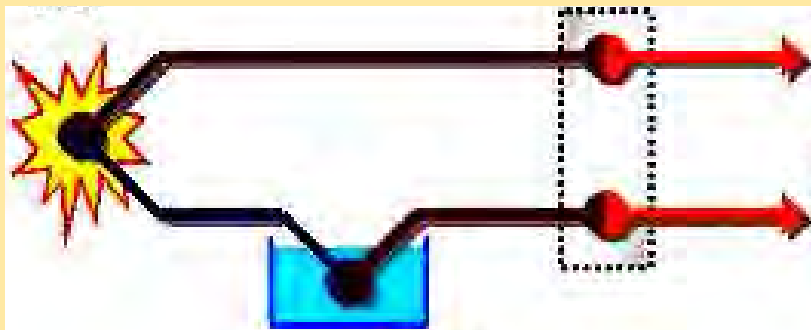


**В.Н. НАЗАРОВ, А.А. ТРЕТЬЯКОВ,
П.М. ОНЕВСКИЙ, И.А. ЕЛИЗАРОВ**

МОНТАЖ, НАЛАДКА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ



Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

Министерство образования и науки Российской Федерации
**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»**

**В.Н. НАЗАРОВ, А.А. ТРЕТЬЯКОВ,
П.М. ОНЕВСКИЙ, И.А. ЕЛИЗАРОВ**

МОНТАЖ, НАЛАДКА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию
в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ)
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных
заведений, обучающихся по направлению подготовки
«Автоматизация технологических процессов и производств»



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2012

УДК 681.5:658.562.3(075.3)
ББК з 966.1-08я73
М777

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор кафедры
«Информационные и управляющие системы»
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий»
С.Г. Тихомиров

Кандидат технических наук, доцент
Первый заместитель генерального директора,
заместитель генерального директора по науке
ОАО «Корпорация «Росхимзащита»
С.Б. Путин

М777 Монтаж, наладка, эксплуатация систем автоматизации
[Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Н. Назаров,
А.А. Третьяков, П.М. Оневский, И.А. Елизаров. – Тамбов :
ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 240 с.

Изложены основные методы монтажа, наладки и эксплуатации
систем автоматизации.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обу-
чающихся по специальности «Автоматизация технологических процес-
сов и производств». Может быть полезно инженерам, магистрам и аспи-
рантам, занимающимся проектированием и эксплуатацией АСУТП.

УДК 681.5:658.562.3
ББК з 966.1-08я73

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Тамбовский государственный технический
университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2012

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с тенденцией быстрого продвижения общества к широкому и всестороннему использованию достижений микропроцессорной техники и бурно развивающихся информационных технологий студенты, как будущие специалисты в области управления технологическими процессами и производствами, должны знать аппаратные средства современных автоматизированных систем управления, правила их монтажа, наладки и эксплуатации.

Учебное пособие предназначено для студентов, которые хотят получить базовые знания об основных положениях по монтажу и эксплуатации приборов и средств автоматизации, изучить условия их рациональной эксплуатации.

1. СИСТЕМА ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕМОНТА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР ЗА СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЯ

1.1. НАЗНАЧЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Современные виды измерительной техники обладают большими возможностями, имеют высокий уровень автоматизации и способны решать комплексные задачи в единой измерительной системе при управлении с помощью средств вычислительной техники. Переход на новую измерительную технику позволяет значительно повысить точность, полноту и скорость измерений. Однако положительный эффект от внедрения новых средств измерений можно получить лишь при технически грамотной эксплуатации.

В свою очередь, поддержание измерительной техники в исправном и готовом к применению состоянии связано с расходом значительных трудовых и материальных ресурсов. Объясняется это тем, что неисправные измерительные приборы, особенно с неявными (метрологическими) отказами, могут приводить к ошибочным решениям.

Высокая эффективность использования средств измерений и контроля, как и любой современной техники, обеспечивается правильным планированием и организацией работ по их применению, техническому обслуживанию и восстановлению.

Состав мероприятий, выполняемых в процессе эксплуатации, можно разделить на две группы:

- основную – использование по назначению;
- обеспечивающую подготовку к применению и поддержанию в исправном и готовом к использованию состоянии.

Использование по назначению предусматривает выбор средств измерений для решения измерительных задач, формирование схемы измерений, проведение измерений и оценку полученных результатов. Как правило, указанные задачи в большинстве случаев решаются одновременно и находят отражение в эксплуатационно-технической, методической и другой документациях. Однако при возникновении особых (не типовых) измерительных задач или отсутствии по каким-либо причинам средства измерений, предусмотренной эксплуатационной документацией, приходится решать задачу выбора средства измерений и планирования его использования по назначению.

Использование по назначению средств измерений и контроля начинается после их ввода в эксплуатацию. Ввод в эксплуатацию заклю-

чается в проведении подготовительных работ, контроле и приемке средств, поступивших после изготовления или ремонта, проверки на соответствие установленным требованиям и закреплении за ответственными лицами. Подготовительные работы могут включать оборудование рабочих мест и помещений, подготовку лиц к эксплуатации средств измерений, заказ и получение средств метрологического и диагностического обеспечения, запасного инструмента и принадлежностей и т.п.

Важное значение для обеспечения единства и сопоставимости результатов измерений имеет учет условий эксплуатации. Паспортные значения погрешностей средств измерений указаны для так называемых нормальных условий. Результаты, полученные с помощью одного и того же средства измерений в различных условиях, могут в ряде случаев существенно отличаться, становиться несопоставимыми. Поэтому при эксплуатации средств измерений в условиях, отличающихся от нормальных, необходимо учитывать дополнительные погрешности, вызванные этими отклонениями, или принимать меры для защиты от воздействия внешних факторов.

Составной частью эксплуатации средств измерений и контроля является техническое обслуживание и ремонт средств измерений, их хранение, сбор и обобщение данных о результатах эксплуатации, планирование, ведение эксплуатационно-технической документации, материально-техническое обеспечение.

Планирование и реализация мероприятий по технической эксплуатации средств измерений и контроля основывается на достоверных данных об их техническом состоянии. Оценка технического состояния средств измерений и контроля не является самостоятельным этапом эксплуатации, однако она постоянно проводится соответствующими лицами и органами для принятия решения о дальнейшем применении средств измерений и возможности использования полученной измерительной информации.

Под оценкой технического состояния средств измерений и контроля понимается определение установленных в эксплуатационной и ремонтной документации значений показателей и (или) проверка качественных признаков, характеризующих в заданный момент времени совокупность свойств средств измерений и контроля. Показателями и качественными признаками, определяющими техническое состояние средств измерений и контроля, являются внешний вид, комплектность, ресурс (срок службы), запас времени до периодической поверки, правильность функционирования, наличие неисправностей, целостность поверительных клейм или документов, удостоверяющих поверку, состояние эксплуатационных документов.

Важнейшей эксплуатационной характеристикой измерительной техники, влияющей на эффективность ее применения по назначению, является уровень надежности и прежде всего метрологической, отражающей способность средств измерений сохранять во времени свою точность. Уровень надежности образцов измерительной техники в значительной мере зависит от правильности планирования и качества выполнения работ по их эксплуатации. Поэтому для обеспечения исправности и нормального функционирования средства измерений и контроля подвергают техническому обслуживанию. Объем и периодичность технического обслуживания зависят от интенсивности использования, уровня надежности и значимости средств измерений и контроля в системе метрологического обеспечения проводимых работ или исследований.

Для выявления скрытых отказов и установления пригодности средств измерений к применению в состав технического обслуживания включают поверку (аттестацию), проводимую метрологическими органами. При эксплуатационных повреждениях, возникновении явных отказов или при выявлении в процессе поверки метрологических отказов исправность средств измерений и контроля восстанавливается их ремонтом.

Таким образом, эксплуатация представляет собой процесс управления техническим состоянием, основными составляющими которого являются оценка технического состояния, выработка и выполнение управляющих воздействий (ремонт, профилактика, регулировка) и оценка эффекта от этих воздействий.

Важной составляющей частью эксплуатации является хранение и содержание средств измерений и контроля в специально отведенных местах в заданном состоянии, обеспечивающем их сохранность, исправность и приведение в готовность к использованию по назначению в установленные сроки. Задача поддержания средств измерений и контроля в исправном состоянии решается выбором требуемых условий хранения, тщательной подготовкой средств измерений к хранению с применением средств защиты от воздействия окружающей среды, правильным размещением хранимых приборов, периодическим контролем технического состояния и проведением технического обслуживания.

Измерительная техника транспортируется после отправки ее в метрологические и ремонтные органы для поверки и восстановления. Работы по транспортированию включают подготовку к перевозке, перевозку различными видами транспорта в заданных условиях при обеспечении их исправности и комплектности. При транспортировании средства измерений и контроля подвергаются интенсивному, как правило, комплексному воздействию механических и климатических факторов. Для предотвращения или снижения этого воздействия сред-

ства подготавливают к транспортированию (арретируют, фиксируют транспортное положение, упаковывают в транспортную тару, дополнительно крепят и т.д.), применяют средства защиты от внешних факторов (амортизацию, герметизацию, влагопоглощающие вещества и т.п.). Объем подготовки средств к транспортированию зависит от вида транспортного средства, продолжительности и условий транспортирования.

1.2. ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ

Использовать следует только те средства измерений и контроля, которые находятся в исправном состоянии и имеют оттиски поверительных клейм, свидетельства или аттестаты, удостоверяющие факт их поверки.

Физические величины технических устройств необходимо измерять только теми средствами, которые указаны в эксплуатационной документации на эти объекты либо в стандартных (аттестованных) методиках.

Если в эксплуатационной документации или в методиках измерений не определены средства измерений параметров технических устройств, то их целесообразно выбирать с учетом требуемой точности и условий проведения измерений. При этом для достижения требуемого качества и точности измерения необходимо тщательно планировать, т.е. выбирать метод измерений (прямой, косвенный, метод совместных или совокупных измерений) и определять условия, в которых должны быть произведены измерения.

При подготовке средств измерений к работе необходимо:

- провести внешний осмотр;
- заземлить в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибор и установить его в рабочее положение;
- установить органы управления в исходное положение; проверить функционирование (опробовать).

Проверка функционирования и установка органов управления в исходное положение должны выполняться в соответствии с инструкцией по эксплуатации средств измерений и контроля.

Обработка результатов измерений производится для отыскания значений измеряемой величины и оценки погрешности ее определения. При необходимости результат измерения можно уточнить путем введения поправки. Для этого результаты измерений складывают с поправкой, которая по абсолютному значению равна систематической погрешности средства измерений и противоположна ей по знаку. Значение систематической погрешности определяют при аттестации (поверке) средств измерений и контроля.

Результаты измерений, выраженные в виде значения измеряемой величины или в условных единицах измерения и используемые для дальнейших расчетов, представляют в виде, регламентированном ГОСТ 8.009–84.

1.3. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ПОВЕРКА

Основой поддержания средств измерений и контроля в исправном состоянии и постоянной готовности к применению по назначению является техническое обслуживание. Периодичность, объем и порядок проведения технического обслуживания приборов, применяемых автономно, определяются эксплуатационной документацией на эти приборы, а приборов, встроенных в технические устройства, – эксплуатационной документацией на эти устройства. При этом не допускается нарушение пломб, оттисков клейм, если это не предусмотрено эксплуатационными документами. К техническому обслуживанию допускаются лица, имеющие право на самостоятельную работу на электроустановках.

Различают техническое обслуживание по установленному регламенту или по текущему состоянию. В зависимости от объема работ техническое обслуживание по регламенту может быть ежедневным, еженедельным, ежемесячным, полугодовым, годовым. Ежедневно обслуживаются только применяемые в данный день приборы.

Все неисправности средств измерений и контроля, выявленные в процессе технического обслуживания, должны быть устранены. Запрещается выполнять последующие операции до устранения обнаруженных неисправностей. Приборы с неустраненными неисправностями бракуют и направляют в ремонт.

При техническом обслуживании должна быть обеспечена безопасность персонала. Условия работы, срочность ее выполнения и другие причины не могут служить основанием для нарушения мер безопасности.

Результаты технического обслуживания заносят в соответствующую учетную документацию.

Важное место в системе технического обслуживания занимает поверка средств измерений. Общий порядок ее организации регламентирован ПР 50.2.006–94. Для средств измерений, подлежащих обязательной государственной поверке, межповерочные интервалы устанавливают главные метрологи или руководители предприятий, отраслей и ведомств. Для средств измерений, подлежащих ведомственной поверке и не обеспеченных поверкой в органах метрологических служб, межповерочные интервалы устанавливают руководители предприятий по согласованию с органами государственной метрологической службы.

Длительность межповерочных интервалов выбирают в зависимости от фактической надежности средств измерений, условий эксплуатации, интенсивности их использования, а также от значимости результатов измерений конкретным средством измерений. При этом для средств измерений, поступивших на хранение после выпуска из производства, межповерочные интервалы устанавливают не более гарантийных сроков на эти средства, указанных в ТУ или инструкциях по эксплуатации.

1.4. РЕМОНТ

Опыт эксплуатации показывает, что при периодической проверке бракуется от 10 до 30% средств измерений, а за срок службы прибора наблюдается в среднем один – три отказа. В связи с этим актуальна организация ремонта средств измерений в процессе эксплуатации.

Под ремонтом понимают комплекс операций по восстановлению исправности (или работоспособности) средств измерений, а также по восстановлению ресурса средств измерений или их составных частей. Ремонт средств измерений выполняют в метрологических ремонтных органах. Совокупность этих органов, их оснащение, принятый порядок ремонта, его виды и методы составляют систему ремонта.

В том случае, когда система ремонта не обеспечивает требуемой оперативности восстановления, используют обменные и подменные фонды средств измерений. Обменные фонды, как правило, размещают в метрологических и ремонтных органах. Поступившее неисправное средство измерений направляют на участок или в цех ремонта, а на место применения отправляют исправное из состава обменного фонда. Подменные фонды используют на местах применения средств измерений для подмены отказавших на время ремонта. Следовательно, каждая система ремонта требует определенного состава обменных и подменных фондов.

Более эффективной можно считать ту систему ремонта, которая обеспечивает на месте применения требуемое количество работоспособных средств измерений при меньших затратах. Среднегодовые затраты на восстановление средств измерений C_v вычисляют по формуле

$$C_v = C_p + C_{\phi}, \quad (1.1)$$

где C_p – среднегодовые затраты на ремонт, определяемые расходами на создание ремонтных участков, их оснащение, амортизацию ремонтно-технологического оборудования и зданий, обеспечение запасными частями и материалами, оплату труда ремонтников и обслуживающего персонала; C_{ϕ} – среднегодовые затраты на содержание обменных и подменных фондов.

Система ремонта наряду с безотказностью средств измерений определяет их коэффициент готовности

$$K_r = T_o / (T_o + T_v), \quad (1.2)$$

где T_o – средняя наработка на отказ, ч; T_v – среднее время восстановления средств измерений, ч.

При отсутствии ограничений систему ремонта можно выбрать из условия обеспечения минимума затрат на восстановление средств измерений. При этом анализируют различные варианты построения системы ремонта и выбирают тот, который обеспечивает минимум затрат на восстановление средств измерений в соответствии с выражением (1.1).

На практике в качестве ограничений выступают требуемое время ремонта, которое определяет производительность ремонтных органов, возможности промышленности по производству средств измерений, квалификация и допустимое число ремонтников. В этом случае структура системы ремонта также определяется из условия минимизации значения выражения (1.1) при выполнении ограничений.

Для выбора различных вариантов построения системы ремонта, прежде всего определяют направления развития и возможный состав ремонтно-технологического оборудования с учетом перспектив развития средств измерений и указанных ограничений на систему ремонта. Так, появление средств измерений с микропроцессорами заставляет полностью пересмотреть необходимый состав ремонтно-технологического оборудования. При этом должны быть оценены ожидаемые временные и экономические затраты на разработку и производство ремонтно-технологического оборудования, которые необходимо учесть при планировании развития системы ремонта и оценке затрат на восстановление средств измерений в соответствии с выражением (1.1).

