения и контрольные испытания указанных выше показателей. Методы и средства измерений и испытаний должны соответствовать требованиям нормативных документов. Результаты входного контроля должны фиксироваться в журнале входного контроля. СН 1.03.04-2020 «Организация строительного производства» [10].

### **2.2. Операционный контроль**

Операционный контроль – это контроль, выполняемый при производстве работ или непосредственно после их завершения. Осуществляется главным образом измерительным методом или техническим осмотром. Результаты операционного контроля фиксируются в общих или специальных журналах работ, журналах геотехнического контроля и других документах, предусмотренных действующей в данной организации системой управления качеством.

Операционный контроль должен осуществляться как в ходе выполнения производственных операций и обеспечивать своевременное выявление дефектов и принятие мер по их устранению и предупреждению.

При операционном контроле следует проверять соблюдение технологии выполнения строительно-монтажных работ, соответствие выполняемых работ проектной документации и требованиям нормативных документов. Особому контролю подлежит выполнение специаль-

ных мероприятий при строительстве сложных объектов, а также при строительстве объектов на просадочных и заболоченных грунтах.

Основными документами при операционном контроле качества являются нормативные документы в части контроля качества работ и технологические ( типовые технологические) карты, содержащие разделы по контролю качества строительно-монтажных работ. Результаты операционного контроля должны фиксироваться в журнале производства работ. СН 1.03.04-2020 «Организация строительного производства» [10].

### **2.3. Геодезический контроль**

Геодезический контроль – исследования, проводимые в ходе подготовки к проектированию, а также на этапе возведения объектов.

Поверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы (ГМС) и субъектами хозяйствования с целью определения и подтверждения соответствия средств измерений установленным требованиям.

Поверку средств измерений проводят органы Госстандарта или субъекты хозяйствования с целью установления их соответствия метрологическим и техническим требованиям, установленным в нормативных документах (НД), и признания средств измерений пригодными к применению.

В зависимости от того, какой метрологической службой выполняется поверка, она подразделяется на государственную и ведомственную.

Обязательной государственной поверке подлежат средства измерений, используемые в торговле, здравоохранении, обеспечении защиты и безопасности государства, промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, гидрометрии, связи, коммунальном хозяйстве, на транспорте и других сферах деятельности:

- 1) при проведении торгово-коммерческих, таможенных, почтовых и налоговых операций;
- 2) диагностике и лечении заболевания человека;
- 3) контроле за медикаментами;
- 4) контроле за состоянием окружающей среды;
- 5) хранении, перевозке и уничтожении токсичных, легких на возгорание, взрывчатых и радиоактивных веществ;
- 6) контроле за безопасностью и условиями труда;

7) определении безопасности и качества продукции, соответствие ее реальных характеристик заданным;

8) контроле за всеми видами сырья и продуктов питания;

9) проведении испытаний, поверке и метрологической аттестации;

10) проведении измерений, результаты которых служат основанием для регистрации национальных и международных спортивных рекордов.

Перечень средств измерений, подлежащих обязательной поверке в органах ГМС, устанавливается Госстандартом.

Другие средства измерений подлежат поверке МС субъектов хозяйствования. В отдельных случаях по согласованию с Госстандартом допускается замена обязательной государственной поверки, поверкой в метрологических службах субъектов хозяйствования. Средства измерений, поверка которых не может быть обеспечена субъектами хозяйствования, предоставляются на поверку либо в органы ГМС, либо на предприятия, в организации и учреждения других министерств и ведомств, имеющих право такой поверки.

Предельный срок нахождения средств измерений, поступивших на государственную поверку при условии представления их в соответствии с графиком государственной поверки, составляет 15 дней.

Процедура поверки регламентируется специальной НД: стандартами на методы и средства поверки, инструкциями по поверке, методическими указаниями и т. д.

Как правило, поверку средств измерений проводят по методикам поверки, разработанным в соответствии с требованиями проведенных государственных испытаний по СТБ.

В зависимости от целей и назначения результатов поверки различают первичную, периодическую, внеочередную, инспекционную и экспертную поверки средств измерений.

Первичную поверку проводят при выпуске средств измерений из производства или ремонта, а также при ввозе их по импорту, прошедших государственные приемочные испытания по. Импортные средства измерений не подлежат первичной поверке в случае, когда результаты поверки, проведенной в других странах, признаны Госстандартом РБ в соответствии с международными соглашениями о взаимном признании результатов испытаний и поверки. Допускается выборочная первичная поверка средств измерений.

Периодическая поверка средств измерений проводится через меж-

поверочные интервалы, установленные с учетом обеспечения пригодности СИ к применению в период между поверками Закон РБ № 254-З [2].

Эту поверку проводят при эксплуатации и хранении средств измерений согласно графику поверки.

Межповерочные интервалы устанавливаются при проведении государственных приемочных испытаний или метрологической аттестации средств измерений, исходя из показателей надежности. Они должны гарантировать метрологическую исправность средств измерений в период между поверками. Годовые календарные графики периодической поверки утверждаются руководством предприятия. Графики составляются отдельно для средств измерений, представленных на поверку в ГМС и метрологическую службу субъектов хозяйствования.

Средства измерений, находящиеся на хранении, срок которого превышает межповерочный интервал, не подвергаются периодической поверке при условии соблюдения нормативных требований к их консервации, условиям хранения, виду консервации и упаковки. Такие средства измерений подвергаются поверке перед началом эксплуатации.

В метрологической практике имеются сигнализирующие средства (индикаторы), которые не относятся к средствам измерений и не поверяются. Право перевода средств измерений в разряд индикаторов предоставлено метрологическим службам субъектов хозяйствования. Согласно НД на лицевой стороне таких средств должно быть нанесено обозначение «И».

Средства измерений, используемые в учебных целях, периодической поверке не подвергаются, и на них наносится обозначение «У», использовать такие средства для измерений запрещено.

Внеочередная поверка проводится органами ГМС и МС субъектов хозяйствования при эксплуатации и хранении средств измерений независимо от срока периодической поверки в следующих случаях:

- 1) при необходимости подтверждения годности к применению;
- 2) при вводе в эксплуатацию после длительного хранения;
- 3) при корректировке межповерочных интервалов;
- 4) при контроле результатов периодической поверки;
- 5) при повреждении поверительного клейма, пломбы или утере документа, подтверждающего прохождение необходимой поверки;
- 6) при применении в качестве комплектующих, передаче на длительное хранение или отправке потребителю по истечении половины межповерочного интервала на них.

Внеочередную поверку рекомендуется проводить перед началом эксплуатации новых средств измерений и средств, поступивших из ремонта, со склада, после хранения и после транспортировки.

Инспекционная поверка проводится выборочно при осуществлении государственного метрологического надзора и контроля со стороны субъектов хозяйствования за состоянием и применением средств измерений для выявления их пригодности к применению, оценки качества поверочных работ и правильности назначения межповерочных интервалов согласно условиям эксплуатации. Результаты инспекционной поверки указываются в акте поверки состояния и применения средств измерений.

При неудовлетворительном состоянии средств измерений поверительные клейма погашают, свидетельства аннулируют, а в паспортах или эксплуатационной документации делают запись о их непригодности к применению. Экспертную поверку осуществляют при проведении метрологической экспертизы средств измерений органами ГМС. Эту поверку проводят с целью обоснования заключения о пригодности средств измерений к применению по письменному требованию милиции, судебно-следственных органов, Госарбитража, а также по заявкам предприятий и организаций с указанием причины.

Если данные экспертной поверки свидетельствуют о злоупотреблениях, руководитель органа государственной метрологической службы обязан сообщить об этом в следственные органы.

Результаты экспертной поверки отражаются в заключении, которое утверждается руководителем органа государственной метрологической службы.

Геодезический контроль точности геометрических параметров зданий и сооружений.

Процесс возведения несущих конструкций здания и сооружений сопровождается контрольными геодезическими измерениями.

Геодезический контроль включает определение действительного планового, высотного и относительно вертикали положений конструкций как на стадии временного закрепления конструкций (операционный контроль), так и после окончательного их закрепления (приемочный контроль). Геодезической основой контрольных измерений при установке конструкций в проектное положение являются знаки разбивочной сети здания (сооружения), разбивочные оси и линии, им параллельные, установочные риски на боковых гранях конструкций, реперы, марки и маяки.

Плановым геодезическим контролем проверяется фактическое положение продольных и поперечных осей или граней конструкций относительно разбивочных осей или линий, им параллельных.

Высотным геодезическим контролем проверяется положение опорных плоскостей конструкций здания или сооружения по высоте.

Геодезическим контролем за вертикальностью проверяется положение монтируемых конструкций относительно вертикальной или наклонной плоскости. Геодезический контроль, выполняемый в процессе строительства, оформляется геодезической документацией, в которую входят: исполнительные геодезические схемы, чертежи, профили, разрезы и т. д.; журналы геодезического контроля, акты геодезической проверки, полевые журналы.

Конечным результатом контроля точности должна быть информация о качестве строительно-монтажных работ, после анализа которой могут быть разработаны мероприятия для оценки и регулирования правильности и точности выполнения технологических процессов.

К началу работ по контролю точности должен быть уточнен перечень контролируемых параметров, применяемый метод контроля, план контроля, график и порядок его проведения, измерительные приборы, инструменты, схемы измерений, что, как правило, отражается в ППГР.

Геодезический контроль точности должен вестись, как правило, на основе карт, ведомостей контроля и других технологических документов, устанавливающих методы и схемы измерений, правила сбора, хранения, обработки и использования информации о результатах контроля.

Исходной документацией для выполнения контроля точности строительно-монтажных работ являются схемы размещения знаков закрепления осей или их створов, планы разбивочных ориентиров на монтажных горизонтах, а также чертежи конструктивных элементов с привязкой их к координатным осям.

Если оси элементов сборных конструкций расположены таким образом, что их привязка от внешних координационных осей (плоскостей) элементов отлична от нуля, то контролю подлежат наружные грани, торцы, плоскости эти  $x$  элементов.

Действительное положение элементов узлов и конструкций в плане, по высоте, их вертикальность, соосность, горизонтальность, уклон, совмещение плоскостей, размеры швов, зазоров или уступов, положение закладных элементов, отверстий, ниш или штраб должны определяться на всех этапах геодезистами строительных организаций

или соответствующими специалистами. При контроле сопоставляются измеренные размеры с размерами и отметками, указанными на чертежах, и величинами допусков, установленных в строительных нормах и правилах или проектах.

Геодезический контроль положения конструкций зданий и сооружений в плане осуществляют, как правило, непосредственными измерениями расстояний между осями, установочными или монтажными рисками, а также гранями (плоскостями) монтируемых изделий, применяя эталонированные мерные приборы или специальные шаблоны.

Контроль точности производства земляных работ при благоустройстве, вертикальной планировке, устройстве корыт под полотно дорог, траншей, котлованов, насыпей и т. п. следует осуществлять как в плане, так и по высоте. Контроль точности фундаментов производят в плановом и высотном положениях. В плановом положении проверяют расстояния между осями (фундаментами), места пересечения несущих стен, оснований закладных деталей и анкерных болтов по данной захватке (очереди) работ.

Проверку выполняют измерением расстояний от ранее вынесенных ориентиров до геометрических осей фундаментов и после сравнения с проектными значениями вычисляют допущенные отклонения.

Контроль вертикальности конструкций фундаментов производят при высоте элементов или рядов однотипных элементов более 1 м (если иные требования специально не оговорены в проектной документации) рейкой с отвесом или уровнем. Контролю подлежат те же элементы, которые контролировались и при плановой съемке.

Контроль точности устройства надземных частей зданий или сооружений осуществляют в плане и по высоте. В плане измеряют расстояния между смонтированными элементами и с учетом проектных привязок и расстояний между осями вычисляют допущенные отклонения. Высотное положение элементов монтажного горизонта, панелей перекрытий, верхних торцов наружных и внутренних панелей, лестничных площадок и лифтовых шахт определяют геометрическим нивелированием.

На монтажном горизонте (в пределах захватки монтажа или между температурными швами) нивелируют все опорные площадки под установку последующих элементов. Пятку рейки устанавливают на четырех углах панелей перекрытий, на выступ наружных стеновых панелей, на верхний торец объемных элементов лифтовых шахт.

За исходную точку нивелирования на монтажном горизонте при-

нимают один из рабочих реперов. В качестве рабочих реперов используют приваренные к закладным деталям плит перекрытий уголки, арматурные стержни. Их следует располагать таким образом, чтобы обеспечивалась связь нивелирными ходами между всеми захватками монтажа.

Отсчеты по рейке, при ее установках на рабочий репер в начале и по завершении нивелирования, производят по ее черной и красной сторонам. Разность отсчетов по рейке в начале и по завершении нивелирования с постоянной станции не должна быть более 5 мм.

Определение отметок точек на монтажном горизонте производится от рабочих реперов монтажного горизонта со средней квадратической погрешностью, не превышающей 2 мм. Средняя квадратическая погрешность высотной установки двух смежных маяков допускается не более 2 мм, а в пределах одной секции (захватки) 3 мм.

Местоположение лифтовых шахт определяют промерами от монтажных рисков или разбивочных осей. В процессе строительства лифтовой шахты контролируют ее внутренние размеры и вертикальность ствола. Размеры диагоналей проверяют стальной рулеткой, вертикальность – с помощью отвеса, оптических или лазерных приборов вертикального проецирования.

Для стропильных и подстропильных стальных ферм прямолинейность поясов и вертикальность плоскости ферм контролируется относительно проволоки, натянутой между опорными узлами и отвесом.

Для контроля положения подвесных потолков применяют лазерные приборы, устанавливаемые на определенном уровне от подвесного потолка. Световой луч лазера вращается с помощью специального оптического-механического устройства и оставляет постоянно видимую черту.

Вертикальность кладки стен в пределах двух этажей рекомендуется проверять отвесом, а для более высоких стен следует применять прибор-отвес на блоке. От нити отвеса с помощью линейки измеряют расстояние до стены в наиболее характерных точках или через равные промежутки. Равенство расстояний указывает, что плоскость стены вертикальна. Вертикальность поверхностей и углов кладки, горизонтальность ее рядов следует проверять не реже 2 раз на 1 м высоты кладки.

По окончании кладки каждого этажа необходимо проверять геометрическим нивелированием через 5–6 м соответствие полученного горизонта проектному.

При возведении кирпичных зданий проверяют толщину возводи-

мых стен (шаблоном-рейкой с вырезом на толщину стены). Горизонтальность рядов кладки контролируют порядовками, размеченными по толщине кирпича и растворного шва. Между порядовками натягивают шнур, который показывает линию кладки. Контроль планового положения элементов кладки стен следует осуществлять линейными измерениями от продольных и поперечных разбивочных осей здания [11, 12].

## **2.4. Приемочный контроль**

Приемочный контроль – это контроль, осуществляемый после завершения отдельных видов работ. Хотя приемочный контроль проводится в ходе строительства, он во многих случаях подразумевает участие «внешних» лиц (заказчика или проектировщика), поэтому он должен считаться не столько внутренним, сколько внешним. По его результатам принимается документированное решение о пригодности объекта контроля у эксплуатации или выполнению последующих работ.

При приемочном контроле производится проверка качества выполненных строительно-монтажных работ, а также качества ответственных конструкций. Обычно приемочный контроль производится высшим звеном инженерно-технического состава строительной организации (руководитель организации, главный инженер и т. п.). В п. 8.1 СН 1.03.04-2020 «Организация строительного производства» предусмотрено, что управление качеством строительно-монтажных работ должно осуществляться специалистами (линейными производителя работ) и специальными службами, входящими в состав строительной организации, и оснащенными техническими средствами, обеспечивающими необходимую точность, достоверность и полноту контроля. Это означает, что организация контроля качества включает в себя не только создание документированной системы, но также и постоянную ее актуализацию, разработку и реализацию программ по повышению квалификации инженерного состава предприятия и программ по техническому перевооружению материальной базы строительства [10, 15, 16].

## **2.5. Инспекционный контроль**

Инспекционный контроль – это выборочная проверка объектов на соответствие проектным решениям, срокам, стоимости и качества

работ и материалов. На всех стадиях строительства с целью проверки эффективности ранее выполненного производственного контроля должен выборочно осуществляться инспекционный контроль. Инспекционный контроль за объектами строительства осуществляется специальными уполномоченными службами.

Инспекционный контроль за деятельностью организации, прошедшей оценку системы производственного контроля, осуществляет организация по оценке системы производственного контроля, выдавшая свидетельство. Инспекционный контроль проводят в форме плановых и внеплановых проверок. Плановый инспекционный контроль должен проводиться не реже 1 раза в течение срока действия свидетельства.

Внеплановый инспекционный контроль проводят в случаях:

- отрицательных результатов проверок, выполненных органами государственного надзора;
- изменения методик выполнения контроля.

Инспекционный контроль проводят по программе, утверждаемой руководителем организации по оценке системы производственного контроля.

Программа должна включать:

- оценку организационной структуры системы производственного контроля и всех произошедших в ней изменений;
- оценку обеспеченности ТНПА и технологической документацией;
- проверку состояния фонда ТНПА (наличие изменений, дополнений и поправок, наличие порядка учета, актуализации, ведения и хранения фонда ТНПА);
- оценку состояния технологической документации (наличие порядка учета, актуализации, внесения изменений в технологическую документацию) согласно требованиям ТКП 45-1.01-159;
- оценку компетентности персонала в части знаний методик контроля;
- проверку наличия средств измерений, испытательного и вспомогательного оборудования, соответствующего требованиям ТНПА на продукцию и методы контроля; организацию поверки, аттестации и калибровки средств измерений и испытательного оборудования;
- оценку правильности оформления результатов контроля и ведения записей по результатам контроля, ведения учета факторов окружающей среды;
- оценку деятельности по обучению и повышению квалификации персонала;

- анализ порядка рассмотрения претензий;
- оценку результатов внутреннего аудита деятельности структурного подразделения (должностных лиц);
- результаты устранения несоответствий установленным требованиям, разработки и проведения корректирующих и предупреждающих действий.

По усмотрению организации по оценке системы производственного контроля программа инспекционного контроля может включать другие аспекты проверки. Допускается применение типовой программы инспекционного контроля. По результатам инспекционного контроля в течение одной недели оформляют акт по форме, установленной организацией по оценке системы производственного контроля.

В акте дают оценку функционирования системы производственного контроля и ее соответствие требованиям настоящего технического кодекса, отмечают недостатки, выявленные в ходе контроля. С актом проверки знакомят заявителя.

При отрицательных результатах инспекционного контроля (при выявлении фактов нарушения требований настоящего технического кодекса или ТНПА на методы контроля) в случае, если срок проведения корректирующих мероприятий превышает одного месяца, действие свидетельства о технической компетентности должно быть приостановлено до устранения выявленных несоответствий. В случае, если выявленные несоответствия не устранены в течение 6 месяцев после их выявления, организация по оценке системы производственного контроля может принять решение об отмене действия свидетельства (ТКП 45-1.01-221-2010) [13, 14, 16].

## **2.6. Контроль нормативной базы**

Обеспечение безопасности и качества продукции или услуг, полноты и достоверности предоставляемой о них информации достигается путем соблюдения всеми участниками рынка, будь то в республике или за ее пределами, действующих правил, которые устанавливаются в технических нормативных правовых актах (ТНПА).

К ним относятся ТНПА в области технического нормирования и стандартизации и ТНПА, не относящиеся к области технического нормирования и стандартизации. Виды ТНПА определены Законом Республики Беларусь от 17 июля 2018 г. № 130-З «О нормативных правовых актах».

В соответствии с данным Законом ТНПА:

- закрепляют количественные и (или) качественные требования (словесные и (или) цифровые показатели, нормативы, характеристики, правила, методики, классификации, словесные и графические описания) к объектам материального мира (в том числе к продукции (товарам), сырью и материалам (ресурсам), зданиям и сооружениям, транспортным средствам, оборудованию и иным вещам (имуществу), объектам окружающей среды), производственным, технологическим и другим аналогичным процессам (операциям) (в том числе по воздействию на объекты материального мира, заключающемуся в их разработке, преобразовании, проектировании, изыскании, обработке, переработке, производстве, строительстве, монтаже (установке), наладке, эксплуатации (использовании), хранении, перемещении (перевозке, транспортировании), реализации, утилизации (ликвидации), по технологиям выполнения работ, оказания услуг), системам управления (менеджмента), порядку (процедурам, методикам, методам) проведения (выполнения) испытаний, исследований и измерений, отбора проб и образцов, символике, упаковке, маркировке, этикеткам и их нанесению, компетентности граждан и юридических лиц в выполнении определенных работ, оказании определенных услуг;

- устанавливают наименования должностей (профессий) и связанные с ними квалификационные требования, термины и их определения, классификации технико-экономической и социальной информации, формы предоставления информации, правила, методы и способы поиска, получения, передачи, сбора, обработки, накопления, хранения, распространения и (или) предоставления информации, а также пользования информацией и защиты информации.

Если вы собираетесь открыть свое дело, то вам необходимо знать, каким требованиям должна соответствовать планируемая к выпуску продукция. Экспортируете свои изделия, намереваетесь осваивать новые рынки сбыта – о правилах игры вам расскажут международные, европейские и национальные стандарты различных стран. Чтобы укреплять свои позиции в конкурентной борьбе, вам нужно постоянно отслеживать изменения требований на вашу продукцию, гибко и своевременно реагировать на них. Одним словом, владеть информацией – значит владеть рынком, владеть бизнесом.

В соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 16 июля 2007 г. № 318 «О порядке доведения до всеобщего сведения технических нормативных правовых актов» в целях предоставле-

ния юридическим и физическим лицам полной, достоверной и своевременной информации о технических нормативных правовых актах Национальным центром правовой информации Республики Беларусь на базе эталонного банка данных правовой информации Республики Беларусь создан и интегрирован в информационно-поисковую систему «ЭТАЛОН» банк данных «Технические нормативные правовые акты».

Банк данных «Технические нормативные правовые акты» также представлен в информационно-поисковой системе «ЭТАЛОН-ONLINE» в разделе «Тематические БД». Информационный массив банка данных включает более 3000 действующих ТНПА.

Согласно Декрету Президента Республики Беларусь от 23 ноября 2017 г. № 7 «О развитии предпринимательства» ТНПА, являющиеся в соответствии с законодательными актами и постановлениями Совета Министров Республики Беларусь обязательными для соблюдения субъектами хозяйствования (за исключением технических регламентов Республики Беларусь, ТНПА, содержащих государственные секреты, а также ТНПА, утверждаемых субъектами хозяйствования) подлежат обязательной юридической экспертизе, проводимой НЦПИ, включению в Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь и официальному опубликованию на Национальном правовом Интернет-портале Республики Беларусь, а также размещению на иных информационных ресурсах в глобальной компьютерной сети [17, 18].

### **3. ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА**

#### **3.1. Термины и определения**

При организации системы контроля качества применяют термины, установленные в ТР 2009/13/ВУ, ГОСТ 16504, а также следующие термины с соответствующими определениями:

– **заявитель на оценку системы производственного контроля (заявитель):** Юридическое лицо, в том числе иностранное и индивидуальный предприниматель, подавшее заявку на проведение работ по оценке системы производственного контроля;

– **продукция в строительстве:** Строительные материалы, изделия, конструкции, здания и сооружения, работы в строительстве. (Измененная редакция, Изм. № 1);

– **профессиональное образование:** Образование, ориентированное на профессиональную деятельность [20, 21].

### 3.2. Общие положения

Организации, осуществляющие деятельность в области строительства, должны иметь систему производственного контроля, прошедшую процедуру ее оценки и тем самым подтверждающие свою способность проводить контроль качества и гарантировать безопасность продукции в строительстве в соответствии с требованиями ТНПА.

Система производственного контроля включает:

- персонал, проводящий контроль качества продукции;
- необходимые средства контроля;
- производственные условия (помещения, транспорт, связь и т. д.);
- ТНПА на методы контроля качества продукции и требования к продукции;
- документы системы управления качеством.

Для поддержания и функционирования системы производственного контроля организация должна иметь структурное подразделение, осуществляющее контроль качества продукции в строительстве (испытательная лаборатория, отдел технического контроля, отдел качества, служба контроля качества и т. д.), или возложить функции по контролю качества продукции в строительстве на специалистов, обладающих необходимой квалификацией, состоящих в штате данной организации (не менее 2 человек) и выполняющих данные работы на основании заключенных трудовых договоров (контрактов).

*Целями оценки системы производственного контроля являются:*

- выполнение основополагающих требований ТР 2009/13/ВУ;
- обеспечение возможности достижения требуемых показателей качества выпускаемых строительных материалов и изделий и выполняемых работ в строительстве;
- обеспечение единства и достоверности результатов контроля;
- получение объективной оценки качества продукции в строительстве;
- обеспечение гарантии качества продукции в строительстве.

*Задачами оценки системы производственного контроля являются:*

- установление соответствия средств контроля, квалификации персонала, осуществляющего контроль качества продукции в строительстве, требованиям ТНПА;
- оценка условий, гарантирующих единство и достоверность результатов контроля качества продукции в строительстве.

Оценку системы производственного контроля проводят по всем ви-

дам контроля, предусмотренным в ТНПА. Допускается проведение отдельных видов контроля в аккредитованных лабораториях.

Оценке системы производственного контроля не подлежат аккредитованные испытательные лаборатории, область аккредитации которых включает все виды контроля продукции в строительстве согласно.

Организационно-методическое руководство работами по оценке системы производственного контроля осуществляет республиканский орган государственного управления в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности (далее – Минстройархитектуры). Координацию проведения работ по оценке системы производственного контроля осуществляет базовая организация, назначенная Минстройархитектуры.

Оценку системы производственного контроля проводят назначаемые Минстройархитектуры организации по оценке системы производственного контроля.

Положительная оценка системы производственного контроля организации подтверждается свидетельством о технической компетентности (далее – свидетельством). Срок действия свидетельства – 5 лет.

Организация, осуществляющая деятельность в области строительства, может иметь одно свидетельство о технической компетентности. Недопустимо проведение оценки системы производственного контроля в нескольких организациях по оценке системы производственного контроля.

### **3.3. Участники работ по оценке системы производственного контроля**

Участниками работ по оценке системы производственного контроля являются:

- Минстройархитектуры;
- базовая организация;
- организации по оценке системы производственного контроля;
- заявитель.

При оценке системы производственного контроля участники работ выполняют следующие функции:

а) Минстройархитектуры:

– определяет требования к системе производственного контроля и политику в области оценки системы производственного контроля в строительстве;

- назначает организации по оценке системы производственного контроля;
- утверждает основные и дополнительные критерии оценки системы производственного контроля;
- осуществляет инспекционный контроль деятельности организаций по оценке системы производственного контроля;

б) базовая организация:

- устанавливает основные правила проведения работ по оценке системы производственного контроля;
- передает заключение в Минстройархитектуры о возможности включения организаций в перечень организаций, проводящих оценку системы производственного контроля;
- составляет перечень действующих свидетельств о технической компетентности системы производственного контроля согласно сведениям, предоставляемым организациями, осуществляющими оценку системы производственного контроля, и размещает его в сети Internet в свободном доступе;

в) организации по оценке системы производственного контроля:

- проводят работы по оценке системы производственного контроля;
- оформляют, регистрируют и выдают свидетельства;
- проводят инспекционный контроль деятельности организаций, прошедших процедуру оценки системы производственного контроля и получивших свидетельства;
- ведут учет и хранение документации по оценке системы производственного контроля заявителей;
- ведут Перечень организаций, получивших свидетельства о технической компетентности, по форме, установленной базовой организацией;
- ежегодно представляют отчет в Минстройархитектуры о проделанной работе по оценке системы производственного контроля и Перечень организаций, получивших свидетельства о технической компетентности;
- взаимодействует с Минстройархитектуры и Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь (далее – Госстандартом) по вопросам оценки системы производственного контроля (ТКП 45-1.01-221-2010) [14].

### **3.4. Требования к организации по оценке системы производственного контроля**

Организацию по оценке системы производственного контроля назначает Минстройархитектуры из числа организаций, подведомственных Минстройархитектуры или других министерств и ведомств по согласованию с Минстройархитектуры.

*Организации по оценке системы производственного контроля должны иметь:*

- штат специалистов, имеющих высшее образование в области строительства, стаж работы в области строительства не менее 3 лет, профессиональную подготовку и опыт работы в области проведения испытаний и контроля качества продукции в строительстве и метрологического обеспечения производства, знания процедур оценки системы производственного контроля;
- производственные и служебные помещения и оргтехнику, необходимые для деятельности;
- фонд ТНПА на продукцию в строительстве, на методы испытаний и контроля;
- документы, определяющие порядок проведения и оформления результатов работ по оценке системы производственного контроля;
- финансовую и юридическую независимость от заявителя.

*Организации по оценке системы производственного контроля имеют право:*

- запрашивать у заявителя необходимые материалы и сведения, касающиеся системы производственного контроля;
- проводить оценку компетентности персонала, задействованного в системе производственного контроля;
- вносить предложения по совершенствованию процедуры оценки системы производственного контроля;
- давать разъяснения по процедуре оценки системы производственного контроля;
- определять порядок проведения инспекционного контроля;
- устанавливать договорные цены на проведение работ по оценке системы производственного контроля.

*Организации по оценке системы производственного контроля обязаны:*

- предоставлять свои услуги по проведению работ по оценке системы производственного контроля;

- обеспечивать объективность и достоверность результатов оценки системы производственного контроля;
- соблюдать установленные настоящим документом процедуры и правила оценки системы производственного контроля;
- не разглашать сведения, полученные в ходе работ по оценке системы производственного контроля и составляющие коммерческую тайну заявителя.

Ответственность за деятельность организации по оценке системы производственного контроля несет руководитель организации.

Организация, заявившая о своих намерениях проводить оценку системы производственного контроля, направляет в Минстройархитектуры заявку с указанием области деятельности и документы, подтверждающие способность организации проводить оценку. Заявка оформляется по форме в соответствии с прил. Б.

При положительном результате рассмотрения представленных документов Минстройархитектуры утверждает организацию по оценке системы производственного контроля и устанавливает область деятельности.

При отрицательном результате рассмотрения организации устанавливают срок не более одного месяца для устранения отмеченных несоответствий. Затем организация повторно направляет заявку.

Минстройархитектуры ежегодно проводит инспекционный контроль деятельности организаций, осуществляющих оценку системы производственного контроля, согласно план-графику базовой организации. При отмене для организации разрешения на проведение работ по оценке системы производственного контроля, данная организация в месячный срок передает базовой организации документацию по данному виду деятельности.

Информация об организациях, получивших право осуществления оценки системы производственного контроля, а также об организациях, которым отменили разрешение на данный вид деятельности, публикуется в официальных информационных изданиях Минстройархитектуры.

### **3.5. Требования к системе производственного контроля**

Система производственного контроля должна обеспечивать контроль продукции в строительстве на всех стадиях ее производства путем проведения входного, операционного и приемочного контроля.

Входной контроль продукции в строительстве должен проводиться в соответствии с требованиями СТБ 1306. Порядок проведения и объем операционного и приемочного контроля должны соответствовать требованиям ТНПА и плану контроля организации (для организаций, производящих строительные материалы изделия).

Система производственного контроля должна соответствовать СТБ ИСО/МЭК 17025 в части технических требований к:

- методам испытаний и подтверждению их правильности;
- оборудованию;
- отбору проб;
- погрузочно-разгрузочным операциям и транспортированию образцов для испытаний [22].

Положительную оценку функционирования заявитель на оценку системы производственного контроля подтверждает наличием:

- организационной структуры, обеспечивающей проведение контроля качества продукции (прил. Г);

- плана контроля, утвержденного руководителем организации (для организаций, производящих строительные материалы и изделия);

- средств контроля, удовлетворяющих требованиям ТНПА на методы контроля;

- фонда ТНПА и технологической документации на продукцию в строительстве, методы контроля;

- персонала, имеющего: профессиональное образование (высшее или среднее техническое в области строительства);

- подготовку и опыт работы в области строительства, проведения испытаний и контроля качества продукции в строительстве и метрологического обеспечения производства;

- сертификатов компетентности в соответствии с требованиями, подтверждающих профессиональную компетентность персонала или аттестованных специалистов, в установленном законодательством Республики Беларусь порядке;

- помещений, соответствующих требованиям ТНПА;

- условий проведения испытаний и контроля, соответствующих требованиям ТНПА;

- системы регистрации результатов контроля.

Организация, осуществляющая деятельность в области строительства, должна иметь:

- положение о системе производственного контроля (далее – Положение);

- должностные инструкции на каждого специалиста.