В зависимости от характера отказов, степени выработки ресурса и трудоемкости восстановления различают текущий, средний и капитальный виды ремонта средств измерений. Такое разделение видов ремонта необходимо для планирования ремонтного производства. Сразу же следует отметить, что после ремонта средство измерений допускается к эксплуатации только после послеремонтной поверки, позволяющей удостовериться в соответствии его метрологических характеристик.

К текущему ремонту относят работы, связанные с устранением отдельных неисправностей средств измерений посредством замены комплектующих изделий и не требующие сложного диагностического и технологического оборудования. К этому виду ремонта относят также несложные в технологическом отношении операции по регулировке средств измерений для доведения метрологических характеристик до нормируемых значений в случае забракования прибора при поверке.

При среднем ремонте помимо операций, выполняемых при текущем ремонте, проводятся трудоемкие операции по замене или восстановлению (реставрации) элементов и составных частей, работы по частичному восстановлению ресурса средств измерений, контроль технического состояния всех составных частей прибора (помимо выпавших ресурс и отказавших) с устранением выявленных неисправностей, настройка (регулировка) прибора и его составных частей после ремонта.

При капитальном ремонте ресурс полностью или почти полностью восстанавливается: прибор фактически полностью разбирают и определяют техническое состояние каждой детали, элемента, несущих и базовых конструкций; устраняют тяжелые повреждения и отказы, требующие сложного диагностического оборудования, трудоемких и сложных технологических процессов по обнаружению, замене и восстановлению отказавших (поврежденных) элементов и составных частей (восстановление или нанесение гальванических покрытий, изготовление новых деталей взамен вышедших из строя, восстановление электрической схемы прибора согласно принципиальной схеме и т.п.); прибор в целом комплексно настраивают и регулируют; после ремонта его испытывают.

В связи с тем, что средства измерений при капитальном ремонте должны быть подвергнуты технологическим операциям и испытаниям в объеме основного производства, однако производственные возможности ведомственных ремонтных предприятий не позволяют производить его в требуемом объеме и с должным качеством, в процессе эксплуатации наблюдается значительное увеличение интенсивности отказов средств измерений после капитального ремонта. Поэтому во многих случаях экономически капитальный ремонт средств измерений не оправдывает себя, так как затраты на него соизмеримы с затратами на приобретение новых средств измерений, а качество отремонтированных приборов существенно уступает новым. О нецелесообразности капитального ремонта свидетельствует и тот факт, что при достигнутых уровнях надежности «моральный износ» средств измерений наступает раньше физического. Для перспективного парка средств измерений с большим ресурсом и сроком службы целесообразно планировать только текущий и средний ремонт. И только в отдельных случаях при остром дефиците каких-либо типов средств измерений допустима организация их капитального ремонта.

Таким образом, при среднем и капитальном ремонте фактически восстанавливают основные потребительские свойства средств измерений, а при текущем ремонте поддерживают работоспособное состояние посредством устранения «текущих» отказов, т.е. отказов, неизбежно встречающихся при эксплуатации любых технических изделий ввиду их ограниченной надежности.

Рассмотренные виды ремонта различаются сложностью и трудоемкостью. Поэтому для их реализации используют системы ремонта различного уровня. Текущий ремонт обычно выполняет выездная группа специалистов ведомственной лаборатории измерительной техники, осуществляющая одновременно поверку средств измерений непосредственно на местах их эксплуатации. Текущий ремонт не требует сложного специального технологического оборудования и при наличии запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) и подготовленных специалистов может быть освоен в короткие сроки. При такой организации ремонта имеет место минимальное время изъятия средств измерений из сферы эксплуатации.

Текущий и частично средний ремонт проводят в лабораториях измерительной техники предприятий и ведомств, средний и капитальный – в специализированных цехах (участках) ведомственных ремонтных заводов.

На время и стоимость ремонта существенно влияют методы ремонта, среди которых различают детальный и агрегатный.

При детальном методе ремонта отказавшие средства измерений восстанавливают на уровне комплектующих элементов (регистры, микросхемы, дроссели и т.п.). Основными недостатками этого метода являются: большее время ремонта, особенно сложных радиоизмерительных приборов; сложность диагностического оборудования; высокие требования к квалификации ремонтника; необходимость в тщательно отработанной ремонтной документации с описанием методов поиска и устранения отказов до комплектующего электрорадиоэлемента. С учетом все возрастающей сложности парка средств измерений детальный метод ремонта приводит к значительным трудозатратам и увеличению времени отсутствия средств измерений на местах использования.

Суть агрегатного метода ремонта заключается в замене отказавших агрегатов (узлов, блоков, плат) новыми или отремонтированными. Основными преимуществами данного метода ремонта являются минимальное время ремонта, простота технологического оборудования, невысокие требования к квалификации ремонтного персонала, относительная простота ремонтной документации. Однако агрегатный метод ремонта требует блочно-модульного построения средств измерений. Особенно эффективен он при текущем ремонте. Анализ характера отказов средств измерений показал, что до 80% из них для восстановления работоспособности требует ремонта в объеме текущего. Поэтому агрегатный метод представляется перспективным в плане сокращения времени восстановления.

К недостаткам этого метода относится высокая стоимость ЗИП. Агрегатный групповой ЗИП почти в 10 раз дороже детального. Однако

анализ путей развития отечественных и зарубежных измерительных приборов показывает, что широкое использование средств вычислительной техники, блочно-модульного принципа построения, единых конструктивных и установочных элементов приводит к упрощению конструкции приборов, повышает их контролепригодность, технологичность, надежность и, как следствие, создает объективную предпосылку к применению агрегатного метода ремонта для восстановления современного парка средств измерений.

Агрегатный метод восстановления является по крайней мере двухэтапным процессом. На первом этапе для восстановления работоспособности средств измерений неисправный агрегат (узел, блок, субблок, панель, плата и т.п.) заменяют исправным из комплекта ЗИП в лабораториях измерительной техники или на местах эксплуатации средств измерений выездными ремонтными группами. При этом отказавшие агрегаты можно искать как встроенными средствами диагностики, так и внешними. На втором этапе централизованным порядком ремонтируют неисправные узлы, блоки, платы в ведомственных ремонтных заводах или на заводах-изготовителях средств измерений.

При организации системы ремонта перспективного парка средств измерений целесообразно рассмотреть следующие варианты ремонта:

1. Ремонт отказавших средств измерений на заводах-изготовителях.

2. Агрегатный метод ремонта (заменой сменных плат) отказавших средств измерений в ведомственных метрологических и ремонтных органах с последующим восстановлением забракованных плат на заводах-изготовителях или специализированных ремонтных заводах приборостроительных министерств.

3. Агрегатный метод ремонта средств измерений в ведомственных метрологических и ремонтных органах с последующим восстановлением забракованных плат на специализированных ведомственных ремонтных заводах.

4. Детальный метод ремонта средств измерений в ведомственных метрологических и ремонтных органах.

5. Агрегатно-детальный метод ремонта в ведомственных метрологических и ремонтных органах.

Анализ перечисленных вариантов по отдельным ведомствам показал, что вариант 1, как правило, нельзя реализовать из-за ограниченных возможностей ремонта в приборостроительных министерствах. Наибольшие экономические затраты на ремонт имеют место при варианте 3. В этом случае затраты определяются расходами на создание агрегатных ЗИП и оснащение специализированных ведомственных ремонтных заводов соответствующим ремонтно-технологическим

оборудованием. Наименьшие экономические затраты имеют место при варианте 4. Однако при жестких требованиях ко времени ремонта его невозможно использовать из-за значительных временных затрат на ремонт по сравнению с агрегатным методом. Перспективным является вариант 5, предусматривающий восстановление отказавших средств измерений агрегатным методом при сложных ремонтах и детальным при более простых.

После определения общей системы ремонта можно еще раз проанализировать по экономическому критерию целесообразность организации ремонта отдельных типов средств измерений с учетом возможностей промышленности по выпуску средств измерений.

Таким образом, для организации системы ремонта вначале определяют возможные составы ремонтно-технологического оборудования, обеспечивающие восстановление средств измерений. Далее анализируют различные варианты построения системы ремонта с учетом особенностей рассматриваемого оборудования. Лучшей можно считать систему, минимизирующую общие затраты на восстановление средств измерений при выполнении принятых ограничений.

Планирование работы ремонтных подразделений предусматривает прежде всего определение целесообразного числа рабочих мест, необходимой номенклатуры и количества ремонтно-технологического оборудования. Это оборудование в зависимости от основного назначения делится на диагностическое для поиска неисправных элементов или локализации места неисправности и технологическое для обеспечения доступа к контрольным точкам и устранения неисправностей.

В настоящее время в ведомственных метрологических и ремонтных органах часто используют необоснованно широкую номенклатуру ремонтно-технологического оборудования. Это приводит к тому, что поиск и устранение неисправностей одних и тех же средств измерений в ремонтных подразделениях производят различным оборудованием, которое в ряде случаев не совпадает с оборудованием, рекомендуемым в ремонтно-технической документации. При этом увеличивается стоимость и время восстановления, повышаются требования к квалификации ремонтника, снижается качество ремонта, отсутствует возможность ориентировать вновь разрабатываемые приборы на конкретные типы ремонтно-технологического оборудования.

Для повышения эффективности использования оборудования и улучшения снабжения им ремонтных подразделений целесообразно определить состав типового ремонтно-технологического оборудования.

Номенклатуру этого оборудования выбирают из условия обеспечения возможности выполнения всех диагностических и технологиче-

ских операций, реализуемых в процессе восстановления средств измерений (выдача стимулирующих и тестовых воздействий, измерение сигналов в контрольных точках и параметров элементов, обеспечение доступа к элементам, узлам ремонтируемого прибора и устранение неисправностей). При выборе типового ремонтно-технологического оборудования учитывают ограничения среднего времени восстановления, квалификацию ремонтника, массогабаритные характеристики, и другие требования, отражающие специфику ведомственного ремонта.

Ремонтно-технологическое оборудование для конкретного ремонтного подразделения выбирают из состава типового. При этом вначале определяют состав требуемого диагностического оборудования. Для каждого типа планируемого к ремонту средства измерений из типового ремонтно-технологического оборудования выбирают номенклатуру диагностического оборудования с характеристиками, соответствующими регламентируемой документацией по ремонту к средствам поиска неисправностей, и таким образом составляют комплект диагностического оборудования.

Необходимое число комплектов диагностического оборудования для ремонта средств измерений i -го типа зависит от интенсивности λ_i поступлений в ремонт неисправных приборов и среднего времени τ_{bi} их восстановления:

$$K_i = \lambda_i \tau_{bi} / \alpha, \quad (1.3)$$

где α – планируемое отношение годового фонда времени на ремонт к общему годовому рабочему времени ремонтника.

Интенсивность λ_i поступления приборов в ремонт определяется по среднестатистическим данным за предыдущие годы. Так, если в течение года в ремонт поступает в среднем M_i приборов i -го типа, то

$$\lambda_i = M_i / R\tau S, \quad (1.4)$$

где R – число рабочих смен; τ – длительность рабочей смены в часах; S – число рабочих дней в году.

При отсутствии статистических данных значение λ_i определяют по результатам эксплуатации приборов-аналогов либо по следующей формуле:

$$\lambda_i = 876000 K_{ni} N_i / (100 - K_3) T_{0i} T_{\phi}, \quad (1.5)$$

где K_{ni} – коэффициент использования i -го ремонтируемого прибора; N_i – число эксплуатируемых приборов i -го типа, восстановление которых планируется в рассматриваемом ремонтном подразделении за

год; K_3 – процент эксплуатационных отказов, определяемый по результатам эксплуатации приборов-аналогов; T_{oi} – средняя наработка на отказ, приводимая в техническом описании на прибор; T_{ϕ} – годовой фонд времени одного ремонтника.

Среднее время τ_{bi} восстановления i -го типа средств измерений берется из нормативно-технической документации, содержащей нормы времени на ремонт или из технического описания.

В том случае, когда $K_i < 1$, различные комплекты оборудования можно объединить на одном рабочем месте. При этом на одном рабочем месте размещают, как правило, комплекты, имеющие максимальное количество однотипных образцов оборудования и предназначенные для ремонта приборов сходного функционального назначения.

Указанным образом вся номенклатура планируемых к восстановлению средств измерений распределяется между рабочими местами. При этом за j -м рабочим местом закрепляется такая номенклатура восстанавливаемых средств измерений, для которой выполняется условие

$$\sum_{i=1}^{n_j} K_i \approx 1, \quad (1.6)$$

где n_j – число типов средств измерений, планируемых к ремонту на j -м рабочем месте.

Объединение комплектов диагностического оборудования на рабочих местах с учетом выполнения равенства (1.6) позволяет установить требуемое число рабочих мест в ремонтном подразделении. При этом на каждом рабочем месте размещается не более одного образца диагностического оборудования, входящего в состав комплектов для поиска неисправностей средств измерений, планируемых к ремонту на рассматриваемом рабочем месте.

При незначительной загрузке образцов диагностического оборудования на рабочих местах можно использовать один образец на нескольких рабочих местах. В частности, k -й образец диагностического оборудования можно использовать на m_k рабочих местах в том случае, когда

$$\sum_{j=1}^{m_k} \sum_{i=1}^{r_{kj}} \lambda_{ij} \tau_{bji} \leq \alpha, \quad (1.7)$$

где r_{kj} – число средств измерений, ремонтируемых на j -м рабочем месте с использованием k -го образца диагностического оборудования; λ_{ij} – интенсивность использования i -го образца диагностического оборудования на j -м рабочем месте.

Для удобства работы с диагностическим оборудованием отдельные недорогие образцы можно разместить на каждом рабочем месте и при выполнении неравенства (1.7).

1.5. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ

В процессе эксплуатации измерительная техника неоднократно подвергается транспортированию, что объясняется необходимостью их периодической поверки, ремонта, а также сменой места применения. Встроенные приборы транспортируют вместе с техническими устройствами. Транспортирование приборов сопряжена с воздействием на них многих внешних факторов, характеристики которых иногда выходят за пределы рабочих условий эксплуатации (удары, вибрации, повышенная влажность, пыль, пониженное атмосферное давление и др.). Их воздействие может в значительной степени снизить надежность и даже привести к потере работоспособности средств измерений. Чтобы предотвратить нежелательные последствия транспортирования, применяется ряд мер по обеспечению сохранности средств измерений и контроля.

Хранение является одной из задач эксплуатации приборов, заключающейся в обеспечении при этом их исправного состояния. Это достигается следующими мерами: подготовкой к хранению (с применением установленных средств и методов консервации); наличием помещений, где обеспечиваются нормальные условия хранения; правильным размещением приборов по местам хранения; проведением технического обслуживания.

На хранение ставятся исправные, поверенные и полностью укомплектованные эксплуатационной документацией, одиночными комплектами ЗИП средства измерений и контроля. Консервации подлежат средства измерений, для которых она предусматривается эксплуатационными документами.

Средства измерений и контроля лучше хранить в отапливаемых помещениях при температуре окружающего воздуха от 10 до 35 °С и относительной влажности не более 80%, которые соответствуют нормальным условиям хранения. Для обеспечения этого режима температуру и влажность в помещениях постоянно контролируют. В течение гарантийного срока прибор можно хранить в упаковке предприятия-изготовителя при других значениях температуры и относительной влажности, если они указаны в ТУ.

Приборы хранят отдельно от заполненных электролитом аккумуляторов, кислот, щелочей и материалов, выделяющих химически активные пары и газы; продуктов питания и веществ, подверженных гниению или выделяющих влагу; легковоспламеняющихся жидкостей, горючих материалов.

Для хранения все средства следует группировать по типам и классам точности. Приборы с постоянными магнитами или с намагниченными элементами нельзя располагать на стальных стеллажах и вблизи массивных железных и стальных предметов, а также хранить вместе с другими типами электроизмерительных приборов. Электроизмерительные приборы сохраняют заарретированными. В приборах магнитоэлектрической системы замыкают входные клеммы.

Средства измерений размещают на стеллажах или в шкафах, которые следует располагать так, чтобы проходы между ними обеспечивали свободный доступ и перемещение приборов (расстояние между стеллажами и наружными стенками должно быть не менее 0,6 м; расстояние между полками стеллажей, между верхней полкой и потолком – не менее 0,8 м; между стеллажами, стеллажами и радиаторами центрального отопления – не менее 0,6 м). При размещении на стеллажах более тяжелые и громоздкие приборы укладывают на нижние полки (высота над уровнем пола 0,2 м) в один ряд по высоте. Все радиоизмерительные приборы располагают в один ряд. Переносные электроизмерительные приборы в упаковке целесообразно укладывать в два ряда по высоте, а без упаковки – только в один ряд. Остальные упакованные малогабаритные приборы можно размещать в несколько рядов, если при этом обеспечивается их сохранность.

Особенности хранения отдельных типов приборов содержатся в инструкциях по их эксплуатации. Средства измерений во время хранения подвергают осмотрам и техническому обслуживанию, которое планируют с учетом установленных сроков поверки и данных, полученных при осмотрах. Обслуживание проводят по истечению сроков поверки; при нарушении поверительного клейма или утере документов, подтверждающих проведение поверки; при нарушении условий хранения и в других случаях, когда возникает сомнение в исправности хранимых приборов.

1.6. КАТЕГОРИРОВАНИЕ И СПИСАНИЕ

Каждое находящееся в эксплуатации средство измерений в зависимости от степени соответствия его свойств (значений характеристик и параметров) предъявляемым требованиям можно оценить как годное или не годное, готовое или не готовое к использованию по назначению. Такое заключение принимают на основании информации о свойствах, которые подвержены изменениям в процессе эксплуатации средств измерений и совокупность которых определяет их техническое состояние.

Важным элементом оценки технического состояния прибора является его категорирование, основанное на общей оценке степени пригодности к использованию по назначению. Категория средства изме-

рений – это условная характеристика, определяемая в зависимости от технического состояния и израсходования ресурса.

Различают четыре категории средств измерений:

- новые, не бывшие в использовании и с не истекшими сроками гарантии;
- технически исправные и годные к применению, бывшие в использовании или с истекшими сроками гарантии;
- неисправные, требующие ремонта;
- неисправные, ремонт которых невозможен или нецелесообразен.

По назначению можно использовать средства измерений только первой и второй категорий. Приборы третьей категории ремонтируют в соответствующих ремонтных органах в зависимости от их технического состояния. Приборы четвертой категории списывают.

Основаниями для перевода средств измерений из одной категории в другую являются: истечение срока гарантии; заключение соответствующего метрологического или ремонтного органа о возможности дальнейшего использования; наличие отказов, для устранения которых необходим ремонт. Изменение категории оформляется соответствующими документами.

Истечение установленных сроков эксплуатации не является основанием для перевода прибора в четвертую категорию, если он по своему техническому состоянию пригоден для дальнейшего использования. В зависимости от состояния специальная комиссия может назначить дополнительный срок службы. При выходе из строя сменных элементов, предохранителей и др., а также при проверке, регулировке или текущем ремонте в метрологических органах категория прибора не изменяется.

Пригодность прибора к эксплуатации определяется техническим состоянием, экономическими соображениями и моральным износом. Средства измерений списывают при достижении ими предельного состояния, когда невозможно или по экономическим соображениям нецелесообразно восстанавливать их работоспособность, а также при моральном устаревании. Списывать средства измерений может эксплуатирующая или ремонтная организация.

1.7. ВЕДЕНИЕ УЧЕТА И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Средства измерений и контроля подлежат обязательному учету для своевременной информации соответствующих должностных лиц и органов управления достоверными данными о наличии, движении и техническом состоянии приборов, контроля за сохранностью, законностью, целесообразностью и эффективностью использования.

Учет состоит в правильных и своевременных записях в книгах и журналах учета (накопителях информации ЭВМ) всех операций, связанных с движением и изменением технического состояния приборов. Широкое применение средств механизации и автоматизации повышает оперативность учета и обеспечивает высокое качество учетных операций. Учету подлежат все средства измерений и контроля независимо от их назначения и источников поступления. Учет должен вестись по специальным формам. Практика его организации в процессе эксплуатации показала целесообразность ведения следующих книг: учета наличия и движения средств; учета средств, выданных во временное пользование; учета технического состояния, проверки и ремонта средств.

Эксплуатационная документация предназначена для отражения технического состояния и других сведений, необходимых для совершенствования эксплуатации и ремонта приборов. К эксплуатационным документам относятся: техническое описание, инструкция по эксплуатации, формуляр или паспорт, ведомость ЗИП. Основным документом, отражающим техническое состояние средств измерений в процессе эксплуатации, является формуляр.

В разделах формуляра «Сведения о рекламациях» и «Учет неисправностей» учитываются все неисправности и рекламации, указываются причины их возникновения и меры, принятые по их устранению. Работы по техническому обслуживанию, консервации и расконсервации, установке на хранение, замене составных частей и комплектующих изделий заносят в соответствующие разделы формуляра с указанием даты, вида и объема работ за подписью соответствующего должностного лица, в ведении которого находятся приборы. Сведения о передаче и закреплении прибора за ответственным лицом заносят в раздел «Сведения о движении и закреплении изделия при эксплуатации».

Данные о наработке при каждом применении помещают в подраздел «Учет часов работы» лицом, непосредственно занятым эксплуатацией прибора. Итоги о наработке за месяц, год и с начала эксплуатации (после капитального ремонта или среднего ремонта) подводит лицо, за которым закреплен прибор, в подразделе «Итоговый учет работы» при периодическом техническом обслуживании в конце месяца, года. Если прибор имеет счетчик наработки, то в формуляр заносят только итоговые сведения о наработке за квартал. Допускается учет работы в специальных журналах учета наработки, которые прилагаются к формуляру с последующей записью в формуляр итоговых данных.

Результаты проверки средств измерений оформляют в разделе «Проверка прибора метрологическими органами». В формулярах приборов, забракованных при проверке, отмечают непригодность к эксплуатации и необходимость ремонта. Сведения о характере ремонта

прибора заносит в формуляр лицо, непосредственно осуществляющее ремонт. При отправке прибора в ремонт, передаче в другую организацию, консервации или упаковке на длительное хранение в формуляр записывают итоговые данные о наработке.

1.8. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ И ОТРАСЛЕВЫЕ ПОВЕРОЧНЫЕ СХЕМЫ

В основе обеспечения единообразия средств измерений лежит система передачи размера единицы измеряемой величины. Технической формой надзора за единообразием средств измерений является государственная (ведомственная) поверка средств измерений, устанавливающая их метрологическую исправность.

Достоверная передача размера единиц во всех звеньях метрологической цепи от эталонов или от исходного образцового средства измерений к рабочим средствам измерений производится в определенном порядке, приведенном в поверочных схемах. Поверочная схема – это утвержденный в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средством.

Различают государственные, ведомственные и локальные поверочные схемы органов государственной или ведомственных метрологических служб. Государственная поверочная схема распространяется на все средства измерений данной физической величины, применяемые в стране; ведомственная – на средства измерений, подлежащие поверке внутри ведомства; локальная – на средства измерений, подлежащие поверке в данном органе государственной или ведомственной метрологической службы.

Государственные поверочные схемы для средств измерений физической величины разрабатывают и вводят в виде государственного стандарта. В ходе их создания обосновывают структуру схемы (виды вторичных эталонов, число разрядов образцовых средств измерений, рациональных методов поверки) и других условий. Ведомственные и локальные поверочные схемы не должны противоречить государственным, но могут быть составлены и при их отсутствии. В ведомственных и локальных поверочных схемах можно указывать конкретные типы средств измерений.

Ведомственная поверочная схема представляет собой ведомственный нормативный документ или отраслевой стандарт. Перед утверждением она согласовывается с Госстандартом, который является разработчиком государственной поверочной схемы средств измерений данной физической величины. Локальная поверочная схема – норма-

тивно-технический документ или стандарт предприятия, согласованный с территориальным органом государственной метрологической службы.

Необходимым условием построения поверочных схем является установление методов определения ее параметров. Существуют методики, которые позволяют рассчитывать параметры поверочных схем: число ее ступеней, соотношение погрешностей образцового и поверяемого средств измерений на основе анализа их составляющих, максимально допустимые соотношения погрешностей поверяющего и поверяемого средств измерений и т.д.

Построение поверочных схем предполагает формирование эталонов средств измерений высшей точности, образцовых и рабочих средств измерений. Потребности практической метрологии не всегда позволяют придерживаться указанного условия. Прежде всего, это происходит тогда, когда не полностью сформирован парк образцовых средств измерений тех или иных величин. Применение в этих условиях методов экспертных оценок приводит, как правило, к созданию ведомственных поверочных схем с неоправданно завышенными запасами точности, необоснованным коэффициентом использования образцовых средств.

Таким образом, параметры поверочных схем необходимо определять с учетом имеющегося и формируемого парка образцовых средств измерений, требуемой достоверности поверки рабочих средств измерений. Для решения этой задачи следует найти число ступеней поверочной схемы и оценить степень рациональности ее построения, т.е. рассчитать рациональное число ступеней поверочной схемы. Для этого находят минимально необходимое и максимально возможное число ступеней и по коэффициенту избыточности поверочной схемы выбирают рациональное число ее звеньев. Под коэффициентом избыточности понимают отношение количества средств измерений, обеспечиваемых поверкой при максимально возможном числе ступеней поверочных схем, к количеству реально эксплуатируемых средств измерений.

Число ступеней поверочной схемы между минимальным и максимальным значением выбирают так, чтобы наиболее рационально обеспечить поверкой весь парк средств измерений данной физической величины. При этом следует учитывать:

- необходимость резерва образцовых (высшей точности) средств измерений на случай отказа основного;
- особенности системы передачи размеров отдельных физических величин, требующих дополнительных разрядов точности образцовых средств;

- географическую отдаленность части рабочих средств измерений, для поверки которых в районе их размещения содержатся специальные средства измерений высшей точности или эталонов-переносчиков;

- исторически сложившуюся систему передачи размеров единиц.

Следует признать целесообразным установление обязательных поверочных схем, определяющих наиболее эффективное использование ресурсов поверки на данном предприятии или в данном органе метрологической службы.

1.9. НАЗНАЧЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ И ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ВИДЫ ПОВЕРОК И СПОСОБЫ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ

Отличительной особенностью средств измерений от других технических средств является то, что они обладают метрологическими свойствами и содержат в себе информацию о единице измеряемой величины. Средства измерений приобретают метрологические свойства в процессе их изготовления и градуировки. В процессе эксплуатации эти свойства изменяются, и в некоторых случаях может наступить метрологический отказ. Для обеспечения единообразия средств измерений с целью предотвращения и выявления метрологических отказов проводят их поверку после изготовления и ремонта, а также при необходимости в процессе эксплуатации. Регламентируются следующие виды поверки: первичная, периодическая, внеочередная, инспекционная и экспертная. Первичная поверка сопровождает выпуск средств измерений в обращение из производства или ремонта. В отдельных обоснованных случаях допускается выборочная первичная поверка средств измерений.

Периодическая поверка проводится при эксплуатации и хранении средств измерений через определенные межповерочные интервалы (МПИ) времени, которые устанавливают, исходя из обеспечения исправности средств измерений на период между поверками.

Внеочередную поверку производят независимо от сроков периодической поверки в следующих случаях: при необходимости удостовериться в пригодности к применению средств измерений; при повреждении поверительного клейма, пломбы или утрате документа о поверке; при вводе в эксплуатацию средств измерений, поступающих после расконсервации; при необходимости контроля результатов периодической поверки; при корректировке межповерочных интервалов; при вводе в эксплуатацию после хранения в установленные сроки или при передаче на длительное хранение.

При инспекционной поверке выявляют пригодность к применению средств измерений, находящихся в эксплуатации, а также осуществляют государственный надзор и ведомственный контроль за состоянием и применением средств измерений.

Экспертная поверка необходима при возникновении спорных вопросов о метрологических характеристиках, исправности средств измерений и пригодности их к применению.

Поверка средств измерений метрологическим органом осуществляется, как правило, посредством образцовых средств измерений. Образцовые средства измерений хранят и применяют при государственной поверке органы государственной метрологической службы, а при ведомственной поверке – подразделения ведомственной (отраслевой) метрологической службы. В обоснованных случаях допускается проведение ведомственной поверки другими подразделениями предприятий ведомства (отрасли). Средства измерений, выпускаемые специально в качестве образцовых, т.е. изготавливаемые по стандартам или техническим условиям на образцовые средства измерений, подвергают первичной поверке. В остальных случаях средства измерений, предназначенные для применения в качестве образцовых, подлежат метрологической аттестации в государственных или ведомственных метрологических органах.

Метрологическая аттестация – это комплекс мероприятий по исследованию метрологических характеристик и свойств средства измерения с целью принятия решения о пригодности его применения в качестве образцового. Обычно для метрологической аттестации составляют специальную программу работ, основными этапами которых являются: экспериментальное определение метрологических характеристик; анализ причин отказов; установление межповерочного интервала и др. Метрологическую аттестацию средств измерений, применяемых в качестве образцовых, производят перед вводом в эксплуатацию, после ремонта и при необходимости изменения разряда образцового средства измерений. Результаты метрологической аттестации оформляют соответствующими документами (протоколами, свидетельствами, извещениями о непригодности средства измерений).

Особенности применяемых видов средств измерений определяют методы их поверки. В практике поверочных лабораторий известны разнообразные методы поверки средств измерений, которые для унификации сводятся к следующим: непосредственное сличение при помощи компаратора (т.е. при помощи средств сравнения); метод прямых измерений; метод косвенных измерений; метод независимой поверки (т.е. поверки средств измерений относительных величин, не требующий передачи размеров единиц).

Средства измерений, состоящие из нескольких частей (элементов), можно поверять поэлементно или комплектно. При поэлементной поверке погрешности средства измерений определяют по погрешности составных частей. Этот вид поверки является расчетно-экспериментальным и, как правило, применяется для сложных приборов, для которых отсутствуют образцовые средства измерений, позволяющие определять погрешность во всем диапазоне измерений. Например, поэлементная поверка практикуется для различных измерительных магазинов, измерительных линий, информационных измерительных систем и т.д.

При комплектной поверке определяют погрешности средства измерений в целом для всего измерительного прибора или измерительной системы. Этот вид поверки является более информативным и достоверным. Его целесообразно применять для средств измерений, в которых влияние взаимодействия составных компонентов на метрологические характеристики трудно оценить заранее. Известны два основных способа реализации комплектной поверки. Первый связан с использованием для поверки калибраторов, формирующих образцовые сигналы, подаваемые на вход поверяемого средства измерений. Второй предусматривает применение образцовых средств измерений для формирования сигналов, подаваемых на вход поверяемого прибора или измерительной системы, и сравнения результатов измерения, полученных образцовыми и поверяемыми средствами измерения. При этом в том и другом способе необходимо подавать на вход поверяемого средства измерений специальные испытательные сигналы. Комплектная поверка позволяет оценить динамические характеристики поверяемых средств измерений и определить динамическую погрешность.

Несмотря на различие источников испытательных сигналов в разных областях измерений, методология комплектной поверки является общей, основанной на идентификации динамических систем по входным и выходным сигналам. Решать современные задачи, стоящие перед поверкой средств измерений, можно на основе выбора такого испытательного сигнала, который сочетает простоту его реализации и высокую точность задания значений информативных параметров.

1.10. ДОСТОВЕРНОСТЬ ПОВЕРКИ

Одной из важнейших характеристик качества поверки является достоверность [1]. Эта характеристика процесса измерительного контроля отражает степень доверия к полученным после поверки результатам. На ее формирование влияет большое количество факторов. Наиболее существенными из них являются точность измерительного контроля, полнота контроля поверяемых параметров, временные пока-

затели поверки, надежность поверяемых и образцовых средств измерений, установление поля допуска на поверяемый параметр, методика операций поверки, способы регистрации и обработки измерительной информации, наличие системы самоконтроля.

Достоверность поверки по результатам измерительного контроля численно определяют как вероятность принятия правильного решения о техническом состоянии прибора.