Положение должно содержать:

- функции, права, обязанности и ответственность специалистов, задействованных в системе производственного контроля;
- порядок управления документацией и записями;
- порядок управления средствами контроля;
- порядок работы с другими подразделениями;
- порядок подготовки и повышения квалификации персонала;
- порядок проведения внутреннего аудита;
- порядок устранения выявленных несоответствий;
- порядок разработки и проведения корректирующих и предупреждающих действий;
- порядок рассмотрения претензий;
- другие положения, отражающие специфические особенности функционирования подразделения (порядок отбора проб, порядок проведения погрузочно-разгрузочных работ и др.);
- схему организационной структуры системы производственного контроля.

Положение должно быть утверждено руководителем организации. Положение должно периодически (не реже одного раза в 3 года) пересматриваться ответственным за функционирование системы производственного контроля (ТКП 45-1.01-221-2010).

Специалисты, осуществляющие контроль качества продукции в строительстве, должны иметь должностные инструкции с указанием их функций, прав, обязанностей, ответственности в части правил проведения контроля качества продукции в строительстве и взаимодействия с другими должностными лицами (специалистами). Должны быть установлены порядок управления документацией и записями, средствами испытаний и контроля, порядок подготовки и повышения квалификации персонала, порядок проведения внутреннего аудита и устранения выявленных несоответствий, порядок разработки и проведения корректирующих и предупреждающих действий, порядок рассмотрения претензий.

При наличии у заявителя сертифицированной системы менеджмента качества в соответствии с требованиями международных стандартов серии СТБ ISO 9001-2015, система производственного контроля может быть описана и регламентирована документами системы менеджмента качества [23].

### **3.6. Порядок проведения оценки системы производственного контроля**

Оценка системы производственного контроля включает выполнение следующих процедур:

- рассмотрение заявок на проведение оценки системы производственного контроля и экспертизу прилагаемых к ним документов;
- принятие решения о проведении работ по оценке системы производственного контроля;
- проверку системы производственного контроля;
- оформление и выдачу свидетельств; инспекционный контроль.

Заявитель направляет в организацию по оценке системы производственного контроля заявку по форме в соответствии с приложением А и документы по формам в соответствии с приложениями Б, В и Г, а также положение о системе производственного контроля. Допускается по усмотрению организации по оценке системы производственного контроля информацию о наличии средств контроля с указанием их технических характеристик и записей о результатах калибровки, поверки, приведенной в графах таблицы приложения В, представлять в виде отдельной таблицы. При необходимости, по требованию организации по оценке системы производственного контроля, могут быть представлены дополнительные документы, отражающие специфические стороны деятельности заявителя [14].

Организация по оценке системы производственного контроля в течение 10 дней со дня получения заявки рассматривает полученные документы и принимает решение о возможности проведения работ по оценке системы производственного контроля, информирует заявителя и оформляет договор на проведение работ. Экспертизу документов допускается проводить непосредственно у заявителя при оценке системы производственного контроля.

Организация по оценке системы производственного контроля определяет сроки проведения работ и назначает специалистов для проведения оценки системы производственного контроля.

При оценке системы производственного контроля производят оценку деятельности каждого специалиста, задействованного в системе производственного контроля.

При оценке системы производственного контроля проверяют:

- обеспеченность ТНПА, технологической документацией и ее соответствие требованиям ТКП 45-1.01-159;

- наличие и ведение фонда ТНПА: порядок комплектования, актуализации, внесения изменений, дополнений и поправок, учета и хранения фонда ТНПА;

- наличие средств измерений, испытательного и вспомогательного оборудования, соответствующего требованиям ТНПА на продукцию и методы контроля (по усмотрению организации, осуществляющей оценку системы производственного контроля, допускается применение арендованного оборудования);

- систему управления состоянием средств измерений и испытательного оборудования, в том числе организацию поверки, аттестации и калибровки средств измерений и испытательного оборудования согласно требованиям.

## **4. НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА**

### **4.1. Нормативная документация для проведения контроля**

**Проектная документация** – комплекс документов, раскрывающих сущность проекта и содержащих обоснование его целесообразности и реализуемости; документация, содержащая текстовые и графические материалы и определяющая архитектурные, функционально-технологические, конструктивные и инженерно-технические решения для обеспечения строительства, реконструкции и (или) технического перевооружения объектов капитального строительства и инженерных коммуникаций.

**Рабочая документация** – совокупность текстовых и графических документов, обеспечивающих реализацию принятых в утвержденной проектной документации технических решений объекта капитального строительства, необходимых для производства строительных и монтажных работ, обеспечения строительства оборудованием, изделиями и материалами и (или) изготовление строительных изделий.

**Технический регламент** – регламент, устанавливающий характеристики продукции (услуги) или связанных с ней процессов и методов производства. Он может также включать требования к терминологии, символам, упаковке, маркированию или этикетированию, либо быть целиком посвященным этим вопросам.

**Гост** – это нормативно-правовой документ, в соответствии требованиями которого производится стандартизация производственных процессов и оказания услуг.

ТУ (Технические условия) – это документ, устанавливающий технические требования, которым должны удовлетворять конкретное изделие, материал, вещество и пр. или их группа.

СНиП (строительные нормы и правила) – набор нормативных актов, регламентирующих процесс возведения зданий, коммуникаций, дорог и мостов. В них подробно описаны требования к строительству объектов и к их итоговому состоянию. Проще говоря, СНиП – это своего рода руководство для строительных организаций.

Использованы следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации:

ТР 2009/013/ВУ Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность.

ТКП 45-1.01-159-2009 (02250) Строительство. Технологическая документация при изготовлении строительных материалов и изделий. Порядок разработки, согласования и утверждения технологических карт.

СТБ 1306-2002 Строительство. Входной контроль продукции. Основные положения.

СТБ ИСО/МЭК 17025-2011 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

Метод испытаний – операция чаще всего с применением технических средств по исследованию свойств продукции в условиях, имитирующих реальные условия ее эксплуатации или использования.

Технологическая карта – это стандартизированный документ, содержащий необходимые сведения, инструкции для персонала, выполняющего некий технологический процесс или техническое обслуживание объекта. Надо сказать, что чаще всего технологическая карта составляется для каждого отдельно взятого объекта, оформляясь в виде понятной таблицы. В одной технологической карте могут учитываться различные, но при этом имеющие какое-либо сходство между собой модели объектов. Данный вид документации составляется исключительно техническими службами предприятия, тогда как утверждается непосредственно руководителем предприятия [13, 20, 22, 24].

#### **4.2. Схемы операционного контроля качества**

Схемы операционного контроля качества организациями, выполняющими соответствующие технологических карт или как самостоя-

сторонними организациями. Схемы операционного контроля составляются на все виды работ, выполняемые организацией и требующие контроля в соответствии с действующими нормативными документами. Производство дорожных работ без утвержденных и соответствующих настоящему стандарту схем операционного контроля запрещается.

Схемы операционного контроля качества, как правило, должны содержать эскизы конструкций с указанием допускаемых отклонений в размерах, перечни операций или процессов, контролируемых производителем работ (мастером) с участием, при необходимости, строительной лаборатории, геодезической и других служб специального контроля, данные о составе, сроках и способах контроля.

Состав и степень детализации материалов конкретной схемы операционного контроля устанавливается подрядной организацией, исходя из специфики и объема выполняемой работы, наличия средств контроля, принятой в организации системы обеспечения достоверности и полноты контроля качества, требований ТКП 45-1.01-159-2009 (02250).

Не допускается отступлений от утвержденных в установленном порядке схем операционного контроля без утверждения изменений (дополнений) в порядке, предусмотренном настоящим стандартом.

Схемы операционного контроля разрабатываются в соответствии с действующими нормативными документами, проектной документацией. Основой для составления схем операционного контроля являются нормативные документы 3 части СНиП (по ним принимаются номенклатура контролируемых параметров, периодичность или полнота охвата контроля, методы контроля, устанавливаются допускаемые пределы вариации значений контролируемых параметров). Схемы операционного контроля должны своевременно пересматриваться и корректироваться. Схемы операционного контроля и их соблюдение подрядчиком являются предметом технического надзора заказчика [13].

## **5. ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ**

### **5.1. Функции исполнительной документации**

Исполнительная документация представляет собой текстовые и графические материалы, отражающие фактическое исполнение про-

ектных решений и фактическое положение объектов капитального строительства и их элементов в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства по мере завершения определенных в проектной документации работ.

На строительной площадке оформлением исполнительной документации должен заниматься производитель работ (прораб, мастер, бригадир), но зачастую этим занимаются совершенно другие люди, инженеры производственно-технического отдела либо нанятая организация, которая берет на себя обязательства все подготовить и сдать за производителя работ исполнительную документацию заказчику.

Исполнительная документация обеспечивает выполнение работ в соответствии с проектными решениями, техническими регламентами. Главным образом, она необходима для организации и осуществления эксплуатации объектов строительства.

Исполнительная документация необходима в процессе эксплуатации построенного объекта. Она становится востребованной спустя 5–10 лет в процессе проведения каких-либо ремонтных работ, когда необходимо найти проложенный кабель или трубу и без исполнительной документации это сделать очень проблематично.

Исполнительные чертежи в обязательном порядке выполняются в четырёх экземплярах: один экземпляр передается заказчику, два – эксплуатационной организации. Один экземпляр остается в организации, которая осуществляла строительные работы.

Важно помнить, что исполнительная документация хранится у застройщика или заказчика до тех пор, пока орган государственного строительного надзора не начнет итоговую проверку. К этому времени вся исполнительная документация должна быть передана застройщиком или заказчиком в орган Госстройнадзора.

По результатам итоговой проверки выдаётся заключение о соответствии построенного, реконструированного или отремонтированного объекта капитального строительства требованиям технических регламентов – нормам, правилам и т. д. После этого вся исполнительная документация возвращается застройщику или заказчику.

Исполнительная документация может подготавливаться и оформляться как в бумажном виде, так и на электронных носителях, но приёмка органами государственного строительного надзора ведётся только в бумажном виде [19].

## **5.2. Исполнительная документация при вводе объектов в эксплуатацию**

Порядок приемки в эксплуатацию объектов строительства (в т. ч. очередей строительства, пусковых комплексов) установлен постановлением Совмина № 716. Перечень документов, представляемых комиссии и формы документов установлены постановлением Минстройархитектуры № 40:

- акт приёмки оборудования после комплексного опробования (прил. Е);

- акт приёмки в эксплуатацию объекта строительства (в том числе очередей строительства, пусковых комплексов), законченного возведением, реконструкцией, в том числе тепловой модернизацией, реставрацией, благоустройством (прил. Ж);

- акт приёмки в эксплуатацию объекта строительства (в том числе очередей строительства, пусковых комплексов), законченного капитальным ремонтом (прил. Е);

- акт приёмки в эксплуатацию финансируемых физическими лицами законченных возведением многоквартирных жилых домов, квартир в блокированных жилых домах, нежилых капитальных построек на придомовой территории, реконструированных квартир в блокированных жилых домах, многоквартирных жилых домов, нежилых капитальных построек на придомовой территории (прил. Ж);

- акт приёмки в эксплуатацию гаража, законченного возведением, реконструкцией, капитальным ремонтом (прил. З);

- акт приёмки в эксплуатацию дач, законченных возведением, реконструкцией, реставрацией, капитальным ремонтом (прил. Е);

- акт приёмки выполненных работ по переустройству и (или) перепланировке жилого помещения (прил. Ж);

- акт приёмки в эксплуатацию реконструированных жилых и (или) нежилых помещений в многоквартирных жилых домах, финансируемых физическими лицами (прил. Е);

- гарантийный паспорт объекта строительства (прил. Л);

- перечень документов, представляемых приёмочной комиссии подрядчиком в случае заключения договора строительного подряда (прил. Л);

- перечень документов, представляемых приёмочной комиссии застройщиком (заказчиком – в случае заключения договора строительного подряда) (прил. Л). Постановление № 40. Новые формы документов, применяющихся при сдаче-приемке объекта в эксплуатацию [25].

Критерии оценки качества при приемке в эксплуатацию объекта строительства:

- соответствие объекта утвержденной проектной и разрешительной документации;
- соответствие выполненных СМР, материалов и изделий требованиям ТНПА;
- соответствие исполнительной документации выполненным СМР и требованиям ТНПА;
- достижение предусмотренных ПСД технико-экономических показателей;
- соответствие объекта требованиям НПА в части обеспечения безопасности для жизни и здоровья граждан, эксплуатационной надежности;
- готовность инженерной инфраструктуры обеспечивать подачу и отведение ресурсов в объемах, предусмотренных ПСД;
- создание безбарьерной среды с учетом требований ТНПА и ПСД.

Следовательно, соответствие исполнительной документации выполненным СМР и требованиям ТНПА оценивается приемочной комиссией как элемент (критерий) для определения качества работ.

«Исполнительную документацию» как термин можно определить следующим образом: совокупность документов, отражающих фактическое исполнение проектных решений и фактическое положение объектов строительства и их элементов по мере завершения определенных в проектной документации работ, а также исполнительные чертежи, схемы исполнительных съемок, размеров, результаты геологических и геодезических изысканий, акты на скрытые работы, журналы работ и другая исполнительная документация, предусмотренная законодательством Республики Беларусь.

Сдача выполненных строительных работ и их приемка заказчиком оформляются актом сдачи-приемки работ, к которому прилагаются акты освидетельствования скрытых строительных работ и промежуточной приемки отдельных несущих конструкций.

Согласно п. 50 Правил № 1450, утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15.09.1998 № 1450; (далее – Правила № 1450) по окончании строительства подрядчик обязан передать заказчику [26]: схемы расположения и каталоги координат и высот геодезических знаков, устанавливаемых при геодезических разбивочных работах в период строительства объекта (выполнения строительных работ) и сохраняемых до завершения строительства; исполни-

тельную документацию, предусмотренную ТНПА, за период исполнения условий договора.

Отметим несколько практических моментов по передаче исполнительной документации заказчику и возможности ее восстановления при утрате или повреждении. Прежде всего, подчеркнем, что в законодательстве не установлен полный перечень исполнительной документации. Он формируется исходя из объема и вида строительных работ, и зависит от требований, установленных в ТНПА.

Исходя из практики, общий перечень исполнительной документации включает:

- список организаций, участвовавших в производстве СМР;
- копии аттестатов, сертификатов, свидетельств о технической компетентности, лицензий;
- комплект рабочих чертежей на строительство (с подписями о соответствии выполненных в натуре работ этим чертежам или внесенным в них по согласованию с генеральным проектировщиком (проектировщиком) изменениям);
- копии приказов о назначении ответственных производителей работ, инженеров технического надзора и авторского надзора;
- копии технических свидетельств на продукцию, подлежащую техническому освидетельствованию, и другие документы, удостоверяющие качество материалов, конструкций и деталей;
- акты освидетельствования скрытых работ и акты промежуточной приемки отдельных ответственных конструкций;
- акты индивидуальных испытаний смонтированного оборудования и акты комплексного опробования оборудования и др.

Несмотря на то, что в законодательстве не установлен полный и точный перечень исполнительной документации, отметим, что порядок выполнения работ, регулируется соответствующими ТНПА, соответственно подрядчик обязан передать всю документацию, необходимую согласно требованиям ТНПА для соответствующего вида работ.

Однако, возможны ситуации, при которых:

- исполнительная документация не велась прежним подрядчиком;
- исполнительная документация утеряна/повреждена.

Как правило, в итоге оформляется 4 экземпляра исполнительной документации по окончании строительства: 1 экземпляр – заказчику, 2 – эксплуатационной организации, 1 экземпляр – подрядчику. Поэтому подрядчик может запросить документацию у остальных участников строительного процесса. Восстановить документацию, обратившись к

специализированной компании. На данный момент организаций, оказывающих такие услуги – немного, но они есть.

Таким образом, для сдачи объекта и последующей приемки его в эксплуатацию, необходимо предоставление полного комплекта исполнительной документации заказчику и приемочной комиссии. В случае утраты/повреждения исполнительной документации, можно обратиться к остальным участникам строительства (например, к заказчику) или специализированным организациям, оказывающим услуги по восстановлению такой документации.

### **5.3. Ответственность за ведение исполнительной документации**

Обязательность составления, формы и содержание конкретной исполнительной документации, правила ее ведения устанавливаются требованиями СНиП и других действующих нормативных документов, а в некоторых случаях указаниями органов государственного контроля и надзора, а также участников строительства.

При ведении исполнительной документации встречаются различные формы и правила ее оформления. Систематизированного пособия по составлению и ведению исполнительной документации при строительстве зданий и сооружений вызывает трудности у специалистов строительных и монтажных организаций и требует значительного времени на ее оформление. Контролем и надзором за строительством со стороны заказчика занимается представитель технадзора, имеющий аттестат на право осуществления этого вида деятельности, назначенный приказом заказчика или выполняющий свои функции по договору с инжиниринговой организацией.

Контроль качества работ со стороны генподрядчика (субподрядчика) осуществляет назначенный приказом представитель, также имеющий соответствующий аттестат, как правило, аттестованный производитель работ.

Все эти лица должны участвовать в процессе приемки выполненного этапа работ. Их подписи в акте выполненных работ подтверждают действительность выполненного объема работ, соответствие его проектно-сметной документации и наличие правильно оформленной исполнительной документации. Одной из обязанностей подрядчика является оформление исполнительной документации, подтверждающей соответствие выполненных строительных работ проектной документации и требованиям технических нормативных правовых актов, а также

ведение и передача в установленном порядке заказчику других документов, связанных с исполнением договора подряда (абзац 18 п. 26 Правил заключения и исполнения договоров строительного подряда).

В соответствии с этим законодательство устанавливает ответственность подрядчика за нарушение установленных в договоре (графике производства работ) сроков выполнения строительных работ, включая оформление документов, подтверждающих их выполнение, в размере 0,2 % стоимости невыполненных строительных работ за каждый день просрочки, но не более 20 % их стоимости (абзац второй п. 85 Правил № 1450) [26].

Таким образом, независимо от того, установлена ответственность за нарушение сроков передачи документов договором подряда или нет, подрядчика можно наказать на основании норм Правил № 1450.

Если документы представлены вовремя, но с недостатками, ответственность по данной норме не применяется. Ответственность за «качество документов» нормы Правил № 1450 не устанавливают. Однако согласно п. 87 Правил № 1450 стороны вправе установить в договоре за неисполнение или ненадлежащее исполнение своих обязательств иные виды и размеры ответственности, не противоречащие законодательству.

Таким образом, заказчик может привлечь к ответственности подрядчика за передачу документов, которые впоследствии потребовалось неоднократно исправлять, только если в договоре подряда была предусмотрена такая ответственность.

В случае осуществления авторского надзора за строительством объекта следует вести журнал авторского надзора. Журнал составляется проектной организацией по установленной форме и передается заказчику. Ведение журнала может осуществляться как по объекту строительства в целом, так и по его пусковым комплексам или отдельным зданиям и сооружениям.

#### **5.4. Перечень исполнительной документации**

Своевременное и правильное оформление исполнительной документации, фиксирующей процесс производства строительных и монтажных работ и техническое состояние строительного объекта, способствует повышению качества работ.

Исходя из практики, общий перечень исполнительной документации включает: список организаций, участвовавших в производстве

СМР; копии аттестатов, сертификатов, свидетельств о технической компетентности, лицензий; комплект рабочих чертежей на строительство (с подписями о соответствии выполненных в натуре работ этим чертежам или внесенным в них по согласованию с генеральным проектировщиком (проектировщиком) изменениям); копии приказов о назначении ответственных производителей работ, инженеров технического надзора и авторского надзора; копии технических свидетельств на продукцию, подлежащую техническому освидетельствованию, и другие документы, удостоверяющие качество материалов, конструкций и деталей; акты освидетельствования скрытых работ и акты промежуточной приемки отдельных ответственных конструкций; акты индивидуальных испытаний смонтированного оборудования и акты комплексного опробования оборудования и др.

Несмотря на то, что в законодательстве не установлен полный и точный перечень исполнительной документации, отметим, что порядок выполнения работ, регулируется соответствующими ТНПА, соответственно подрядчик обязан передать всю документацию, необходимую согласно требованиям ТНПА для соответствующего вида работ.

Однако, возможны ситуации, при которых: исполнительная документация не велась прежним подрядчиком; исполнительная документация утеряна/повреждена.

Исполнительная документация ведется лицом, осуществляющим строительство. При выдаче разрешения на ввод объекта в эксплуатацию, исполнительная документация, оформленная в установленном порядке, является собственным доказательством лица, осуществляющего строительство, подтверждающим соответствие построенного, реконструированного, отремонтированного объекта капитального строительства требованиям технических регламентов (норм и правил) и проектной документации.

Формы актов освидетельствования скрытых работ, ответственных конструкций и участков сетей инженерно-технического обеспечения установлены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору. Исполнительная документация подлежит хранению у застройщика или заказчика до проведения органом государственного строительного надзора итоговой проверки. На время проведения итоговой проверки исполнительная документация передается застройщиком или заказчиком в орган государственного строительного надзора. После выдачи органом государственного строительного надзора заключения о соответствии построенного, реконструиро-

ванного, отремонтированного объекта капитального строительства требованиям технических регламентов (норм и правил), иных нормативных правовых актов и проектной документации исполнительная документация передается застройщику или заказчику на постоянное хранение. После выдачи разрешения на ввод объекта в эксплуатацию, исполнительная документация передается застройщиком (заказчиком) собственнику объекта или управляющей компании по поручению собственника для использования в процессе эксплуатации объекта.

Исполнительная геодезическая документация составляется в соответствии с требованиями технических регламентов (норм и правил) к проектной документации в двух экземплярах: для застройщика (заказчика) и лица, осуществляющего строительство.

Исполнительная геодезическая документация представляет собой исполнительные геодезические схемы по элементам, конструкциям, частям зданий и сооружений, исполнительные чертежи и продольные профили участков сетей инженерно-технического обеспечения, исполнительные чертежи сетей инженерно-технического обеспечения внутри здания (сооружения). В качестве основы для исполнительных схем и исполнительных чертежей используются рабочие чертежи.

Акты освидетельствования скрытых работ, составляются в двух экземплярах для застройщика (заказчика) и лица, осуществляющего строительство. В актах указывается наименование объекта капитального строительства, его адрес, наименование застройщика (заказчика), наименование лица, осуществляющего строительство.

По результатам освидетельствования скрытых работ, в актах делаются записи об их соответствии и требованиям технических регламентов (норм и правил) и проектной документации со ссылкой на соответствующие технические регламенты (нормы и правила) и рабочие чертежи проектной документации. В актах делаются записи о применяемых строительных материалах, изделиях, конструкциях и указываются параметры документов, подтверждающих их соответствие обязательным техническим регламентам.

Акты освидетельствования ответственных конструкций составляются в двух экземплярах: для застройщика (заказчика) и для лица, осуществляющего строительство.

Перечень актов освидетельствования ответственных конструкций определяется требованиями норм и правил и проектной документацией. По результатам освидетельствования ответственных конструкций делается запись об их соответствии требованиям технических регла-

ментов (норм и правил) и проектной документации со ссылкой на соответствующие технические регламенты и рабочие чертежи. В акте делается запись о порядке проведения и результатах испытаний, указываются параметры технических регламентов (норм и правил), в соответствии с которыми эти испытания проведены. В акте делаются записи о примененных в строительной конструкции материалах и изделиях с указанием параметров документов, но и их соответствие обязательным требованиям технических регламентов.

К актам исполнительные геодезические схемы и результаты испытания конструкций. Порядок освидетельствования участков сетей инженерно-технического обеспечения определяется обязательными требованиями технических регламентов (норм и правил) и проектной документации. По результатам проведенного исследования участков сетей инженерно-технического обеспечения в акте делается запись об их соответствии обязательным требованиям технических регламентов (норм и правил) и документации со ссылкой на соответствующие технические регламенты (нормы и правила) и рабочие чертежи. В акте делается запись о порядке и результатах проведения испытаний с указанием параметров технического регламента (норм и правил), в соответствии с которыми эти испытания проведены. В акте приводятся сведения о материалах и оборудовании, примененных при строительстве свидетельствуемых участков сетей технического обеспечения с указанием параметров документов, подтверждающих их соответствие с обязательными требованиями технических регламентов (норм и правил).

К актам предъявляются исполнительные чертежи и схемы участков сетей инженерно-технического обеспечения.

На каждом объекте строительства надлежит вести общий журнал работ, который является основным первичным производственным документом, технологическую последовательность, сроки, качество выполнения и условия производства строительно-монтажных работ.

Общий журнал работ ведется при строительстве (реконструкции) отдельных или группы однотипных, одновременно строящихся зданий, сооружений, расположенных в пределах одной строительной площадки. Общий журнал работ ведет лицо, ответственное за строительство зданий или сооружений (производитель работ, старший производитель работ) и заполняет его с первого дня работы на объекте лично или поручает руководителям смен. При сдаче законченного строительством объекта, общий и специальные журналы работ передаются заказчику и хранятся у него до ввода объекта в эксплуатацию.

После ввода объекта в эксплуатацию журналы передаются на постоянное эксплуатирующей организации. Генподрядчиком по согласованию с субподрядными организациями и заказчиком для осуществления своевременного и достоверного надзора за выполнением строительно-монтажных работ должен быть установлен в договоре строительного подряда перечень специальных журналов работ, которые следует вести в процессе строительства.

## **6. ТРЕБОВАНИЯ К ПОВЫШЕНИЮ КВАЛИФИКАЦИИ, ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКЕ РУКОВОДИТЕЛЕЙ И СПЕЦИАЛИСТОВ, ПРОВОДЯЩИХ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА**

В условиях рыночной экономики вопросы повышения квалификации и переподготовки кадров приобретают особую значимость и актуальность, ибо залог успешной деятельности любого субъекта предпринимательской деятельности – профессиональные кадры.

Пунктом 11 части первой статьи 55 Трудового Кодекса Республики Беларусь (далее – ТК) определено, что при организации труда работников наниматель обязан обеспечивать повышение квалификации или переподготовку работников в порядке и на условиях, определяемых Правительством Республики Беларусь или уполномоченным им органом.

Стоит отметить, что в соответствии со статьей 220-1 ТК «наниматель обеспечивает профессиональную подготовку, повышение квалификации, стажировку и переподготовку работников в случаях и порядке, предусмотренных законодательством, коллективным договором, соглашением, трудовым договором». В иных случаях необходимость профессиональной подготовки, повышения квалификации, стажировки и переподготовки работников определяется нанимателем.

Профессиональная подготовка, повышение квалификации, стажировка и переподготовка работников осуществляются в соответствующих учреждениях образования либо в организациях в порядке, установленном Правительством Республики Беларусь или уполномоченным им органом.

Работникам, проходящим профессиональную подготовку, повышение квалификации, стажировку и переподготовку, наниматель обязан создать необходимые условия для совмещения работы с обучением, предоставлять гарантии, установленные ТК, коллективным договором, соглашением, трудовым договором.

При направлении нанимателем работника на профессиональную подготовку, повышение квалификации, стажировку и переподготовку работнику предоставляются гарантии, установленные Правительством Республики Беларусь или уполномоченным им органом.

Необходимость профессиональной подготовки либо переподготовки работников для собственных нужд определяет наниматель».

Приведенные из ТК нормы позволяют утверждать, что обучение работников посредством профессиональной подготовки, повышения квалификации, стажировки и переподготовки является как обязанностью, так и правом нанимателя [27].

В этой связи нельзя не обратить внимание на часть пятую пункта 9 Общих положений Единого квалификационного справочника должностей служащих, утвержденных постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 29.07.2020 № 69 (далее – Общие положения ЕКСД), установивших, что наличие у служащего диплома о высшем (среднем специальном) образовании по специальности, не соответствующей квалификационным требованиям, предполагает, как правило, необходимость освоения им содержания образовательной программы переподготовки руководящих работников и специалистов, имеющих высшее (среднее специальное) образование, в соответствии с профилем (направлением) образования, специальностью, которые указаны в разделе «Квалификационные требования».

При приеме служащего на работу (переводе его на другую должность) нанимателем могут устанавливаться дополнительные требования к образованию, а также опыту и стажу работы в зависимости от вида экономической деятельности организации (структурного подразделения), особенностей организации труда, характера трудовой функции и других факторов (часть шестая пункта 9 Общих положений ЕКСД) [28].

Вступивший в силу с 1 сентября 2022 г. Кодекс Республики Беларусь об образовании (Кодекс Республики Беларусь об образовании в новой редакции, изложенной Законом Республики Беларусь от 14 января 2022 г. № 154-З) внес определенные новации в систему дополнительного образования взрослых, впервые определив, что дополнительное образование – это вид дополнительного образования, направленный на профессиональное развитие слушателя, стажера и удовлетворение их познавательных потребностей (пункт 1 статьи 240) [29].

В числе образовательных программ дополнительного образования взрослых содержатся и образовательные программы повышения квалификации, переподготовки рабочих (служащих).

Статьей 244 Кодекса оговорены следующие сроки получения дополнительного образования при освоении содержания образовательных программ: повышения квалификации рабочих (служащих) – от одной недели до трех месяцев (пункт 4); переподготовки рабочих (служащих) – от двух недель до одиннадцати месяцев (пункт 5).

В постановлении Совета Министров Республики Беларусь № 574 «О вопросах организации образовательного процесса» (далее – Постановление № 574), введенным в действие с 1 сентября 2022 г., утверждены Положение о непрерывном профессиональном обучении по профессиям рабочих (далее – Положение о профессиональном обучении), Положение о непрерывном профессиональном образовании руководящих работников и специалистов (далее – Положение о профессиональном образовании).

Следует иметь в виду, что непрерывное профессиональное обучение по профессиям рабочих включает реализацию образовательных программ дополнительного образования путем повышения квалификации, переподготовки и профессиональной подготовки рабочих (служащих) (пункт 2 Положения о профессиональном обучении), а непрерывное профессиональное образование руководящих работников и специалистов, направленное на профессиональное совершенствование, освоение новых методов, технологий и элементов профессиональной деятельности, формирование профессиональных навыков, присвоение новой квалификации на уровнях высшего и среднего специального образования, – реализацию образовательных программ дополнительного образования путем повышения квалификации и переподготовки руководящих работников и специалистов.

Непрерывное профессиональное обучение по профессиям рабочих осуществляется в случае необходимости данного обучения для собственных нужд организации в соответствии с коллективным договором, соглашением, трудовым договором, по заявкам других организаций на основе договоров.

Образовательные программы дополнительного образования взрослых реализуются в очной и заочной формах получения образования, за исключением образовательной программы повышения квалификации рабочих (служащих), образовательной программы переподготовки рабочих (служащих), образовательной программы профессиональной подготовки рабочих (служащих), которые реализуются только в очной форме получения образования (пункт 14 статьи 242 Кодекса).

Заметим, что образовательный процесс, связанный с повышением

квалификации, переподготовкой и профессиональной подготовкой рабочих (служащих), осуществляется посредством теоретического и производственного обучения, в ходе которого слушатели овладевают теоретическими и практическими знаниями, необходимыми для формирования умений и навыков по профессии (должности), проходят текущую и итоговую аттестацию. Текущая аттестация проводится в форме собеседования, зачета, итоговая – в форме квалификационного экзамена.

Слушателям, успешно прошедшим итоговую аттестацию при повышении квалификации, переподготовке, профессиональной подготовке рабочих (служащих), присваивается квалификационный разряд (класс, категория) по избранной профессии (должности) и выдается свидетельство установленного образца, а по профессиям, связанным с ведением работ на потенциально опасных объектах, – и соответствующее удостоверение о допуске к работе на указанных объектах.

Необходимо подчеркнуть, что определение потребности руководящих работников и специалистов в повышении квалификации, переподготовке, стажировке, а также обеспечение реализации их непрерывного профессионального образования возложено на руководителей организаций. Кроме того, руководители организаций:

- направляют работников для получения образования при освоении содержания образовательной программы повышения квалификации руководящих работников и специалистов по мере необходимости, но не реже одного раза в 5 лет,

- организуют обучение работников в организации;

- обеспечивают соблюдение гарантий работникам, направляемым для освоения содержания образовательных программ дополнительного образования взрослых, в порядке, установленном законодательством.

Непрерывное профессиональное образование руководящих работников и специалистов осуществляется как на территории республики, так и за ее пределами в соответствии с законодательством иностранного государства, законодательством Республики Беларусь, в том числе международными договорами Республики Беларусь.