В поверочной практике результат поверки средства измерений имеет два альтернативных состояния «годен», «не годен». Первое характеризует техническое состояние прибора, у которого все поверяемые параметры в норме, второе – состояние, при котором хотя бы один из параметров не в норме.

Чаще всего при поверке средств измерений определяют относительную погрешность в поверяемой отметке диапазона измерений.

При разработке методик поверки средств измерений, а также при метрологической экспертизе и испытаниях приборов необходимо задавать и контролировать показатели достоверности поверки, обеспечиваемые данной методикой. При этом возникают трудности нормирования и контроля ошибок поверки (α_d и β_d – условные вероятности ложного и необнаруженного отказов при проверке прибора), которые обусловлены тем, что на этапе разработки средств измерений, как правило, отсутствуют априорные данные о распределениях параметров, а также результаты периодических поверок.

Из-за отсутствия данных об эксплуатации вновь выпускаемых средств измерений показатели достоверности первичной поверки, как правило, отличаются от показателей периодической поверки. Это обусловлено совершенством технологии изготовления, ее стабильностью.

Как правило, у современных средств измерений поверяют несколько метрологических характеристик. При этом наиболее часто применяют методику, когда в определенном порядке для каждой метрологической характеристики (поверяемой точки) проверяют гипотезы о годности прибора и, если они не опровергаются для всех метрологических характеристик, то средство измерений признают годным.

При этом обычно для анализа используют модель системы обслуживания и восстановления технических объектов, в которой при отрицательных результатах поверки забракованные приборы заменяют на исправные, т.е. для парка средств измерений считают, что на момент окончания поверки апостериорная вероятность признания прибора исправным становится равной единице [2]. Отметим, что такая модель не учитывает ошибки поверки средств измерений. Из-за этого вероятность признания исправного состояния средства измерений в момент окончания поверки не может принимать значение, равное единице, а оказывается несколько ниже.

Известно, что поверка средств измерений повышает как достоверность оценки их технического состояния, так и время, затрачиваемое на подготовку прибора к применению. Причем на показатели надежности, связанные с готовностью средства измерений к применению, существенно влияют ошибки поверки. Поэтому требуемое значение α_d следует определять из комплексных показателей надежности, учитывающих время восстановления забракованного прибора.

Разброс результатов измерений при поверке прибора обусловлен следующими факторами:

- случайной составляющей погрешности поверяемого средства измерений;
- случайной составляющей погрешности образцовых средств измерений;
- случайными изменениями характеристик среды и других факторов, влияющих на результаты поверки.

При выборе образцового прибора для поверки конкретного типа средства измерений необходимо учитывать как его точностные характеристики, так и анализировать согласованность принятой модели измеряемой величины с действительным законом ее изменения. При определении достоверности поверки необходимо принимать во внимание влияние составляющей погрешности поверки из-за неадекватности принятой и реальной модели поверяемого параметра.

Другим способом повышения достоверности измерительного контроля без конструктивных изменений прибора является учет влияния измеряемой величины и других дестабилизирующих факторов на распределение погрешности.

1.11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ

Под объемом поверочных работ понимают совокупное число основных поверочных операций (без подготовительных), в результате выполнения которых можно сделать вывод о пригодности прибора к применению.

Объем поверки зависит от числа поверяемых метрологических характеристик; числа поверяемых отметок (точек) в диапазоне измерений; числа измерений в каждой поверяемой отметке. Первое число определяется числом измерительных функций прибора; второе – характером измерения поверяемой метрологической характеристики; третье – возможным разбросом случайной составляющей погрешности прибора.

При выборе состава поверяемых параметров основное требование заключается в достоверной оценке технического состояния средства измерений для принятия решения о возможности ее применения.

Нормативные документы на разработку методик по поверке средств измерений требуют определять минимум поверяемых метрологических характеристик, достаточный для решения вопроса о пригодности поверяемых средств измерений к применению.

Обоснованное применение допущений может существенно сократить объем поверки. ПР 50.2.006–94 ГСИ разрешает периодическую поверку средств измерений, предназначенных для измерения нескольких физических величин или имеющих несколько диапазонов измерений, выполнять только по тем требованиям НТД (нормативно-технической документации) на поверку, которые определяют пригодность прибора для применяемого числа физических величин и применяемых диапазонов измерений.

1.12. ПОВЕРКА ПО СОКРАЩЕННОЙ ПРОГРАММЕ. МЕТОДЫ ПОВЕРКИ МНОГОПРЕДЕЛЬНЫХ И МНОГОЦЕЛЕВЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Установленные НТД объемы поверочных работ являются, как правило, значительными, требуют больших трудозатрат и длительного изъятия средств измерений из обращения, что влияет на снижение готовности устройств к применению и их эффективность.

Положительный эффект от введения поверки средств измерений по сокращенной программе выражается в следующем:

- снижаются трудозатраты на поверочные работы и время изъятия средств измерений из сферы применения их по назначению;
- исключаются случаи забракования средств измерений на тех диапазонах и пределах измерений, а также по тем метрологическим характеристикам, которые практически не используются;
- повышаются характеристики надежности за счет снижения случаев забракования средств измерений из-за неисправности комплектующих элементов и отдельных блоков, не участвующих в работе средств измерений на ограниченных диапазонах, отдельных пределах измерений и не влияющих на метрологические характеристики;
- появляются возможности увеличения межповерочных интервалов;
- уменьшаются время восстановления и номенклатура требуемого для восстановления ЗИП (запасные части, инструменты, принадлежности и материалы);
- обеспечиваются возможность поверки средств измерений без демонтажа с технических устройств и автоматизация выполнения поверочных работ.

Недостатком поверки средств измерений по сокращенной программе является невозможность использования данных средств изме-

рений на диапазонах, пределах измерений и с теми метрологическими характеристиками, поверка которых была исключена. Поверка средств измерений по сокращенной программе не должна нарушать единства и требуемой точности измерений. Соблюдение этих условий обуславливает требование к методу определения сокращенной программы поверки средств измерений.

Программу сокращенной поверки следует составлять так, чтобы исходя из конкретных условий применения средств измерений объем поверки был минимальным и за межповерочный интервал обеспечивалась погрешность измерений, определяемая нормируемыми значениями соответствующих метрологических характеристик.

Введение программы сокращенной поверки не должно приводить к созданию новой или дополнительной НТД на поверку средств измерений.

1.13. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА ПОВЕРЯЕМЫХ ОТМЕТОК В ДИАПАЗОНЕ ИЗМЕРЕНИЙ В АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

Число поверяемых отметок в диапазоне измерений прибора в значительной мере определяет объем поверочных работ. Малое число поверяемых отметок может оказаться недостаточным для достоверной оценки метрологических характеристик прибора, а большое может снизить оперативность поверки и не дать новых сведений по сравнению с информацией, полученной при оптимальном количестве отметок. В то же время для повышения оперативности и снижения трудоемкости поверочных работ требуется максимально сократить число поверяемых отметок.

Для аналоговых измерительных приборов в диапазоне измерений в основном используют три следующих подхода:

- на основе статистического анализа распределения частоты метрологических отказов по шкале средства измерений [3];
- на основе определения (аппроксимации) функции распределения погрешности по шкале средства измерений [3, 4];
- на основе обеспечения требуемого уровня достоверности поверки (уровня вероятности ложного и необнаруженного отказа) [5, 6].

Особенностью цифровых измерительных приборов является конечное число возможных значений результатов измерений. Поэтому теоретически принципиально можно проверить исправность прибора и его погрешность при каждом из возможных значений показаний. Однако на практике к такой процедуре, как правило, не прибегают из-за большой трудоемкости операций поверки. В применяемых методиках поверки цифровых измерительных приборов используют ограничен-

ное число отметок в диапазоне измерений и по полученным результатам судят о значениях поверяемых параметров во всем остальном диапазоне. При поверке цифровых измерительных приборов необходимо учитывать особенности их функционального построения.

Оценка погрешности квантования для различных методов преобразования аналоговых сигналов приведена в [7].

1.14. НАЗНАЧЕНИЕ И КОРРЕКТИРОВКА МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ

Периодическая поверка проводится через определенные межповерочные интервалы, в течение которых обеспечена исправность средств измерений.

Для средств измерений, подлежащих обязательной государственной поверке, межповерочные интервалы устанавливает непосредственно Госстандарт или Государственная метрологическая служба. Для средств измерений, подлежащих ведомственной поверке в соответствии с регистрационным удостоверением, при периодичности поверки устанавливают главные метрологи или руководители ведомственных метрологических служб предприятий, на которых возложены обязанности главных метрологов. Для средств измерений, подлежащих ведомственной поверке и не обеспеченных поверкой в органах метрологических служб, межповерочные интервалы устанавливают руководители предприятий по согласованию с органами государственной метрологической службы.

Длительность межповерочных интервалов зависит от фактической надежности средств измерений, условий эксплуатации, интенсивности их использования, а также от значимости для потребителя результатов измерений конкретным средством измерений. В настоящее время при установлении длительности межповерочного интервала используют в основном три подхода: экономический, технико-эксплуатационный и смешанный.

При экономическом подходе длительность межповерочного интервала определяют из условий минимизации экономических затрат, связанных с обслуживанием и применением неисправных средств измерений [8, 9]. Этот подход оправдан тогда, когда без особых затруднений можно получить сведения о затратах, обусловленных применением неисправных средств измерений при производстве определенных видов продукции.

В основе большинства подходов назначения межповерочных интервалов и их корректировки предполагается экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы с нормальным распределением погрешностей во временных «сечениях» процесса эксплуатации.

Развитие микропроцессорной техники открыло широкие возможности создания средств измерений с существенно лучшими, чем ранее, метрологическими, техническими и эксплуатационными характеристиками. Кроме того, встраивание микропроцессоров в измерительные приборы позволяет использовать тестовые методы поверки работоспособности и методы эталонных сигналов для проведения самоконтроля (самоповерки), автокалибровки и самодиагностики. Встроенные системы контроля позволяют обнаружить отказы непосредственно перед применением приборов и тем самым обеспечить высокую достоверность проводимых измерений. Встроенная система самоповерки повышает метрологическую автономность средства измерений и дает возможность увеличить межповерочный интервал.

В общем случае самоконтроль осуществляется путем подачи на вход средства измерений от встроенного источника (калибратора) образцовых сигналов со строго определенным значением измеряемой величины. Если различие между измерением и эталонным значением сигнала превосходит допуск, то схема встроенного самоконтроля сигнализирует о неработоспособности по данному параметру.

Качество самоконтроля характеризуется достоверностью, которая оценивается условной вероятностью необнаруженного отказа, а также надежностью работы системы (устройства) самоконтроля. Введение в средство измерений встроенной системы самоконтроля не должно являться самоцелью. Прежде всего, применение самоконтроля должно приносить положительный эффект, например увеличивать межповерочный интервал, снижать трудоемкость поверки и т.д.

В зависимости от степени участия оператора в процессе контроля и регулировки измерительного прибора средства встроенного контроля могут быть:

- автоматическими, без участия оператора;
- полуавтоматическими, за оператором сохраняются определенные функции;
- неавтоматическими, все операции при контроле и регулировке выполняются оператором.

По степени воздействия на техническое состояние измерительных приборов различают активные средства встроенного контроля, позволяющие контролировать техническое состояние прибора и устранять определенные отказы и пассивные, позволяющие лишь контролировать техническое состояние прибора.

Оптимальное сочетание этих средств встроенного контроля значительно снижает трудоемкость поверки.

Другим важным направлением повышения эффективности поверочных работ является использование средств измерений с автоном-

ной поверкой. При этом под автономной поверкой понимают такую, при которой число операций передачи размера единицы от образцового прибора к поверяемому сведены к минимуму, определяемому физической явлений, т.е. осуществляются по одной характеристике в одной точке диапазона измерений [10].

Применение средств измерений с автономной поверкой не только снижает трудоемкость поверки, но и существенно повышает эффективность системы метрологического обслуживания, связанную с увеличением межповерочного интервала, с транспортировкой только поверяемых отдельных элементов (блоков) средств измерений на место поверки и обратно.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под эксплуатацией изделия?
2. Что понимают под техническим обслуживанием, осмотром, проверкой?
3. Назначение испытания систем автоматики.
4. Какие виды технического обслуживания различают?
5. Основные показатели технического обслуживания.
6. Как подразделяются электроустановки по степени опасности при техническом обслуживании?

2. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО МОНТАЖУ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ

2.1. ПОДГОТОВКА К ПРОИЗВОДСТВУ МОНТАЖНЫХ РАБОТ ПОДГОТОВКА К ПРОИЗВОДСТВУ РАБОТ

Современные темпы строительства требуют от монтажных организаций тщательной подготовки производства, совершенствование которой невозможно без развития связей с проектными и научно-исследовательскими институтами. Такие связи способствуют внедрению в монтажное производство прогрессивных методов труда, совершенных конструкций, новых материалов.

Решение этих задач возложено на технические службы монтажных организаций: участки подготовки производства (УПП), строительно-монтажные лаборатории, проектно-конструкторские организации и производственно-технические отделы. Все эти подразделения, включая службу главного механика, составляют инженерную службу монтажной организации.

В соответствии со СНиП 12-01–2004 и СНиП 3.05.07–85 при подготовке монтажной организации к производству необходимо:

- проверить наличие согласованного с монтажной организацией проекта организации строительства (ПОС);
- получить рабочую документацию по акту;
- разработать и утвердить проект производства работ (ППР);
- произвести приемку строительной и технологической готовности объекта к монтажу систем автоматизации;
- произвести приемку оборудования (приборов, средств автоматизации, щитов, пультов, агрегатных и вычислительных комплексов АСУ ТП), изделий и материалов от заказчика и генподрядчика;
- произвести вне зоны монтажа укрупнительную сборку узлов и блоков с повышенной степенью монтажной готовности;
- выполнить предусмотренные нормами и правилами мероприятия по охране труда, противопожарной безопасности и охране окружающей среды.

Производство работ по монтажу систем автоматизации осуществляют на основании проекта производства работ. Цели:

- повышение организационно-технического уровня монтажа на базе использования достижений науки и техники;
- снижение себестоимости монтажных работ;
- повышение производительности труда;
- сокращение продолжительности и повышение качества монтажа.

Проект производства работ разрабатывается участками подготовки производства монтажных управлений или проектно-конструкторскими организациями, которые по отдельному договору осуществляют надзор за выполнением решений по ППР. Порядок и условия его проведения устанавливаются ведомственными нормативными документами, утвержденными в установленном порядке.

Проект производства работ должен разрабатываться с учетом:

- характерных особенностей объекта и местных условий монтажа систем автоматизации;
- реальных возможностей монтажной организации;
- внедрения новой монтажной технологии и прогрессивных материалов;
- повышения уровня индустриализации монтажных работ;
- переноса значительной части объема работ с монтажной площадки в монтажно-заготовительные мастерские (МЗМ);
- широкого использования унифицированных и типизированных монтажных узлов, блоков, конструкций и изделий, изготавливаемых заводами;
- комплектных поставок монтажных материалов и изделий с использованием контейнеров;
- максимального использования фронта работ с обеспечением их непрерывности и поточности;
- внедрения механизации монтажных работ с эффективным использованием машин и механизмов;
- требований условий труда и техники безопасности;
- требований строительных норм и правил, в том числе глав «Правила производства и приемки работ. Системы автоматизации» СНиП 3.05.07–85 и «Электрические устройства» СНиП 3.05.06–85, «Правил устройства электроустановок», руководящих и информационных материалов;
- согласованных замечаний, предложений и изменений к проекту автоматизации;
- возможности повторного использования ППР или отдельных его частей.

Исходными данными для разработки ППР служат:

- 1) рабочая документация по автоматизации технологических процессов, разработанная в соответствии с Инструкцией СНиП 1.02.01–85;
- 2) задание на разработку ППР, включающее наименование объекта, состав, сроки разработки ППР, сроки монтажа систем автомати-

зации, объем строительно-монтажных работ, наименование генеральной подрядной строительной организации и заказчика;

3) рабочие чертежи марок ТХ (технология производства) и АС (архитектурно-строительные решения) по ГОСТ Р 21.1101–2009;

4) проект организации строительства.