С 1 сентября 2022 г. образовательные программы дополнительного образования могут реализовываться не только учреждениями дополнительного образования взрослых, но и иными учреждениями образования, иными организациями, индивидуальными предпринимателями, которым в соответствии с законодательством предоставлено право осуществлять образовательную деятельность.

При этом иные организации, по решению Правительства Республики Беларусь, могут реализовывать образовательную программу повышения квалификации руководящих работников и специалистов, индивидуальные предприниматели – только образовательные программы обучающихся курсов и совершенствования возможностей и способностей личности.

В силу пункта 2 статьи 245 Кодекса дополнительное образование взрослых может осуществляться в академии последипломного образования; институте повышения квалификации и переподготовки; институте развития образования; центре повышения квалификации руководящих работников и специалистов; центре подготовки, повышения квалификации и переподготовки рабочих.

Учреждения образования, иные организации, которым в соответствии с законодательством предоставлено право осуществлять образовательную деятельность, подлежат государственной аккредитации в соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 августа 2022 г. № 518.

Финансирование расходов на непрерывное профессиональное образование руководящих работников и специалистов, а также непрерывное профессиональное обучение по профессиям рабочих, направляемых коммерческими организациями, осуществляется за счет собственных средств юридических и физических лиц и других источников, не запрещенных законодательством.

Статьей 102 ТК и Положением о гарантиях работникам, направляемым нанимателем на профессиональную подготовку, переподготовку, повышение квалификации и стажировку, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 августа 2022 г. № 518. № 101 (с изменениями и дополнениями), определены гарантии для работников, направляемых на обучение.

Так, за работниками, направляемыми нанимателем на:

- переподготовку, повышение квалификации и стажировку в очной (дневной) форме обучения, на весь период прохождения ими обучения сохраняется средняя заработная плата по месту работы;

- переподготовку в заочной форме обучения, сохраняется средняя заработная плата по месту работы на время нахождения их на сессии.

Расчет среднего заработка производится в соответствии с главой 3 Инструкции о порядке исчисления среднего заработка, сохраняемого в случаях, предусмотренных законодательством, утвержденной постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики

ки Беларусь от 22.06.2021 г. № 47 (с изменениями и дополнениями). При этом за время обучения работника в выходные дни средний заработок не сохраняется, ибо среднедневной заработок определяется путем деления заработной платы, фактически начисленной за принятый для исчисления период, на фактически проработанные в течение этого периода дни.

В случае направления на профессиональную подготовку, переподготовку, повышение квалификации в очной (дневной) форме обучения работников, не имеющих квалификации (разряда, класса, категории) по профессии, необходимой организации, принятых на работу по данной профессии без указания разряда (класса, категории) или с его указанием, названным работникам в течение периода обучения за счет средств нанимателя осуществляется выплата заработной платы из расчета не менее тарифной ставки первого разряда, установленной Правительством Республики Беларусь для оплаты труда работников бюджетных организаций и иных организаций, получающих субсидии, работники которых приравнены по оплате труда к работникам бюджетных организаций.

При наличии у работников, направленных на обучение в другой населенный пункт, возможности ежедневно возвращаться к месту жительства выплата суточных по согласованию с работником осуществляется нанимателем по нормам командировочных расходов, установленных для однодневных командировок, осуществляемых в пределах Республики Беларусь. Оплата жилого помещения в общежитии, коммунальных услуг осуществляется нанимателем, направляющим работника на обучение, в размере фактических затрат при наличии подтверждающих документов в оригинале. При невозможности предоставления общежития работникам, направленным на обучение в другой населенный пункт, оплата расходов на наем жилого помещения осуществляется за счет средств нанимателя в порядке и размерах, установленных для возмещения расходов на наем жилого помещения при служебных командировках.

Работникам, направленным на обучение в другой населенный пункт, за счет средств нанимателей оплачивается проезд к месту обучения и обратно на основании вызова учреждения образования при: профессиональной подготовке, переподготовке, повышении квалификации, стажировке в очной (дневной) форме обучения – один раз в течение всего периода обучения; переподготовке в заочной форме обучения – не более двух раз в течение учебного года (Постановление Совета Министров Республики Беларусь 27.04.2021 № 252).

## **7. ОБСЛЕДОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ОТДЕЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

### **7.1. Положение о порядке обследования мелиоративных систем отдельно расположенных гидротехнических сооружений**

Закон Республики Беларусь от 23 июля 2008 года «О мелиорации земель» определяет правовые основы мелиорации земель и направлен на обеспечение создания и поддержания оптимальных для сельскохозяйственных растений, лесов и иных насаждений водного, воздушного, теплового, питательного режимов почв и эффективное использование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. Объектами обследования являются мелиоративные системы и отдельно расположенные гидротехнические сооружения, состоящие на государственном учете мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений [30].

Обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводится комиссиями, в состав которых включаются уполномоченные должностные лица управлений (отделов) сельского хозяйства и продовольствия районных исполнительных комитетов, государственного производственного объединения по строительству и эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных систем «Белводхоз» (далее – ГО «Белводхоз»), организаций по строительству и эксплуатации мелиоративных систем и других заинтересованных [31].

Персональный состав комиссий по обследованию мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее – комиссии) утверждается районными исполнительными и распорядительными органами по представлению государственных органов и иных организаций. Комиссии проводят обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений с определением их технического состояния, рассматривают материалы обследования, составляют и подписывают акты обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее – акты обследования).

Исходными материалами для обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений являются акты прошлых лет по обследованию мелиоративных систем и отдель-

но расположенных гидротехнических сооружений; акты приемки в эксплуатацию законченных строительством мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений; решения о выводе из эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений; паспорта мелиоративных систем, технические паспорта гидротехнических сооружений и иные документы, необходимые для проведения обследования. Обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводится ежегодно по состоянию на 1 декабря.

Акты обследования составляются комиссиями и утверждаются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями.

Копии утвержденных актов обследования не позднее 5 декабря направляются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями в комитеты по сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченные ими организации, а также в областные государственные производственные лесохозяйственные объединения.

Оформленные и подписанные сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений ежегодно не позднее 15 декабря представляются на утверждение: комитетами по сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченными ими организациями – в ГО «Белводхоз»; областными государственными производственными лесохозяйственными объединениями – в Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченную им организацию.

ГО «Белводхоз» и Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченная им организация ежегодно не позднее 25 декабря утверждают сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. Утвержденные ГО «Белводхоз» и Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченной им организацией сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений являются исходными данными для разработки проектов ежегодных планов работ по строительству, эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 184, 2/1520 (опубликован – 4 августа 2008 г.) – акт о мелиорации земель.

## **7.2. Комиссии по обследованию**

Обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводится комиссиями, в состав которых включаются уполномоченные должностные лица управлений (отделов) сельского хозяйства и продовольствия районных исполнительных комитетов, государственного производственного объединения по строительству и эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных систем «Белводхоз» (далее – ГО «Белводхоз»), организаций по строительству и эксплуатации мелиоративных систем и других заинтересованных.

Персональный состав комиссий по обследованию мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее – комиссии) утверждается районными исполнительными и распорядительными органами по представлению государственных органов и иных организаций. Комиссии проводят обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений с определением их технического состояния, рассматривают материалы обследования, составляют и подписывают акты обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее – акты обследования). Обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводится ежегодно по состоянию на 1 декабря.

Акты обследования составляются комиссиями и утверждаются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями (прил. Е).

Копии утвержденных актов обследования не позднее 5 декабря направляются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями в комитеты по сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченные ими организации, а также в областные государственные производственные лесохозяйственные объединения.

Оформленные и подписанные сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений ежегодно не позднее 15 декабря представляются на утверждение: комитетами

по сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченными ими организациями – в ГО «Белводхоз»; областными государственными производственными лесохозяйственными объединениями – в Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченную им организацию.

ГО «Белводхоз» и Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченная им организация ежегодно не позднее 25 декабря утверждают сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. Утвержденные ГО «Белводхоз» и Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченной им организацией сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений являются исходными данными для разработки проектов ежегодных планов работ по строительству, эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений [31].

### **7.3. Исходные материалы для обследования**

Исходными материалами для обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений являются:

- акты прошлых лет по обследованию мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений;
- акты приемки в эксплуатацию законченных строительством мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений;
- решения о выводе из эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений;
- паспорта мелиоративных систем, технические паспорта гидротехнических сооружений и иные документы, необходимые для проведения обследования.

Строительство и приемка в эксплуатацию мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводятся в соответствии с законодательством о строительстве, архитектуре и градостроительстве. Строительство мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, включающих здания и сооружения, относящиеся к I и II уровням ответственности, выполняется лицами, имеющими специальные разрешения (лицензии) на право осуществления этой деятельности.

Из эксплуатации могут быть выведены мелиоративные системы (их части) и отдельно расположенные гидротехнические сооружения: пришедшие в непригодное состояние в процессе эксплуатации и отслужившие нормативный срок службы; пришедшие в непригодное состояние в случае аварий, стихийных бедствий и иных чрезвычайных ситуаций, если их восстановление технически невозможно или экономически нецелесообразно; в случае изъятия мелиорированных сельскохозяйственных земель и земель лесного фонда для использования их в целях, не связанных с ведением сельского или лесного хозяйства; в случае перевода мелиорированных сельскохозяйственных земель в другие категории и виды земель при ухудшении качественного состояния этих земель; в иных случаях, предусмотренных законодательными актами. Решение о выводе из эксплуатации государственных мелиоративных систем (их частей) принимается Советом Министров Республики Беларусь по представлению Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, согласованному с Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь. Если иное не установлено законодательными актами, решение о выводе из эксплуатации мелиоративных систем (их частей) и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, не относящихся к государственным мелиоративным системам, принимается пользователем мелиоративных систем по согласованию с областными исполнительными и распорядительными органами, Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, утвержденных актов инвентаризации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений. Выведенные из эксплуатации мелиоративные системы (их части) и отдельно расположенные гидротехнические сооружения снимаются с государственного учета мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Паспортизация мелиоративных систем и гидротехнических сооружений включает в себя следующие мероприятия:

- а) сбор сведений, необходимых для составления паспорта на каждую мелиоративную систему и на каждое гидротехническое сооружение (далее – паспорт);
- б) составление паспорта или актуализацию сведений, содержащихся в паспорте;
- в) направление паспорта в государственные бюджетные учреждения по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению,

по месту нахождения мелиоративной системы, гидротехнического сооружения;

г) проверку и согласование уполномоченными организациями паспорта.

#### **7.4. Основные положения по обследованию**

1. Положение о порядке обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее – Положение) разработано в соответствии с Законом Республики Беларусь от 23 июля 2008 года «О мелиорации земель» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 184, 2/1520) и определяет порядок ежегодного проведения обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

2. Объектами обследования являются мелиоративные системы и отдельно расположенные гидротехнические сооружения, состоящие на государственном учете мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

3. Обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводится комиссиями, в состав которых включаются уполномоченные должностные лица управлений (отделов) сельского хозяйства и продовольствия районных исполнительных комитетов, государственного производственного объединения по строительству и эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных систем «Белводхоз» (далее – ГО «Белводхоз»)), организаций по строительству и эксплуатации мелиоративных систем и других заинтересованных.

4. Персональный состав комиссий по обследованию мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений (далее – комиссии) утверждается районными исполнительными и распорядительными органами по представлению государственных органов и иных организаций, указанных в пункте 3 настоящего Положения.

5. Комиссии проводят обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений с определением их технического состояния, рассматривают материалы обследования, составляют и подписывают акты обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

6. Исходными материалами для обследования мелиоративных си-

стем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений являются:

- акты прошлых лет по обследованию мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений;
- акты приемки в эксплуатацию законченных строительством мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений;
- решения о выводе из эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений;
- паспорта мелиоративных систем, технические паспорта гидротехнических сооружений и иные документы, необходимые для проведения обследования.

7. Обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводится ежегодно по состоянию на 1 декабря.

8. Акты обследования составляются комиссиями и утверждаются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями.

9. Копии утвержденных актов обследования не позднее 5 декабря направляются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями в комитеты по сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченные ими организации, а также в областные государственные производственные лесохозяйственные объединения.

10. Оформленные и подписанные сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений ежегодно не позднее 15 декабря представляются на утверждение:

- комитетами по сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченными ими организациями – в ГО «Белводхоз»;
- областными государственными производственными лесохозяйственными объединениями – в Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченную им организацию.

## **7.5. Содержание обследований**

Отдельные участки мелиоративной системы, каналы, гидротехнические сооружения должны быть закреплены за ответственными ли-

цами из числа эксплуатационного персонала для проведения постоянного надзора за их сохранностью и работоспособностью, систематического контроля за соблюдением установленного эксплуатационного режима, устранения мелких неисправностей и дефектов, содержания закрепленных объектов в надлежащем эстетическом виде.

Текущие осмотры гидромелиоративных систем и гидротехнических сооружений проводятся регулярно в плановом порядке инженерно-техническими работниками эксплуатационной службы с занесением результатов в специальный журнал.

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

Особый режим надзора, осмотра и наблюдений устанавливается для мелиоративных систем и сооружений в районах многолетней мерзлоты, на просадочных грунтах, в зоне оползней, в сейсмически опасных районах, на участках с неудовлетворительным мелиоративным состоянием земель, а также для конструкций, работающих в агрессивной среде.

Ужесточенный режим надзора, осмотра и наблюдений устанавливается при экстремальных условиях работы систем и сооружений (в зимний период, при паводках, маловодьях, аварийных ситуациях и т. п.).

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

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

Изыскания проводят с целью сбора необходимых данных для проектирования гидромелиоративной системы. В начальном периоде проводят общие мелиоративные исследования гидромелиоративного фонда для составления технико-экономического обоснования необходимости гидромелиоративных работ. Схему осушения переувлажненных земель какого-либо района разрабатывают на основе лесоводственно-

мелиоративной характеристики земель лесного фонда, почвенно-грунтовых, гидрологических, климатических, геоморфологических, экономических условий с учетом природоохранных свойств объектов района обследования.

Проводят выборочные натурные обследования с охватом 5–15 % площади намечаемых к мелиорации объектов. При выборочном обследовании желательно ознакомиться с объектами осушения прошлых лет (при их наличии) для выявления влияния осушения на рост леса.

Назначая объекты для гидромелиорации, следует отдавать предпочтение крупным гидрологическим участкам (как правило, площадью не менее 200–300 га), расположенные вблизи водоприемников, занятым хвойными древостоями с высокой отзывчивостью на осушение (I–II группы ответственности), а также расположенные в районах с высокой интенсивностью лесного хозяйства.

Намеченные под гидромелиоративное строительство участки согласуют с местными органами власти, управлениями торфяного фонда, гипроводхозом, санэпидемстанцией, управлениями рыбнадзора, госохотоинспекцией, органами управления лесного хозяйства и лесничества.

Для разработки технического или рабочего проекта проводят комплексные детальные изыскания. К ним относятся топографо-геодезические, лесоводственно-мелиоративные, гидрологические и гидротехнические, почвенно-грунтовые, гидрологические изыскания.

Изыскания начинают с изучения документов. Комплексные детальные изыскания могут проводиться с использованием аэрофотосъемки или без нее. При отсутствии материалов аэрофотосъемки большое внимание уделяют натурным изысканиям.

Итогом проектирования является проектно-сметная документация с пояснительной запиской. Окончательным этапом проектирования являются вынос проекта в натуру и трассировка осушительной сети [34].

Для правильного планирования мелиоративных и других мероприятий, направленных на повышение продуктивности земель, необходимо иметь следующие данные:

- виды и площади земель, нуждающихся в проведении осушительных или оросительных мелиораций, в защите от затопления при половодьях и паводках или при строительстве водоподпорных сооружений;
- наличие водоприемников для самотечного осушения земель и водоисточников для орошения суходолов или увлажнения осушаемых

земель при двустороннем регулировании водного режима почв;

- площади земель, требующих проведения культуртехнических работ и подверженных водной или ветровой эрозии;

- контурность сельскохозяйственных земель и пути ликвидации мелкой контурности;

- возможность создания сельскохозяйственных полей орошения, использования речных долин, балок и выработанных карьеров для создания водоемов различного назначения;

- состояние и эффективность действующих мелиоративных систем.

Правильное планирование мелиораций требует также достоверных сведений о качестве земель. **Качественная оценка земель** – это своеобразная классификация сельскохозяйственных земель, характеризующая их плодородие. Учет количества и качества мелиорируемых земель проводят путем их инвентаризации, паспортизации и составления мелиоративного кадастра.

**Инвентаризация мелиоративных систем** – это единовременный учет каналов и сооружений, т. е. самого механизма системы, с указанием их стоимости. Она предполагает только учет мелиоративного имущества для обеспечения его сохранности.

**Паспортизация** – это единовременное мероприятие по составлению документов (паспортов), которые содержат сведения, характеризующие в основных чертах в статическом виде каналы и сооружения, системы

по их типу, составу, конструкции, материалам, размерам, назначению и состоянию.

**Мелиоративный кадастр** – мероприятие значительно более широкое. Он включает в себя также инвентаризацию и паспортизацию, но в нем указывается территориальное размещение мелиорированных земель, каналов и сооружений, дается качественная оценка мелиорируемого земельного фонда и степени использования водных ресурсов, оценка в единых ценах всех мелиоративных систем и сооружений, определяется динамика мелиоративных фондов и эффективность использования мелиорируемых земель и капиталовложений.

В состав мелиоративного кадастра включают также результаты оценки и переоценки основных мелиоративных фондов, имеющих ценностные выражения. Мелиоративный кадастр создает основу для нормальной и эффективной эксплуатации мелиорируемых земель, водных ресурсов, мелиоративных систем и водоохраных сооружений, для планирования мероприятий по эксплуатации мелиоративных си-

стем, их оснащению и техническому улучшению, наиболее полному использованию водных и земельных ресурсов, для установления общего направления мелиорации в стране.

**Качественная оценка земель** мелиоративного фонда позволяет определить урожайность сельскохозяйственных культур или продуктивность лугово-пастбищных земель до мелиорации и после ее, а также увеличение урожайности в результате проведения мелиораций.

Оценка земель мелиоративного фонда требует дальнейшей методической разработки. Основная трудность состоит в правильном учете влияния мелиорации на показатели оценки земли. Выявить его можно лишь по данным многолетних наблюдений за урожайностью различных культур на землях разных категорий.

Для планирования и проектирования мелиораций можно использовать упрощенную качественную оценку земель мелиоративного фонда, проводимую по основным ее категориям. На пашне эти категории различают по степени избыточного увлажнения, способом осушения, типам и механическому составу почв, их окультуренности, а также закаменности и мелкоконтурности земель; на лугово-пастбищных землях – по типам лугов, почвенным разностям, степени увлажнения, характеру использования, окультуренности, а также закустаренности и закаменности.

Исходными данными для качественной оценки мелиоративного фонда служат почвенные карты хозяйств, картограммы кислотности почв и содержание в них питательных веществ, результаты почвенно-мелиоративных и культуртехнических изысканий, материалы паспортизации полей и т. д. Качественная оценка земель на практике проводится по 100-балльной системе [35].

## **7.6. Цель обследований**

Мелиоративная система «живет» значительно дольше своих подсистем и объектов. Она значительно сложнее и многообразнее их. И это потому, что ей присущи особые системные механизмы функционирования и развития, которые не дают ей «погибнуть», а позволяют пережить функционально образующие ее элементы.

Важным условием развития мелиоративных систем является равномерность и согласованность развития их подсистем и элементов. При несоблюдении этого условия возникают диспропорции, одни элементы и объекты могут развиваться в ущерб другим и это может отри-

цательно повлиять на природную, экономическую и социальную среды. И, если условие выполняется, система развивается упорядоченно, целенаправленно, подсистемы и элементы изменяются пропорционально друг другу и вместе служат достижению одной цели.

Таким образом, постоянно идет процесс совершенствования мелиоративных систем, который обуславливается наличием оросительных и дренажных сетей, автоматизации и других технических улучшений, увязанный с оптимальными диапазонами водного, солевого, теплового и питательного режимов, обеспечивающих получение экономически оправданного количества сельскохозяйственной продукции на много лет и сохранение почвенного плодородия. Элементы технологий сельскохозяйственного производства совершенствуются параллельно.

«Жизненный цикл» мелиоративной системы разделяется на три этапа: проектирование, строительство и эксплуатация. Качество системы формируется на первом, обеспечивается на втором и реализуется на третьем. Оно, как известно, представляет собой некую иерархическую совокупность конструктивных, технических, экономических, технологических и эксплуатационных показателей, определяющих функцию соответствия системы своему назначению. То есть, по значению перечисленных показателей можно сравнить ту или иную систему и сделать вывод о степени их усовершенствования в отношении соответствия некоторой определенной цели.

Сравнивая перечисленные показатели на этапе эксплуатации системы с нормативными показателями, закладываемыми при проектировании, можно определить один из аспектов уровня качества – уровень технического состояния той или иной системы, под которым следует понимать совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств, характеризующую в определенный момент времени признаками, установленными технической документацией. Оценка технического состояния должна исходить из назначения системы – получения высоких и устойчивых урожаев при условии сохранения плодородия почв и охраны окружающей среды.

Вторым аспектом качества мелиоративных систем является тот, который полностью определяется значениями показателей, связанными с созданием технически совершенных систем, то есть их технический уровень. При этом должно соблюдаться условие рационального использования природных, трудовых, энергетических, финансовых и прочих ресурсов. Таким образом, техническим уровнем мелиоративной системы является характеристика качества, основанная на сопо-

ставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой системы, с соответствующими базовыми показателями.

Для количественной оценки технического уровня мелиоративных систем по всей совокупности показателей необходимо формирование интегрального показателя с учетом ограничений на имеющиеся ресурсы и состояние мелиорируемых земель.

Получение обобщенной оценки технического уровня мелиоративных систем не является самоцелью. Это необходимо для планирования, управления, контроля и анализа качества систем. Построенная оценка дает возможность обосновать долгосрочные прогнозы, планировать на их основе необходимое ресурсное обеспечение перспективного развития, создать предпосылки к обоснованию поколений мелиоративных систем.

Определение двух перечисленных аспектов качества мелиоративных систем (технического состояния и технического уровня) включает три основных этапа:

- построение иерархической структуры оцениваемых свойств системы;
- расчет коэффициентов относительной значимости элементов иерархической структуры и формирования перечня исходных данных для расчета локальных показателей;
- построение интегрального показателя, с помощью которого возможно оценить ту или иную систему и ранжировать их по этому показателю.

В настоящее время разработана номенклатура показателей для оценки технического уровня и качества документации на строительство промышленных предприятий. К ним относятся производительность труда одного работающего в натуральном и стоимостном выражении, уровень автоматизации производства, удельный вес рабочих, занятых ручным трудом, материалоемкость и энергоемкость производства продукции, фондоотдача, удельный расход строительных материалов, удельные капиталовложения.

Установление количества коэффициентов относительной значимости для определения технического уровня мелиоративных систем является в настоящее время нерешенной задачей.

Необходимость разработки технически совершенных мелиоративных систем требует принятия обоснованных инженерных решений уже на предпроектной стадии. Обоснованность их выбора для различных

природно-хозяйственных условий мелиорируемой территории определяется представительностью множества возможных вариантов мелиоративных систем и полнотой набора показателей для определения технического уровня в соответствии с этими решениями. Повышение технического уровня предложенных решений требует поиска наилучших вариантов на всех уровнях оптимизации. Первому уровню будет соответствовать выбор наилучшего принципа действий, который практически не поддается формализации, второму – поиск наилучшей структуры решения в рамках выбранного принципа действия, на третьем этапе будут определяться параметры мелиоративных систем для заданной структуры.

Совершенствование инженерных сооружений оросительных систем с применением локальных средств механизации и автоматизации обусловило интенсивное развитие средств водоучета. В этот период получили применение специализированные средства измерения параметров водного потока с использованием индивидуальных элементов автоматизации (гидроавтоматов с регулированием верхнего бьефа, нижнего бьефа, применение узлового регулирования) процессов измерений и обработки получаемой информации. Разработаны и прошли апробацию автоматические регуляторы и стабилизаторы расхода гидравлического действия, разработаны конструкции дополнительных устройств, придающих свойства водомерности типовому гидромеханическому оборудованию регулирующих гидротехнических сооружений.

Основными типами гидрометрических приборов оставались гидрометрические рейки, вертушки и другое технологическое оборудование.

Новые разработки специализированных средств измерения уровня, расхода воды и сопутствующих параметров водного потока были единичными или мелкосерийными экземплярами. Существенно модифицировались типы и конструкции гидрометрических сооружений и устройств. Разработана унифицированная с международными стандартами система нормативно методического обеспечения водоучета.

Технологическая революция в области микроэлектроники и информационного обеспечения привела к существенным изменениям в методологии и приборном обеспечении водоучета на оросительных системах.

На смену многофакторным процессам получения первичной информации о величинах расхода и объема стока воды в каналах оросительных систем пришли многофункциональные измерительные комплексы, использующие новые информационные технологии и эле-

ментную базу (ультразвуковые расходомеры, использующие эффект Доплера и ультразвуковые эхолоты).

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

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

Реконструкции подлежат осушительные системы или их элементы, в процессе эксплуатации, которых установлено, что они не обеспечивают нормативный водный режим из-за:

- физического и морального износа при снижении балансовой стоимости элементов мелиоративной системы более чем на 50 % с истечением проектного срока эксплуатации;

- выхода из строя отдельных элементов, обеспечивающих функционирование осушительных и осушительно-увлажнительных систем вследствие заилиения и зарастания открытой проводящей сети, создающих подпор в регулирующей сети; заилиение полостей дренажных труб песчаными отложениями или заохривания плотными отложениями, не удаляемыми промывками; уменьшения глубины заложения дрен;

- разрушения дренажных систем при строительстве дорог и прокладке коммуникаций;

- изменения характеристик почвенного покрова, физико-механических свойств грунтов в результате длительного сельскохозяйственного использования мелиорируемых земель и хозяйственной деятельности, которые привели к значительному снижению водопроницаемости засыпки дренажных траншей;

– достижения предельного состояния сооружения (элемента мелиоративной системы), при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима по условиям аварийной опасности или экономической нецелесообразности.

В состав работ и мероприятий по реконструкции осушительных систем следует включать:

- замену открытой осушительной сети на закрытую;
- восстановление открытой осушительной сети;
- восстановление вышедшей из строя и не подлежащей ремонту закрытой осушительной сети;
- сгущение закрытой осушительной сети;
- восстановление и строительство дополнительных элементов мелиоративной системы (каналов, регулирующих и транспортных сооружений, ограждающих дамб, дорог и т. д.);
- природоохранные мероприятия.

### **7.7. Этапы проведения обследований**

В целях получения данных для разработки проектов ежегодных планов работ по строительству, эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений специально созданными комиссиями из числа уполномоченных должностных лиц заинтересованных государственных органов и иных организаций ежегодно проводится их обследование. Порядок обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, форма акта обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений определяются Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь по согласованию с Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь.

Предварительное (визуальное) обследование проводят в целях предварительной оценки технического состояния мелиоративных систем (при необходимости) по внешним признакам, определения необходимости в проведении детального (инструментального) обследования и уточнения программы работ.

При детальном обследовании уточняются результаты предварительного обследования, в том числе определяются: прочностные и декоративные характеристики, исследуются эксплуатационные характеристики, а также проводятся необходимые поверочные расчеты обследуемых мелиоративных систем.

Детальное обследование включает:

- визуальное обследование;
- обмерочные работы;
- инструментальные обследования.

При недостаточности данных проводится сплошное обследование (отсутствие проектной документации и т. д.).

При обследованиях мелиоративных и водохозяйственных сооружений проверяют визуально и, при необходимости, с помощью геодезических и других инструментов следующее:

- отметки, конструктивные размеры сооружений, продольные и поперечные профили каналов и дамб, уклоны;
- конструкции сооружений, состояние бетонных, железобетонных и металлических элементов;
- степень заиления и зарастания открытых каналов, водоприемников и закрытых дренажных систем, а также разрушений креплений откосов плотин, дамб (защитных валов) и каналов;
- работу затворов, подъемников, гидромеханического, электротехнического и грузоподъемного оборудования (проверяют состояние наиболее изнашиваемых деталей и механизмов без существенной их разборки);
- пропускную способность каналов и сооружений, надежность и быстроту регулирования расходов;
- наличие размывов в нижних бьефах и разрушение отдельных частей сооружений;
- наличие пустот за стенками сооружений; наличие опасной фильтрации через плотины и дамбы, под флютбетонами и за стенками сооружений;
- наличие утечки воды и недопустимой фильтрации в закрытых и лотковых оросительных системах, в напорных трубопроводах насосных станций и водоводах;
- наличие дефектов в оборудовании гидротехнических и гидрогеологических створов;
- полноценность работы внутриводохозяйственных линий связи и электроснабжения, автоматики и телемеханики;
- состояние полотна автомобильных дорог, а также наличие дорожных устройств и знаков, а также другие элементы и конструкции, входящие в состав мелиоративных систем.

Внеочередные осмотры мелиоративных систем и сооружений проводятся после стихийных бедствий (пожаров, ураганных ветров, ката-

строфических ливней, наводнений и т. д.) или аварий комиссиями с участием представителей органов.

Существенной целью осмотров является разработка предложений по повышению эксплуатационной надежности мелиоративных систем и водохозяйственных сооружений и их долговечности.

Особый режим осмотров должен устанавливаться для мелиоративных систем и водохозяйственных сооружений в районах многолетней мерзлоты, на просадочных грунтах, в сейсмических районах, на системах с неудовлетворительным мелиоративным состоянием (повышение уровня грунтовых вод и их минерализация и т. д.):

- ежегодное проведение с помощью геодезических инструментов проверки положения основных конструктивных элементов мелиоративных систем и сооружений;

- постоянные наблюдения за конструкциями, подверженными динамическим нагрузкам или работающими в агрессивной среде.

Текущие осмотры проводятся в плановом порядке инженерно-техническими работниками организаций, на балансе которых находятся мелиоративные системы. Результаты осмотра заносятся в технический журнал. Часть этих сведений служит исходными данными при составлении дефектных ведомостей на ремонтные работы.

Результаты всех видов осмотров, кроме текущих, оформляются актами технического состояния мелиоративных систем и водохозяйственных сооружений, в которых отмечаются обнаруженные дефекты, а также необходимые меры по их устранению с указанием видов ремонтных работ (капитальный, текущий), объемов основных работ, их ориентировочной стоимости и рекомендуемых сроков выполнения. Вся техническая (исполнительная) документация по сданным в эксплуатацию мелиоративным системам и сооружениям должна храниться в организациях, на балансе которых находятся мелиоративные системы и водохозяйственные сооружения, и в эксплуатационных водохозяйственных организациях.

Обо всех случаях неудовлетворительной работы гидротехнических сооружений, выявленных в результате проводимых осмотров, водохозяйственные организации должны информировать вышестоящие и проектные организации для принятия мер по совершенствованию конструкций сооружений.

## **7.8. Результаты обследований**

Обследование мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений проводится ежегодно по состоянию на 1 декабря.

Акты обследования составляются комиссиями и утверждаются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями.

Копии утвержденных актов обследования не позднее 5 декабря направляются районными исполнительными и распорядительными органами или уполномоченными ими организациями в комитеты по сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченные ими организации, а также в областные государственные производственные лесохозяйственные объединения.

Оформленные и подписанные сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений ежегодно не позднее 15 декабря представляются на утверждение:

- комитетами по сельскому хозяйству и продовольствию областных исполнительных комитетов или уполномоченными ими организациями – в ГО «Белводхоз»;

- областными государственными производственными лесохозяйственными объединениями – в Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченную им организацию.

ГО «Белводхоз» и Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченная им организация ежегодно не позднее 25 декабря утверждают сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Утвержденные ГО «Белводхоз» и Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь или уполномоченной им организацией сводные ведомости по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений являются исходными данными для разработки проектов ежегодных планов работ по строительству, эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Из эксплуатации могут быть выведены мелиоративные системы (их части) и отдельно расположенные гидротехнические сооружения:

пришедшие в непригодное состояние в процессе эксплуатации и отслужившие нормативный срок службы; пришедшие в непригодное состояние в случае аварий, стихийных бедствий и иных чрезвычайных ситуаций, если их восстановление технически невозможно или экономически нецелесообразно; в случае изъятия мелиорированных сельскохозяйственных земель и земель лесного фонда для использования их н

- проектной документации по мелиорации земель;
- исполнительных чертежей по всем сооружениям;
- актов приемки скрытых работ;
- актов приемки и пусковых испытаний отдельных сооружений, оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры;
- актов приемки мелиоративных систем и сооружений в эксплуатацию;
- генерального плана мелиоративной системы;
- данных испытаний контрольных образцов бетона, арматуры, грунтов;
- ведомости постоянных реперов, актов геодезической разбивки сооружений.

Эксплуатация (обслуживание) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений осуществляется пользователями мелиоративных систем или организациями по строительству и эксплуатации мелиоративных систем на основании договора на оказание услуг по эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Оказание услуг по эксплуатации (обслуживанию) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений осуществляется в соответствии с настоящими Правилами, проектами мелиорации земель, сметами и техническими нормативными правовыми актами.

При выборе объектов мелиорации земель для ремонта мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений учитываются:

- материалы инвентаризации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений;
- данные обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, выполнения услуг по техническому обслуживанию;
- соответствие уровней воды в осушительной сети уровням, заданным проектом мелиорации земель;
- наличие подтоплений и неудовлетворительного водного режима осушенных земель;
- результаты ежегодных обследований; фактические отметки водоприемников, магистральных, проводящих каналов и регулирующей сети;
- эффективность использования мелиорированных земель.

На мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях ремонт их отдельных элементов производится в порядке очередности, установленной проектной документацией по мелиорации земель.

Услуги по ремонту (аварийному ремонту) и техническому уходу на мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях оказываются в целях устранения мелких повреждений и неисправностей, препятствующих выполнению заданных проектом мелиорации земель функций.

При аварийном ремонте мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений выполняются предупредительные и неотложно-восстановительные услуги:

- срочный предупредительный ремонт (повышение надежности функционирования элементов мелиоративной системы) при возникновении опасности аварийных ситуаций;

- срочное восстановление их элементов, разрушенных в результате стихийных явлений или нарушений настоящих Правил.

Периодичность оказания услуг по техническому уходу на мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях осуществляется согласно прил. 3.

Периодичность оказания услуг по ремонту мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений осуществляется в соответствии с техническими нормативными правовыми актами [31].

### **7.9. Очередность проведения обследования и технического обслуживания мелиоративной системы**

Процесс *восстановления* мелиоративных систем после спада 90-х годов частично преодолен и к концу 2013 года большая их часть должна быть полностью восстановлена и приближена к проектным показателям, а к концу 2015 года программа по восстановлению мелиорированных земель должна быть полностью завершена. Большое внимание Президент Беларуси уделил поддержанию мелиорированных земель в хорошем состоянии. «Нам нужны эти площади, это неплохая земля, и мы должны выхватить такие поля с хорошими землями».

После восстановления наиболее актуальными для отрасли станут вопросы, связанные с эксплуатацией мелиоративных систем. Правильная эксплуатация позволяет увеличить межремонтные сроки службы

для элементов мелиоративных систем, сгладить влияние природных факторов на мелиорированные земли.

Основой эксплуатации являются периодические обследования, технический уход и текущие ремонтные работы – те составляющие эксплуатационных работ, которые объединены общим понятием – техническое обслуживание и позволяют существенно сократить выход из строя элементов мелиоративных систем и правильно распределить затраты на их ремонты. Причем для максимального эффекта от выполнения обследования и технического ухода на мелиоративных системах требуется четкая очередность выполнения данных мероприятий, основанная на принципах комплексности выполнения работ, учета значимости технических объектов системы в обеспечении ее общего устойчивого функционирования.

В настоящее время нормативные документы не задают четкую очередность проведения эксплуатационных работ на объектах. Они устанавливают, что при сдаче объектов (МС, ГТС) в эксплуатацию на них заводятся паспорта, содержащие общую информацию об объекте, информацию о техническом состоянии объекта и его основных элементов (конструктивных элементов сооружения) и по ним проводится первичный учет [4].

При выборе объектов для проведения эксплуатационных работ организация должна руководствоваться рядом положений, определяющих приоритетные объекты для проведения РЭР:

- гидротехнические сооружения водохозяйственных комплексов с целью обеспечения безопасной их эксплуатации, инженерные защитные сооружения, реки водоприемники мелиоративных систем в паводковых районах. Мелиорированные земли, по которым проходит граница Республики Беларусь с сопредельными государствами, а также земли сельскохозяйственных организаций;

- базовых по наращиванию объемов выпуска сельскохозяйственной продукции, повышению экономической эффективности хозяйственной деятельности;

- имеющих крупные животноводческие фермы и комплексы по оснащению их кормами;

- имеющих в пользовании более 50 процентов мелиорированных земель.

При выборе объектов РЭР учитывается наличие высокого потенциального плодородия почв, показатели кадастровой оценки земель, материалы инвентаризации МС и оптимизации землепользований [4].

Планирование конкретных видов техухода осуществляется в соответствии с классификацией работ и состоянием объекта.

Контроль выбора объектов РЭР на районном уровне проводится районными исполнительными комитетами.

Если проанализировать существующий подход к планированию очередности и распределению средств на выполнение технического ухода по его видам, то определенно ясно, что в первую очередь будут выполняться работы на наименее затратных объектах что и происходит сейчас. При этом требования и рекомендации по выбору объектов будут соблюдены, план выполнен, но отремонтированы не всегда самые значимые для мелиоративной системы элементы.

Техническое состояние – показатель динамичный и меняется во времени. Каналы заиливаются, зарастают, сооружения ломаются. На одних и тех же элементах требуется периодическое проведение обследования, уходовых и ремонтных работ. Физические объемы этих работ по району весьма велики и не могут быть выполнены за один год на всех объектах под выделенные средства. Требуется система планирования, направленная на установление четкой очередности проведения работ по обслуживанию и техническому уходу в зависимости от значения элементов внутри системы. Существующая система планирования этого не учитывает.

При строительстве, реконструкции и ремонте принято при больших объемах работ разделять все работы по пусковым комплексам – участкам выполнения работ, и ввода земель в сельхоз оборот. Этот подход дает возможность сосредоточить технику на объектах, выполнять работы под определенное финансирование, не нарушать режим работы сельхозпредприятий.

Технический уход и обследование имеют специфику. Они должны проводиться на всех подлежащих техуходу системах и элементах ежегодно. В то же время ясно, что невозможно выполнить требуемые работы на всех мелиоративных системах и сооружениях. Так, если рассматривать Гомельскую область, то на 2009 год планировалось затратить на РЭР 38290 млн. руб. Эти средства в соответствии с заданием по области распределены на ремонт – 13045 млн. руб., технический уход – 25245 млн. руб.

При этом по области подлежат обслуживанию 25932,4 км каналов. План работ на год по окашиванию каналов – 23750 км (92 % от подлежащих). Более сложная картина с очисткой от заиления и ДКР. Это показывает, что под выделенные средства и возможности предприятий

приходится выбирать первоочередные объекты проведения технического ухода, распределять виды работ на объектах.

За единый объект исследований и анализа с целью планирования эксплуатационных мероприятий принят *участок технического обслуживания (участок ТО)*. Участком ТО называется участок мелиоративной системы, включая расположенные на нем отдельные каналы, закрытый дренаж и гидротехнические сооружения, функционально взаимно связанные и непосредственно влияющие на водный режим почв данного участка. Предполагается, что поддержание в работоспособном состоянии всех элементов, составляющих участок ТО, обеспечивает условия для отвода избыточных вод не только с данного участка, но и со всей площади в границах МС, с которой вода поступает к нижнему створу участка ТО. (Ремонт ключевых сооружений участка позволит, а ремонт сооружений, находящихся на второстепенных каналах, обеспечит возможности прохода техники на поля, определит состояние земель на данном участке и позволит проводить контроль).

Выделение участков ТО проводится на стадии проектирования нового строительства, реконструкции мелиоративных систем проектной организацией по *специальной* методике (А. П. Лихачевич, Е. А. Лукьянова, С. Е. Страхов). Аналогом участка ТО являются пусковой комплекс (в строительстве) и ремонтный комплекс (в эксплуатации). *Различия в выборе границ*. На осушительно-увлажнительных системах участки ТО идентичны зонам влияния головных подпорных сооружений, расположенных на магистральной и проводящей сети.

Исходя из методики определения зон влияния участков ТО их можно выстроить в порядке приоритетности для МС с позиции обеспечения своевременного сброса избыточных вод (весеннего половодья, летнее осенних дождевых паводков) с максимальной площади в границах данной МС. Критерием в этой иерархии является численное значение показателя влияния участка ТО, который определяется по отношению

$$= -, \quad (7.1)$$

где — площадь зоны влияния  $i$ -го участка ТО, которая состоит из водосборной площади (в границах МС) нижнего створа  $i$ -го участка ТО, га;

$F$  — площадь МС, га.

Таким образом, согласно (7.1), чем больше численное значение показателя влияния участка ТО, тем больший ущерб может принести неудовлетворительное состояние данного участка при наступлении критических периодов с экстремальной водностью (весеннее половодье, летно-осенний дождевой паводок). Именно этим и следует руководствоваться при установлении очередности обследования и проведения технического ухода на МС

$$+1 \leq \leq -1. \quad (7.2)$$

Внутри участка ТО очередность обследования устанавливается по кратчайшему маршруту, обеспечивающему доступ ко всем сооружениям данного участка. При прокладке данного маршрута используются элементы логистики, что позволяет минимизировать число устраиваемых переходов и мостов. Логистический подход используется и при установлении очередности проведения технического ухода, который, кроме того, увязывается с видом проводимых работ, применяемыми механизмами и наличием переездных сооружений через открытую сеть участка ТО.

При установлении очередности работ по техническому уходу на участке ТО необходимо, кроме того, учесть для каждого сооружения, входящего в участок ТО, функциональную ответственность обеспечения работоспособности всей МС. Для этого служит показатель функционального назначения сооружения.

По своему назначению гидротехнические сооружения можно разделить на следующие группы: В первую, наиболее ответственную группу ( $B = 1$ ) включают сооружения, которые необходимы для сопряжения водотоков. К ним относят дренажные устья, воронки стока, колонки и колодцы-поглотители, быстротоки, перепады и др. Вторую группу ( $B = 2$ ) составляют сооружения, с помощью которых обеспечивается управление водным режимом на межхозяйственной части мелиоративной системы, – открытые каналы, шлюзы-регуляторы, трубы-регуляторы и др. Третья группа ( $B = 3$ ) включает сооружения, с помощью которых обеспечивается управление водным режимом на внутрихозяйственной части мелиоративной системы. Это открытые каналы, шлюзы-регуляторы, трубы-регуляторы, колодцы с регулирующими устройствами, наблюдательные колодцы и др. Четвертая группа ( $B = 4$ ) – состоит из сооружений, обеспечивающих переезд техники, прогон скота, переход людей через каналы. Это мосты, трубы-

переезды, броды, скотопрогоны, пешеходные мостики. К пятой ( $B = 5$ ) можно отнести средства крепления каналов от размыва и деформаций: хворостяной канат, плетневую (хворостяную) стенку, фашины, одерновку, бетонные и железобетонные покрытия, посев трав, биоковры и др. И, наконец, к шестой группе сооружений ( $B = 6$ ) относят эксплуатационные и рекреационные сооружения – дороги, гидрометрические створы, береговую обстановку, водоемы-копани, пляжи, места для отдыха и др.

Некоторые сооружения могут выполнять несколько функций. Например, труба-регулятор может использоваться одновременно для регулирования уровней воды в водотоке и служить переездным средством. Водоем-копань может принимать воду с осушаемых полей, т.е. являться регулирующим сооружением для некоторой части мелиоративной системы и одновременно выполнять функцию экологической ниши. Подобные сооружения следует относить к верхней группе их функциональной принадлежности. С использованием установленных показателей функционального назначения выстраивается иерархия проведения технического ухода за сооружениями на  $i$ -м участке ТО.

$$(-1) \leq \quad \leq (+1), \quad (7.3)$$

где  $\quad$  – показатель функционального назначения  $j$ -го сооружения на  $i$ -м участке ТО.

При появлении на МС дефектов, устранение которых невозможно при проведении технического ухода, возникает необходимость выполнения регламентных работ, и соответствующего установления их очередности. Для этой цели используется показатель технического состояния сооружения. Данный показатель в отличие от предыдущих (7.1) и (7.3) устанавливается на основе результатов изысканий и соответствующей проектно-сметной документации, разрабатываемой проектной организацией по материалам обследования и проекта ремонта данного сооружения.

Считаем очевидным, что наибольшего внимания требуют сооружения с максимальными дефектами, наиболее функционально ответственные и имеющие наибольшие зоны влияния. Поэтому в качестве показателя технического состояния предлагается отношение стоимости необходимых ремонтных работ к балансовой стоимости данного сооружения:

$$= \frac{C_{ij}}{C_{ij} + C_{ij}^{\text{уст}}}, \quad (7.4)$$

где  $C_{ij}$  – балансовая стоимость  $j$ -го сооружения на  $i$ -м участке ТО;  
 $C_{ij}^{\text{уст}}$  – стоимость устранения дефекта  $j$ -го сооружения на  $i$ -м участке ТО.

Зону влияния  $j$ -го сооружения по аналогии с (7.4) можно представить в виде отношения:

$$= \frac{S_{ij}}{S_{ij} + S_{ij}^{\text{уст}}}, \quad (7.5)$$

где  $S_{ij}$  – водосборная площадь (в границах МС) в нижнем створе  $j$ -го сооружения на  $i$ -м участке ТО.

При установлении очередности проведения ремонта сооружения необходимо объединить в один показатель все характеристики: техническое состояние, функциональное назначение и зону влияния. Учитывая направленность изменения данных характеристик (7.4) и (7.5) комплексный показатель необходимости ремонта, можно представить в виде функции:

$$= \frac{C_{ij} + S_{ij}}{C_{ij} + S_{ij} + C_{ij}^{\text{уст}} + S_{ij}^{\text{уст}}}, \quad (7.6)$$

где  $K_{ij}$  – комплексный показатель необходимости ремонта  $j$ -го сооружения на  $i$ -м участке ТО.

Очередность выполнения ремонтов сооружений выстраивается по численным величинам комплексных показателей необходимости ремонта (7.7) в порядке:

$$(K_{ij} + 1) \leq K_{ij} \leq (K_{ij} - 1). \quad (7.7)$$

Анализ иерархий (7.5), (7.6) и (7.7) показывает, что очередность выполнения ремонтов сооружений на МС может не совпадать с очередностью проведения обследования и технического ухода. Это связано с тем, что очередность ремонта устанавливается с учетом всех характеристик данного сооружения: его зоны влияния, технического состояния и функционального назначения. Для установления очередности проведения обследования и технического ухода на мелиоративных системах выделяются участки технического обслуживания, устанавли-

ваются зоны их влияния и изучается логистика маршрута обследования и технического ухода. При определении очередности ремонтов учитывается функциональная принадлежность конкретного сооружения, его зона влияния и техническое состояние. Все эти показатели определяются с использованием объективных данных, контроль которых увязан с действующими правилами эксплуатации мелиоративных систем [32].

## **8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ**

### **8.1. Метод подповерхностного сканирования с применением георадарных технологий**

Нарушение технологии мелиоративных и водохозяйственных работ, бесхозяйственное отношение к материальным ресурсам, земле часто являются причинами неудовлетворительного состояния водного режима почвы. В результате нарушаются требования технологии строительства мелиоративных систем и сооружений, некачественно ведутся строительно-монтажные работы, недостаточно проводятся ремонтно-эксплуатационные работы по поддержанию действующих систем в работоспособном состоянии, из-за чего мелиоративные каналы зарастают, а земли заболачиваются.

В территории Республики Беларусь наметилась тенденция вывода мелиорированных земель с расположенными на них объектами мелиорации из сельскохозяйственного оборота по причине их зарастания дикорастущей растительностью, отсутствия должной инвентаризации мелиоративных систем и гидротехнических сооружений с учетом имеющихся мелиоративных объектов, в том числе расположенных на землях лесного фонда. Так в Витебской обл. не находились на техническом обслуживании мелиоративные предприятия в сельскохозяйственном обороте не использовалось 62 тыс. га подлежащих реконструкции мелиорированных сельскохозяйственных земель.

Инструментом учета мелиоративных систем и гидротехнических сооружений могут и должны стать современные информационные технологии, вырабатывающие рекомендации для лиц, принимающих решения, по сохранению природного потенциала мелиорированных

земель, в том числе орошаемых, на базе результатов комплексного ландшафтного мониторинга, опыта специалистов и всего комплекса научных разработок отрасли.

Большая часть мелиоративных систем построена в 70–80-х годах минувшего столетия. С течением времени, по причине естественного старения и накопления повреждений, сложность и энергоемкость обслуживания гидротехнических сооружений мелиоративных систем, закрытой мелиоративной сети возрастает, вплоть до необходимости реконструкции. Обладая достоверной информацией о месте и виде повреждений, можно планировать и проектировать ремонтно-обслуживающие мероприятия необходимого объема.

На данный момент особенно актуальны диагностические технологии, позволяющие, без разрушения, своевременно и точно определять места и вид неисправностей труднодоступных элементов мелиоративной сети, таких как подземные коллекторы, а также железобетонные элементы гидротехнических сооружений. При этом, только беспроводные устройства (поисковые головки, видеоголовки, георадары) позволяют эффективно вести диагностику с использованием имеющегося на предприятиях мелиоративных систем оборудования УПД-120, ОД-100, а также с учетом перспективного научно обоснованного и имеющегося уже в производстве и на рынке диагностического оборудования Республики Беларусь.

Обслуживание закрытой мелиоративной сети, от которых напрямую зависит продолжительность ее работы без дорогостоящей реконструкции, требует точного определения местоположения таких элементов, как дренажное устье, поворот коллектора, примыкание дрен, место установки поглощающей колонки и колодца-поглотителя. Маркирование механическими средствами (флажки, вешки, сигнальные столбики) имеет ряд ограничений связанных с необходимостью повышать коэффициента земельного использования, затратами на демонтаж и возвращение маркеров при обслуживании систем, сносом сельскохозяйственной техники, смывом в паводки, человеческим фактором.

В Республике Беларусь с конца XX века георадары начали в опытном порядке применяться при обследовании автомобильных дорог. В начале использования геофизического оборудования было очень много противников, потому что результаты георадарной съемки трактовались не всегда однозначно. Основными причинами были недостаточный опыт выполнения геофизических работ, несовершенство кон-

струкций георадарного оборудования и слабое программного обеспечение.

Более того, в республике существует устоявшаяся процедура выполнения ремонтных работ по дефектным ведомостям и материалам комиссионного обследования.

Внутреннее строение и состояние мелиоративных систем, инженерных конструкций гидротехнических сооружений может быть определено (наряду с упомянутым выше работами) с помощью метода подповерхностного сканирования с применением георадарных технологий. Реконструкция и капитальный ремонт гидротехнических конструкций водохозяйственных систем, мелиоративных систем могут быть эффективными только в том случае, если будут определены истинные причины повреждений.

Работа радиолокационного прибора подповерхностного зондирования основана на использовании классических принципов радиолокации. Передающей антенной прибора излучаются сверхкороткие электромагнитные импульсы (единицы и доли наносекунды), имеющие 1,0–1,5 периода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучения. Центральная частота сигнала определяется типом антенны.

Выбор длительности импульса определяется необходимой глубиной зондирования и разрешающей способностью прибора. Для формирования зондирующих импульсов используется возбуждение широкополосной передающей антенны перепадом напряжения (ударный метод возбуждения).

Метод базируется на излучении поля высокочастотных электромагнитных волн (используются частоты от первых десятков МГц до первых единиц ГГц). Основой метода является различие горных пород по диэлектрической проницаемости.

Достоинством метода является высокая производительность и высокая разрешающая способность, как в плане, так и по глубине. Глубинность исследования составляет от первых десятков сантиметров (при детальных малоглубинных исследованиях) до первых десятков метров (при решении геологических задач). Разрешающая способность и глубинность исследования зависят от частоты, на которой ведутся работы и характера изучаемого разреза.

**Таблица 8.1. Зависимость глубины проникновения электромагнитной волны от рабочей частоты**

| Рабочая частота, МГц | Максимальная глубина зондирования, м* | Разрешающая способность по глубине, м |
|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 50                   | 20                                    | 0,5–2                                 |
| 90                   | 16                                    | 0,5                                   |
| 150                  | 12                                    | 0,35                                  |
| 250                  | 8                                     | 0,25                                  |
| 400                  | 5                                     | 0,15                                  |
| 700                  | 3                                     | 0,1                                   |
| 1000                 | 1,5                                   | 0,05                                  |
| 1200                 | 1,3                                   | 0,05                                  |
| 1700                 | 1,0                                   | 0,03                                  |

\*Данные представлены для сред с малым затуханием волн (сухой песок, лед).

Георадар российского производства, широко представленный на Белорусском рынке «ОКО-3» (рис. 8.1), состоит из двух составных частей: базового комплекта и антенного блока. Базовый комплект включает все необходимые для работы элементы: блок управления, блок питания, зарядное устройство, комплекты кабелей. Антенные блоки могут быть сменные и заменяемые, и их конструкция зависит от решаемой задачи. Использование антенного блока с меньшей частотой (250 МГц) позволяет увеличивать глубину исследования. Если необходима высокая детальность верхнего слоя геологического разреза следует использовать высокочастотные антенные блоки (700 МГц). Могут применяться двухчастотные георадарные комплексы, позволяющие проводить синхронные зондирования сразу двумя антенными блоками. Это дает возможность при одном проходе получить два результата: профили с максимальной глубиной зондирования; радарограмму верхней части разреза с лучшим разрешением. Все это сокращает время обследования в два раза.

Георадар действует по следующему принципу. Комплект перемещается вдоль изучаемого профиля. Передающей антенной прибора в исследуемую среду излучаются сверхкороткие электромагнитные импульсы (единицы и доли наносекунды), имеющие 1,0–1,5 периода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучения. Центральная частота сигнала определяется типом антенны. Георадар позволяет контролировать сооружения из бетона толщиной от 0,01 м до 1,5 м, разрешающая способность от 0,03 м до 0,05 м.

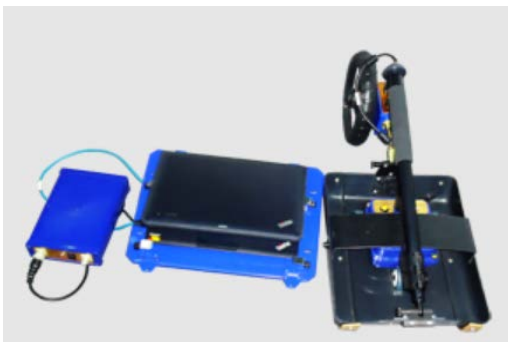


Рис. 8.1. Внешний вид георадара OKO 3

Излучаемый в исследуемую среду импульс отражается от находящихся в ней предметов или неоднородностей среды, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость, принимается приемной антенной, усиливается в широкополосном усилителе, преобразуется в цифровой вид при помощи аналого-цифрового преобразователя и запоминается для последующей обработки. После обработки полученная информация отображается на дисплее компьютера в виде так называемых радарограмм. Регистрация, обработка и интерпретация данных георадиолокации осуществляется программой обработки георадиолокационных данных «GeoScan32» или другой подобной, которая устанавливается на ноутбук. Данная программа позволяет не только визуализировать видеоданные во время съемки, определить глубины залегания локальных объектов, провести послойную обработку, но и построить трехмерную модель полученных данных.

На мелиорированных землях (торфяниках) при помощи георадара наиболее достоверно могут быть зафиксированы границы торфа и подстилающих его отложений, т. е. граница минерального дна болотного массива, а также границы раздела других отложений и зон разной влагонасыщенности, в том числе УГВ. Торф, как и другие среды, в электромагнитном поле характеризуется диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , скоростью распространения волн  $V$ , затуханием электромагнитных волн и коэффициентами поглощения и отражения. Все перечисленные параметры зависят от степени разложения, химического состава торфа, влагосодержания, плотности, температуры и частоты приложенного поля. Для определения реального положения

границ на радарной записи по глубине необходимо знать скорость распространения электромагнитной волны в среде  $V$ . В георадиолокации она связана с вещественной частью диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  через скорость света приближенной формулой:

$$= \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}, \quad (8.1)$$

где  $c$  – скорость распространения электромагнитной волны в вакууме (скорость света).

В георадиолокации принято измерять скорость в см/нс (сантиметры в наносекунду,  $1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$ ). Таким образом, формула для расчета скорости выглядит следующим образом:

$$= \frac{30}{\sqrt{\epsilon}}. \quad (8.2)$$

Белорусские ученые используют возможности российского георадара «ОКО-3» для поиска пролегания дренажных систем, для почвенных исследований (определение толщины слоя торфа и т. д.), для обнаружения повреждений бетонных конструкций, для определения глубины наносов в каналах и водоемах, составления продольных и поперечных профилей водоприемников и мелиоративных каналов и т. д. Использование геофизических приборов в сельском хозяйстве возможно, например, для картирования подземных коммуникаций на полях, уточнение особенностей строения плодородного слоя поля и подстилающих пород, что дает достоверную информацию для проектирования эффективных мелиоративных систем. С помощью георадара возможно определение зон разной влагонасыщенности (вымочек на поверхности), например на одном поле, уровень грунтовых вод, в месте, где проходит подземная коммуникация, дренажный коллектор, что позволит выявить место и причину неправильной работы закрытого дренажа.

Одним из приоритетных направлений повышения плодородия легких почв Республики Беларусь является создание и использование мелиорантов на основе потенциала местных природных источников (торф, сапропель) и современных технологий переработки эффективных грунтов, сапропелевых удобрений, биологически активных препаратов для ведения органического сельского хозяйства.

В республике в настоящее время сапропель добывается из девяти озер. Общий объем добычи составляет около 200 тыс. т, что несопоставимо мало по сравнению с огромными ресурсами, которые состав-

ляют более 4 млрд м<sup>3</sup> (1,6 млрд т). Из них 2,8 млрд м<sup>3</sup> сосредоточено в озерах и 1,2 млрд м<sup>3</sup> – под торфом. Ресурсы торфа в республике в 2,5 раза больше, чем сапропеля и составляют около 4 млрд. т.

При помощи георадара наиболее достоверно можно зафиксировать границы сапропелевых массивов и границы раздела других отложений. Картирование мощности придонных отложений позволит более детально оценить ресурсы природного мелиоранта, а также исходя из геологических условий подобрать экономически выгодную технологию добычи и переработки сырья. Максимальная амплитуда сигнала георадара, как правило, проявляется на границе грунтовых вод, в виде резко выраженной толстой линии синфазности. Это объясняется тем, что вода имеет диэлектрическую проницаемость 81, в то время как грунты – в пределах от 4 до 25 (в зависимости от влажности). В связи с чем, при резком изменении диэлектрической проницаемости положение уровня грунтовых вод достаточно хорошо читается по радарограмме (рис. 8.2).

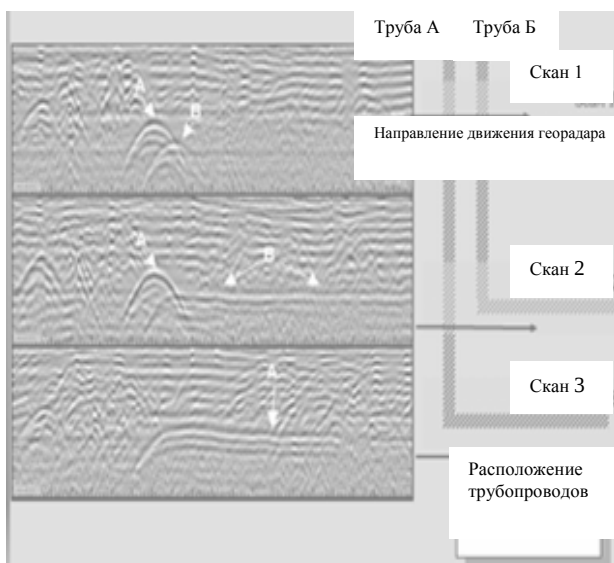


Рис. 8.2. Пример радарограмм для нахождения подземных трубопроводов А, Б

Переувлажненные зоны, как правило, характеризуются низкими частотами. При обработке данных раскраска георадиолокационного профиля подбирается таким образом, чтобы с уменьшением частоты отраженного сигнала цвет становился более темным, при этом максимальная влажность грунта должна быть прямо пропорционально интенсивности синего цвета. Зоны, раскрашенные синим цветом – это зоны низкой частоты и избыточно увлажненного грунта земляного полотна и подстилающего основания.

Георадары нашли применение для определения качества и состояния железобетонных гидротехнических конструкций, труб-регуляторов, мостов, состояния железобетонных и грунтовых плотин, дамб, выявления оползневых зон, месторасположения инженерных сетей (металлических и пластиковых труб, кабелей и других объектов коммунального хозяйства).

Обследование зданий и сооружений. Для этих задач используют высокочастотные антенны (2000 МГц). Высокая частота позволяет анализировать состояние арматурной решетки, пустоты в конструкциях, трещины.

Для георадаров характерна универсальность, позволяющая использовать данные прибора в геологии, транспортном строительстве, в мелиорации, в промышленном и гражданском строительстве, экологии, археологии, оборонной промышленности и т. д.

Георадарное оборудование и методы обследований, обработки и интерпретации радарограмм постоянно совершенствуются, на основе их информации можно назначать и выполнять эффективные работы по реконструкции и капитальным ремонтам гидротехнических сооружений водохозяйственных систем, мелиоративных систем, промышленном и гражданском строительстве [32].

## **8.2. Эксплуатационная диагностика мелиоративных систем**

Самым простым и в то же время экономически эффективным мероприятием по снижению затрат на эксплуатацию мелиоративных объектов является исключение из ремонта и реконструкции исправных элементов и своевременное восстановление неисправных.

На макроуровне (масштаб отдельных мелиоративных систем) вопрос обоснования восстановительных работ достаточно глубоко проработан в ТКП 45-3.04-176-2009 «Ремонт мелиоративных систем» и ТКП 45-3.04-177-2009 (02250) «Реконструкция осушительных систем. Правила проектирования» [33, 34].

На микроуровне (масштаб отдельных мелиоративных сооружений, особенно труднодоступных), если повреждения не носят явный открытый характер, принятие решений базируется либо на укрупненных нормативных сроках службы конструкций, либо на косвенных признаках, таких как переувлажнение участка, уменьшение дренажного стока, снижение производительности насосных станций и т. п.

В значительной степени общепринятый укрупненный и косвенный подход к оценке состояния труднодоступных сооружений на мелиоративной сети вызван отсутствием широкого распространения специализированного диагностического оборудования и технологий, позволяющих проводить эффективную диагностику с малыми затратами без разрушения исследуемых объектов.

Основной целью диагностики мелиоративных объектов является определение их действительного эксплуатационного состояния – способности обеспечивать нормальную эксплуатацию мелиорированных земель. Обычно при диагностике выявляют дефекты конструкций, отклонения от проекта и действующих в настоящее время норм и технических условий.

Диагностирование мелиоративных систем функционально подразделяется на:

- оценку технического состояния;
- оценку эксплуатационного состояния;
- обнаружение и определение места локализации неисправностей;
- прогнозирование остаточного ресурса;
- мониторинг технического состояния.

По сложившейся практике, техническое диагностирование проводится в процессе обследования мелиоративных систем в основном неразрушающими (адеструктивными) методами, информативность которых в отдельных случаях дополняется результатами разрушающих исследований: шурфованием, анализом образцов материала (кернов) обследуемых конструкций, вскрытием либо частичной разборкой сооружений.

Деструктивные методы исследования мелиоративных конструкций имеют долговременные последствия, особенно негативные при отсутствии необходимости ремонта объекта. Качественное восстановление закрытой дренажной линии после нарушения ее шурфом требует значительных материальных (муфты, переходники, ЗФМ) и временных затрат. Зачастую работы по восстановлению выполняются не в полном объеме. Бурение бетонных сооружений ослабляет их конструкцию. При этом сооружения продолжают эксплуатироваться в течение ряда лет.

Эксплуатационное диагностирование зачастую основано на косвенных признаках, таких как наличие вымочек, сроки отвода поверхностных вод, урожайность, возможность проезда сельскохозяйственной техники.

Техническую диагностику ГОСТ 20911-89 определяет как область знаний, охватывающую теорию, методы и средства оценки технического состояния объектов. В общем случае под техническим диагностированием понимается определение технического состояния объектов.