В состав ППР, как правило, включают:

- пояснительную записку;
- ведомость физических объемов;
- монтажный генплан;
- схему такелажно-транспортных работ;
- эскизы по разбивке потоков трубных и электрических проводов на блоки в соответствии с рабочей документацией по автоматизации и с учетом физического расположения оборудования и строительных конструкций на объекте;

- сетевой или линейный график производства подготовительных и монтажных работ;

- график потребности в рабочих кадрах по объекту;

- график монтажа смежными организациями закладных деталей, отборных устройств и первичных приборов на технологическом оборудовании и трубопроводах;

- график выполнения строительной части объекта для монтажа систем автоматизации;

- график поставки в МЗМ (монтажно-заготовительские мастерские) и на объект монтажных изделий;

- график поставки в МЗМ и на объект материалов и изделий генерального подрядчика и заказчика;

- график поставки на объект изделий МЗМ;

- график поставки в МЗМ и на объект приборов и средств автоматизации, поставляемых заказчиком;

- график поставки щитов в МЗМ и на объект;

- ведомость заготовки кабелей;

- ведомость заготовки проводов;

- ведомости инструмента, механизмов и защитных средств;

- документацию для осуществления контроля и оценки качества монтажных работ.

Состав ППР для конкретного объекта, определенный при выдаче задания на разработку ППР, может быть изменен с учетом особенностей объекта. Для несложных объектов ППР, как правило, выполняется в сокращенном объеме.

Задание на разработку и утверждение ППР, осуществляется главным инженером монтажной организации. По особо сложным и уникальным объектам перед утверждением ППР должен рассматриваться техническим советом монтажной организации.

2.2. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЗАКАЗЧИКАМИ И ПОДРЯДНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Порядок заключения и исполнения договоров подряда на капитальное строительство, права, обязанности и ответственность заказчиков и подрядчиков определяются «Правилами о договорах подряда на капитальное строительство».

Взаимоотношения организаций – генеральных подрядчиков (генподрядчиков) с субподрядными организациями (субподрядчиками), их права, обязанности и ответственность при заключении и исполнении договоров субподряда на выполнение комплексов монтажных и специальных строительных работ регламентируются «Положением о взаимоотношениях организаций генеральных подрядчиков с субподрядными организациями». Положение имеет целью обеспечить ввод в действие производственных мощностей, объектов и основных фондов.

Основным документом, регулирующим взаимоотношения между генподрядчиком и субподрядчиком, является договор субподряда.

Кроме подрядных договоров со строительными организациями монтажные организации заключают прямые договоры непосредственно с предприятиями на производство работ по капитальному ремонту, внедрению новой техники, реконструкции, новому строительству, выполняемому предприятием хозспособом. В этом случае взаимоотношения между предприятием и монтажной организацией определяются «Правилами о договорах подряда на капитальный ремонт», согласно которым функции заказчика выполняет предприятие, ведущее капитальный ремонт, а подрядчика – монтажная организация.

ОБЯЗАННОСТИ СТОРОН

Согласно «Положению о взаимоотношениях генеральных подрядчиков с субподрядными организациями» (СНиП 1.03.01–85) и Строительным нормам и правилам по монтажу систем автоматизации (СНиП 3.05.07–85) для производства монтажа средств автоматизации Генподрядчик обязан:

- привлекать субподрядчика к составлению проекта генерального договора подряда на капитальное строительство, графиков к нему, к определению сроков и условий производства монтажных и специальных строительных работ;
- привлекать организацию, осуществляющую монтаж систем автоматизации, к рассмотрению и составлению заключения по проекту организации строительства (ПОС), компоновкам специальных помещений, предназначенных для систем автоматизации (диспетчерских, операторских, аппаратных залов, помещений датчиков, эстакад, туннелей, каналов и т.п.), и техническим решениям по монтажу систем

автоматизации с целью отражения в проектно-сметной документации возможности выполнения монтажных работ комплектно-блочным и узловым методами;

- составлять с участием субподрядчиков и утверждать по согласованию с ними обязательные для всех организаций, участвующих в строительстве, графики производства работ, уточняющие календарные планы, предусмотренные проектом организации строительства и проектом производства работ, предусматривающие окончание работ в сроки, обеспечивающие ввод в действие мощностей (объектов), предусмотренных в плане;

- привлекать субподрядчиков для согласования графиков поставки заказчиком оборудования и материалов, увязанных со сроками строительства и графиками производства работ;

- обеспечивать строительную готовность объекта, конструкций и отдельных видов работ для производства субподрядчиком последующих монтажных и специальных строительных работ;

- передавать субподрядчику утвержденную в установленном порядке проектно-сметную документацию и техническую документацию предприятий-изготовителей на приборы и средства автоматизации, в том числе на поставляемые комплектно с технологическим оборудованием. В составе проектно-сметной документации должны быть переданы монтажной организации ПОС и рабочая документация с отметкой генподрядчика или заказчика на каждом чертеже (экземпляре) о принятии их к производству.

В рабочей документации систем автоматизации, выдаваемой в соответствии с п. 1.6 СНиП 3.05.07–85 монтажной организации, должны быть предусмотрены:

- выделение ее в самостоятельный комплект;
- взаимоувязка с технологической, электротехнической, сантехнической и другой рабочей документацией;

- привязка приборов и средств автоматизации, поставляемых предприятиями-изготовителями комплектно с технологическим оборудованием;

- высокая заводская и монтажная готовность оборудования, передовые методы монтажных работ, максимальный перенос трудоемких работ в монтажно-заготовительные мастерские;

- указание категорий трубных проводок в соответствии с рекомендуемым приложением 2 СНиП 3.05.07–85;

- указание взрывоопасных и пожароопасных зон и их границы, категории, группы и наименование взрывоопасных смесей, места установки разделительных уплотнений и их типы.

Допускается:

- передавать рабочую документацию на машинных носителях;
- передавать субподрядчику материалы, изделия и конструкции, обеспечение которыми согласно действующему законодательству возложено на генподрядчика;
- совместно с заказчиком осуществлять поставку приборов, средств автоматизации, агрегатных и вычислительных комплексов АСУ ТП, щитов, пультов и необходимых материалов по графику, согласованному с монтажной организацией, в котором должна предусматриваться первоочередная комплектная поставка приборов, средств автоматизации, изделий и материалов, включенных в спецификации на технологические линии, узлы и блоки, подлежащие изготовлению монтажными организациями, а также для комплектования специальных помещений систем автоматизации;
- осуществлять контроль за соответствием объема, качества и стоимости выполняемых субподрядчиками работ проектно-сметной документации;
- проверять ход монтажных и специальных строительных работ в соответствии с графиком производства работ, а также качество строительно-монтажных работ, используемых материалов, изделий и конструкций, не вмешиваясь при этом в оперативно-хозяйственную деятельность субподрядчика;
- принимать от субподрядчика законченные комплексы монтажных и специальных строительных работ и оплачивать их по сметной стоимости. Генподрядчик вправе выдавать предписание субподрядчику о приостановлении работ при выявлении отклонений от рабочей документации, строительных норм и правил до их устранения.

Субподрядчик обязан:

- участвовать в составлении генподрядчиком проекта генерального договора подряда на капитальное строительство в части определения сроков и условий производства монтажных и специальных строительных работ и поставки заказчиком оборудования и материалов;
- участвовать в определении и согласовании видов, объемов и стоимости поручаемых ему комплексов монтажных и специальных строительных работ, предусматриваемых проектно-сметной документацией;
- участвовать в согласовании графиков поставки заказчиком оборудования, изделий и материалов, увязанных со сроками строительства и графиками производства работ;
- получить от генподрядчика (или по согласованию с ним непосредственно от заказчика) необходимый комплект проектно-сметной документации;

- выполнить по договору субподряда своими силами и средствами комплекс монтажных и специальных строительных работ в соответствии с утвержденной проектно-сметной документацией, обеспечив при этом надлежащее качество выполненных работ;
- произвести индивидуальное испытание смонтированного оборудования и систем, своевременно устранить дефекты в производственных работах, выявленные в ходе строительства, и недоделки, выявленные в процессе приемки законченных субподрядчиком комплексов монтажных и специальных строительных работ, и сдать их генподрядчику;
- участвовать в проводимом заказчиком комплексном опробовании смонтированного субподрядчиком оборудования.

ПРИЕМКА ОБЪЕКТА ПОД МОНТАЖ

До начала монтажа систем автоматизации на строительной площадке, а также в зданиях и сооружениях, сдаваемых под монтаж систем автоматизации, должны быть выполнены строительные работы, предусмотренные СНиП 3.01.01–85, ПОС и ППР.

В строительных конструкциях зданий и сооружений (полах, перекрытиях, стенах, фундаментах оборудования) в соответствии с архитектурно-строительными чертежами должны быть:

- установлены закладные конструкции (см. рекомендуемое приложение 3 СНиП 3.05.07–85) под щиты, пульты, приборы, средства автоматизации и т.п.;
- выполнены каналы, туннели, ниши, борозды, закладные трубы для скрытых проводок, проемы для прохода трубных и электрических проводок с установкой в них стальных плит, коробов, гильз, патрубков, обрамлений и других закладных конструкций;
- установлены площадки для обслуживания приборов и средств автоматизации;
- оставлены монтажные проемы для перемещения крупногабаритных узлов и блоков;
- нанесены разбивочные оси и рабочие высотные отметки.

В специальных помещениях, предназначенных для систем автоматизации, а также в производственных помещениях в местах, предназначенных для монтажа приборов и средств автоматизации, должны быть закончены строительные и отделочные работы, произведена разборка опалубок, строительных лесов и подмостей, не требующихся для монтажа систем автоматизации, произведена уборка мусора.

Специальные помещения, предназначенные для систем автоматизации, должны быть оборудованы отоплением (температура должна поддерживаться не ниже +5 °С), вентиляцией, освещением, при необходимости – кондиционированием по постоянной схеме, должны иметь остекление и дверные запоры.

В помещениях, предназначенных для монтажа технических средств агрегатных и вычислительных комплексов АСУ ТП, кроме того, должны быть смонтированы системы кондиционирования воздуха и должна быть произведена тщательная уборка пыли.

После сдачи указанных помещений под монтаж систем автоматизации в них не допускается производство строительных работ и монтаж санитарно-технических систем. В помещениях, предназначенных для монтажа вычислительных комплексов, запрещена также покраска меловой побелкой, а на окнах должны быть предусмотрены средства защиты от прямых солнечных лучей (жалюзи, шторы).

К началу монтажа систем автоматизации на технологическом, сантехническом и других видах оборудования и на трубопроводах должны быть установлены: закладные и защитные конструкции для монтажа первичных приборов, причем закладные конструкции для установки отборных устройств давления, расхода и уровня должны заканчиваться запорной арматурой; приборы и средства автоматизации, встраиваемые в трубопроводы воздухопроводы и аппараты (сужающие устройства, объемные и скоростные счетчики, ротаметры, проточные датчики расходомеров и концентратомеров, уровнемеры всех типов, регулирующие органы и т.п.).

Приемку строительной и технологической готовности объекта оборудования, изделий и материалов следует осуществлять поэтапно по отдельным законченным частям объекта (диспетчерские, операторские помещения, технологические блоки, узлы, линии и т.п.).

На объектах с небольшими объемами работ по монтажу систем автоматизации приемку под монтаж осуществляют при наличии полного обеспечения оборудованием, изделиями и материалами и при полностью смонтированном технологическом оборудовании и трубопроводах.

На объекте в соответствии с технологическими, сантехническими, электротехническими и другими рабочими чертежами должны быть:

- проложены магистральные трубопроводы и разводящие сети с установкой арматуры для отбора теплоносителей к обогреваемым устройствам систем автоматизации, а также трубопроводы для отвода теплоносителей;

- установлено оборудование и проложены магистральные и разводящие сети для обеспечения приборов и средств автоматизации электроэнергией и энергоносителями (сжатым воздухом, газом, маслом, паром, водой и т.п.), а также трубопроводы для отвода энергоносителей;

- проложена канализационная сеть для сбора стоков от дренажных трубных проводок систем автоматизации;

- выполнена заземляющая сеть;
- выполнены работы по монтажу систем автоматического пожаротушения.

Заземляющая сеть для технических средств агрегатных и вычислительных комплексов АСУ ТП должна отвечать требованиям предприятий-изготовителей этих технических средств.

Приемка объекта оформляется актом готовности объекта к производству работ по монтажу систем автоматизации по форме СНИП 3.05.07–85.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНТАЖНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ МАТЕРИАЛАМИ И ОБОРУДОВАНИЕМ

Обеспечение выполняемых субподрядчиком работ, предусмотренных договором субподряда, материалами и изделиями является обязанностью субподрядчика, за исключением обеспечения материалами, изделиями, которое согласно действующему законодательству возложено на генподрядчика и заказчика.

Поставка на объект изделий и материалов организацией, монтирующей системы автоматизации, должна осуществляться, как правило, контейнерным методом с комплектацией по отдельным узлам объекта или на объект в целом.

Приборы, средства автоматизации, щиты и пульты, агрегатные, информационно-вычислительные и управляющие комплексы, а также материалы и изделия (включая изделия из цветных металлов и нержавеющей стали) поставляются в монтаж заказчиком и генподрядчиком.

Порядок передачи генподрядчиком субподрядчику материалов и изделий определяется в особых условиях к договору субподряда.

Поставляемые заказчиком оборудование, подлежащее монтажу, материалы и изделия передаются субподрядчику генподрядчиком или по его поручению заказчиком по актам на приобъектных складах строительно-монтажных организаций или в специально отведенных местах, указанных в проекте организации строительства для передачи оборудования и материалов в монтаж комплектно, в соответствии с требованиями стандартов и технических условий в полной исправности в сроки, предусмотренные согласованными сторонами графиком.

В отдельных случаях по соглашению сторон может быть установлен иной порядок передачи оборудования, материалов и изделий.

При передаче монтажной организации материалов, изделий и оборудования заказчиком (генподрядчиком) должны быть переданы:

- паспорта и монтажно-эксплуатационные инструкции на приборы и средства автоматизации, агрегатные и вычислительные комплексы;

- паспорта и техническая документация предприятий-изготовителей на щиты, стативы и пульты;
- паспорта на трубопроводную аппаратуру;
- сертификаты на материалы;
- чертежи и спецификации систем автоматизации, поставляемых комплектно с оборудованием предприятиями-изготовителями соответствующего оборудования.

Если рабочая документация предусматривает применение в системах автоматизации технических средств индивидуального изготовления или поставляемых иными фирмами, то для их монтажа должны быть переданы соответствующие технические условия, а также поставляемые предприятием-изготовителем (или иной фирмой) специальный инструмент и приспособления.

Приборы, средства автоматизации, изделия и материалы должны передаваться в монтаж комплектно на технологическую линию, узел, блок или для специальных помещений систем автоматизации в соответствии с рабочей документацией.

Досрочная передача генподрядчиком (заказчиком) субподрядчику оборудования, материалов и изделий поставки генподрядчика (заказчика) может быть осуществлена только с согласия субподрядчика.

Крупногабаритное оборудование передается в зоне монтажа укрупненными узлами в соответствии с техническими условиями на его изготовление. В тех случаях, когда оборудование передается отдельными частями, обеспечение сборки его в укрупненные узлы входит в обязанность генподрядчика (заказчика). При согласовании сборки оборудования может быть выполнена субподрядчиком за счет средств генподрядчика (заказчика).

Принимаемые приборы и средства автоматизации, материалы, конструкции, изделия и вспомогательные технические средства и устройства (контрольно-измерительная аппаратура, стенды и т.п.) должны соответствовать спецификациям рабочей документации, государственным стандартам или техническим условиям и иметь соответствующие сертификаты, технические паспорта или другие документы, удостоверяющие их качество.

В случае установления субподрядчиком некомплектности оборудования при приемке его для монтажа, а в процессе монтажа или испытания оборудования – дефектов, субподрядчик обязан поставить об этом в известность генподрядчика (заказчика) и принять участие в составлении соответствующего акта.

Генподрядчик (заказчик) обязан доукомплектовать оборудование в двадцатидневный срок с момента составления акта, если иной срок не установлен соглашением сторон.