Применительно к мелиоративным системам:

Техническое диагностирование – мероприятия, направленные на определение технического состояния элементов мелиоративных систем, выявление имеющихся дефектов, повреждений.

Эксплуатационное диагностирование – мероприятия, направленные на определение эксплуатационного и (или) технического состояния элементов мелиоративных систем, выявление имеющихся дефектов, повреждений, причин их возникновения, пригодность к дальнейшей эксплуатации – способности обеспечить удовлетворительный водный режим.

Труднодоступные сооружения – сооружения, эксплуатационное диагностирование которых невозможно без частичной разборки, разрушения, затратных подготовительных мероприятий либо сопряжено с риском для жизни и здоровья из-за высоты, глубины, течения и т. п. К таким сооружениям относятся: дренажные коллекторы и подземные трубопроводы, подводные элементы шлюзов, мостов, дамб и плотин, негабаритные места насосных станций, шахтные водосбросы, сооружения высотой более 5 м и др.

Разрушающая диагностика – техническое и (или) эксплуатационное диагностирование, сопряженное с нарушением целостности обследуемого объекта, нарушающее его пригодность к применению.

Неразрушающая диагностика – техническое и (или) эксплуатационное диагностирование, не влияющее на работоспособность обследуемого объекта.

Виды диагностирования, проводимые непосредственно на мелиоративной системе, разделяются по поставленным задачам:

– техническое – проверка соответствия элементов объекта проектным параметрам, техническим требованиям. Например: соответствие глубины канала проектной, прочности бетона сооружения, несущей способности проезда, относительного сдвига нормативам и др.;

– эксплуатационное – определение соответствия параметров предельным значениям, допускающим эксплуатацию объекта. Например: прохождение контрольной головки по коллектору, наличие стока, физическая возможность закрытия задвижки, отсутствие горизонтальных трещин в сопрягающих сооружениях и др.;

– качественное – определение качественных и (или) количественных характеристик объекта. Например: процент заилиenia дренажной трубы, величина коллекторного стока, расход просачивающейся воды через закрытый шлюз, ширина и глубина трещин и др.;

– фиксирующее – получение данных для последующей камеральной обработки. Например: фото- и видеофиксация конструкций, георадарограммы, аэросъемка и т. п.

На техническое и качественное диагностирование распространяется терминология ГОСТ 16504-81 дата актуализации 01.01.2021 г. [21].

Техническое обслуживание мелиоративных систем представляет собой запланированный комплекс организационно-хозяйственных мероприятий и ремонтно-эксплуатационных работ по обеспечению работоспособности и сохранению проектных и технических параметров мелиоративных систем, находящихся в эксплуатации. Для принятия решения о проведении, видах и объеме обслуживания необходима достоверная информация о состоянии объекта, то есть предварительная диагностика (техническая и (или) эксплуатационная).

Основное отличие эксплуатационного диагностирования мелиоративных систем от технического заключается в соотношении определяемых параметров не с изначальными техническими параметрами (такими, как глубина канала, глубина заложения дрен, точные геометрические размеры конструкций и т. п.), а с возможностью обеспечить удовлетворительный водный режим на мелиорированном участке. Для проведения эффективного неразрушающего диагностирования мелиоративных систем в Институте мелиорации разработан ряд технологий и средств малой механизации, позволяющих оперативно и с малыми затратами определять техническое состояние сооружений, в том числе труднодоступных.

Для диагностики внутреннего состояния закрытых коллекторов и частичной очистки их от заилиenia в Институте мелиорации разработано устройство ОД-100 (рис. 8.3) [32] (патент ВУ 7219) с рядом диагностических и очистных головок. По данным исследований Н. Н. Погодина, В. А. Болбышко на мелиоративных системах, подлежащих реконструкции, выявлено 12 % трубопроводов, закупоренных корнями

растений, с недостаточной глубиной заложения, отдельные участки характеризуются полным заиливанием сечения. Степень заиливания 14 % коллекторов не превышает 15 % сечения, 54 % заилены менее чем на 35 % сечения и пригодны к малозатратной механической очистке при наличии дренажного стока, например, тем же устройством ОД-100 с применением специальных очистных головок.



Рис. 8.3. Внешний вид устройства ОД-100

Экономия от диагностирования мелиоративных коллекторов, только в результате исключения исправных и полностью выведенных из строя элементов из промывки, составляет порядка 26 %.

Применение современных радиоэлектронных поисковых устройств, например ПУ-2, разработанного Институтом мелиорации, или распространенного комплекта Traska позволяет оперативно и с высокой точностью определить место непроходимого затора. По данным В. П. Загржевского, обнаружение точного места неисправности подземного сооружения экономит до 10 и более куб. метров земляных работ и снижает количество поврежденных участков в несколько раз.

При отсутствии поискового оборудования, расположение непроходимого участка коллектора можно обнаружить относительно точно по счетчику выхода прутка, установленному на ОД-100.

Для визуального контроля внутреннего состояния закрытых коллекторов и трубопроводов разработан комплекс средств диагностики КСД - 160 (рис. 8.4). Опыт применения данного оборудования показал возможность получения достоверной информации о внутреннем состоянии трубопроводов, технически и экономически обоснованного выбора мероприятий по восстановлению его работоспособности.



Рис. 8.4. Комплект средств диагностики КСД-160

Так, на объекте «Ремонт водоподающего трубопровода ОАО «Рыбхоз Солы», в результате обследования трубопровода из труб РТНС диаметрами 500 и 300 мм, длиной 322 м, которое проводилось с применением КСД - 160, исключено строительство нового трубопровода и сопутствующей инфраструктуры. Вместо указанных мероприятий проведена успешная промывка заиленного трубопровода и тем самым сэкономлено более 80 тыс. рублей в ценах 2016 г. Для контроля труднодоступных частей гидротехнических сооружений, в том числе подводных, разработана модификация КСД - 160 У (рис. 8.5).

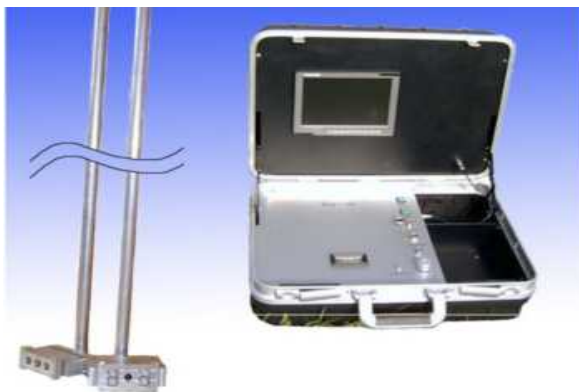


Рис. 8.5. Модификация комплекта средств диагностики КСД-160У

Диагностико-поисковое оборудование предназначено для обнаружения дефектов в элементах гидротехнических сооружений (ГТС) при оценке состояния их труднодоступных и подводных частей. КСД-160У позволяет проводить осмотр подводных частей ГТС с помощью видеокамеры на глубине до 4 м.

Например, диагностика труб-регуляторов и шлюзов включает контроль:

- состояния стыков железобетонных труб;
- наличия в теле железобетонной трубы трещин;
- выщелачивания железобетона и тела трубы;
- мест сопряжения входного и выходного оголовка с телом трубы;
- состояния элементов металлоконструкций и проч.

Диагностика насосных станций включает:

- обследование аванкамер на предмет заилиenia и засорения постоянными предметами;
- контроль за состоянием решеток;
- контроль за герметичностью затворов;
- контроль за элементами всасывающей части насоса и проч.

Например, обследование шахтного водосброса на р. Цепра позволило своевременно выявить частичное разрушение его свода и поставить сооружение на реконструкцию до аварийного разрушения.

Для экономии и рационального использования средств, выделяемых на эксплуатацию мелиоративных систем, необходима обязательная эксплуатационная диагностика сооружений, в том числе труднодоступных.

Разработанное устройство ОД-100 позволяет производить диагностику закрытых коллекторов и исключать из промывки до 26 % трубопроводов – исправных, заросших корнями и разрушенных.

Поисковые устройства позволяют уменьшить объем земляных работ до 10 м<sup>3</sup> на один шурф и количество поврежденных участков коллектора.

Разработанный комплекс КСД-160 позволяет проводить техническую диагностику трубопроводов, в том числе большого диаметра, и исключать из перекладки исправные участки.

Разработанный комплекс КСД-160У позволяет проводить диагностику подводных сооружений, шлюзов, шахтных водосбросов и исключать из ремонта исправные, а также своевременно обнаруживать критические неисправности.

### 8.3. Система телеинспекции трубопроводов

Система телеинспекции трубопроводов (аналог КСД-160) с кабелем 120 м, диаметром 9,5 мм в барабане, цветной камерой, клавиатурой и блоком управления, аккумулятором, кейсом позволяет в режиме реального времени обследовать внутреннюю поверхность трубопроводов различных назначений, оценить повреждения, локализовать место засора (рис. 8.6).



Рис. 8.6. Система телеинспекции трубопроводов

Телеинспекция – это обследование трубопроводов с помощью видеооборудования. Проталкиваемая в трубопроводе камера фиксирует все, что видит ее зоркий многомегапиксельный глаз. Картинка сразу же транслируется на экран – так в режиме реального времени в высоком разрешении видны все трещины, пробоины, наслоения на стенках, состояние дна трубопроводов, других закрытых полостей. Система телеинспекции – это лучший способ узнать, где проблемное место в трубопроводе. Она состоит из комплекса оборудования, главным из которых является видеорегистратор. С его помощью проходит телеинспекция трубопроводов без их вскрытия. Прибор опускается во внутреннюю полость канализационной трубы.

#### **Технические характеристики:**

- диаметр исследуемых труб – до 600 мм;
- длина исследуемых труб – 120 м;

- камера поворотная – диаметр 50 мм;
- управление – запись на SD, клавиатура, счетчик расстояния;
- передатчик – 512 Гц;
- длина прутка – 120 м;
- диаметр прутка – 9,5 мм;
- счетчик метража – есть;
- габариты/масса – 770×371×820 мм / 40 кг.

Проведение видеодиагностики трубопроводов различных назначений направлено на быстрое выявление слабых мест в трубах. Изучение состояния внутренних полостей труб, без их разбора, с помощью видеорегистратора позволяет выявить образовавшиеся дефекты. В дальнейшем совершается их устранение методиками с наружной стороны, либо применяя устройства для работы изнутри.

Телеинспекция трубопроводов может потребоваться в следующих случаях:

– при возникновении нужды в подключении к действующей системе канализации, дренажной линии. В этом случае использование системы теледиагностики понадобится для оценки состояния места планируемого подключения нового водостока;

– для локализации места повреждения и дальнейшего его ремонта в конкретном узле. Это приводит к снижению затрат на полную раскопку или выемку из общего стояка. Такие работы проводятся для раннего выявления износа стенок, который проявляется при плановом старении оборудования или в аварийных режимах. При образовании больших пробоев в канализационных трубах, могут возникнуть проблемы с просадкой грунта или заливанием стен по стояку, в зависимости от способа прокладки. Эти факторы несут существенный вред экологическому состоянию окружающей среды. Поэтому использование указанной аппаратуры является актуальным;

– диагностирование состояния канализационных труб. Процедура является нужной при работах устройств с использованием системы телеизмерений. Она направлена на выявление вероятных дефектов на ранней стадии формирования. Это позволяет значительно снизить расходы на проведение плановых работ. Не потребуются демонтировать изношенные участки канализации. Для устранения выявленных дефектов используются работы, которые укрепляют ослабшие участки;

– при образовании заторов в системе канализации частных и общественных зданиях. С оборудованием можно быстро определить место образования затора. Это позволит принять соответствующие меры по

восстановлению нормального прохода внутри канализации. С видеотелеинспекцией при плановых проверках, можно определить места вероятного образования наростов, которые могут привести к затору;

– для анализа состояния вновь смонтированных труб, подлежащих к сдаче в эксплуатацию. Процедура является обязательной к исполнению. В процессе приемки трубопроводов канализации, система телеинспекции способна определить проведенные монтажные работы. При необходимости устраняются выявленные дефекты. Как правило, все расходы ложатся на подрядную организацию, проводившую монтажные работы.

Для передачи изображения в системах видеодиагностики используются оптоволоконные кабели со значительной длиной, которые позволяют обследовать труднодоступные места. Специальные барабаны помогают осуществлять сматывание или разматывание кабеля. Практически любой монитор можно подключить к такому виду оборудования: от самого простого до моделей с высокой четкостью, которые имеют большое количество функций. Режим реального времени используют самые простые мониторы при трансляции картинки. Функцию записи имеют более сложные модели.

Система телеинспекции трубопроводов используется в учебном процессе для подготовки специалистов по специальностям 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство, 1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий, 1-74 80 02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель на дневной и заочной формах обучения [32].

#### **8.4. Перспективы использования дождевальных оросительных систем и оросительной техники**

Наиболее перспективным способом орошения сельскохозяйственных культур в зоне неустойчивого увлажнения является дождевание. На территории Беларуси оросительные дождевальные системы строились для увлажнения осушаемых земель (осушительно-оросительные системы) и для орошения суходолов, используемых под овощные и кормовые культуры. В состав элементов системы входят: насосная станция, напорные трубопроводы с запорно-регулирующей и предохранительной арматурой, колодцы опорожнения и смотровые, дождевальная техника [32].

Напорные трубопроводы бывают из металлических, асбестоцементных, полиэтиленовых труб. Металлические трубопроводы ороси-

тельных систем в процессе эксплуатации выходят из строя под воздействием коррозии, механических, температурных и других факторов. При недостаточной изоляции поверхности труб от коррозии срок службы их сокращается до 4...5 лет, а в отдельных случаях этот срок еще меньше. Обследованиями установлено, что 20...25 % трубопроводов выходят из строя из-за коррозии. К другим видам повреждений относятся гидравлические удары, температурные напряжения, к которым особенно чувствительны стальные сварные трубопроводы. В раструбных соединениях температурные напряжения не возникают, так как изменение длины труб компенсируется зазорами (5...9 мм) в стыках.

В чугунных трубопроводах со временем появляются трещины, свищи, каверны и разрывы. Деформации возникают также по причине некачественной чеканки, потери эластичности, при неправильном положении манжеты, в случае, когда не до конца вставлена труба в раструб и т. п. При появлении в трубах свищей размером до 25 мм это место рассверливают, нарезают резьбу и отверстие закрывают болтом с уплотнителем. Ремонт трубопровода с трещиной до 30 мм проводят путем высверливания отверстий диаметром 2...3 мм на концах ее с последующей постановкой резиновой уплотнительной накладки, которую прижимают к трубе стяжными хомутами. При появлении трещин по всей длине трубы ее заменяют новой. Замену проще осуществить стальной трубой. При монтаже стальной вставки выполняют следующие операции: отрывают траншею по всей длине трубы с запасом; чугунную деформированную трубу разбивают на середине; части трубы извлекают на поверхность земли; две части стальной трубы (с гладким концом и раструбом), которые в сумме короче заменяемой примерно на 1 м, монтируют в разрыв трубопровода; подготавливают недостающую часть (1 м) и монтируют в оставленный промежуток; осуществляют сварку стыков; выполняют заделку концевых стыков по общепринятой технологии.

Частыми деформациями чугунных напорных трубопроводов являются течи в стыках. Ликвидацию неисправности выполняют перечеканкой стыков с замоноличиванием их цементным раствором. В целях ускорения ремонта стыка можно применить стяжные муфты.

При строительстве оросительных систем применяют также асбестоцементные трубы. В их работе появляются такие дефекты, как разрывы, каверны, поломы, неправильное положение муфты на стыке, выпирание уплотнительных колец из муфты при повышении давления,

потеря эластичности и сплющивание резиновых колец, перекручивание уплотнительных колец при натягивании и образование винтообразных каналов, попадание колец в зазор между торцами труб и т. п.

Порыв трубопровода определяют по падению давления в системе или по появлению воды на поверхности над поврежденным местом. Для ремонта трубопровод отрывают экскаватором на всем протяжении деформации и неисправную трубу извлекают из траншеи. Готовят вставку из новой аналогичной асбестоцементной трубы. На концах соединяемых труб наносят метки, чтобы центр муфты после монтажа находился посередине стыка. Концы трубы очищают от грязи и смазывают мыльным раствором или графитно-глицериновой пастой (графит порошковый 45...50 %, глицерин 30 %, вода 20...25 %). Затем трубы центрируют и надвигают соединительные муфты до соответствующих меток. После этого делается присыпка мягким грунтом с послойной трамбовкой мощностью до 0,5 м, проводится испытание и полная засыпка траншеи.

На трубопроводах оросительной системы устанавливают различную арматуру, которая периодически нуждается в ремонте. В состав арматуры входят задвижки, вентузы, обратные клапаны, регуляторы давления. Все эти устройства необходимо периодически осматривать, очищать и смазывать, а неисправные элементы заменять на новые.

При эксплуатации закрытых оросительных трубопроводов (систем) можно выделить подготовительный, рабочий и нерабочий периоды. В подготовительный период проводят операции по восстановлению работоспособности сети после зимнего хранения, а также заполнения ее водой. Вначале тщательно осматривают трассы трубопроводов, запорно-регулирующую и предохранительную арматуру, гидранты, колодцы; очищают их от загрязнений и консервационной смазки; определяют места возможных повреждений (по просадкам, провалам) и проводят ремонт; настраивают работу запорной и защитной арматуры, готовят сеть к заполнению водой.

Заполнение системы водой проводят в дневное время. Для выпуска из трубопроводов скоплений воздуха открывают вентузы, а также гидранты в тупиках и на повышенных участках системы. Равномерное истечение воды из гидрантов свидетельствует об окончании заполнения.

Вначале заполняют главный трубопровод, после чего доводят давление до рабочего и проверяют герметичность задвижек. При выявлении неисправности заполнение прекращают и выполняют ремонт. По-

сле заполнения главного трубопровода проводят поочередное заполнение остальных трубопроводов с проверкой герметичности соединений арматуры.

В рабочий период основной задачей эксплуатации сети является проведение поливов в соответствии с планами водопользования, проведение технического обслуживания системы. Наиболее ответственным моментом является правильное отключение и включение в работу дождевальных машин во избежание опасных давлений гидравлического удара. Гашение удара осуществляется противоударными устройствами, а также замедленным открытием и закрытием запорной арматуры.

При техническом обслуживании своевременно выявляют места возможных аварий, обеспечивают бесперебойную работу сети в течение оросительного сезона. В конце сезона проводят промывку трубопроводов, детальное обследование сети под напором, составляют дефектную ведомость. В нерабочий период выполняют ремонт трубопроводов, покраску открытых частей труб, консервацию с покрытием антикоррозийной смазкой шпинделей задвижек, болтовых соединений и других частей имеющейся арматуры.

Дождевальная техника – это специальные машины и установки, с помощью которых оросительная вода под напором выбрасывается в воздух, дробится на капли, падает на растения и почву в виде дождя. Дождевальные машины представляют собой механизмы, оснащенные средствами для самостоятельного передвижения по орошаемой площади за счет энергии двигателя внутреннего сгорания, электромотора, энергии воды в напорном трубопроводе.

Самоходные дождевальные машины, снабженные насосно-силовым оборудованием для подачи воды и создания нужного напора, называют дождевальными агрегатами.

Дождевальная установка представляет собой дождевальное устройство, состоящее из легких разборных трубопроводов и разбрызгивающих воду приспособлений – насадок или аппаратов. Ее собирают (разбирают) вручную и перемещают на орошаемом участке вручную или при помощи средства механизации.

При дождевании обеспечивается возможность строго регулировать поливную норму, поддерживать более равномерный режим влажности в корнеобитаемом слое почвы. Лучшие условия для увлажнения почвы, сохранения ее структуры и для развития растений создаются, когда размер капель дождя не превышает 1...2 мм, а интенсивность для тя-

желых почв – 0,1...0,2 мм/мин, средних – 0,2...0,3 мм/мин, легких почв – 0,5...0,8 мм/мин. При таких условиях вода успевает впитываться в почву без образования луж на ее поверхности и возникновения стока.

В Республике Беларусь и близлежащих регионах получила распространение такая дождевальная техника, как ДМ «Фрегат», ДКШ «Волжанка», ДФ-120 «Днепр», ДДН-100, ДДН-70, КИ-50 «Радуга», ДШ-25/300 и др.

Дождевальные аппараты, установки и машины нуждаются в правильном техническом обслуживании и хранении. В основе эксплуатации техники лежит разработанная и апробированная система планово-предупредительного обслуживания и ремонта.

При эксплуатации дождевальной техники следует учитывать такую специфическую особенность, как работа в условиях повышенной влажности воздуха. Необходимо принимать действенные меры по предотвращению коррозии металлических узлов и элементов конструкций, защите деталей из резины от окисления и солнечной радиации.

Характерной особенностью эксплуатации дождевальной техники также является необходимость круглосуточного ее использования на протяжении всего оросительного сезона. Это существенно осложняет обслуживание и обуславливает повышенные требования к ее эксплуатационной надежности. Организуя поливы, необходимо знать, что качество дождевания зависит от скорости ветра. Так, для дальнеструйных дождевальных машин допустимая скорость ветра составляет 2...3 м/с, среднеструйных – 3...5, короткоструйных – 5...7 м/с.

Сравнительно малая мобильность дождевальной техники (особенно широкозахватных машин) из-за больших габаритов, значительная трудоемкость монтажных и демонтажных работ предопределили специфику хранения их непосредственно в поле.

При эксплуатации поливной техники следует руководствоваться общими правилами техники безопасности. При работе с двигателями внутреннего сгорания не допускается разжигание огня. Задвижку на гидрантах напорных трубопроводов и дождевальных машин нужно закрывать и открывать медленно во избежание гидравлических ударов. При монтаже, ремонте и демонтаже дождевальных машин («Фрегат», «Волжанка», «Днепр», ДДА-100М) нельзя работать под фермой и около опор, временно поставленных на домкраты, кирпичи, бревна. Во время движения машины цепные трансмиссии и вращающиеся де-

тали должны быть закрыты кожухом. При ночной работе объекты управления и дождевальная машина должны быть освещены. Не допускается работа поливальщика и монтажника без специнвентаря (плаща с капюшоном или накидки, резиновых сапог, шлема и куртки). При скорости ветра более 10 м/с полив следует прекратить, дождевальную машину дополнительно закрепить на месте. Оператор-машинист не должен находиться впереди движущейся машины, особенно в ночное время. Нельзя проводить дождевание в зоне, где возможно попадание дождя на линию электропередач. Для работы с электрооборудованием дождевальной машины, например «Днепр», оператор или ремонтный рабочий должен иметь соответствующий допуск, необходимое оборудование и специнвентарь, включая резиновые перчатки. Нельзя переключать реверс хода машины при рабочем движении двигателя. К обслуживанию дождевальной машины работник не допускается без тщательного изучения ее технического паспорта, инструкции по эксплуатации и правил техники безопасности. Каждый вид дождевальной техники из-за разнообразия конструкций и рабочих параметров, а также условий применимости требует специфических правил эксплуатации и хранения.

Анализ многолетнего ряда наблюдений за метеофакторами на рубеже столетий, выполненный в Республике Беларусь по 42 метеостанциям, выявил устойчивую тенденцию к росту дефицита водопотребления овощных культур и многолетних трав. Например, для овощных культур этот дефицит за последние три десятилетия увеличился на 280–300 м<sup>3</sup>/га. В вегетационный период атмосферные осадки распределяются крайне неравномерно, поэтому высокий и устойчивый уровень производства сельскохозяйственной продукции, особенно таких влаголюбивых культур как овощи и корма, может быть обеспечен только на основе развития орошения. В последнее время в Беларуси от засух особенно страдают посевы в Брестской и Гомельской областях. Потери урожая овощных культур от недостатка естественной влагообеспеченности в среднемноголетнем разрезе по южному региону составляют порядка 100–175 ц/га. В засушливые годы потери урожая могут достигать 60–65 %, то есть при средней урожайности овощных культур 400 ц/га, потери могут превышать 250 ц/га. Традиционный способ повышения влагообеспеченности растений в Беларуси — дождевание. Орошение сельскохозяйственных культур дождеванием — дело для нашей республики не новое. Например, в 1991 г. в Беларуси насчитывалось порядка 145 тыс. га орошаемых земель. В вопросах орошения был накоплен значительный научный и практический опыт. Однако в связи с завершени-

ем амортизации большинства оросительного оборудования и резким подорожанием энергоресурсов в конце XX – начале XXI века из эксплуатации было выведено более 100 тыс. га оросительных систем. Редкие хозяйства сохранили в действии дождевальные машины. Вместе с тем, понимание последствий роста засушливости климата постепенно возвращает интерес к орошению. В последние годы в Беларуси осуществлено обновление и модернизация материально-технической базы многих овощеводческих хозяйств. Идет реконструкция и новое строительство оросительных систем открытого грунта в ряде ведущих овощеводческих хозяйств. При реконструкции и восстановлении систем производят замену подземных трубопроводов, устройство аккумулирующих водоемов (а при их наличии на ранее построенных системах – ремонт, который может заключаться в углублении водоема, замене пленочного экрана), устройство артезианских скважин, водовыпусков, водозаборов, при необходимости устройство каналов, установку нового оборудования. В качестве дождевальной техники используются как широкозахватные машины, так и получившие большую популярность мобильные барабанно-шланговые дождевальные машины. В настоящее время в Беларуси на ОАО «Гомельский радиозавод» налажен выпуск отечественной дождевальной техники. Производят широкозахватные дождевальные машины МДК с длиной машин от 360 до 480 м и передвижные барабанно-шланговые дождевальные машины ПДМ с рабочей шириной захвата от 350 до 700 м. Прототипом дождевальной машины кругового действия МДК является американская машина «Reineke». МДК представляет собой составной трубопровод длиной несколько сотен метров, поднятый над землей на 2,5–3 м, что позволяет проезжать под ним сельскохозяйственной технике. Специальные дождеватели (спринклеры) свисают к земле на гибких шлангах по всей длине трубопровода (рис. 8.7).

Трубопровод закреплен на нескольких самоходных колесных тележках, приводимых в движение электродвигателями. Один конец трубопровода закреплен на неподвижной центральной опоре. При подаче на центральную опору электроэнергии и воды машина движется вокруг центральной опоры и поливает по кругу площадь, радиусом равным длине машины, обеспечивая при этом высокую равномерность орошения. ОАО «Гомельский радиозавод» выпускает также передвижные барабанно-шланговые дождевальные машины и комплекты водоводов, предназначенные для подачи воды от водисточника к дождевальным машинам.



Рис. 8.7. Широкозахватная дождевальная машина в работе в хозяйстве Гомельской области

Конструкция белорусских барабанно-шланговых машин нескольких типоразмеров разработана по аналогу немецкой дождевальной машины «MONSUN». Барабанно-шланговая дождевальная машина состоит из тележки с дождевальным аппаратом (дождевателем), соединенным через полиэтиленовый шланг с барабаном. Вода подается от насосной установки по напорному водоводу к барабану дождевальной машины и далее в наматываемый на барабан поливной трубопровод и подсоединенный к нему дождеватель (разбрызгиватель). При подаче воды в полиэтиленовый шланг, наматываемый на барабан, подсоединенная к нему тележка с дождевателем подтягивается к барабану, перемещаясь по полю и производя полив (рис. 8.8). Орошение шланговыми дождевальными машинами выполняется полосами.



Рис. 8.8. Передвижная барабанно-шланговая дождевальная машина в работе

За один проход тележка поливает участок поля, по длине равный метражу поливного полиэтиленового шланга, а по ширине – рабочему захвату дождевателя. После завершения прохода по одной полосе дождевальную машину перемещают с помощью трактора на следующую позицию. Агрегируются передвижные шланговые дождевальные машины с тракторами класса не ниже, чем 1,4 (МТЗ 80/82). Капитальные затраты в 1 га оросительных систем на базе шланговых дождевальных машин составляют около 2400 долл. США. В оросительные системы на базе широкозахватных дождевальных машин инвестиции составляют примерно 2000 – 3200 долл. США, снижаясь при увеличении орошаемой площади. В условиях Беларуси эффективным является орошение овощей, картофеля, ягодных культур и садов, т. е. культур, которые за счет полива имеют значительный прирост урожайности и повышение коммерческого качества продукции. Однако, орошение – мероприятие достаточно затратное, поэтому применять его рекомендуется прежде в агропредприятиях, достигших достаточного опыта в применении интенсивных агротехнологий и освоении рынка сбыта выращенной сельхозпродукции. В таблице дана укрупненная оценка экономической эффективности орошения овощей в Беларуси.

**Таблица 8.2. Оценка экономической эффективности орошения овощных культур в условиях Беларуси (в ценах октября 2018 г.)**

| Гидролого-климатическая зона Беларуси | Средненого-летняя прибавка урожая от орошения, ц/га | Годовой доход от прибавки урожая на орошаемой площади, у. е./га | Эксплуатационные затраты на поливы, доработку, транспортировку и хранение дополнительной продукции, у. е./га | Годовая прибыль от орошения, у. е./га |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Северная                              | 100                                                 | 1500                                                            | 163                                                                                                          | 1337                                  |
| Центральная                           | 125                                                 | 1875                                                            | 209                                                                                                          | 1666                                  |
| Южная                                 | 140                                                 | 2100                                                            | 235                                                                                                          | 1865                                  |

Как видим, применять орошение при выращивании овощной продукции в Беларуси достаточно выгодно. Капитальные затраты на строительство оросительных систем для овощных севооборотов имеют высокий шанс окупиться в первые два года эксплуатации. Конечно, для гарантированного получения прибыли в указанных размерах требуется грамотное обслуживание оросительного оборудования, строгое

соблюдение технологической дисциплины при орошении, а также гарантированный сбыт произведенной продукции.

По причине наблюдающейся тенденции повышения засушливости климата в Республике Беларусь возрастает актуальность орошения при возделывании овощных культур. Применение орошения обеспечивает прибавку урожая в среднем на 20–40 % и при существующих ценах на овощную продукцию является весьма выгодным мероприятием.

В Республике Беларусь налажено серийное производство широкозахватных и мобильных барабанно-шланговых дождевальных машин. Барабанно-шланговые машины перспективно применять на небольших площадях с овощными культурами в овощекормовых севооборотах (25–40 га), а также в фермерских хозяйствах. Для орошения крупных массивов овощных культур наиболее перспективными по причине более низких затрат труда при поливе являются широкозахватные дождевальные машины. Для гарантированного получения прибыли в орошаемом земледелии требуются высокий уровень агротехники, грамотное обслуживание оросительного оборудования, строгое соблюдение технологической дисциплины при орошении, а также обеспечение гарантированного сбыта потребителям произведенной сельскохозяйственными предприятиями растениеводческой продукции.

### **8.5. Оценка эксплуатационной надежности современной дождевальной техники**

Наметившаяся в последние два десятилетия тенденция засушливости теплых периодов и крайне неравномерное выпадение и распределение осадков приводят к объективной необходимости восполнения дефицита почвенной влаги практически для всех сельскохозяйственных культур, которые возделываются на автоморфных почвах различного механического состава. Основным мелиоративным мероприятием, восполняющим в течение вегетационного периода недостаток влаги для сельскохозяйственных культур, является орошение дождеванием. Во многих странах возрастает спрос на применение орошения для интенсификации производства различной растениеводческой продукции. С учетом актуальности этой проблемы в Республике Беларусь освоено серийное производство шланговых дождевальных машин УД-2500, которых выпущено более 60 экземпляров. Кроме того, некоторые хозяйства республики закупают импортную дождевальную технику. Вместе с тем до настоящего времени не выполнена оценка экс-

плуатационных характеристик современной дождевальной техники, ее применимости и надежности в условиях республики, что в определенной мере снижает обоснованность, а в конечном счете и экономическую эффективность орошения [32].

Данное обстоятельство и определило цель научного исследования – изучение эксплуатационных характеристик и надежности работы современной дождевальной техники, установленной на учебном научном центре «Опытные поля БГСХА». Результаты многочисленных научных и производственных исследований убедительно свидетельствуют о том, что орошение однолетних и многолетних трав, бобово-злаковых травосмесей, овощных и некоторых других сельскохозяйственных культур необходимо и экономически оправдано.

Вместе с тем ситуация, сложившаяся в области использования и развития оросительных систем в республике, не соответствует современным запросам участников сельскохозяйственного производства, на 1 января 2010 г. оросительные системы на площади 8,3 тыс. гектаров находятся в работоспособном состоянии, на площади 7,6 тыс. гектаров – нуждаются в реконструкции и восстановлении. Поскольку поливная техника и сооружения оросительных систем материалоемкие и дорогостоящие, восстанавливать и реконструировать их предлагается только в тех сельскохозяйственных организациях, где применение орошения не прерывалось в последние годы. Используемые ранее классификационные схемы технологии дождевания, дождевальная техника и ее технические характеристики подробно освещены в справочнике. Типовые нормы выработки и обслуживания на полив сельскохозяйственных культур, сенокосов и пастбищ дождевальными машинами и установками «Фрегат», «Волжанка», «Днепр», «Радуга», «Сигма», ДДА-100МА, ДДН-100, ДДН-70 также были разработаны ранее и приводятся в. На основе этих норм и с учетом особенностей дождевания в Беларуси специалистами БелНИИ МиВХ были разработаны технологические карты на полив дождевальными машинами и установками, с использованием которых во многих хозяйствах республики, и прежде всего в хозяйствах овощемолочной специализации, успешно осуществлялось орошение трав и овощных культур. Оросительные системы в Республике Беларусь были построены в основном в 1980–1990 гг. Поскольку срок службы поливной техники ограничен, то за последние пять лет площадь орошаемых земель сократилась более чем в два раза. На значительной площади орошаемых земель поливная техника снята с учета по причинам износа и истечения срока

амортизации поливного и насосно-силового оборудования, которое производится за пределами Республики Беларусь.

Поскольку развитие орошаемого земледелия в республике не регулируется, то сельхозпроизводители, заинтересованные в применении данного фактора интенсификации производства овощной и другой растениеводческой продукции, стали самостоятельно закупать и применять оросительную технику в основном немецкого и австрийского производства.

Вместе с тем до настоящего времени практический интерес к орошению сельскохозяйственных культур не подкреплён научно обоснованными рекомендациями по выбору техники для дождевания. Учитывая это, в рамках реализации Постановления бюро Президиума НАН РБ от 11 ноября 2009 г. № 615 для решения актуальных производственных проблем, связанных с орошением сельскохозяйственных культур, на УНЦ «Опытные поля БГСХА» Горецкого района изучалось применение современной дождевальной техники.

В процессе исследования применялись методы: абстрактно-логический, анализа и синтеза, аналитический, оценки надёжности машин и механизмов и другие. В основу научного поиска положены разработки отечественных и зарубежных ученых, опыт применения дождевальной техники, нормативная и справочная литература.

На учебном научном центре «Опытные поля БГСХА» в настоящее время применяются: дождевальные машины полива сельскохозяйственных культур: дождевальные машины барабанного типа (шланговые дождеватели) JRRILAND «Raptor» (Италия) и Bauer «Rainstar» T-61 (Австрия); дождевальные фронтальные машины Lindsay Greenfield (Mini-Pivot) (США), Lindsay-Eurone Omega S-1/2 05OM SIO «Zimmatik» (Франция), ДМУ-А-140-18 «Фрегат» (Россия).

Наличие на УНЦ «Опытные поля БГСХА» указанных типов дождевальных машин позволяет в натурных условиях исследовать их надёжность, технические и эксплуатационные характеристики, накопить информацию о работе и ремонтпригодности техники и выполнять сравнительные наблюдения за ее техническим состоянием.

При выполнении исследований использовались стандартные методы изучения эксплуатационных характеристик технических устройств. По каждой дождевальной машине установлено общее число сборочных единиц, предназначенное для монтажа и демонтажа при расконсервации и консервации. Определены габариты сборочных единиц и установлены требуемые площади и условия хранения после демонтажа.

Возможные отказы техники в процессе ее эксплуатации фиксировались в специальном журнале с указанием сборочной единицы, дефектной детали, материала ее изготовления, вариантов ее замены на исправную, затрат времени на устранение неисправности, стоимости ремонта, а также выявленные или вероятные причины возникновения неисправности. При установлении ремонтпригодности дождевальной техники изучалось наличие запасных частей и затраты на их доставку или изготовление в условиях республики, продолжительность устранения неисправности, вероятность повторения причин, вызвавших поломку. Оценка затрат энергии на выполнение 1 га полива выполнялась с учетом требуемого напора и расхода воды, ограничений по ее качеству и мощности насосно-силового оборудования.

В течение апреля проводилась работа по расконсервации дождевальных машин, установке дождевальных аппаратов и насадок, проверке отдельных узлов. В течение мая одновременно с проведением полевых работ продолжилась работа по полной комплектации машин, устранению отдельных мелких незначительных поломок, опробованию в действии отдельных узлов, выполнению комплекса работ по насосной станции, водозабору и проведению первых пробных поливов. При этом были получены данные по учету эксплуатационных характеристик дождевальных машин, учету поливов и затрат ресурсов на эксплуатационные мероприятия и проведение пробных поливов.

Не останавливаясь на конструктивных особенностях дождевальных машин, применяемых на УНЦ «Опытные поля БГСХА», отметим лишь характерные особенности, влияющие на их эксплуатационную надежность.

Так, при подготовке машины «Фрегат» к сезонной работе необходимо установить манометры, сливные клапаны, концевой дождеватель, краники, соединительные шланги. Следует отметить, что на концевом дождевателе установлен шаровой кран, который выполнен из цветного металла, непрактичный в эксплуатации, так как даже небольшая перегрузка при его монтаже приводит к поломке. В системе гидропривода самоходной опоры «Фрегат» имеются штуцера, изготовленные из пластмассы, которые разрушаются из-за перепадов температуры и особенно морозов. Поэтому их приходится заменять на металлические путем выполнения токарных работ.

Подготовка к работе шлангового дождевателя Bauer «Rainstar» T-61 заключается в проверке работоспособности электронного блока управления, установлении рабочего давления в шинах ходовой тележки и

осмотре дождевателя на предмет механического повреждения. При постановке этого дождевателя на хранение разматывается полностью весь шланговый барабан под уклон для слива воды со всего шланга. После опорожнения шланга от воды начинается сматывание шланга на барабан.

Подготовка к работе шлангового дождевателя JRRILAND «Raptor» заключается в следующем: производится снятие его с ручного домкрата, проверяется давление в шинах ходовой тележки, устанавливается фильтр. В конце поливного сезона дождеватель устанавливается на высотной отметке местности. В направлении уклона разматывается и укладывается шланг со всего барабана установки. Сливается вся вода из шланга и производится наматывание шланга на барабан. Смазываются валы шлангоукладывателя, а также все детали согласно схеме смазки на консервацию. Дождеватель устанавливается в склад на винтовые домкраты.

При расконсервации дождевательной машины «Zimmatik» проводится внешний осмотр и контроль давления воздуха в шинах на опорных тележках. В случае необходимости производится подкачка воздуха. С помощью автокрана устанавливается дизель-генератор. Проверяется его исправность и проводится техническое обслуживание. Устанавливается система управления. Подключаются все энергонесущие кабели, проводка. Крепятся электродвигатели (10 шт.) на опорных тележках и на центральной опоре и подключаются к электросистеме машины. Подсоединяются карданные валы с установкой мягких вставок. На центральной опоре выполняются работы по центрированию электродвигателей с редукторами ведущих колес в количестве 4 штук. При подготовке машины к работе на консольной трубе устанавливается концевой дождеватель и сливной клапан. По всей длине дождевательной машины устанавливаются дождеватели в количестве 93 штук. Проверяется правильность подсоединения электрических двигателей и всей электросистемы. Запускается дизель-генератор и производится пробный пуск машины в движении по фронту вперед и назад и по кругу. При этом в процессе эксплуатации особое внимание нужно обращать на мягкие вставки в карданных передачах. Поскольку они изготовлены из синтетических материалов, то в процессе работы могут расслаиваться и разрушаться. Из-за этого происходит разрушение их металлических крестовин. Часто это возникает неожиданно, так как перед запуском машины все соединения проверяются. Концевой дождеватель очень часто забивается механическими взвесями, подаваемыми насосной станцией с водой. Это приводит к необходимости уста-

новки фильтра на напорный трубопровод после насосной станции. При постановке на хранение машина устанавливается в зоне охраны. Производится демонтаж дождевателей (93 шт.) и концевой дождевателя. Снимается сливной клапан с консольной трубы. Демонтируются электродвигатели в количестве 10 шт., а также карданные валы с мягкими вставками (16 шт.). При помощи автокрана демонтируется дизель-генератор. Снимается система управления.

При подготовке к поливному сезону дождевальной машины «Mini-Pivot» от гидранта оросительной сети к центральной опоре подсоединяется водоподающий рукав. Устанавливается дизель-генератор и система управления. По всему трубопроводу укладывается электрокабель. Крепятся три электродвигателя на опорных тележках с установкой карданных валов и мягких вставок. На консольный трубопровод устанавливается концевой дождеватель. Крепятся 16 дождевателей, запускается дизель-генератор. Делается пробный пуск машины и наблюдается движение вперед, назад и по кругу. При эксплуатации машины необходимо вести постоянный контроль за гибкой вставкой, которая разрушается из-за расслоения и выкрашивания. Также наблюдается расслаивание под соединительный шланг. При консервации машины три тележки устанавливаются на деревянные стеллажи, демонтируются навесные дождеватели в количестве 16 шт. и концевой дождеватель. Снимаются электродвигатели в количестве 3 шт. и 6 карданных соединений с мягкими вставками. Отсоединяется от гидранта под соединительный шланг. Снимаются системы управления машиной и дистанционного управления. Затем снимаются электрический кабель и дизель-генератор.

Основные характеристики эксплуатируемой УНЦ «Опытные поля БГСХА» дождевальной техники приводятся в табл. 8.3.

Основные характеристики дождевальной техники, установленной на УНЦ «Опытные поля БГСХА».

Таблица 8.3. Общие характеристики дождевальной техники

| Дождевальное устройство | Расход, л/с | Напор, м | Длина, м | Площадь орошения, га | Число тележек | Число дождев | Страна  |
|-------------------------|-------------|----------|----------|----------------------|---------------|--------------|---------|
| Mini-Pivot              | 6,9         | 27       | 102      | 4,8                  | 33            | 16           | США     |
| Zimmatik                | 19,2        | 40       | 295      | 40–50                | 6             | 93           | Франция |
| Bauer                   | 5–15        | 40       | 350      | 30–40                | –             | 1            | Австрия |
| IRRILAND                | 7–11        | 40       | 350      | 30–40                | –             | 20           | Италия  |
| Фрегат                  | 18          | 40       | 140      | 8,5                  | 5             | 21           | Россия  |

В 2010 г. основной целью исследований являлось изучение эксплуатационных характеристик дождевальных машин, указанных в табл. 8.3. Для достижения этой цели контролировались следующие показатели: сборочные единицы и трудозатраты при расконсервации и приведении дождевальных машин в работоспособное состояние к началу оросительного периода, а также при консервации техники и подготовке к зимнему хранению; отказы техники, полученные в процессе ее эксплуатации; ремонтпригодность дождевальных машин.

В течение апреля 2010 г. непосредственные исполнители работ (3 специалиста) были ознакомлены со стандартной методикой проведения исследований, порядком заполнения разработанных форм и таблиц. При расконсервации дождевальных машин, установке дождевальных аппаратов и насадок и проверке отдельных узлов использовались действующие инструкции операторов дождевальных машин.

В течение мая 2010 г., одновременно с проведением полевых работ, продолжилась работа по полной комплектации машин, устранению отдельных поломок, опробированию в действии отдельных узлов, выполнению комплекса работ по насосной станции, водозабору и проведению пробных поливов. Орошение опытных полей и делянок проводилось в период с 1 по 21 июля 2010 г. дождевальными машинами «Zimmatik», JRRILAND «Raptor» и Bauer «Rainstar» T-61. Расконсервация любой дождевальной техники требует от эксплуатационного персонала хороших знаний и практической подготовки, качественного выполнения технических инструкций и технологических регламентов.

Наиболее сложных и трудоемких работ требует консервация (расконсервация) широкозахватных дождевальных машин «Zimmatik» и «Mini-Pivot». Несколько менее сложные, но также достаточно трудоемкие работы выполняются при консервации (расконсервации) широкозахватной дождевальной машины «Фрегат». Наименее трудоемких действий требует подготовка к поливу после зимнего хранения шланговых дождевальных машин Bauer «Rainstar» и JRRILAND «Raptor». Однако для зимнего хранения шланговых дождевальных машин требуются складские помещения, соответствующие их габаритам.

Отказы наблюдались у всех широкозахватных дождевальных машин («Zimmatik», «Mini-Pivot», «Фрегат»), но наибольшего времени для восстановления потребовали дождевальные машины кругового действия «Фрегат» и «Mini-Pivot», несколько меньше – дождевальная машина «Zimmatik».

Дождевальная машина «Zimmatik» дополнительно нуждается в тщательном устройстве копирной траншеи. У данной машины наблюдается также быстрое засорение микродождевателей, вследствие чего происходит ухудшение структуры искусственного дождя. Для восстановления требуемого качества дождя требуется прекратить полив и провести очистку микродождевателей.

При проведении полива широкозахватными дождевальными машинами требуется затрачивать время и энергию на холостые перемещения широкозахватных дождевальных машин («Mini-Pivot», «Zimmatik», «Фрегат»), создающих помехи при проведении сельскохозяйственных работ. Шланговые дождевальные машины (Bauer «Rainstar», JRRILAND «Raptor») не имеют указанного недостатка.

Изучаемые дождевальные машины УНЦ «Опытные поля БГСХА» ведут полив под действием напора воды, создаваемого в оросительной сети насосной станцией. Минимальный напор (2,7 МПа) и, соответственно, меньше энергии требуется для работы дождевальной машины кругового действия «Mini-Pivot». Однако данная машина для перемещения по орошаемой площади использует энергию, вырабатываемую дизель-генератором, и на одной позиции обслуживает небольшую площадь (4,8 га). Другая дождевальная техника для работы требует больше энергии, а соответственно и большего напора (в 1,5 раза, т. е. 4 МПа), но обслуживает в течение сезона площадь также больше (например, у «Фрегат» кругового действия площадь, обслуживаемая на одной позиции, составляет 8,5 га, т. е. в 1,77 раза больше, чем у «Mini-Pivot»).

Наибольшую площадь обслуживания имеют дождевальные машины Bauer «Rainstar», JRRILAND «Raptor» и «Zimmatik». Вместе с тем у машины «Zimmatik» наблюдается в течение работы больше отказов, она требует больших затрат времени на консервацию и расконсервацию. Кроме того, следует учесть, что дождевальная машина «Zimmatik» для перемещения по орошаемой площади также использует энергию, вырабатываемую входящим в комплектацию дизель-генератором.

Широкозахватные дождевальные машины «Zimmatik», «Mini-Pivot», «Фрегат» и подобные им по принципу действия требуют для проведения полива устройства стационарной напорной сети, что значительно удорожает стоимость оросительной системы. Шланговые дождевальные машины Bauer «Rainstar», JRRILAND «Raptor» и т. п. могут работать как со стационарными и передвижными насосными

станциями, так и с приводом от вала отбора мощности сельскохозяйственного трактора, что значительно упрощает их применение для полива с ежегодным изменением расположения на месте.

Таким образом, проведенные исследования показали, что барабано-шланговые дождевальные машины менее подвержены отказам и поломкам при расконсервации и монтаже съемного оборудования к началу оросительного периода, при выполнении орошения сельскохозяйственных культур, а также при консервации техники и ее постановке на зимнее хранение.

#### **8.6. Особенности эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений, расположенных на загрязненных радионуклидами землях**

Отношения, возникающие при проведении мелиоративных мероприятий на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, регулируются законами Республики Беларусь от 23 июля 2008 г. «О мелиорации земель» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2008 г., № 184, 2/1520) и от 26 мая 2012 года «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2012 г., № 63, 2/1937), законодательством о радиационной безопасности и настоящими Правилами.

Пользователи мелиоративных систем, организации по строительству и эксплуатации мелиоративных систем, имеющие в зоне своей деятельности загрязненные радионуклидами земли:

- оказывают услуги согласно плану внутрихозяйственного землеустройства пользователей мелиоративных систем, организаций по строительству и эксплуатации мелиоративных систем с данными об уровнях радиоактивного загрязнения почв;
- обеспечивают минимизацию перехода радионуклидов в продукцию растениеводства и лесного хозяйства до допустимых уровней;
- обеспечивают оптимальные уровни грунтовых вод (0,6–0,8 метра) в многолетних злаковых травах на мелкозалежных торфяниках;
- обеспечивают контроль за созданием благоприятного водного режима по данным измерений уровней воды в каналах и на полях;
- обеспечивают регулирование уровня грунтовых вод на основании разработок проектов мелиорации земель.

Пользователи мелиоративных систем и организации по строительству и эксплуатации мелиоративных систем в зависимости от уровня загрязнения земель, расположенных на мелиоративных системах, оказывают следующие услуги:

при плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  до  $40 \text{ Ки/км}^2$  ( $1480 \text{ кБк/м}^2$ ),  $^{90}\text{Sr}$  до  $3 \text{ Ки/км}^2$  ( $111 \text{ кБк/м}^2$ ) производят:

- окашивание берм и откосов каналов 2 раза за сезон, в июне–сентябре;

- очистку каналов от наносов и ила механизированным способом при минимальных уровнях воды в каналах;

- управление уровнями воды в каналах путем маневрирования затворами подпорных сооружений;

при плотности загрязнения мелиорированных земель  $^{137}\text{Cs}$  более  $40 \text{ Ки/км}^2$  ( $1480 \text{ кБк/м}^2$ ) или  $^{90}\text{Sr}$  более  $3 \text{ Ки/км}^2$  ( $111 \text{ кБк/м}^2$ ) для каждого объекта мелиорации земель разрабатывают индивидуальную технологию и схему оказания услуг.

Для предотвращения выноса радионуклидов за пределы объекта мелиорации земель и поступления на объект мелиорации земель с прилегающей территории устраиваются отстойники на каналах, оградительные сети, дамбы, валики, крепление воронок и торцов каналов, залужение откосов каналов и прибрежных полос [35].

## **9. ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

### **9.1. Анализ экологических опасностей создания и функционирования мелиоративных систем**

Важным моментом при проектировании и строительстве мелиоративных систем нового поколения становится выявление потенциальных экологических опасностей с целью обоснования необходимых экомелиоративных мероприятий, являющихся неотъемлемой частью мелиоративного проекта.

Отличительной особенностью воздействия гидромелиоративных систем (ГМС) на окружающую природную среду является практически полный охват всех компонентов ландшафта, включая социумы. Изменению подвергаются факторы, формирующие потоки вещества и энергии, так как именно потоки (преимущественно водный компонент) являются связующим звеном между компонентами ландшафта, биологическим и геологическим кругооборотами веществ. Изменения состояния компо-

нентов ландшафтов происходят постоянно и непрерывно, начиная с момента (периода) начала строительства ГМС до ее ликвидации и в постмелиоративный период. Характер и степень изменений компонентов ландшафтов обусловлены и связаны с определенными этапами жизнедеятельности ГМС, которые включают этапы:

- проектирования (нулевой);
- строительства и ввода в эксплуатацию;
- функционирования в проектном режиме эксплуатации;
- реконструкции (может повторяться);
- эксплуатации реконструированной ГМС (может повторяться);
- этап ликвидации ГМС и возможной рекультивации (ренатуризации) земель.

Этап проектирования является важнейшим для будущей ГМС. Но с позиций жизнедеятельности, пока ГМС живет только в «умах» специалистов и на различных носителях информации, ее влияние на изменение состояния компонентов природной среды нулевое или чрезвычайно малое и им можно пренебречь. Влияние оказывают только результаты изыскательских работ (скважины, шурфы, различные опытные полигоны и площадки).

Строительство и ввод в эксплуатацию ГМС является точкой отсчета изменения состояния природной и социальной среды под влиянием мелиоративной деятельности. Направленность, интенсивность и уровень изменения характеристик ландшафтов, происходящих на данном этапе, зависит от конструкции ГМС. По текущему состоянию ландшафтов на момент строительства выделяется два типа начальных условий:

- строительство мелиоративной системы осуществляется на залежных или целинных землях;
- строительство мелиоративной системы осуществляется на землях существующего земледелия, т. е. в пределах функционирующих агроландшафтов.

Для первого типа условий характерно, что в период строительства ГМС и вода их в эксплуатацию в наибольшей степени происходит перестройка естественных ландшафтных комплексов и сбалансированных природных процессов в антропогенные, т. е. происходит «коренное» их преобразование. В результате строительства ГМС и реализации агротехнологий на мелиорируемых землях создается новая организация территории, происходит переформирование мезо- и микро рельефа, создание искусственных форм рельефа (каналы, внутрисистем-

ные водохранилища, насыпи, выемки и др.), нарезка полей, планировка, распашка земель, приводящая часто к практически полной трансформации микрорельефа. Воздействие только этого этапа обуславливает переход ландшафтов из естественных или слабоизмененных в класс антропогенных. Из экологических факторов наибольшему изменению подвергается биологическая компонента ландшафтов.

Для второго типа начальных условий строительство ГМС осуществляется на существующих агроландшафтах (землях богарного земледелия). При этом трансформация природных и агроприродных процессов происходит с меньшей интенсивностью и более плавно. Наибольшей трансформации подвергается водный фактор (водопоступление – водоотведение), что сопровождается значительным изменением большого числа природных и природно-мелиоративных процессов (поверхностный сток, аккумуляция и впитывание воды, водный режим почвы, физико-химические процессы в почве, влаго- и солеперенос в зоне аэрации, режим грунтовых вод, подземный сток и др.). Весьма важной особенностью этапа строительства ГМС является его непродолжительность, а тип изменчивости воздействующих факторов носит скачкообразный характер.

Вторым этапом жизнедеятельности ГМС является период ее функционирования в проектном режиме (период эксплуатации). Данный этап характеризуется длительностью действия и постоянством влияния антропогенных факторов на ландшафтообразующие процессы. Характер и интенсивность изменений экологических условий ландшафтов определяется как в целом принятой системой земледелия, так и конструктивными особенностями мелиоративных систем. При этом если в целом система земледелия формирует общую антропогенную нагрузку на ландшафты, то конструктивные особенности систем определяют величину и характер мелиоративных воздействий на отдельные ландшафтообразующие факторы или компоненты ландшафта.

Для выполнения анализа воздействия ГМС на природные условия или взаимодействия ГМС и природной среды, а также масштабы изменений природно-мелиоративных процессов, используются следующие иерархические уровни: сублокальный; локальный; региональный и бассейновый (Л. В. Кирейчева, В. М. Яшин, 2010; В. М. Яшин, 2011).

На сублокальном уровне следует рассматривать процессы в системе «растение-почва – породы зона аэрации – грунтовые воды». В тер-

риториальном плане это сравнительно однородное поле, элементарный почвенный ареал или точка. На этом уровне предполагается однотипность почв и однородность условий на верхней и нижней границах почвенно-грунтовой толщи. Именно на этом уровне происходит изменение почвообразовательных процессов, факторов почвенного плодородия, инженерно-геологических свойств грунтов, режима грунтовых вод и др.

На локальном уровне процессы рассматриваются в пределах геоморфологических структур одного порядка. Формирование природно-мелиоративных процессов происходит под воздействием ГМС или их частей. Основными воздействующими факторами являются орошение, осушение, каналы, дренаж и специальные мелиоративные мероприятия, биоценозы. При анализе процессов необходимо учитывать латеральные потоки.

На региональном уровне процессы следует рассматривать в пределах гидрогеологических структур. Анализируется взаимодействие отдельных ГМС, их взаимовлияние и влияние на природные условия региона.

Бассейновый уровень предполагает анализ изменений природных процессов под влиянием всех ГМС, расположенных в пределах бассейнов рек.

Формирование экологических опасностей следует рассматривать как под влиянием конструктивных элементов ГМС, так и мелиоративных агротехнологий.

Водоисточниками для орошения являются водоемы (водохранилища, озера, пруды и др.), водотоки (реки, каналы), подземные и сточные воды. Воздействие гидромелиоративных систем на водоисточник осуществляется путем отбора части воды для нужд орошения и (или) обводнения. Забор воды из водного объекта в оросительную систему обуславливают следующие экологические опасности:

- уменьшение запасов воды в водоисточниках;
- снижение уровня воды в водоисточнике;
- ухудшение качества воды в водоисточнике за счет интенсификации притока подземных вод при понижении уровня поверхностных вод или притока подземных вод из других горизонтов при снижении уровней эксплуатируемого водоносного горизонта;
- ухудшение среды обитания водной и прибрежной флоры и фауны;
- попадание рыб в оросительную сеть;

- активация инженерно-геологических процессов в береговой зоне в районе водозабора или в целом по водоисточнику при значительных изменениях уровня;

- изменение условий гнездования водоплавающих птиц;

- при значительных понижениях уровня воды вероятность обнажения бывшего дна, покрытого загрязненными донными отложениями;

- сработка запасов и изменение качества подземных вод при использовании их в качестве водоисточника.

Масштабность изменений экологических условий под влиянием водозабора определяется количественными соотношениями водности водоисточника и объема водозабора. Отбор воды из водоисточника интенсифицирует гидрологические процессы (изменение гидрографа и качества воды), гидрогеологические процессы (условия формирования подземного стока в водоемы и водотоки, изменение качества и запасов подземных вод) и инженерно-геологические процессы (переработка берегов, оползни и др.). При значительных понижениях уровня воды в поверхностном водоисточнике (как базиса дренирования) гидроморфные условия почвообразования в прибрежной зоне могут изменяться на автоморфные или полу автоморфные, а обнажение бывшего дна – появлению источников вторичного загрязнения окружающей среды.

Оросительная сеть включает магистральные, межхозяйственные, внутрихозяйственные каналы, временные оросители, лотковую сеть, трубопроводы с соответствующими сооружениями. Основным показателем качества оросительной сети является коэффициент полезного действия, характеризующий долю воды, доставленную от водозабора до потребителя (поля). Воздействие оросительной сети на экологические условия ландшафтов осуществляется путем изменения состояния рельефа территории в зависимости от конструкции сети и дополнительного поступления воды по каналам или трубопроводам (линейным источникам). При наличии водохранилищ внутрисистемного регулирования они оказывают локальное сосредоточенное воздействие на природную среду. Воздействие оросительной сети на природные условия в целом следует рассматривать на бассейновом и (или) региональном уровнях. К детальному анализу влияния отдельных элементов оросительной сети или их частей на компоненты ландшафтов необходимо подходить с позиций локального уровня.

Строительство и эксплуатация оросительной сети вызывают следующие изменения экологических условий ландшафтов:

- изменения состояния мезо- и микрорельефа поверхности, приводящие к образованию пониженных форм, в которых аккумулируются атмосферные осадки и поверхностный сток, положительные формы формируют барьеры на путях поверхностного стока;

- формирование вдоль каналов зон повышенной увлажненности, обуславливающих переувлажнение, заболачивание и (или) вторичное засоление почв, подтопление объектов гражданского и промышленного назначения;

- изменение химического состава и загрязнение грунтовых вод;

- изменение состава биocenозов и, как правило, смена растительных сообществ в приканальной зоне на влаголюбивые виды, а на вторично засоленных почвах – на солеустойчивые.

Роль каналов и внутрисистемных водохранилищ в изменениях условий для человека и животного мира территорий следует рассматривать двояко – с одной стороны они привлекательны как зоны рекреации для населения и места временного или постоянного обитания водоплавающих птиц и источником водопоя для диких животных, а с другой являются препятствием или преградой на путях естественной миграции диких животных.

При эксплуатации ГМС основным фактором, определяющим степень и характер изменений экологических условий ландшафтов в зоне каналов и внутрисистемных водохранилищ, являются дополнительная увлажненность приземного слоя воздуха, почв и пород зоны аэрации, увеличение инфильтрационного питания грунтовых вод, фильтрационные потери из каналов и водохранилищ, аккумуляция и последующая инфильтрация атмосферных осадков и поверхностного стока в приканальных зонах.

Увеличение питания грунтовых вод приводит, как правило, к подъему их уровня от 0,2–0,3 м до 1–1,5 м за сезон (Кац Д. М., 1976; Яшин В. М., 1998). Наблюдения на орошаемых землях показывают, что в приканальных зонах постоянно или регулярно действующих каналов оросительных систем происходит ухудшение экологических условий из-за ежегодного подъема грунтовых вод. Здесь интенсивно развиваются процессы подтопления земель, заболачивания и вторичного засоления почв, происходит деградация почв. Эти участки в пределах ГМС следует считать зонами эколого-мелиоративной напряженности.

Фильтрационные потери из оросительной сети играют значительную роль в питании грунтовых вод. В аридных условиях фильтраци-

онные потери из каналов и с орошаемых полей могут составлять до 7085 % от приходной части баланса грунтовых вод (Кац Д. М., 1976). Например, в орошаемых районах юга Украины пополнение грунтовых вод за счет фильтрационных потерь из внутривозделной сети составляло 39 % от общей величины ирригационного питания (Баер Р. А., Грыза А. А. и др., 1978). По результатам исследований в Сыртовом Заволжье питание грунтовых вод за счет потерь из временных оросителей достигало 20–60 м<sup>3</sup>/га за сезон, а инфильтрация на полях до 90–120 м<sup>3</sup>/га (Кузник И. А., Нестеренко Ю. М., 1972). Абсолютные значения питания грунтовых вод за счет потерь из временной сети сравнительно невелики, но в общей величине ирригационного питания достигают 30–35 %. В Прикаспийской низменности (Волгоградское Заволжье) величина фильтрационных потерь из временных оросителей при орошении агрегатами ДДА-100 М составляла 1250–1350 м<sup>3</sup>/га за сезон, или 25 % от оросительной нормы и до 70 % от общей величины инфильтрационного питания грунтовых вод (Яшин В. М., 1979; Яшин В. М., 1998). Фильтрационные потери из открытой оросительной сети при орошении дождеванием имеют доминирующее значение в питании грунтовых вод.

Орошение. Дополнительная подача оросительной воды на мелируемые агроландшафты приводит к увеличению водности территории, что существенно нарушает сбалансированный в естественных условиях водный режим. Это приводит к переформированию гидрологических, почвенных, гидрогеологических и других процессов, к изменению биогеохимической обстановки в целом.

Вода, являясь одним из наиболее подвижных компонентов природной среды, служит носителем и транспортным средством, перераспределяющим во времени и в пространстве результаты воздействия мелиоративных агротехнологий (орошаемого земледелия). Если воздействие мелиорации ограничивается местом непосредственной реализации технологических мероприятий (сублокальный и локальный уровни), то изменения гидросферы, сопровождаемые вторичными почвенными и другими процессами, могут распространяться на региональный и (или) бассейновый уровни. Поверхностные и грунтовые (подземные) воды, изменив свое состояние непосредственно на месте локализации мелиорации (изменение уровня и напоров, увеличение минерализации, загрязнение и др.) переносят влияние и по потоку, вызывая развитие неблагоприятных инженерно-геологических процессов (затопление территории, подтопление, активизация оползневых процессов, ухуд-

шение прочностных свойств грунта и др.) и таким образом оказывают влияние на функционирование ландшафтов в пределах значительных территорий.

Следует отметить, что именно увеличение инфильтрационного питания грунтовых вод в условиях орошения инициирует развитие большинства природно-мелиоративных процессов, приводящих к неблагоприятным экологическим последствиям, основными из которых является подъем грунтовых вод и уменьшение мощности зоны аэрации, что приводит к снижению ассимиляционной емкости ландшафтов (Яшин В. М., 1998).

Водосборная и сбросная сети служат для отвода избытков или технических сбросов воды. Воздействие сбросной сети на ландшафты аналогично влиянию оросительной, однако может осложняться сбросом вод неудовлетворительного качества в водоприемник. Самыми неблагоприятными в экологическом аспекте свойствами обладают сбросные воды с рисовых систем.

Водосбросная сеть оказывает влияние на:

- условия формирования поверхностного стока с ГМС, а также перераспределение его внутри системы;
- величину ирригационного питания грунтовых вод и изменение их качества;
- подтопление нижерасположенных земель; изменение качества воды в водоприемниках.

Осушительная или коллекторно-дренажная система оказывает воздействие на природные условия ландшафтов путем отбора части потока грунтовых вод (в ряде случаев – напорных), снижения (или поддержание на определенной глубине) их уровня и переводе его в поверхностный сток (сброс в водоприемник, орошение) или использование на хозяйственные нужды. В результате строительства и эксплуатации систем дренажа их влияние на компоненты ландшафтов выражаются:

- в изменении поверхности сельхозугодий;
- в изменении состояния грунтовых вод на орошаемых и прилегающих к ГМС землях (понижение, интенсификация потоков, изменение качества и др.);
- в интенсификации влагооборота и связанных с ним процессов массопереноса веществ в биологическом круговороте и их поступление в геологический круговорот;
- в увеличении объема вод поверхностного стока за пределами ГМС и изменение их качества.