Устранение дефектов оборудования, обнаруженных в процессе приемки, является обязанностью заказчика.

Приборы, средства автоматизации, изделия и материалы, принятые в монтаж, должны храниться в соответствии с требованиями предприятий-изготовителей и ППР.

Оборудование, подлежащее монтажу, с момента передачи его субподрядчику по акту находится на ответственном хранении последнего до подписания акта рабочей комиссии о приемке его для комплексного опробования.

При хранении должен быть обеспечен доступ для осмотра, созданы условия, предотвращающие механические повреждения, попадание влаги и пыли во внутренние полости.

Субподрядчик несет ответственность за сохранность переданного ему оборудования до сдачи его генподрядчику (заказчику) для комплексного опробования. В случае повреждения оборудования по вине субподрядчика восстановление производится за счет средств субподрядчика.

Приборы, средства автоматизации и изделия, находящиеся у генподрядчика (заказчика), на которые истек гарантийный срок, указанный в технических условиях, а при отсутствии таких указаний – по истечении года передается генподрядчиком (заказчиком) субподрядчику для монтажа после проведения предмонтажной ревизии и устранения дефектов, вызванных длительным хранением.

Результаты проведенных работ должны быть занесены в формуляры, паспорта и другую сопроводительную документацию в соответствии с п. 2.13 СНиП 3.05.07–85 или составлен акт.

При нахождении оборудования на складах сверх нормативного срока хранения по вине субподрядчика предмонтажная ревизия и устранение дефектов этого оборудования, вызванных длительным хранением, осуществляются заказчиком за счет средств субподрядчика или самим субподрядчиком.

Если задержка начала монтажных работ произошла по вине генподрядчика, предмонтажная ревизия и устранение дефектов оборудования, вызванных длительным хранением, осуществляются за счет генподрядчика.

Барабаны с кабелем, проводами и тросами принимаются субподрядчиком от генподрядчика под сохранную расписку. Субподрядчик несет ответственность перед генподрядчиком за возврат в согласованный сторонами срок барабанов из-под кабельной продукции.

Трубы, арматура и соединители для кислородных трубных проводок должны передаваться обезжиренными с документацией, подтверждающей проведение этой операции.

При приемке проверяют комплектность, отсутствие повреждений и дефектов, сохранность окраски и специальных покрытий, сохранность пломб, наличие специального инструмента и приспособлений, поставляемых предприятиями-изготовителями. Материалы, изделия поставки генподрядчика (заказчика), не соответствующие указанным требованиям, подлежат замене генподрядчиком (заказчиком) в срок, согласованный с субподрядчиком.

При согласии субподрядчика генподрядчик вправе передать ему реализацию фондов на материалы и изделия. В этом случае генподрядчик обязан оплачивать поступающее оборудование, транспортные расходы по его доставке до приобъектного склада или монтажной зоны, а также затраты по погрузке и разгрузке; перечислять на расчетный счет субподрядчика по мере поступления оборудования, материалов и изделий средства на заготовительно-складские расходы в полном размере, предусмотренном нормами на эти цели.

При производстве монтажных и специальных строительных работ субподрядчик вправе с согласия генподрядчика использовать материалы и конструкции, получаемые от разборки зданий и сооружений или попутной добычи. Пригодность использования указанных материалов и конструкций определяется генподрядчиком и субподрядчиком. Стоимость использованных материалов и конструкций возмещается субподрядчиком генподрядчику по счету по прейскурантам оптовых цен за вычетом расходов по приведению этих материалов и конструкций в пригодное для использования состояние.

Расчеты за материалы и изделия, передаваемые генподрядчиком (заказчиком) субподрядчику, производятся по действующим на момент передачи оптовым ценам, тарифам на транспортировку с учетом расходов по их заготовке и хранению, но не выше сметных цен на эти цели.

В случае, когда предусмотренные проектом (рабочим проектом) материалы и изделия генподрядчиком (заказчиком) заменены, разница между стоимостью фактически используемых материалов и изделий и стоимостью в принятой смете оплачивается субподрядчику генподрядчиком (заказчиком) за счет сметы на строительство.

УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Генподрядчик обязан к началу работ субподрядчика в сроки, предусмотренные договором, обеспечить согласно требованиям СНиП 3.05.07–85 и «Положения о взаимоотношениях организаций – генеральных подрядчиков с субподрядными организациями» строительную готовность конструкций, отдельных видов работ на объекте и выполнить другие возложенные на него обязанности, необходимые при

создании условий для производства последующих монтажных и специальных строительных работ, выполняемых субподрядчиком. Субподрядчик обязан обеспечить готовность выполняемых им монтажных и специальных строительных работ в сроки, предусмотренные договором, и создать зависящие от него условия для производства последующих работ, выполняемых генподрядчиком или другим субподрядчиком. Сроки взаимных обязательств по предоставлению строительной готовности устанавливаются конкретными (месяц, декада, день).

Для обеспечения производства монтажных и специальных строительных работ генподрядчик выполняет следующие общестроительные и вспомогательные работы:

а) рытье и засыпку траншей для канализационных выпусков и водопроводных вводов к ближайшему от здания колодцу наружных сетей; при устройстве телефонной канализации, контуров заземления, прокладке трубопроводов и силовых кабельных линий;

б) устройство предусмотренных проектом железнодорожных путей и автодорог для перевозки оборудования и конструкций, а также железнодорожных путей под краны на железнодорожном ходу;

в) планировку монтажной площадки с устройством подъездов необходимой ширины, обеспечивающей свободную подачу конструкций и оборудования;

г) устройство всех отверстий в стенах и перекрытиях для пропуска трубопроводов и частей оборудования с последующей заделкой мест пропуска этих коммуникаций (за исключением отверстий размером до 500×500 мм).

Субподрядчик в соответствии со своим профилем выполняет следующие работы:

а) устройство лесов для производства монтажных и специальных строительных работ, выполняемых субподрядчиком на высоте свыше 4 м, кроме работ по сооружению лесов для монтажа лифтов;

б) оштукатурку и окраску всеми видами красителей (включая перхлорвиниловые) металлических конструкций, изготавливаемых субподрядчиком, включая окраску наружных трубопроводов под тепловую изоляцию, а также окраску внешней поверхности тепловой изоляции трубопроводов;

г) выгрузку из транспортных средств материалов, деталей и конструкций, прибывающих в адрес субподрядчика;

д) устройство отверстий (до размера 500×500 мм включительно) в стенах и перекрытиях для пропуска трубопроводов и частей оборудования с последующей заделкой мест прохода этих коммуникаций.

Генподрядчик обязан передать субподрядчику в одном экземпляре полученные от заказчика спецификации предприятия-изготовителя

оборудования, чертежи на монтаж оборудования, комплектовочные (отправочные) ведомости, сборочные чертежи, схемы членения оборудования на поставочные блоки, маркировочные схемы оборудования, его блоков, узлов и деталей, схемы строповки оборудования и его блоков, технические условия и заводские инструкции на монтаж, технические паспорта оборудования, акты отдела технического контроля предприятия-изготовителя на контрольную сборку и заводские испытания оборудования.

Порядок и сроки направления субподрядчику указанной и другой необходимой документации для монтажа оборудования предусматриваются генподрядчиком и субподрядчиком в особых условиях к договору субподряда.

Документация предприятий – изготовителей оборудования должна быть возвращена субподрядчиком генподрядчику при подписании акта рабочей комиссией о приемке оборудования для комплексного опробования.

В случае, когда в переданную субподрядчику проектно-сметную документацию заказчик в установленном порядке вносит изменения, генподрядчик обязан известить об этом субподрядчика, и в трехдневный срок с момента принятия решения об изменении сообщить субподрядчику о приостановлении (в необходимых случаях) работ и не позднее чем за 45 дней до начала производства работ по измененной документации дополнительно передать субподрядчику в соответствии с п. 2.5 Положения число экземпляров измененной документации и перечень аннулированных чертежей.

Генподрядчик обязан возместить субподрядчику все затраты и убытки, связанные с изменением ранее выданной проектно-сметной документации, в порядке, предусмотренном п. 44 Правил.

Если в процессе строительства выявлены дополнительные работы, не учтенные рабочими чертежами и сметами на строительство, генподрядчик обязан в пятнадцатидневный срок принять решение и при необходимости уточнить проектно-сметную документацию.

При изменении состава пускового комплекса генподрядчик согласовывает эти изменения с субподрядчиком.

Субподрядчик обязан в процессе производства работ осуществлять систематическую, а по завершении работ – окончательную уборку рабочих мест от остатков материалов и отходов, образовавшихся в процессе производства субподрядных работ на объекте.

Повреждения субподрядчиком строительных конструкций в процессе выполнения монтажных и специальных строительных работ и повреждения смонтированного субподрядчиком оборудования, систем и конструкций генподрядчиком в процессе выполнения им строительных работ фиксируются двусторонними актами.

В случае отказа одной из сторон от подписания акта последний составляется с участием представителей заказчика.

Затраты по восстановлению повреждений возмещаются стороной, причинившей повреждения.

ПРОИЗВОДСТВО МОНТАЖНЫХ РАБОТ

При производстве работ по монтажу и наладке систем автоматизации должны соблюдаться требования СНиП 3.05.07–85, СНиП 3.01.01–85, СНиП Ш-4–80, СНиП Ш-3–81 и ведомственных нормативных документов, утвержденных в порядке, установленном СНиП 1.01.01 – 82.

Монтаж систем автоматизации производят в соответствии с рабочей документацией с учетом требований предприятий – изготовителей приборов, средств автоматизации агрегатных и вычислительных комплексов, предусмотренных техническими условиями или инструкциями по эксплуатации этого оборудования.

Работы по монтажу следует выполнять индустриальным методом с использованием средств малой механизации, механизированного и электрифицированного инструмента и приспособлений, сокращающих применение ручного труда.

Работы по монтажу систем автоматизации должны осуществляться в две стадии.

На первой стадии выполняются: заготовка монтажных конструкций, узлов и блоков, элементов электропроводок и их укрупнительная сборка вне зоны монтажа; проверка наличия закладных конструкций, проемов, отверстий в строительных конструкциях и элементах зданий, закладных конструкций и отборных устройств на технологическом оборудовании и трубопроводах, наличия заземляющей сети; закладка в сооружаемые фундаменты, стены, полы и перекрытия труб и глухих коробов для скрытых проводок.

На второй стадии выполняются: разметка трасс и установка опорных и несущих конструкций для электрических и трубных проводок, исполнительных механизмов, приборов и т.д.; прокладка трубных и электрических проводок по установленным конструкциям, установка щитов, стативов, пультов, приборов и средств автоматизации, подключение к ним трубных и электрических проводок, индивидуальные испытания.

Смонтированные приборы и средства автоматизации электрической ветви Государственной системы приборов (ГСП), щиты и пульты, конструкции, электрические и трубные проводки, подлежащие заземлению согласно рабочей документации, должны быть присоединены к контуру заземления. При наличии требования предприятий-изготовителей средства агрегатных и вычислительных комплексов должны быть присоединены к контуру специального заземления.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Генподрядчик обязан совместно с привлекаемыми им субподрядчиками разработать мероприятия, обеспечивающие безопасные условия работы на строящемся объекте, обязательные для всех организаций, участвующих в строительстве.

При одновременном производстве работ генподрядчиком и субподрядчиком (или несколькими субподрядчиками) принятие мер общего характера по технике безопасности и пожарной безопасности (устройство ограждений, защитных козырьков и сеток, ограждений отверстий и люков в перекрытиях, дополнительное освещение, обеспечение плакатами и т.п.) лежит на генподрядчике.

Несоблюдение генподрядчиком этих условий не снимает ответственности с субподрядчика за допущенные им нарушения безопасности условий работ и возможные в связи с этим несчастные случаи.

Обеспечение безопасных условий при производстве монтажных и специальных строительных работ, соблюдение действующих правил техники безопасности, противопожарных мероприятий и законодательства по охране труда входит в обязанности субподрядчика.

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО МОНТАЖУ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И АВТОМАТИЗАЦИИ С ДРУГИМИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМИ МОНТАЖНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

Монтаж стальных и железобетонных конструкций. Организации, монтирующие основное технологическое оборудование, выполняют монтаж металлоконструкций пультов и постов управления, переходных мостиков, лестниц и площадок для установки и обслуживания приборов автоматики, постаментов и отдельных площадок под оборудование.

Окраску металлоконструкций, изготавливаемых организациями, выполняют заводы-изготовители. Колерную окраску металлоконструкций на объекте организации министерства не производят.

Монтаж оборудования. Пульты управления, выпрямители и другое электрооборудование монтируют организации, осуществляющие электромонтажные работы.

Монтаж сельсинов на оборудовании производят организации, монтирующие оборудование, а работы по подключению их производят организации, выполняющие электромонтажные работы.

В тех случаях, когда приборы, средства автоматизации непосредственно установлены на технологическом оборудовании или встроены в трубопроводы организациями, монтирующими технологическое оборудование, все работы по устройству обогрева осуществляются организациями, монтирующими трубопроводы и оборудование.

Установку на аппаратах и емкостях уровнемеров и регуляторов буйкового типа (с выносной камерой и без нее) осуществляют организации, монтирующие технологическое оборудование.

Установку стальных гильз в строительных конструкциях для прохода трубопроводов выполняют организации, возводящие эти строительные конструкции.

Врезка средств автоматизации, встраиваемых в трубопроводы (расходомеры, диафрагмы, сопла, трубы Вентури, объемные и скоростные счетчики, ротаметры, датчики индукционных и щелевых расходомеров, приточные датчики концентратомеров и плотномеров, клапаны с пневматическими и электрическими исполнительными механизмами, регуляторы прямого действия, клапаны с рычажными приводами, заслонки и т.п.), в объеме технологического проекта выполняется организациями, монтирующими трубопроводы.

Врезку в трубопроводы закладных устройств для монтажа контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации (бобышки, штуцера, защитные карманы, гильзы для приборов автоматики и др.) производят организации, монтирующие трубопроводы.

Разметку мест врезки закладных устройств, если они не указаны в технологической части проекта, осуществляет заказчик с передачей схемы на врезку организации, монтирующей трубопроводы.

Прокладку трубопроводов под теплоносители, устройство врезок с установкой арматуры для обогрева импульсных линий, регулирующих клапанов, утепленных шкафов, средств измерения и автоматизации и других приборов автоматики производят организации, монтирующие технологические трубопроводы на объекте.

Подводку линий обогрева к приборам и оборудованию систем средств измерения и автоматизации, установку приборов и подключение обогревающих устройств независимо от теплоносителя производят организации, монтирующие средства измерения и автоматизации.

2.3. СДАЧА И ПРИЕМКА ЗАКОНЧЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ МОНТАЖНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Субподрядчик обязан сдать, а генподрядчик принять законченные комплексы монтажных и специальных строительных работ, осуществленные в соответствии с проектно-сметной документацией, строительными нормами и техническими условиями.

Сдача субподрядчиком работ генподрядчику производится после выполнения всего комплекса монтажных и специальных строительных работ, порученного ему по договору.

Субподрядчик, которому устанавливается задание по вводу в действие производственных мощностей и объектов, совместно с ген-

подрядчиком обязан предъявить рабочей комиссии законченные строительством предприятия, пусковые комплексы, очереди, здания, сооружения, осуществленные в соответствии с проектно-сметной документацией, строительными нормами и правилами и техническими условиями.

Дополнительные работы, не предусмотренные проектом (рабочим проектом) и рабочей документацией, необходимость выполнения которых установлена по принятым в эксплуатацию государственной приемочной комиссией (или в установленных случаях рабочей комиссией) предприятиям, очередям, пусковым комплексам, зданиям, сооружениям, подготовленным к выпуску продукции и оказанию услуг, не могут служить основанием для задержки расчетов с субподрядчиком.

Генподрядчик обязан в согласованный с субподрядчиком срок передать ему проектно-сметную документацию на дополнительные работы и обеспечить их финансирование. На выполнение указанных работ заключается дополнительное соглашение.