Наиболее глубокое воздействие на подземные воды оказывают вертикальный и комбинированный дренажи. Здесь наряду со снижением уровня грунтовых вод существует опасность вовлечения в активный оборот минерализованных вод смежных водоносных горизонтов и запасов солей в зоне аэрации. При наличии открытой проводящей сети (коллекторы), проходящей за пределами ГМС, влияние ее на элементы ландшафтов аналогично влиянию линейных источников и стоков – при малой глубине грунтовых вод происходит их дренирование, т. е. понижение их уровня, а при большой глубине имеет место питание грунтовых вод и подъем их уровня. Воздействие открытых коллекторов на биологические компоненты ландшафта аналогично влиянию каналов. В тоже время создание искусственных водных объектов может оказывать положительную роль в ландшафтах степей и полупустынь.

Строительство и функционирование осушительной или системы двойного регулирования на переувлажненных или заболоченных землях в существенной мере изменяет сложившиеся естественные режимы функционирования ландшафтов.

Осушительные системы оказывают влияние на изменения природных условий непосредственно на объекте мелиорации – это удаление избыточной влаги и оказывает косвенное воздействие, в том числе, и на прилегающие земли (Маслов Б. С., Минаев И. В., 1985). Опыт эксплуатации осушительных систем позволяет выделить следующие экологические опасности, возникающие в результате их строительства и эксплуатации:

- изменение теплового режима осушаемых почв;
- осадка и сработка торфа;
- минерализация торфяных почв;
- ветровая эрозия;
- снижение расходов и ухудшение качества вод речного стока;
- ухудшение условий местообитания животного мира на осушаемых и прилегающих землях;
- смена растительных сообществ на осушаемых и прилегающих землях;
- усиление пожароопасности торфяников.

Многочисленный опыт эксплуатации ГМС показывает, что особую опасность для экологической ситуации регионов или речных бассейнов в целом представляют сбрасываемые за пределы ГМС коллекторно-дренажные воды. Они являются фактически отходами ГМС. Как правило, коллекторно-дренажные воды характеризуются повышенной

минерализацией и наличием токсичных ингредиентов (Кирейчева Л. В., 1999).

Водоприемник. Последним крупным звеном технологической цепочки ГМС является водоприемник. Анализ изменений экологических условий, формирующихся под влиянием водоприемников, отводимых с ГМС вод, следует выполнять с двух позиций – изменения, происходящие в водоприемнике и анализ влияния водоприемника на экологические условия ландшафтов. Водоприемниками отводимых с ГМС вод могут быть поверхностные водоемы (моря, озера, водохранилища), водотоки (реки, каналы, ручьи и др.), понижения земной поверхности, а также свободная емкость зоны аэрации и водовмещающие породы.

Изменения экологических условий водоприемников осуществляются за счет поступления дополнительного объема сбросных и коллекторно-дренажных вод. Если в качестве водоприемников используются существующие водоемы, то изменения экологических условий территории обуславливают следующие последствия:

- ухудшение качества воды в водоеме. В зависимости от объемов вод, поступающих с ГМС, воздействие может носить локальный или бассейновый характер;
- подъем уровня воды в водоеме, сопровождающийся в ряде случаев ростом площади его зеркала;
- интенсификация инженерно-геологических процессов на прилегающих территориях;
- изменение условий проживания человека и обитания водной и прибрежной флоры и фауны.

При использовании в качестве водоприемников водотоков изменения экологических условий проявляются обычно в ухудшении качества вод поверхностного стока и соответственно условий проживания человека и обитания водной флоры и фауны. Изменения носят локальный, региональный или бассейновый характер. При значительных колебаниях уровня воды в водотоке могут интенсифицироваться гидрогеологические (питание и разгрузка грунтовых вод) и инженерно-геологические процессы в береговой зоне. В случае обустройства водоприемников в имеющихся понижениях земной поверхности или при строительстве специальных емкостей для аккумуляции в них сбрасываемых вод происходят кардинальные изменения экологических условий ландшафтов. Они включают в себя:

- затопление некоторой части территории, т. е. превращение ее из суши в водоем;

- изменение в целом водного режима территории и геохимической обстановки;
- возникновение инженерно-геологических процессов (подтопление, заболачивание, просадки и т. д.) на прилегающих территориях;
- переформирование типов режима грунтовых вод (увеличение питания, изменение химического состава, загрязнение);
- полная смена биоценозов в районе водоприемника;
- изменение условий проживания человека и обитания животного мира.

На практике существует множество примеров, когда превращение понижений рельефа в водоприемники сбрасываемых с ГМС вод изменяет коренным образом географическую обстановку в целом. Использование в качестве водоприемников водовмещающих пород (закачивание в глубокие водоносные горизонты) или водоёмких пород зоны аэрации может привести к следующим последствиям:

- ухудшение качества грунтовых вод и вод более глубоких горизонтов;
- интенсификация подземного стока и возможного подъёма уровня грунтовых вод;
- ухудшение инженерно-геологических условий ниже расположенных земель (развитие оползней, подтопление, заболачивание, вторичное засоление почв и т. д.).

Многочисленными исследованиями функционирования мелиоративных систем в различных регионах установлено, что вопреки тому, что цели мелиорации включают сохранение и увеличение плодородия почв, опыт эксплуатации мелиоративных систем показывает, что воздействие указанных выше факторов на природную среду может привести и часто приводит к снижению экологической устойчивости агроландшафтов и развитию негативных экологических последствий.

## **9.2. Критерии по оценке состояния мелиорированных земель и мероприятия по улучшению водного режима**

Обеспечение благоприятного водного режима на мелиорированных землях требует постоянного контроля за их состоянием. Контроль необходим для выявления участков с неблагоприятным водным режимом, оценки технического состояния отдельных элементов мелиоративной системы, разработки ремонтно-эксплуатационных и агро-мелиоративных мероприятий по обеспечению улучшения водного режима и продуктивности мелиорированных земель. Выбор необходимого вида или комплекса ремонтно-эксплуатационных или агро-мелиоративных

мероприятий проводится на основании агрогидрологических и гидрологических оценок и критериев, к которым относятся: площадь вымочек и переувлажнений; задержка агротехнических сроков проведения полевых работ; продолжительность отвода поверхностных вод; интенсивность удаления гравитационной воды из пахотного слоя; глубина залегания уровня грунтовых вод в разные периоды. Одним из основных показателей состояния мелиорированных земель является доля вымочек и переувлажнений от общей площади поля (табл. 9.1) [32].

Таблица 9.1. Оценка состояния мелиорированных земель по отношению площади вымочек и переувлажнений к общей площади, %

| Характеристика года | Месячная сумма осадков, % от нормы | Состояние мелиорированных земель                      |                                 |                      |
|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
|                     |                                    | хорошее                                               | удовлетворительное              | неудовлетворительное |
|                     |                                    | Процент вымочек и переувлажнений от общей площади, га |                                 |                      |
| Маловодный          | 30–70                              | $\frac{0}{0}$                                         | $\frac{< 1}{< 5}$               | $\frac{< 1}{< 5}$    |
| Средний             | 70–130                             | $\frac{0}{< 5}$                                       | $\frac{< 3}{5 \dots 10}$        | $\frac{> 3}{> 10}$   |
| Многоводный         | 130–200                            | $\frac{< 1}{< 10}$                                    | $\frac{1 \dots 5}{10 \dots 15}$ | $\frac{> 5}{> 15}$   |

Примечание. В числителе – доля вымочек, в знаменателе – доля переувлажненных земель с угнетенным состоянием сельскохозяйственных культур.

Обследование на наличие вымочек и площадей переувлажнения проводится в периоды: весной – от появления проталин до подсыхания почвы, летом – во время выпадения обильных осадков, осенью – уборки урожая. Границы контуров с избыточным увлажнением устанавливаются визуально по наличию внешних признаков и фиксируются путем нанесения их границ на схему участка. В площади переувлажнений включаются все контуры, в которых наблюдается угнетенное состояние сельскохозяйственных культур, а в площади вымочек – контуры, в которых отмечается полная гибель растений. Основные причины вымочек и переувлажнений обусловлены неисправностью закрытой дренажной сети, высоким уровнем воды в регулирующих и проводящих каналах, наличием замкнутых бессточных понижений, переуплотнением подпахотного слоя почвы. При неудовлетворительном водном режиме следует наметить для каждого конкретного участка ремонтно-эксплуатационные или агромелиоративные мероприятия,

обеспечивающие удаление поверхностных вод и избытка почвенной влаги. К ним относятся: очистка устьевой части коллекторов от заиления; ремонт или восстановление устьев; очистка, промывка или ремонт коллекторов; устройство водопоглотителей, ложбин; нарезка борозд; устройство воронок; планировка поверхности, эксплуатационное рыхление, а при подпоре от открытой сети – очистка каналов от заиления. В предпосевной период уровни грунтовых вод (УГВ) должны обеспечивать проходимость сельскохозяйственной техники при проведении полевых работ. Согласно ТКП, минимальная глубина в зависимости от вида почвы и севооборота должна составлять 0,3–0,5 м. Кроме этого, для качественного и своевременного проведения агротехнических работ в вегетационный период УГВ должны соответствовать нормам осушения.

Для качественного и своевременного проведения агротехнических работ в вегетационный период уровни грунтовых вод должны соответствовать нормам осушения. На мелиоративных системах с предупредительным шлюзованием после снижения УГВ до нормы осушения, для замедления их дальнейшего падения, следует закрыть затворы подпорных сооружений. Открывать их рекомендуется только в экстремальных метеорологических условиях, при выпадении обильных осадков. Состояние мелиорированных земель определяется также по срокам отвода избыточных вод, образуемых продолжительно выпадающими осадками в вегетационный период. В табл. 9.2 представлены критерии оценки мелиоративного состояния осушенных земель по срокам отвода поверхностных и гравитационных вод.

**Таблица 9.2. Оценка мелиоративного состояния земель, осушенных закрытым дренажем, в зависимости от сроков отвода поверхностных и гравитационных вод (из пахотного слоя до 0,25 м) и вегетационный период**

| Сельскохозяйственное использование мелиорируемых земель | Состояние мелиорированных земель                               |                               |                       |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
|                                                         | хорошее                                                        | удовлетворительное            | неудовлетворительное  |
|                                                         | Сроки отвода избыточных вод: поверхностных/гравитационных, сут |                               |                       |
| Полевые севообороты с озимыми                           | $\frac{< 0,5}{< 1,0}$                                          | $\frac{0,5 - 1}{1,0 - 1,5}$   | $\frac{> 1,0}{> 1,5}$ |
| Полевые без озимых, кормовые, овощные севообороты       | $\frac{< 0,8}{< 1,5}$                                          | $\frac{0,8 - 1,5}{1,5 - 2,5}$ | $\frac{> 1,5}{> 2,5}$ |
| Сенокосы                                                | $\frac{< 1,5}{< 3}$                                            | $\frac{1,5 - 2,5}{3 - 5}$     | $\frac{> 2,5}{> 5}$   |

При переувлажнении мелиорированных земель (срок отвода поверхностных и гравитационных вод превышает нормативный) следует предусматривать агромелиоративные и ремонтно-эксплуатационные мероприятия: планировку поверхности; профилирование; устройство ложбин, колодцев и колонок-поглотителей; очистку, а при необходимости – ремонт и сгущение закрытого дренажа. К приемам, ускоряющим отвод избыточной влаги в дренажную сеть по подпахотному слою и повышающим влагоемкость почвенного профиля, относятся: глубокое рыхление, эксплуатационное (среднее) рыхление, щелевание, кротование и создание мощного пахотного слоя. При выборе мероприятий необходимо иметь в виду, что их эффективность зависит от работоспособности осушительной сети. Так, проведение рыхления на фоне неудовлетворительно работающего закрытого дренажа может привести к увеличению продолжительности переувлажнения почвы. Одной из причин, препятствующих переводу поверхностного стока во внутрипочвенный и дренажный, является повышенная плотность подпахотного горизонта, т. н. «плужная подошва», которая образуется от воздействия тяжелых сельскохозяйственных агрегатов и транспортных средств на почву при возделывании сельскохозяйственных культур. Переуплотнению подвержены, в первую очередь, глинистые, суглинистые, а также связносупесчаные почвы, продолжительное время находящиеся в сельскохозяйственном использовании. Переуплотнение выражается в повышении плотности и твердости, уменьшении водои воздухопроницаемости, а также снижении осушительного действия дренажа и плодородия почвы. При выполнении агротехнических мероприятий на данных почвах повышается расход горюче-смазочных материалов и ускоряется износ машин и механизмов. Эффективным способом разрушения плужной подошвы является эксплуатационное рыхление почвы на глубину до 0,5 м. В зависимости от применяемого оборудования эксплуатационное рыхление можно разделить на почвоуглубление, чизелевание и рыхлениещелевание. Условия применения эксплуатационного рыхления с использованием разработанных в РУП «Институт мелиорации» рыхлителя плужной подошвы РПП-20 и рыхлительного оборудования РКЛ-50 приведены на рис. 9.1. Эксплуатационное рыхление не рекомендуется проводить на землях грунтового и грундово-напорного водного питания, неосушенных землях избыточного увлажнения, вторично заболоченных, при неудовлетворительном состоянии закрытой осушительной сети, а также при наличии каменных включений объемом более 0,5 % от объема почвы и содер-

жащих отдельные крупные камни с максимальным размером более 0,2 м. Нецелесообразно также проведение рыхления и щелевания в замкнутых понижениях и у подножия склонов в местах скопления поверхностных вод. Почвоуглубление относится к агротехническим мероприятиям и представляет собой обычную вспашку с оборотом пласта и рыхление нижележащего слоя почвоуглубителями. Оно целесообразно, главным образом, при вторичном переуплотнении подпахотного слоя мощностью до 20 см. Применяется также в тех случаях, когда ниже переуплотненного профиля залегает слой с неблагоприятными характеристиками (неплодородной подпочвой, неудовлетворительным химизмом подпочвы), вызывающими опасение в ухудшении свойств пахотного слоя при вспашке с перемешиванием с долей непригодной подпочвы. В таком случае целесообразно увязать почвоуглубление с интенсивным внесением органических и минеральных удобрений, а в случае необходимости – с известкованием и включением в севооборот культур с глубоко укореняющейся корневой системой (клевера, люцерны и т. д.). Чизелевание – безотвальная сплошная обработка почвы чизельными орудиями с рыхлительными или стрельчатыми лапами, установленными на раме орудия, с обработкой пласта по ширине захвата и образованием неразрушенных гребней над дном борозды и разрыхленного слоя почвы над гребнями. Чизелевание занимает промежуточное положение между агротехническими и агромелиоративными мероприятиями и направлено на улучшение структуры подпахотного горизонта. Его применение целесообразно при наличии переуплотнения до глубины 0,45 м. Рыхление-щелевание – прием разуплотнения, когда разрыхленные призмы почвы в верхней зоне не пересекаются, т. е. происходит не сплошное рыхление, а в виде отдельных полос. Расстояние между стойками рыхлителей в зависимости от класса трактора и категории почвы обычно составляет 0,7–1,2 м. Рыхление-щелевание является агромелиоративным приемом для улучшения водно-физических свойств слабофильтрующих переуплотненных минеральных почв и мелкозалежных торфяников, повышения плодородия лугопастбищных угодий, защиты почв от водной эрозии, а также для влагонакопления и повышения плодородия склоновых земель.

Для выполнения почвоуглубления разработан рыхлитель плужной подошвы РПП-20 [32], который представляет собой сменное рабочее оборудование к противокаменистым плугам общего назначения ПГП (рис. 9.2).



Рис. 9.1. Рыхлители плужной подошвы РПП-20 на плуге ППП-7-40 в агрегате с трактором К-701

Он позволяет в едином технологическом процессе со вспашкой производить также и разуплотнение плужной подошвы на глубину до 20 см ниже уровня дна борозды. Рыхлители плужной подошвы РПП-20 монтируются за отвалами на грядили корпусов плуга по одному на корпус. Для рыхления-щелевания почв среднего и тяжелого гранулометрического состава на глубину до 0,5 м разработано рыхлительное оборудование РКЛ-50. Это сменное рабочее оборудование к плугам общего назначения (типа ППП) с гидравлической защитой, агрегируемых с тракторами класса тяги до 50 кН (рис. 9.1). Корпуса плуга с рамы снимаются и вместо них, в зависимости от марки плуга и категории почвы, через 0,7...1,2 м устанавливается оборудование РКЛ-50. При щелевании луговых угодий на оборудование устанавливается дисковый нож и прикатывающий каток. Данным агрегатом можно выполнять и сплошное рыхление почвы. Для этого оборудование РКЛ-50 устанавливается на каждое крепление снятых корпусов плуга. Наблюдение за плотностью временно переувлажняемой связносупесчаной почвы (СПК «Полочаны» Молодеченского р-на) показало, что в процессе воздействия сельскохозяйственной техники происходит уплотнение подпахотного слоя. Так, средняя плотность почвы на глубине 0,2...0,4 м на третий год возделывания сельскохозяйственных культур увеличилась на 0,05 г/см<sup>3</sup>. Разуплотнение почвы с применением рыхлителя РПП-20 обеспечивало снижение плотности по сравнению с контролем на протяжении трех лет в пределах 0,08...0,06 г/см<sup>3</sup> (табл. 9.3). На рис. 9.2 рыхлители плужной подошвы РПП-20 на плуге ППП-7-40 в агрегате с трактором.



Рис. 9.2. Рыхлительное оборудование РКЛ-50 на базе рамы  
Плуга ПГП-3-40Б в агрегате с трактором МТЗ-1221

Снижение плотности подпахотного слоя почв, в свою очередь, обеспечило повышение урожайности сельскохозяйственных культур. В табл. 9.3 приведены среднемноголетние данные по урожайности картофеля, озимой ржи и ячменя на опытно-производственных участках СПК «Полочаны» при разных вариантах обработки почвы. Широкая производственная проверка в хозяйствах Республики Беларусь выявила, что эксплуатационное рыхление на глубину 0,4–0,5 м обеспечивает прибавку урожайности сельскохозяйственных культур на 8–20 %.

Таблица 9.3. Плотность почвы (средняя за вегетацию) во времени  
при различных приемах обработки

| Вариант опыта                                              | Озимая рожь, 2002 г.<br>(рыхление 2001 г.) |                              | Картофель, 2003 г.<br>(после 2 лет) |                              | Ячмень, 2004 г.<br>(после 3 лет) |                              |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
|                                                            | глубина, см                                | плотность, г/см <sup>3</sup> | глубина, см                         | плотность, г/см <sup>3</sup> | глубина, см                      | плотность, г/см <sup>3</sup> |
| Вспашка на 20 см (контроль)                                | 0–20                                       | 1,20                         | 0–20                                | 1,21                         | 0–20                             | 1,24                         |
|                                                            | 20–40                                      | 1,30                         | 20–40                               | 1,31                         | 20–40                            | 1,45                         |
|                                                            | 0–40                                       | 1,40                         | 0–40                                | 1,41                         | 0–40                             | 1,35                         |
| Вспашка на 20 см с одновременным рыхлением РПП-20 на 20 см | 0–20                                       | 1,19                         | 0–20                                | 1,20                         | 0–20                             | 1,21                         |
|                                                            | 20–40                                      | 1,32                         | 20–40                               | 1,35                         | 20–40                            | 1,39                         |
|                                                            | 0–40                                       | 1,25                         | 0–40                                | 1,27                         | 0–40                             | 1,30                         |

Наиболее восприимчивы к снижению плотности почвы пропашные культуры. Эффективность действия рыхления – 2–3 года. Эффективным приемом повышения продуктивности многолетних сенокосов является их щелевание с применением рыхлительного оборудования РКЛ-50. Прибавка урожая злаковых трав в первый год после щелевания мелкозалежных торфяников на Полесской опытно-мелиоративной станции составила 17,1, во второй – 25,9, в третий – 6,9 ц/га абсолютно сухого вещества, что составляет соответственно 19,7, 29,9 и 8 %. В Витебском экспериментальном хозяйстве в первый год после щелевания прибавка урожая составила 11,1, а на второй год – 18,9 %. Последствие щелевания на водный режим и урожай трав проявляется в течение 2–3 лет. Средняя многолетняя прибавка урожая составляет 10–15 %. Наибольшая ее величина (15–25 %) наблюдается во второй год после проведения щелевания.

Приведенные показатели оценки состояния мелиорированных земель по наличию вымочек и переувлажнений, сроков отвода поверхностных вод, плотности почв позволяют выбрать наиболее оптимальный комплекс ремонтно-эксплуатационных и агромелиоративных мероприятий для восстановления эффективности функционирования мелиорированных земель. Приведены основные условия для выполнения эксплуатационного рыхления в зависимости от плотности, влажности и категории почвы, с использованием разработанного в РУП «Институт мелиорации» оборудования, а также эффективность разуплотнения подпахотного слоя почв.

### **9.3. Принципы создания экологически безопасных мелиоративных систем**

Анализ развития мелиорации в стране, а также существующее состояние мелиоративных систем и мелиорируемых земель, наглядно показали несовместимость технократической идеологии мелиоративной деятельности и необходимость нового экологически ориентированного подхода к созданию и функционированию мелиоративных систем, а также разработке мелиоративных технологий. Основной целью комплексной мелиорации становится, помимо повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий и устойчивости геосистемы, оздоровление ландшафта, создание условий для его развития, активизация процессов самоочищения. На основе вышеизложенных научных исследований нами сформулированы основные экологические принципы создания совершенных мелиоративных систем.

Принцип целенаправленного преобразования природного объекта.

Создание мелиоративной системы направлено на коренное улучшение естественного состояния природного объекта с целью повышения продуктивности мелиорируемых сельскохозяйственных угодий. Здесь возникает противоречие между результатами естественной эволюции биосферы и целями мелиоративной деятельности. Мелиоративная деятельность нацелена на высокую продуктивность земель, а это может привести к потере устойчивости природной системы (агроландшафта). Сохранение и повышение устойчивости возможно путем целенаправленного управляемого сопряжения мелиоративных и естественных процессов, обеспечивающих сбалансированность потоков вещества и энергии при создании и функционировании мелиоративных систем и введением экологических ограничений.

Установлена связь между продуктивностью сельскохозяйственных угодий (РЕ) и продуктивностью мелиорируемых земель (Р), обеспечивающая устойчивость агроландшафта, которая аппроксимируется степенной функцией:  $РЕ = kP^n$ . В современных условиях (при существующей агротехнологии) значение коэффициента  $k$  равно 6,3, а значение  $n$  составляет 0,32. По приведенной зависимости можно оценить производственный потенциал за счет регулирования природных процессов при функционировании мелиоративных систем.

Наибольшему изменению в результате создания мелиоративной системы подвержены составляющие водного баланса и водный режим территории. Перераспределение водных ресурсов приводит к изменению запасов поверхностных и подземных вод, закономерностей влагооборота и водообеспеченности территории в целом. Как известно, мелиоративная деятельность (создание оросительных и осушительных систем) направлена на формирование компенсационного водного баланса, при котором приходные статьи (осадки, поверхностный и подземный приток) компенсируются расходными статьями (эвапотранспирация, инфильтрация, отток поверхностных и подземных вод). Восполнить разницу при недостаточном климатическом увлажнении между испаряемостью и эвапотранспирацией возможно гидромелиорацией за счет использования речного стока или подземных вод. При избыточной климатической увлажненности требуется частичный отвод водных ресурсов за пределы осваиваемого территориального комплекса путем регулирования поверхностного стока и устройства дренажа. В качестве интегрального показателя экологической трансформации водного баланса мелиоративно-освоенной территории можно принять

отношение требуемой водообеспеченности ( $B_{\text{тр}}$ ) мелиорируемых земель к фактической климатической увлажненности ( $Y_{\text{ест}}$ ), т. е.:

$$I = B_{\text{тр}} / Y_{\text{ест}}, \quad (9.1)$$

где  $B_{\text{тр}}$  – необходимая водообеспеченность территории для производства сельскохозяйственной продукции, мм;

$Y_{\text{ест}}$  – естественная среднегодовое увлажненность территории, мм.

Из анализа значений интегрального показателя –  $I$  вытекает, что для повышения продуктивности агроландшафта при значении показателя  $I > 1$  требуется создание оросительной системы; при  $I < 1$  необходим отвод избыточной воды путем создания осушительной системы, а в случае, если  $I$  отклоняется от единицы в ту или другую сторону не более чем на 25 %, необходимы системы двойного регулирования влажности или оросительно-осушительные системы.

#### *Принцип адаптации.*

При создании мелиоративных систем необходимо согласовывать ее параметры с существующей структурно-функциональной организацией агроландшафта путем встраивания антропогенных процессов в общую структуру биотических и абиотических процессов природного объекта, что можно считать постулатом коэволюционной концепции устойчивого развития (Савенко В. С., 2003). Предложенный подход к выбору и обоснованию адаптивных мелиоративных систем предполагает активацию геосистемы (агроландшафта). В этом случае можно говорить о том, что создание и функционирование мелиоративной системы направлено на трансформацию природного объекта, что обусловит появление в ландшафтах новых природно-мелиоративных процессов. Здесь важно проследить, чтобы эти новые процессы носили исправительный, а не травмирующий характер. Это, с нашей точки зрения, есть отличие комплексной мелиорации от адаптивного земледелия, которое направлено на мобилизацию естественного потенциала возделываемых земель при сохранении его квазистационарного состояния. В результате проведения комплексной мелиорации геосистему принудительно переводят на новое энергетическое состояние, при котором изменяются его основные результирующие – продуктивность и устойчивость. Новое состояние требует вложения дополнительной ежегодной энергии на поддержание функционирования системы.

Например, контурно-мелиоративная организация территории, учитывающая почвенные и рельефные особенности земельного массива,

сохраняет квазистационарное состояние системы. Гидротехнические сооружения размещают по контуру рельефа или с небольшим отклонением от них. Контурно-мелиоративную организацию территории проектируют в условиях высокой эрозионной опасности, если агротехническими приемами на фоне контурной организации территории не удастся предотвратить эрозию. В этом случае предусматривается создание системы гидротехнических сооружений для задержания и безопасного отвода избыточного стока. В основе контурно-мелиоративной организации территории лежит единая водорегулирующая сеть линейных рубежей, строго увязанных с рельефом местности. В таких системах природный объект не переводится на новое энергетическое состояние. Другим примером может служить концепция оазисного орошения на базе местного стока или подземных вод для условий Калмыкии (Руднева Л. В., 2000). Создание и функционирование мелиоративной системы оазисного типа кардинально изменяет водный баланс и природные процессы за счет использования подземных вод или других источников воды на орошение. Происходит перестройка естественной природной системы и ее перевод на новый уровень энергетического состояния. Тем не менее, и здесь имеется возможность быстрой адаптации системы к природному объекту. Оазисное орошение обладает следующими преимуществами: простота и дешевизна водохозяйственного обустройства мелко контурных участков; возможность строгого соблюдения экологических ограничений и мелиоративного режима, что позволит свести к минимуму негативные последствия; в случае подъема грунтовых вод их быстрая сработка за счет «сухого» дренажа в мелиоративный период.

*Принцип многофункциональности.*

Основное предназначение гидромелиоративных систем – водозабор, водораспределение внутри системы и водоотведение за ее пределы. Однако для получения высоких и устойчивых урожаев требуется активное воздействие на факторы роста и развития сельскохозяйственных растений для поддержания благоприятных условий в течение всего периода вегетации. Такое воздействие не может быть обеспечено одной какой-то технологией и требуется чередование и проведение различных мероприятий. В этой связи перспективно создание многофункциональных мелиоративных систем.

Многофункциональные системы обеспечивают строгое нормирование сроков и норм полива, внесение минеральных удобрений и средств защиты растений, регулирование температуры, газового состава почвы и приземного слоя воздуха путем использования специальных

устройств, дозаторов для регулирования подачи воды, удобрений, автоматизация удобрительного дождевания и т. д. Одним из направлений использования таких систем является борьба с суховеями, засухами и поздними заморозками. Для этого разработана напорно-безнапорная многофункциональная система комбинированного орошения для осуществления локальных поливов, которая имеет возможность осуществлять внутрпочвенный, капельный, поверхностный струйчатый поливы как комбинированно, самостоятельно, так и в сочетании с мелкодисперсным дождеванием. В вариантах, где предусмотрены поливы в комбинации с мелкодисперсным дождеванием, система орошения работает следующим образом: при безнапорном движении воды в поливных трубопроводах – через струйчатые водовыпуски осуществляется поверхностный полив. С запуском водяного насоса при подаче давления воды до 1,2 МПа в работу включаются распылительные насадки мелкодисперсного дождевания. Таким же образом осуществляется режим мелкодисперсного дождевания и в комбинации с капельным или внутрпочвенным орошением (Майер А. В. и др., 2015).

#### *Принцип лабильности.*

Под лабильностью (функциональной подвижностью) мелиоративных воздействий понимается периодическое проведение мелиоративных мероприятий на данной территории или чередование различных видов мелиоративных воздействий на природный объект. Использование этого принципа дает возможность снизить антропогенную нагрузку на агроландшафт. Природный объект, имея достаточную буферную способность, может самовосстанавливаться после снятия антропогенной нагрузки, что позволяет в ряде случаев обойтись без компенсирующих эко мелиоративных технологий. Устойчивость циклического процесса по отношению к внешним возмущениям определяется энергией потоков воды и вещества, чем выше скорость миграции, тем скорее система возвратится в устойчивое состояние.

Для реализации этого принципа разработаны полустационарные мобильные мелиоративные системы, обеспечивающие технологии циклического орошения, подразумевающие чередование полива участков в течение определенного цикла, продолжительность которого определяется свойствами почв, особенностями и технологическими приемами эксплуатации участка и использование участка в богарных условиях. Достоинством циклического орошения по сравнению с традиционным (регулярным) орошением является снижение водной нагрузки на почву и грунтовые воды, что особенно важно в зоне неустойчивого увлажнения. Мобильное, циклическое орошение в боль-

шинстве случаев не требует строительства инженерных видов дренажа, коллекторной сети и водоприемников дренажного стока, позволяет сохранить или улучшить экологическую обстановку.

Соединение орошаемого и богарного земледелия на основе применения передвижного циклического орошения с помощью мобильного оросительного оборудования в степной зоне (на местном стоке и на базе существующих обводнительно-оросительных каналов) позволит, например, в 2–3 раза повысить урожай люцерны, кукурузы, сахарной и кормовой свеклы. При соответствующем сочетании посевов этих культур последовательно во времени с неорошаемыми достаточно продуктивными озимыми зерновыми обеспечить нужное биологическое дренирование и высокий экономический эффект орошаемых земель. Также это позволит эффективнее осуществлять мелиорацию солонцов (Бобченко В. И., 1988; Бобченко В. И., 1996; Щедрин В. Н., Васильев С. М., Андреева Т. П., 2008; Щедрин В. Н., Васильев С. Н., 2011).

Другим направлением использования систем циклического орошения является полив сточными водами или водами повышенной минерализации. Циклическое орошение сточными водами животноводческих комплексов позволяет не только утилизировать стоки, но и увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур за счет использования питательных веществ и микроэлементов в сточных водах без деградации почвенного покрова и при получении экологически чистой сельскохозяйственной продукции (Кирейчева Л. В., Захарова О. А., 2002). При использовании минерализованных вод на системах циклического орошения исследованиями установлено, что на легких почвах можно 5–6 лет орошать минерализованными водами (до 3 г/л), затем делать перерыв на 12 года, что обеспечивает практически полное восстановление свойств почвы и переход почвенных процессов в естественное состояние.

#### *Принцип замкнутости круговорота.*

Это требование исходит из того, что мелиоративная деятельность есть процесс энергомассообмена между природной средой и мелиоративной системой. Этот процесс имеет на входе потребляемые материальные и энергетические ресурсы, а на выходе отходы, поскольку произведенные полезные продукты используются внутри глобальной технологической системы, включая сельское хозяйство, перерабатывающую промышленность и т. д. Одним из отходов (нецелевым продуктом) инженерной гидромелиоративной системы являются коллекторно-дренажные и сбросные воды, которые могут вызывать загрязнение и последующую деградацию различных природных объектов. В со-

временном понимании эти отходы следует рассматривать как нетрадиционный источник воды для нужд сельскохозяйственного комплекса на текущий момент и в перспективе. Ценность дренажного стока и сбросных вод гидромелиоративных систем, как водного ресурса тем выше, чем больше неудовлетворённые потребности общества в воде и чем выше его технические и экономические возможности.