Все затраты субподрядчика, связанные с необходимостью выполнения указанных дополнительных работ, возмещаются по отдельной дополнительной смете, составленной по рабочим чертежам и утвержденной в установленном порядке.

Ответственность за сохранность законченных комплексов монтажных и специальных строительных работ после приемки их генподрядчиком несет генподрядчик.

Устранение отмеченных в актах рабочей комиссией недоделок в монтажных и специальных строительных работах в сроки, установленные этими актами, является обязанностью субподрядчика, производившего монтажные и специальные строительные работы.

Субподрядчик обязан письменно не позднее чем за 10 дней уведомить генподрядчика о предстоящей сдаче законченного монтажом оборудования, систем, конструкций и подготовить следующие документы:

- перечень и краткую техническую характеристику подлежащих к сдаче работ;
- ведомость допущенных отклонений от проектов и рабочих чертежей и обоснование этих отклонений;
- рабочие чертежи с внесенными изменениями, допущенными в процессе работ;
- акты освидетельствования скрытых работ и акты промежуточной приемки ответственных конструкций;
- акты индивидуальных испытаний;
- журнал производства специальных работ.

Расчеты между генподрядчиком и субподрядчиком за законченные комплексы монтажных и специальных строительных работ производятся в соответствии с «Правилами финансирования и кредитования строительства».

Завершение работ по монтажу средств измерения и автоматизации оформляется актом рабочей комиссии по приемке смонтированного оборудования.

К приемке рабочей комиссией предъявляются системы автоматизации, смонтированные в объеме, предусмотренном рабочей документацией, и прошедшие индивидуальные испытания в соответствии со СНиП 3.05.07–85.

К акту приемки оборудования прилагается производственная документация, оформляемая на протяжении всего периода производства монтажных работ.

2.4. МОНТАЖ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ

2.4.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Монтаж приборов и средств автоматизации производится на основании технической документации, разрабатываемой проектными организациями, и проектов производства работ (ППР), которые, как правило, выполняются подразделениями подготовки производства работ монтажных организаций.

Основным документом, регламентирующим состав, порядок разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство новых, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение действующих предприятий, зданий и сооружений отраслей народного хозяйства, является Инструкция СНиП 1.02.01.

2.5. МОНТАЖ ЩИТОВ, ПУЛЬТОВ И СТАТИВОВ

2.5.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ ЩИТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Особенности принятой системы автоматизации и ее иерархии, а также особенности автоматизируемого технологического процесса (установки), включая его топологию, условия окружающей среды, обуславливают оптимальные места размещения щитовых конструкций с приборами и средствами автоматизации. В результате щитовые конструкции устанавливают либо непосредственно в технологических помещениях – местные, агрегатные и частичные блочные щиты, а также пульты, либо в специальных помещениях – центральные, вспомогательные (аппаратные), а также блочные щиты, пульты. Поскольку технологическое оборудование размещают как на открытых площадках,

так и внутри технологических помещений, климатические факторы окружающей среды, воздействующей на щиты, бывают самыми различными, определяющими их конструктивные особенности, условия нормального функционирования установленных в них приборов и средств автоматизации. Специальные помещения в зависимости от их функционального назначения (аппаратные, для датчиков, операторские, диспетчерские и т.п.) характеризуются разными габаритными размерами, местом расположения, микроклиматом.

В операторских (диспетчерских) помещениях, как правило, сосредоточены вся аппаратура, необходимая для оперативного контроля и управления, мнемосхема технологического процесса. В соответствии с принятой структурой управления на крупных объектах предусматриваются центральные пункты управления (ЦПУ) предприятия (производства) и пункты контроля и управления отдельных производств (установок, линий). Каждый пункт обслуживается одним или несколькими операторами.

Аппаратные служат для размещения неоперативных технических средств автоматизации, таких как регуляторы неприборного исполнения, функциональные блоки, релейные и другие вспомогательные электро- и пневмоаппараты, устанавливаемые на объемных и плоских стативах, релейных щитах и щитах со сборками контактных зажимов. Аппаратные не имеют постоянного обслуживающего персонала.

Места установки щитовых конструкций как в технологических, так и в специальных помещениях должны отвечать требованиям, обуславливающим нормальные условия монтажа и эксплуатации приборов и средств автоматизации. В соответствии с требованиями СНиП 3.05.07–85 до начала монтажа щитовых конструкций в указанных помещениях строительно-монтажные работы по установке технологического оборудования и трубопроводов должны быть доведены до состояния, обеспечивающего безопасное ведение монтажных работ в условиях, соответствующих действующим санитарным нормам, в специальных помещениях должны быть выполнены все строительные и отделочные работы, в том числе сооружены постоянные сети, подводящие к месту монтажа электроэнергию, сжатый воздух и воду; каналы и перекрытия; борозды и ниши для электрических и трубных проводов, подходящих к щитам, пультам и стативам; закладные части для установки и закрепления щитовых конструкций; леса и подмости, а также выполнены проемы в стенах для проходов трубных и электрических проводов в помещение и монтажные проемы для транспортирования щитовых конструкций в помещение, причем их габаритные размеры и расположение должны обеспечивать возможность подачи в помещение укрупненных щитовых конструкций – секций, блоков, включая и объемные.

При монтаже щитов и пультов в технологических помещениях в последних должна поддерживаться температура окружающего воздуха не ниже +5 °С, если монтажно-эксплуатационными инструкциями на приборы и аппараты, установленные в щитах и пультах, не оговорено другое значение нижнего предела температуры. Места установки щитовых конструкций должны удовлетворять требованиям эксплуатации монтируемых на щитах приборов (стойкость к вибрации, влияние окружающей среды и т.д.).

Монтаж щитов и пультов в технологических помещениях может быть начат только после письменного разрешения заказчика (генподрядчика), гарантирующего сохранность смонтированных на щитах и пультах приборов, аппаратов и коммутации.

2.5.2. ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛЬНЫМ ПОМЕЩЕНИЯМ

Размещение, размеры, эксплуатационные условия специальных помещений, рассчитанных на установку в них щитов, пультов и стативов с приборами и средствами автоматизации, выполняют в соответствии с требованиями РТМ 25 298–83. Выбор места размещения щитовых помещений – операторных, диспетчерских, аппаратных и др., встроенных в технологические помещения или выносных (в отдельно стоящих зданиях, пристройках и т.д.), – должен в каждом конкретном случае осуществляться с учетом особенностей технологического процесса, норм и противопожарных требований строительного проектирования, компоновочных и строительных решений, принятых в различных отраслях промышленности, удобства управления автоматизируемым объектом, простоты обслуживания систем автоматизации и экономических факторов. В технологических зданиях специальные помещения целесообразно размещать над аппаратными залами. Для производства с расположением технологического оборудования на открытых площадках, где для щитовых помещений предусматривают отдельно стоящие здания, аппаратный зал размещают над пунктом управления. Между этими помещениями располагают кабельный полужетай, через который осуществляют ввод внешних электрических и трубных проводок. При небольших количествах неоперативных технических средств автоматизации щитовые конструкции для их установки размещают в пространстве за центральным щитом. Начавшееся в настоящее время внедрение в практику проектирования систем автоматизации технологических процессов микропроцессорной техники и волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) обусловит ликвидацию вспомогательных аппаратных помещений, кардинальное сокращение объема кабельных линий связи, уменьшение числа щитовых конструкций с нескольких десятков (для крупных производств и предприятий) до нескольких единиц. Соответственно сократятся размеры специальных помещений (операторских, диспетчерских), что сократит объемы

монтажных работ на объекте при монтаже специальных помещений. Однако при любых размерах помещений и типах приборов и аппаратов, примененных в данной системе автоматизации, эти помещения не разрешается размещать в подвальных и цокольных этажах, над помещениями с производством, сопровождающимся выделением избытков тепла (более $80 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{ч}$) или вредных газов, паров, пыли, а также под помещениями с мокрым технологическим процессом.

На помещения операторских и диспетчерских пунктов не должна распространяться вибрация от технологического оборудования и сооружений свыше установленных пределов.

Специальные помещения не следует располагать над или под вентиляционными установками, а также рядом с этими устройствами, кондиционерами, насосными, компрессорными, машинами ударного действия и другими источниками вибрации и шума; в необходимых случаях принимают технические меры для снижения вибрации и шума до допустимых значений (специальные фундаменты, амортизаторы и т.п.). Нельзя допускать возникновения шумов внутри помещения (дребезжание предметов, вибрация стен, стекол и т.п.). Наиболее раздражающими являются звуки с частотой 4000 Гц и выше. Звуки низкой частоты (ниже 30 Гц) менее вредны.

В помещениях, в которых устанавливают громкоговорители, уровень шума не должен быть выше 70 дБ.

Помещения не располагают в местах, на которые распространяется действие сильных магнитных полей от промышленного электрооборудования и электроустановок, например над или под распределительными устройствами, рядом с ними, а также с подстанциями, электрическими печами и т.п. Допустимая напряженность внешнего магнитного поля в местах расположения специальных щитовых помещений – не более 400 А/м.

Площадь щитового помещения определяется с учетом площади рабочей зоны, заключенной между щитами, пультами, стативами, экранами промышленного телевидения, дисплеями (или другими устройствами информации) и рабочим столом, зоны отдыха, расположенной рядом с рабочей зоной со стороны фронта щитов или пультов, а также проходов для обслуживания монтажной стороны щитов (пультов). Рекомендуемая ширина щитового помещения (6, 9 или 12 м) должна соответствовать размерам стандартных строительных конструкций. В отдельных случаях, например при установке в щитовом помещении открытых щитов, ширина помещения может быть уменьшена.

Площадь помещения предусматривается с учетом возможного последующего расширения. Высота помещения определяется высотой щитов, но не должна быть менее 3 м. При использовании промышленных помещений допускается высота 2,7 м.

Проходы для обслуживания монтажной стороны щитов в ряде случаев являются эвакуационными. При отсутствии с обеих сторон прохода открытых токопроводящих частей на высоте до 2,2 м от пола ширина прохода должна быть не менее 0,8 м. В отдельных местах проходы могут быть стеснены (до 0,6 м) выступающими строительными конструкциями. При наличии токоведущих частей с одной стороны прохода ширина прохода от наиболее выступающих открытых токоведущих частей до противоположной стены (или оборудования, не имеющего открытых токоведущих частей) должна быть не менее: 1 м при напряжении до 600 В и длине щита до 7 м; 1,2 м при напряжении до 600 В и длине щита более 7 м; 1,5 м при напряжении выше 600 В.

Расстояние между наиболее выступающими открытыми токоведущими частями, расположенными по обе стороны прохода, должно быть не менее 1,5 м при напряжении ниже 600 В, 2 м при напряжении выше 600 В.

Голые токоведущие части, находящиеся на расстояниях менее указанных ниже, должны быть ограждены.

Щитовые помещения оборудуются установками отопления и вентиляции. Содержание пыли в воздухе помещений не должно превышать 2 мг на 1 м³. Предельное содержание вредных аэрозолей не должно превышать значений, указанных в приложении 2 «Санитарных норм проектирования промышленных предприятий» СН 245–72 и инструкции СН 512–86.

Для помещений без окон предусматривается автоматическое включение резервного устройства приточно-вытяжной вентиляции в случае аварийного отключения основного устройства вентиляции. Если вентиляция не может обеспечить требуемых параметров воздушной среды, необходимо предусматривать кондиционирование воздуха.

Освещение специальных помещений должно обеспечить: а) равномерное освещение поверхностей щитов и пультов, а также рабочего стола (или пульта) оператора (диспетчера); б) устранение прямой и обратной блескости; в) отсутствие теней; г) отсутствие пульсаций светового потока; д) постоянство освещенности во времени; е) спектральные характеристики источников света, близкие к спектру дневного света; ж) минимальные контрасты в помещении.

При выборе источников искусственного освещения предпочтение отдают люминесцентным светильникам. Аварийное освещение для продолжения работы предусматривают в помещениях в случаях, когда нарушение нормальной работы и обслуживания щитов, пультов и стативов при погасании основного рабочего освещения может вызвать взрыв, пожар, отравление или другую опасность для здоровья и жизни людей, длительное расстройство технологического процесса, массовый брак или порчу оборудования в производственных помещениях.

Светильники аварийного освещения для продолжения работы должны быть подключены к независимому источнику питания.

Цветовое окружение оператора должно быть организовано так, чтобы оно способствовало снижению утомления и сохранению определенного уровня работоспособности в течение наиболее длительного времени, созданию наилучших условий различения показаний приборов, дисплеев, улучшению ориентировки и увеличению скорости и точности реакции в условиях дефицита времени.

2.5.3. СТРОИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ НА СПЕЦИАЛЬНОЕ ПОМЕЩЕНИЕ

Строительной частью рабочей документации по заданию организации (автора документации части автоматизации) должны предусматриваться закладные конструкции в строительных основаниях (полу, стенах, перекрытиях) для установки и закрепления щитовых конструкций, а также двойные полы, каналы, приемки, проходы и т.п. Двойные полы, каналы, приемки и подобные устройства для монтажа щитовых конструкций и проводок к ним, сооружаемые в специальном помещении, должны быть перекрыты защитными плитами с нетокопроводящим покрытием. Двойные съемные полы предусматривают при необходимости прокладки под щитами значительного числа кабелей (проводов). Для этой же цели сооружают кабельные полуэтажи. В последних устанавливают стеллажи для укладки проводок с таким расчетом, чтобы можно было легко производить осмотр, а при необходимости и их перекладку. Полуэтаж должен иметь звукоизоляцию и вентиляцию. Специальные помещения должны сообщаться с помещением кабельного полуэтажа лестницами. При наличии кабельного полуэтажа в междуэтажном перекрытии предусматривают проемы под каждым щитом или пультом, обеспечивающие удобство обслуживания аппаратов, приборов и проводок внутри щитовых конструкций.

Для установки местных и агрегатных щитов в строительном задании предусматривается установка в строительных основаниях закладных элементов (деталей). Непараллельность рабочих плоскостей последних относительно плоскости чистого пола не должна превышать значений, обуславливающих отклонение вертикальных линий щитов более чем на 1° . Это условие обеспечивается в том случае, когда перепады высот сторон закладного элемента будут не более 15 мм на 1 м фронта установки. Допустимо небольшое искривление линии протяженного закладного элемента (швеллера, угольника), если его прогиб не превышает допуска на установочные размеры, указанные в установочном чертеже.

Подвод электрических и трубных проводок, расположенных сверху щитов, производят по конструкциям, закрепленным на стенах или непосредственно на щитах. Проводки под щитами прокладывают в

каналах, трубах, а также по лотковым или сборным кабельным конструкциям в двойном полу.

Распространены два варианта установки щитов на двойном полу: ниже отметки двойного пола (рис. 2.1) и на отметке двойного пола (рис. 2.2). При установке щита ниже отметки двойного пола задняя обслуживаемая часть щита оказывается утопленной на глубину 250...300 мм. Однако это не вызывает эксплуатационных неудобств, так как доступ к контактным зажимам в местах крепления кабелей и труб к другим устройствам, расположенным в нижней части щита, не затруднен.