При квазистационарном состоянии агроландшафта отходы технологических систем должны превращаться в ресурсы и тем самым компенсировать их расходование. Поэтому при создании мелиоративных систем важным принципом становится увеличение замкнутости круговорота воды, органических и питательных веществ. Вильямс В. Р. постулировал: «единственный способ придать ограниченному количеству свойства бесконечности – заставить его вращаться по замкнутой кривой» (Вильямс В. Р., 1931).

Реализация указанного принципа использована при создании водоборотных гидромелиоративных систем, обеспечивающих рециклинг сбрасываемых с системы дренажных вод для внутрисистемного использования на орошение или другие хозяйственные нужды. Однако требование замкнутости налагает на процессы, протекающие в системе, определенные ограничения, а на мелиоративную систему требования к ее конструктивному исполнению. Экологические ограничения накладываются на объем забора и качества природных вод на орошение и объем сброса и загрязнения дренажных и сбросных вод за пределы системы. Мелиоративная система должна иметь технологические узлы по сбору и подготовке дренажных вод и возможности его использования на орошение.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Организационно-методические документы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://easc.by/mgs/organizatsionno-metodicheskie-dokumenty>. – Дата доступа: 02.09.2022.
2. Об обеспечении единства измерений: закон Респ. Беларусь № 254-З от 11 ноября 2019 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа 02.09.2022.
3. Ламоткин, С. А. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: учебное пособие для студентов экономических специальностей / С. А. Ламоткин, З. Е. Егорова, Н. И. Заяц. – Минск: БГТУ, 2005. – 300 с.
4. Гончаров, А. А. Основы метрологии, стандартизации, сертификации и контроля качества: учебник для вузов / А. А. Гончаров, В. Д. Копылов. – М.: Академия, 2013. – 272 с.
5. О единицах величин, допущенных к применению в Республике Беларусь [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 24 ноября 2020 г., № 673 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.
6. Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для бакалавров / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. – М.: Юрайт, 2014. – 838 с.
7. Ремонт мелиоративных систем. Правила проектирования: ТКП 45-3.04-2009, Реконструкция осушительных систем. Правила проектирования: ТКП 45-3.04-177-2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tnpa.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.
8. Димов, Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов / Ю. В. Димов. – СПб.: Питер, 2013. – 496 с.
9. Автоматизация инженерных систем: учеб.-метод. пособие / Ю. Н. Дуброва [и др.]. – Горки: БГСХА, 2020. – 425 с.
10. Организация строительного производства СН 1.03.04-2020 Недра, 1981. – 142 с.
11. Парамонова, Е. Г. Контроль производства земляных работ / Е. Г. Парамонова, А. Г. Юнусов // Геодезические работы в мелиоративном строительстве. – М.: Недра, 1981. – 142 с.
12. Геодезический контроль точности геометрических параметров зданий и сооружений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geomensur.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.
13. Строительство. Технологическая документация при производстве строительно-монтажных работ. Состав, порядок разработки, согласования и утверждения технологических кар ТКП 45-1.01-159-2009 (02250) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tnpa.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.
14. Строительство. Оценка системы производственного контроля. Основные положения и порядок проведения ТКП 45-1.01-221-2010 (02250) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tnpa.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.
15. Строительные правила Республики Беларусь. СП 1.03 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tnpa.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.
16. Инспекционный контроль [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>. – Дата доступа: 04.09.2022.
17. О нормативных правовых актах: Закон Респ. Беларусь от 17 июля 2018 г. № 130-З [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://etalonline.by/>. – Дата доступа: 04.09.2022.

18. Контроль нормативной базы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

19. Исполнительная документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blogic.ru/blog/ispolnitelnaya-dokumentatsiya-sostav-vedenie-khranenie-i-avtomatizatsiya-obrabotki/>. – Дата доступа: 04.09.2022.

20. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность ТР 2009/013/BY [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tnpa.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

21. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения ГОСТ 16504-81 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tnpa.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

22. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий СТБ ИСО/МЭК 17025-2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shop.belgiss.by/>. – Дата доступа: 04.09.2022.

23. Системы менеджмента качества. Требования СТБ ISO 9001-2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://standartno.by/>. – Дата доступа: 04.09.2022.

24. Строительство. Входной контроль продукции. Основные положения. СТБ 1306 – 2002 [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://tnpa.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

25. Об установлении форм актов приемки объектов в эксплуатацию, гарантийного паспорта объекта строительства, перечней документов, представляемых приемочной комиссией: постановление Минстройархитектуры от 06.12.2018 № 40 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – № 8/33820. – Минск, 2018.

26. Об утверждении Правил заключения и исполнения договоров строительного подряда № 1450 от 15 сентября 1998 г.: постановление совета министров Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

27. Трудовой кодекс Республики Беларусь [Электронный ресурс]: 26 июля 1999 г. № 296-З: принят Палатой представителей 8 июня 1999 года. Одобрен Советом Республики 30 июня 1999 года. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

28. О утверждении выпуска 28 Единого квалификационного справочника должностей служащих [Электронный ресурс]: постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь 29 июля 2020 г. № 69. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

29. Об изменении Кодекса Республики Беларусь об образовании Принят Палатой представителей 21 декабря 2021 г. Одобрен Советом Республики 22 декабря 2021 г.: закон Республики Беларусь 14 января 2022 г. № 154-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

30. О мелиорации земель: закон Республики Беларусь от 23 июля 2008 г. № 423-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

31. Об утверждении Положения о порядке обследования мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений: постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 03.08.2009 № 57 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

32. Совершенствование мелиоративных и водохозяйственных систем: учебно-методическое пособие для магистрантов учреждений высшего образования, обучающихся

ся по специальности 1-74 80 02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель / Ю. Н. Дуброва [и др.]. – Горки: БГСХА, 2021. – С. 364.

33. Ремонт мелиоративных систем. Правила проектирования. ТКП 45-3.04-176-2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tnpa.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

34. Реконструкция осушительных систем. Правила проектирования. ТКП 45-3.04-177-2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tnpa.by>. – Дата доступа: 04.09.2022.

35. Правила эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А

#### Форма заявки на утверждение организации по оценке системы производственного контроля

##### Б.1 Форма заявки на утверждение организации по оценке системы производ- ственного контроля

##### Заявка на утверждение организации по оценке системы производственного контроля

1 Прошу утвердить \_\_\_\_\_  
наименование организации-заявителя

в качестве организации по оценке системы производственного контроля в области  
\_\_\_\_\_

перечень видов продукции в строительстве

2 Обязуюсь выполнять требования, предъявляемые к организации по оценке  
системы производственного контроля.

3 Прилагаю:

— Положение организации по оценке системы производственного контроля (про-  
ект);

— сведения о специалистах, участвующих в работе по оценке системы производ-  
ственного контроля;

— сведения о производственных и служебных помещениях, фонде ТНПА и обес-  
печенности средствами оргтехники.

4 \_\_\_\_\_  
адрес, телефон, расчетный счет, УНН, ОКПО

5 \_\_\_\_\_  
фамилия, инициалы руководителя организации по оценке системы производственного контроля

Руководитель организации несет ответственность за достоверность представленной  
информации.

Руководитель организации-заявителя \_\_\_\_\_  
личная подпись расшифровка подписи

М.П. «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

# Форма заявки на оценку системы производственного контроля

## Заявка на оценку системы производственного контроля

Наименование организации (заявитель) \_\_\_\_\_  
 Фамилия, инициалы руководителя \_\_\_\_\_  
 Адрес, телефон/факс \_\_\_\_\_  
 Расчетный счет \_\_\_\_\_  
 УНН \_\_\_\_\_  
 ОКПО \_\_\_\_\_

Прошу произвести оценку системы производственного контроля.

| Наименование<br>продукции | Обозначение и наименование<br>ТНПА<br>на продукцию | Наименование определяемых параметров<br>строительных процессов | Обозначение и наименование<br>ТНПА на методы<br>контроля |
|---------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                           |                                                    |                                                                |                                                          |
|                           |                                                    |                                                                |                                                          |

Обязуюсь:

- соблюдать требования, установленные ТКП 45-1.01-221;
- оплачивать расходы, связанные с оценкой системы производственного контроля и последующим инспекционным контролем.

Прилагаю:

- положение об испытательном подразделении (проект) – в одном экземпляре на \_\_\_\_\_ листах;
- сведения о средствах испытаний, помещениях, персонале – в одном экземпляре на \_\_\_\_\_ листах.

Руководитель организации (заявитель) несет ответственность за достоверность представленной информации.

Руководитель организации-заявителя \_\_\_\_\_ личная подпись \_\_\_\_\_ расшифровка подписи

М.П.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Условия в производственных помещениях

| Назначение помещений | Площадь, м <sup>2</sup> | Температура, °С, и влажность, % воздуха | Освещенность на рабочих местах, Лк | Концентрация вредных веществ и пыли в воздухе рабочей зоны <sup>1)</sup> , мг/м | Уровень шума <sup>1)</sup> , дБА | Наличие специального оборудования (вентиляции, защиты от помех и т. д.) <sup>1)</sup> | Условия приемы и хранения образцов | Другие требования ТНПА на методики испытаний |
|----------------------|-------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|
|                      |                         |                                         |                                    |                                                                                 |                                  |                                                                                       |                                    |                                              |
|                      |                         |                                         |                                    |                                                                                 |                                  |                                                                                       |                                    |                                              |

<sup>1)</sup> Заполняется при испытаниях строительных материалов и изделий.

Руководитель организации

личная подпись

расшифровка подписи

Специалисты, осуществляющие контроль

| Фамилия, инициалы специалиста | Должность структурное подразделение <sup>1)</sup> | Образование (специальность) | Проводимые виды испытаний (контроля) | Дата и номер протокола аттестации, периодичность | Дополнительные сведения (стаж работы в области строительства; специальное обучение; квалификационный аттестат и т. д.) |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |                                                   |                             |                                      |                                                  |                                                                                                                        |
|                               |                                                   |                             |                                      |                                                  |                                                                                                                        |
|                               |                                                   |                             |                                      |                                                  |                                                                                                                        |

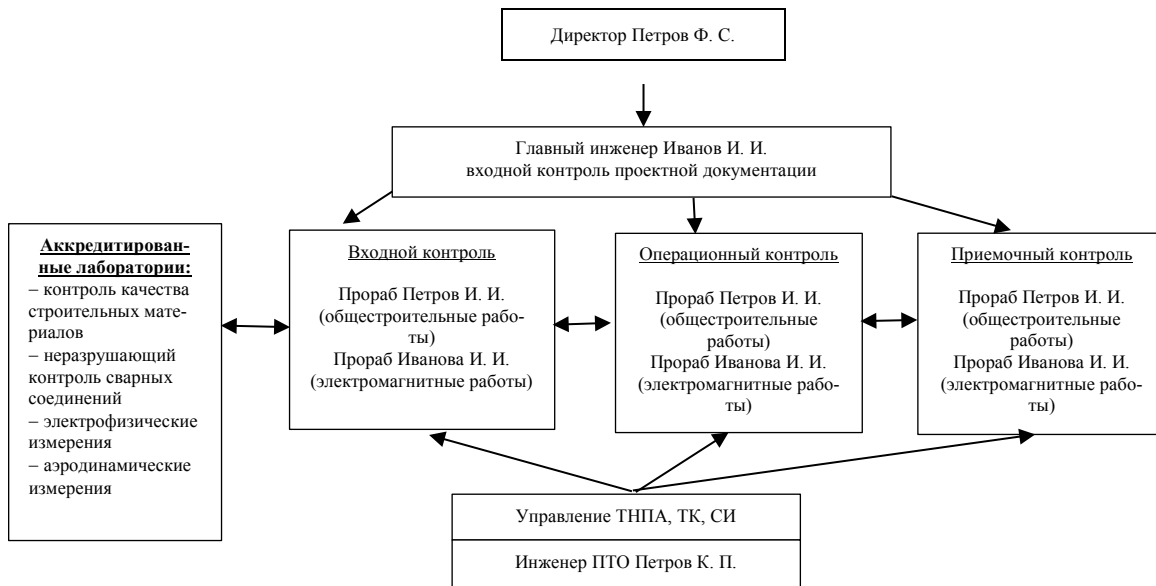
<sup>1)</sup> В случае выполнения работ специалистами по договору, следует указать номер, дату и срок действия договора.

Руководитель организации

личная подпись

расшифровка подписи

Организационная структура системы производственного контроля



**АКТ  
обследования земель для отнесения земель к определенным видам**

Комиссия в составе:

председателя \_\_\_\_\_  
(фамилия, инициалы, должность)

членов:

\_\_\_\_\_  
(фамилия, инициалы, должность)

образованная решением \_\_\_\_\_  
(наименование исполнительного комитета, принявшего решение)

от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. N \_\_\_\_\_

в связи с заявлением \_\_\_\_\_  
(фамилия, собственное имя, отчество (если таковое имеется) физического лица,  
наименование юридического лица, фамилия,

\_\_\_\_\_ собственное имя, отчество (если таковое имеется) индивидуального

предпринимателя и дата государственной регистрации, при необходимости -

\_\_\_\_\_ должность, фамилия, собственное имя, отчество представителя, наименование,

\_\_\_\_\_ номер и дата выдачи документа, подтверждающего полномочия)  
в присутствии землепользователя произвела обследование на местности земель

\_\_\_\_\_ (указывается землепользователь (фамилия, собственное имя, отчество (если таковое имеется) физического лица,  
наименование юридического лица,

\_\_\_\_\_ фамилия, собственное имя, отчество (если таковое имеется) индивидуального

\_\_\_\_\_ предпринимателя и дата государственной регистрации, при необходимости -должность, фамилия, собственное  
имя, отчество представителя, наименование,

\_\_\_\_\_ номер и дата выдачи документа, подтверждающего полномочия)  
используя сведения, содержащиеся

\_\_\_\_\_ (в документах государственного земельного кадастра, базе данных земельно-  
информационной системы, землеустроительной, лесоустроительной, градостроительной документации, докумен-  
тации по проведению мелиоративных, культуртехнических работ и иной документации)

и учитывая изменения фактического состояния и характера использования  
земель, установила, что

\_\_\_\_\_ (указываются площади, виды и качественное состояние земель по учету и их фактическое состояние на момент  
обследования)

Окончание прил. Е

С учетом изложенного комиссия пришла к следующему заключению:

\_\_\_\_\_  
(вывод о наличии либо отсутствии оснований для отнесения земель к определенным видам, указываются площади и виды земель)

К настоящему акту прилагаются:

1. Графический проект отнесения земель к определенным видам.
2. Ведомость земельных контуров земель, площади которых намечаются к отнесению к определенным видам.

Председатель комиссии \_\_\_\_\_  
(подпись) (инициалы, фамилия)

Члены комиссии: \_\_\_\_\_  
(подпись) (инициалы, фамилия)

Приложение Ж

**АКТ**  
**обследования земель для перевода несельскохозяйственных земель из одних**  
**видов в другие, а также сельскохозяйственных земель несельскохозяйственного**  
**назначения в сельскохозяйственные земли или в менее продуктивные**  
**сельскохозяйственные земли**

Комиссия в составе:  
председателя комиссии

\_\_\_\_\_  
(фамилия, инициалы, должность)

членов комиссии: \_\_\_\_\_  
(фамилия, инициалы, должность)

образованная решением \_\_\_\_\_  
(наименование исполнительного комитета, принявшего решение)  
от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. N \_\_\_\_\_

в связи с заявлением \_\_\_\_\_  
(фамилия, собственное имя, отчество (если таковое имеется))

\_\_\_\_\_  
физического лица, наименование юридического лица, фамилия,

\_\_\_\_\_  
собственное имя, отчество (если таковое имеется) индивидуального предпринимателя

\_\_\_\_\_  
дата государственной регистрации, при необходимости -

\_\_\_\_\_  
должность, фамилия, собственное имя, отчество представителя, наименование,

\_\_\_\_\_  
номер и дата выдачи документа, подтверждающего полномочия)  
в присутствии землепользователя произвела обследование на местности земель

Окончание прил. Ж

|                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| (указывается землепользователь (фамилия, собственное имя, отчество (если таковое имеется) |
| физического лица, наименование юридического лица, фамилия,                                |
| собственное имя, отчество (если таковое имеется) индивидуального предпринимателя          |
| и дата государственной регистрации, при необходимости -                                   |
| должность, фамилия, собственное имя, отчество представителя, наименование,                |
| номер и дата выдачи документа, подтверждающего полномочия) используя данные               |
| (государственного земельного кадастра (материалы почвенных                                |
| обследований, оценки земель и другие), материалы землеустройства,                         |
| лесоустройства, мелиорации, документы, подтверждающие списание                            |
| оросительных и осушительных систем, машин и механизмов, а также другие                    |
| данные (материалы и документы)                                                            |
| и учитывая изменения фактического состояния и характера использования                     |
| земель, установила, что _____                                                             |
| (указываются площади, виды и качественное состояние                                       |
| земель по учету и их фактическое состояние на момент обследования)                        |

С учетом изложенного комиссия пришла к следующему заключению:

|                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------|
| (вывод о наличии либо отсутствии оснований для перевода                    |
| несельскохозяйственных земель из одних видов в другие, а также             |
| сельскохозяйственных земель сельскохозяйственного назначения в             |
| несельскохозяйственные земли или в менее продуктивные сельскохозяйственные |
| земли, указываются площади и виды земель)                                  |

К настоящему акту прилагаются:

1. Графический проект перевода земель из одних видов в другие.
2. Ведомость земельных контуров земель, площади которых намечаются к переводу из одних видов в другие.

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| Председатель комиссии _____ | _____               |
| (подпись)                   | (инициалы, фамилия) |
| Члены комиссии: _____       | _____               |
| (подпись)                   | (инициалы, фамилия) |

**Акт  
обследования мелиоративных систем  
и отдельно расположенных гидротехнических сооружений**

\_\_\_\_\_ района \_\_\_\_\_ области  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

(населенный пункт)

Комиссия в составе:

|                     |                                                   |
|---------------------|---------------------------------------------------|
| _____               | _____                                             |
| (фамилия, инициалы) | председатель комиссии<br>(наименование должности) |
| Члены комиссии:     |                                                   |
| _____               | _____                                             |
| (фамилия, инициалы) | (наименование должности)                          |
| _____               | _____                                             |
| (фамилия, инициалы) | (наименование должности)                          |
| _____               | _____                                             |
| (фамилия, инициалы) | (наименование должности)                          |
| _____               | _____                                             |
| (фамилия, инициалы) | (наименование должности)                          |
| _____               | _____                                             |
| (фамилия, инициалы) | (наименование должности)                          |
| _____               | _____                                             |
| (фамилия, инициалы) | (наименование должности)                          |

обследовала мелиоративные системы и отдельно расположенные гидротехнические сооружения и определила их техническое состояние:

**Техническое состояние  
мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений  
в \_\_\_\_\_ районе \_\_\_\_\_ области**

(по состоянию на 1 декабря 20 \_\_\_\_ г.)

| № п/п                       | Наименование землепользователей, мелиоративных систем, отдельно расположенных гидротехнических сооружений | Площадь осушенных сельскохозяйственных земель, земель лесного фонда, га | Мелиоративные системы подлежат реконструкции, га | Мелиоративные системы находятся на техническом обслуживании, га | Основные данные о техническом состоянии мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях по результатам обследования |                                         |             |                                  |                            |                     |                       |                     |               |                     | Примечание |                     |                     |                      |                                                   |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|----------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------|---------------------|------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------------------------|
|                             |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 | Каналы, км                                                                                                                                     |                                         |             | водорегулирующие сооружения, ед. | переездные сооружения, ед. |                     | насосные станции, ед. |                     | дамбы, км     |                     |            | Дороги, км          |                     |                      |                                                   |
|                             |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 | протяженность                                                                                                                                  | В том числе                             |             |                                  | наличие всего              | из них исправленных | Наличие всего         | из них исправленных | Наличие всего | из них исправленных |            | протяженность всего | из них исправленных | Протяженность, всего | из них соответствуют параметрам и характеристикам |
|                             |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 |                                                                                                                                                | Сверхдопустимое заиливание, более 30 см | закустарено |                                  |                            |                     |                       |                     |               |                     |            |                     |                     |                      |                                                   |
|                             |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 |                                                                                                                                                |                                         |             |                                  |                            |                     |                       |                     |               |                     |            |                     |                     |                      |                                                   |
| Председатель комиссии _____ |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 |                                                                                                                                                |                                         |             |                                  |                            |                     |                       |                     |               |                     |            |                     |                     |                      |                                                   |
| Члены комиссии _____        |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 |                                                                                                                                                |                                         |             |                                  |                            |                     |                       |                     |               |                     |            |                     |                     |                      |                                                   |

СВОДНАЯ-ВЕДОМОСТЬ

по результатам обследования технического состояния мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений в \_\_\_\_\_ области

(по состоянию на 1 декабря 20\_\_ г.)

| № п/п                 | Наименование землепользователей, мелиоративных систем, отдельно расположенных гидротехнических сооружений | Площадь осушенных сельскохозяйственных земель, земель лесного фонда, га | Мелиоративные системы подлежат реконструкции, га | Мелиоративные системы находятся на техническом обслуживании, га | Основные данные о техническом состоянии мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях по результатам обследования |                                         |             |                                  |  |                            |                     |                       |                     |                     |                     |                      | Примечание |                                                   |  |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|----------------------------------|--|----------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------|---------------------------------------------------|--|
|                       |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 | Каналы, км                                                                                                                                     |                                         |             | водорегулирующие сооружения, ед. |  | переездные сооружения, ед. |                     | насосные станции, ед. |                     | дамбы, км           |                     | Дороги, км           |            |                                                   |  |
|                       |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 | протяженность                                                                                                                                  | В том числе                             |             |                                  |  | Наличие всего              | из них исправленных | Наличие всего         | из них исправленных | протяженность всего | из них исправленных | Протяженность, всего |            | из них соответствуют параметрам и характеристикам |  |
|                       |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 |                                                                                                                                                | сверхдопустимое заиливание, более 30 см | закустарено |                                  |  |                            |                     |                       |                     |                     |                     |                      |            |                                                   |  |
|                       |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 |                                                                                                                                                |                                         |             |                                  |  |                            |                     |                       |                     |                     |                     |                      |            |                                                   |  |
| Председатель комиссии |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 |                                                                                                                                                |                                         |             |                                  |  |                            |                     |                       |                     |                     |                     |                      |            |                                                   |  |
| Члены комиссии        |                                                                                                           |                                                                         |                                                  |                                                                 |                                                                                                                                                |                                         |             |                                  |  |                            |                     |                       |                     |                     |                     |                      |            |                                                   |  |

**ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ N \_\_\_\_\_**  
**гидротехнического сооружения**

Наименование сооружения-

\_\_\_\_\_

(полное наименование и его шифр)

Наименование мелиоративной системы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(вид мелиоративной системы, категория мелиоративной системы и полное наименование)

Местоположение сооружения \_\_\_\_\_

(канал (водоток), ПК)

\_\_\_\_\_ района \_\_\_\_\_ области.

Тип \_\_\_\_\_

(открытый, трубчатый)

Расчетный расход

\_\_\_\_\_ куб. м/с

Год ввода в эксплуатацию \_\_\_\_\_

Балансовая стоимость \_\_\_\_\_ рублей.

Находится в хозяйственном ведении (оперативном управлении)

\_\_\_\_\_

(наименование организации)

Наименование пользователя мелиоративных систем, на землях которого расположен

Эксплуатация (обслуживание) осуществляется \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(наименование организации)

**1. Техническая характеристика**

| Наименование материала | Основные размеры |                    |                    | Кол-во отверстий | Напор на сооружение (м) | Щиты (затворы) |              | Тип подъемника | Крепление нижнего бьефа |
|------------------------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------------------|----------------|--------------|----------------|-------------------------|
|                        | Длина (м)        | Ширина или диаметр | высота или глубина |                  |                         | Тип и материал | Размер (м×м) |                |                         |
| 1                      | 2                | 3                  | 4                  | 5                | 6                       | 7              | 8            | 9              | 10                      |
|                        |                  |                    |                    |                  |                         |                |              |                |                         |

---

 (конструктивные особенности)
 

---

**2. Техническое состояние сооружения и его элементов  
по результатам инвентаризации, обследования  
(затворов, подъемников, рисбермы, подъездов и др.)**

| Год | Наименование сооружения и его элементов | Техническое состояние сооружения (элементов) |                              |                          |
|-----|-----------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
|     |                                         | Удовлетворительное                           | Требуется капитальный ремонт | Требуется восстановления |
|     |                                         |                                              |                              |                          |

**3. Выполненные мелиоративные мероприятия  
на сооружении (его элементах)**

| Год | Наименование | Выполненные мелиоративные мероприятия (работы) |
|-----|--------------|------------------------------------------------|
|     |              |                                                |

**4. Результаты ежегодного испытания (опробования) сооружения**

| Год | Дата испытания | Результат испытания | Фамилия, инициалы и подпись ответственного за испытания |
|-----|----------------|---------------------|---------------------------------------------------------|
|     |                |                     |                                                         |

Технический паспорт составил

\_\_\_\_\_  
 (дата, подпись, инициалы, фамилия)  
 Руководитель (главный инженер)  
 организации по строительству  
 и эксплуатации мелиоративных систем \_\_\_\_\_  
 (дата, подпись, инициалы, фамилия)

Изменения за 20\_\_ год внес \_\_\_\_\_  
 (дата, должность, подпись, инициалы, фамилия)  
 Изменения за 20\_\_ год внес \_\_\_\_\_  
 (дата, должность, подпись, инициалы, фамилия)  
 Изменения за 20\_\_ год внес \_\_\_\_\_  
 (дата, должность, подпись, инициалы, фамилия)  
 Изменения за 20\_\_ год внес \_\_\_\_\_  
 (дата, должность, подпись, инициалы, фамилия)  
 Изменения за 20\_\_ год внес \_\_\_\_\_  
 (дата, должность, подпись, инициалы, фамилия)  
 Изменения за 20\_\_ год внес \_\_\_\_\_  
 (дата, должность, подпись, инициалы, фамилия)

Примечания:

1. Паспорт составляется на все водорегулирующие сооружения и трубы-переезды, входящие в мелиоративную систему.
2. Отметки о выполненных на гидротехническом сооружении (его элементах) мелиоративных мероприятиях вносятся после их приемки.
3. Результаты ежегодного испытания (опробования) гидротехнического сооружения под напором отражаются на время аккумуляции стока и задержания уровней (март – май) с обязательным указанием, держит воду сооружение или нет.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                 | 3   |
| 1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ.....                                                     | 5   |
| 1.1. Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь .....         | 5   |
| 1.2. Основные термины и определения в области метрологии .....                | 9   |
| 1.3. Классификация и основные характеристики измерений .....                  | 16  |
| 1.4. Физические величины и их единицы. Системы физических единиц.             |     |
| Международная система единиц СИ.....                                          | 20  |
| 1.5. Шкалы и их применение в метрологии .....                                 | 31  |
| 1.6. Технические средства измерений .....                                     | 33  |
| 1.6.1. Средства измерения и контроля размеров и перемещений.....              | 39  |
| 1.6.2. Измерение давления и разности давления .....                           | 45  |
| 1.6.3. Измерение расхода и количества вещества.....                           | 54  |
| 1.6.4. Измерение температуры .....                                            | 67  |
| 1.6.5. Измерение и визуализация уровня жидкостей в закрытых емкостях          |     |
| и открытых каналах .....                                                      | 76  |
| 1.6.6. Ультразвуковые средства измерения расхода воды на открытых каналах     |     |
| мелиоративных систем .....                                                    | 85  |
| 1.6.7. Измерение влажности .....                                              | 91  |
| 1.6.8. Измерение физических величин. Элементы процесса измерений.....         | 97  |
| 1.6.9. Методы измерений.....                                                  | 103 |
| 1.6.10. Погрешность и неопределенность измерений .....                        | 105 |
| 2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА .....                                                    | 115 |
| 2.1. Входной контроль .....                                                   | 115 |
| 2.2. Операционный контроль .....                                              | 115 |
| 2.3. Геодезический контроль.....                                              | 116 |
| 2.4. Приемочный контроль.....                                                 | 123 |
| 2.5. Инспекционный контроль .....                                             | 123 |
| 2.6. Контроль нормативной базы.....                                           | 125 |
| 3. ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА .....                  | 127 |
| 3.1. Термины и определения .....                                              | 127 |
| 3.2. Общие положения.....                                                     | 128 |
| 3.3. Участники работ по оценке системы производственного контроля .....       | 129 |
| 3.4. Требования к организации по оценке системы производственного контроля .. | 131 |
| 3.5. Требования к системе производственного контроля.....                     | 132 |
| 3.6. Порядок проведения оценки системы производственного контроля.....        | 135 |
| 4. НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА.....                    | 136 |
| 4.1. Нормативная документация для проведения контроля.....                    | 136 |
| 4.2. Схемы операционного контроля качества .....                              | 137 |
| 5. ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ .....                                          | 138 |
| 5.1. Функции исполнительной документации .....                                | 138 |
| 5.2. Исполнительная документация при вводе объектов в эксплуатацию.....       | 140 |
| 5.3. Ответственность за ведение исполнительной документации.....              | 143 |
| 5.4. Перечень исполнительной документации.....                                | 144 |
| 6. ТРЕБОВАНИЯ К ПОВЫШЕНИЮ КВАЛИФИКАЦИИ, ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ                      |     |
| ПЕРЕПОДГОТОВКЕ РУКОВОДИТЕЛЕЙ И СПЕЦИАЛИСТОВ, ПРОВОДЯЩИХ                       |     |
| КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА .....                                                       | 148 |

|                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7. ОБСЛЕДОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ ОТДЕЛЬНО<br>РАСПОЛОЖЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ.....                                                                                        | 154 |
| 7.1. Положение о порядке обследования мелиоративных систем<br>отдельно расположенных гидротехнических сооружений.....                                                                  | 154 |
| 7.2. Комиссии по обследованию.....                                                                                                                                                     | 156 |
| 7.3. Исходные материалы для обследования.....                                                                                                                                          | 157 |
| 7.4. Основные положения по обследованию.....                                                                                                                                           | 159 |
| 7.5. Содержание обследований.....                                                                                                                                                      | 160 |
| 7.6. Цель обследований.....                                                                                                                                                            | 164 |
| 7.7. Этапы проведения обследований.....                                                                                                                                                | 169 |
| 7.8. Результаты обследований.....                                                                                                                                                      | 172 |
| 7.9. Очередность проведения обследования и технического обслуживания<br>мелиоративной системы.....                                                                                     | 175 |
| 8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ<br>ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ.....                                                                                          | 182 |
| 8.1. Метод подповерхностного сканирования с применением георадарных<br>технологий.....                                                                                                 | 182 |
| 8.2. Эксплуатационная диагностика мелиоративных систем.....                                                                                                                            | 189 |
| 8.3. Система телеинспекции трубопроводов.....                                                                                                                                          | 196 |
| 8.4. Перспективы использования дождевальных оросительных систем<br>и оросительной техники.....                                                                                         | 198 |
| 8.5. Оценка эксплуатационной надежности современной дождевальной техники.....                                                                                                          | 207 |
| 8.6. Особенности эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно<br>расположенных гидротехнических сооружений, расположенных на загрязненных<br>радионуклидами землях..... | 215 |
| 9. ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ<br>МЕЛИОРАТИВНЫХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ.....                                                                                               | 216 |
| 9.1. Анализ экологических опасностей создания и функционирования<br>мелиоративных систем.....                                                                                          | 216 |
| 9.2. Критерии по оценке состояния мелиорированных земель и мероприятия<br>по улучшению водного режима.....                                                                             | 226 |
| 9.3. Принципы создания экологически безопасных мелиоративных систем.....                                                                                                               | 233 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....                                                                                                                                                          | 240 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ.....                                                                                                                                                                        | 243 |

Учебное издание

**Дуброва** Юрий Николаевич  
**Кукреш** Александр Сергеевич  
**Анженков** Александр Сергеевич

**МЕТРОЛОГИЯ, КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ОБСЛЕДОВАНИЕ  
МЕЛИОРАТИВНЫХ И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е. П. Савиц*  
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 19.10.2022. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 15,11. Уч.-изд. л. 13,25.  
Тираж 75 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.