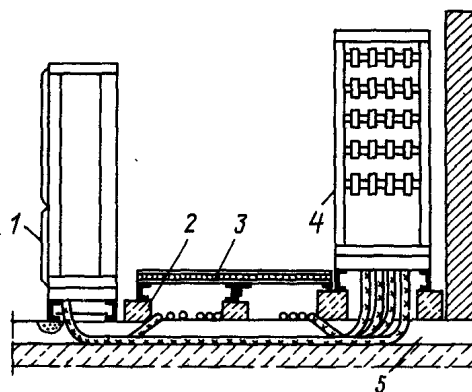


Рис. 2.1. Установка щита управления ниже отметки двойного пола:
1 – щит панельный с каркасом; 2 – бетонная опора; 3 – настил двойного пола;
4 – статив с аппаратами; 5 – отметка черного пола

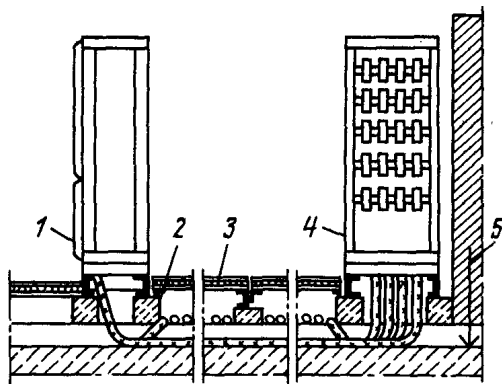


Рис. 2.2. Установка щита управления на отметке двойного пола:
1 – щит панельный с каркасом; 2 – бетонная опора; 3 – настил двойного пола;
4 – статив с аппаратами; 5 – отметка черного пола

Дополнительный подъем пола перед фасадом щита при данном варианте установки не требуется. При установке щита ниже отметки двойного пола на черном полу защитового пространства целесообразно устраивать каналы глубиной 50...70 мм, шириной 300...500 мм, расположенные перпендикулярно оси щита управления. Наличие таких каналов дает возможность осуществить проход кабелей под раму щита, а также прокладку взаимно пересекающихся кабелей в разных плоскостях. Каналы выполняют в слое бетона, укладываемого на черный пол по всей площади защитового пространства, и их устройство совмещают с установкой в слое бетона закладных элементов для крепления поддерживающих конструкций (рам, направляющих) в случае их применения. При установке щитов на отметке двойного пола они оказываются приподнятыми над отметкой черного пола, что вызывает необходимость либо подъема пола по всей площади помещения, либо устройства ступенчатой возвышенности перед фасадом щита шириной 2...2,5 м. К недостаткам установки щитов по данному варианту следует отнести устройство ступенчатой возвышенности, снижающей удобство обслуживания щитов; поднятие пола по всей площади помещения ведет к удорожанию строительства из-за сложной конструкции пола.

При расположении щитового помещения на первом этаже здания для прокладки кабелей предусматривают кабельные каналы в защитовом пространстве и под щитом управления. Площадь сечения каналов выбирают в зависимости от числа прокладываемых кабелей. Глубина каналов должна быть не более 500 мм. Наряду с устройством каналов необходимо предусматривать установку опорных конструкций и закладных элементов для монтажа щитовых конструкций.

В строительном задании должны быть также предусмотрены проемы для ввода электрических и трубных проводок в помещение и монтажные проемы для подачи щитовых конструкций, включая укрупненные секции последних, укомплектованные приборами, аппаратами и проводками.

2.5.4. ПОДГОТОВКА К МОНТАЖУ ЩИТОВ, ПУЛЬТОВ И СТАТИВОВ

До начала работ по монтажу щитов, пультов и стативов необходимо проверить строительную и технологическую готовность проектной отметки, к этому времени должны быть выполнены подготовительные работы, смонтированы металлоконструкции для установки малогабаритных щитов и плоских стативов. К таким металлоконструкциям относятся перфорированные, например Z-образные, профили для установки на стене; хомуты для обвязки колонн; подставки для установки на полу. Целесообразность установки подставок до крепления на них малогабаритных щитов определяется условиями монтажа, сложившимися на конкретном объекте. Указанные установочные

металлоконструкции закрепляют либо на предварительно установленных закладных элементах, либо с помощью СМП, пластмассовых дюбелей или сваркой. Электрические и трубные проводки должны быть проложены и подведены к местам установки щитовых конструкций. Концы электрических и пневматических кабелей укладывают так, чтобы, во-первых, они не мешали установке и закреплению щитов, во-вторых, была исключена возможность их механического повреждения при такелаже щитов, пультов и стативов, а также при их фиксации электросваркой к закладным элементам. Не должны создавать помех монтажу щитовых конструкций концы металлических труб, проложенных к месту установки щитов, пультов и стативов. Щиты должны быть размещены на площади установки так, чтобы исключалась необходимость дополнительных такелажных работ при их монтаже.

Конкретные места размещения щитовых конструкций обуславливают их установку на различных строительных основаниях (рис. 2.3). Особенности последних, а также конструкция опорных частей щитов, пультов и стативов определяют метод их закрепления (рис. 2.4). Существуют два основных метода закрепления: разборный и неразборный, характерные для большинства видов щитовых конструкций. Для плоских стативов и вспомогательных панелей применяют комбинированный метод, при котором опорная рама изделия приваривается к закладным элементам, а корпус изделия фиксируется резьбовыми соединениями.

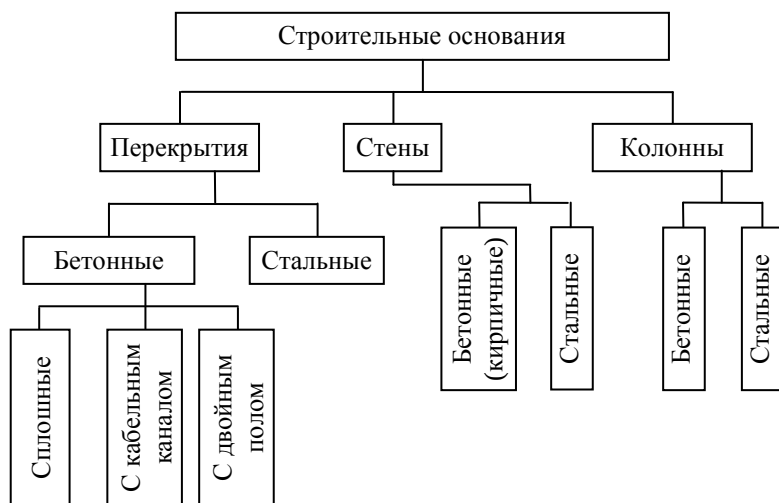


Рис. 2.3. Классификация строительных оснований, на которых монтируют щиты, пульты и стативы

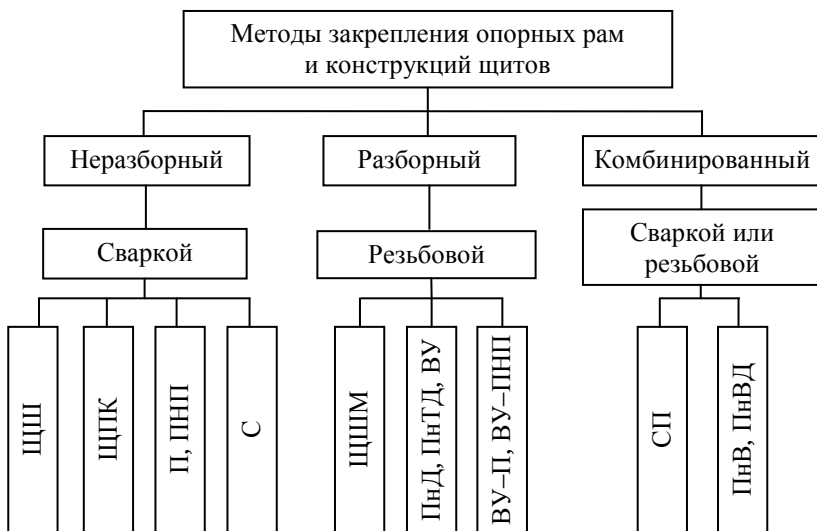


Рис. 2.4. Методы закрепления щитов, пультов и стативов к строительным основаниям

Щитовые конструкции должны поставляться на объект в законченном для монтажа виде, а именно: с аппаратами и установочными изделиями; с внутренней электрической и трубной проводками, подготовленными к подключению внешних цепей, а также приборов, устанавливаемых на объекте; с конструкциями для установки и крепления приборов, аппаратов и подводимых электрических и трубных проводов; с крепежными изделиями для сборки и установки щитовых конструкций на объекте. В комплект поставки щитовой конструкции должны входить паспорт, чертеж общего вида с таблицами соединений и подключений, ключ от замка двери.

При приемке щитов, пультов и стативов необходимо обратить внимание на видимые дефекты, возникающие в процессе транспортирования и хранения: нарушение защитных покрытий и наличие коррозии на элементах конструкции щита, резьбовых соединениях, а также на деталях для установки приборов и аппаратов и на контактных поверхностях приборов, аппаратов и установочных изделий; ослабление резьбовых соединений (контактных, крепежных, включая трубные соединители и т.п.). Ослабление или самоотвинчивание крепежных соединений может привести к падению приборов, аппаратов и конструкций, сопровождающемуся повреждением данных и других приборов и аппаратов; вмятинам, трещинам надрывам и другим остаточным деформациям элементов щита, приборов и аппаратов; изломам и тре-

щинам паяных соединений; повреждениям электрических и трубных проводок, заеданию подвижных частей сборочных единиц (дверей, рам и т.д.). Обнаруженные дефекты должны быть устранены до начала монтажа щитовой конструкции на объекте.

При монтаже щиты, пульта и стативы должны быть установлены в вертикальное положение, перед закреплением их необходимо выверить по уровню и отвесу. Допустимое отклонение при этом не должно быть более 1° в любую сторону. Каркасы и вспомогательные элементы составных щитов должны быть скреплены между собой разъемными соединениями. Зазоры между соединяемыми поверхностями не должны превышать 2 мм на 1 м длины. Крепление каркасов и вспомогательных элементов смежных щитов, пультов, стативов между собой выполняют в два этапа после выверки по уровню и отвесу. На первом этапе выполняют предварительное совмещение (с помощью борodka) отверстий в стойках каркаса смежных щитов, стативов. Овальность отверстий позволяет, не вынимая борodka, вставить в это же отверстие винт, после чего наживить гайку для щитов ЩПК, ЩШ и стативов С; эту работу рекомендуется начинать с отверстий на задних стойках и верхней раме каркаса как наиболее доступных. На втором этапе после установки всех винтов последние равномерно затягивают. Установку декоративных панелей следует выполнять после крепления щитов между собой и окончательного крепления их к закладным элементам. Работу рекомендуется выполнять, используя монтажные площадки ПМ-800 или стремянки. При необходимости установки приборов на объекте эту работу выполняют после крепления щитовых конструкций к закладным элементам. Сварные швы в местах крепления должны быть зачищены. На места сварки должны быть нанесены лакокрасочные покрытия. Дефекты, образовавшиеся в процессе монтажа щитовых конструкций, должны быть устранены. Ослабленные резьбовые соединения должны быть затянуты до упора.

Затяжку резьбовых соединений выполняют с помощью гаечных ключей и отверток. Применение для этих целей универсальных инструментов (пассатижей, плоскогубцев и т.п.) не допускается. Нарушенные контактные соединения должны быть восстановлены так, чтобы качество восстановленного соединения было идентично ненарушенному соединению. Следует также восстановить лакокрасочные покрытия в случае их повреждения при монтаже щитовой конструкции.

По окончании монтажных работ каждый щит, пульт или статив должен быть подвергнут тщательной приемке. В процессе последней необходимо проверить: комплектность щитовой конструкции; правильность ее размещения, крепления составных частей между собой и к закладным элементам; качество установки и крепления приборов,

введенных кабелей и труб. Щитовые конструкции считают подготовленными к сдаче в эксплуатацию, если проведенные в полном объеме проверки дали положительный результат.

2.5.5. ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА ЩИТОВ, ПУЛЬТОВ И СТАТИВОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Местные и агрегатные щиты в соответствии с требованиями СНиП 3.05.07–85 располагают в чистых и сухих помещениях, не подверженных воздействию агрессивных сред, в местах, удобных для наблюдения за управляемым технологическим оборудованием. Проходы между обслуживаемыми сторонами щитов, пультов и стативов и оборудованием или стенами, а также между ними и дверьми щитовых конструкций должны быть не менее 0,8 м (в отдельных местах допускается уменьшение ширины проходов до 0,6 м); высота прохода в свету – не менее 1,9 м; расстояние между стенами и необслуживаемыми щитами шкафного типа не регламентируется. Расстояние между малогабаритными щитами, устанавливаемыми на одной стене или конструкции, не регламентируется. При установке малогабаритных шкафных щитов на стене расстояние между щитом и стеной должно быть минимальным, но не менее 100 мм.

Примыкающие к стене щиты, состоящие из щитов, открытых с двух сторон, и имеющие дверь секционных щитов длиной по фронту более 7 м должны иметь два выхода. При длине более 60 м нужны дополнительные выходы, чтобы расстояние (по длине) между выходами не превышало 30 м. Ширина дверей должна быть не менее 0,75 м, высота – не менее 1,9 м.

Малогабаритные щиты размещают на такой высоте, чтобы горизонтальные оси приборов, установленных на щитах, находились в пределах следующих расстояний от пола: показывающие приборы и сигнальная арматура – 800...2100 мм, самопишущие приборы – 1000...1600 мм, органы управления – 700...1600 мм. При этом обеспечиваются необходимые удобства монтажа и эксплуатации щитов, а также приборов и аппаратов, установленных на них (рис. 2.5).

Установка щитовых конструкций на различных строительных основаниях пока-

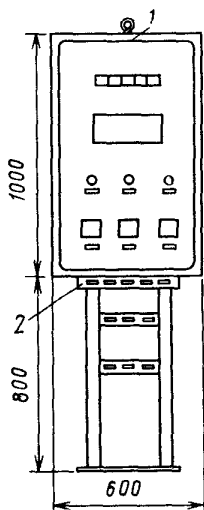


Рис. 2.5. Пример установки малогабаритного щита:
1 – щит; 2 – стойка

зана на рис. 2.5 и 2.6, иллюстрирующих наиболее прогрессивный и производительный способ закрепления – приваркой к простым закладным элементам, устанавливаемым заподлицо с уровнем чистого пола. Масовое применение сварки стало возможным благодаря высокой заводской готовности щитов и стативов по ОСТ 36.13–76, поставляемых заводами-изготовителями вместе с опорными рамами. Опорные рамы для пультов (в силу их конструктивных особенностей) изготавливают в процессе подготовки строительства. Закладные элементы на сплошных бетонных основаниях, на которых наиболее часто крепят щитовые конструкции, представляют собой стальную пластину с приваренными к ней «усами» для замоноличивания. Такая конструкция не требует высокой точности установки как самого элемента, так и щитовой конструкции, что очень важно, если учесть возможности общестроительных организаций, работающих с точностью, измеряемой сантиметрами, тогда как при болтовом закреплении щитов требовалась точность в миллиметрах и даже их долях.

При наличии вибрации, которая может нарушить нормальную работу приборов или аппаратов, щиты оборудуют амортизаторами или устанавливают на отдельных основаниях.

Местные агрегатные щиты нормального исполнения, устанавливаемые во взрывоопасных или пожароопасных зонах, необходимо продувать воздухом, избыточное давление которого внутри продуваемого щита должно составлять не менее 250 Па. Щиты, находящиеся под избыточным давлением, должны иметь блокировку, отключающую щит или подающую сигнал в случае уменьшения избыточного давления.

Для контроля и управления агрегатами, расположенными в технологических помещениях с агрессивной средой и сильно запыленной или влажной атмосферой, щиты и пульты устанавливают в отдельных помещениях или кабинах, изолированных от атмосферы цеха; во избежание проникания пыли там поддерживается избыточное давление.

2.5.6. ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА ЩИТОВ, ПУЛЬТОВ И СТАТИВОВ В СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Компоновка центральных щитов и пультов зависит от их общей длины по фронту, характера и частоты использования средств информации и органов управления, установленных на них. Исходя из изложенных условий применяют следующие варианты компоновки щитов. Щиты прямоугольной формы применяют, когда они обозреваются с рабочего места оператора под допустимыми углами обзора. Оптимальный угол обзора в горизонтальной плоскости 30° (зона эффективной видимости); допустимый угол обзора в горизонтальной плоскости

90° при расположении рабочего стола или постоянно обслуживаемого пульта оператора (диспетчера) против середины фронта щита. Рекомендуемая дистанция обзора и считывания показаний приборов с мелкой шкалой и ножевидной стрелкой 1...2 м, приборов с хорошо видимыми шкалами и указателем 2...4 м, для мнемонических схем 4...5 м. В каждом конкретном случае дистанция обслуживания рассчитывается по наиболее важным приборам, информация с которых часто считывается.

Угловой размер основных символов мнемосхемы должен быть не менее 20°. При угле обзора прямолинейного щита, превышающем 90°, боковые панели разворачивают по отношению к оператору. При компоновке щитов следует стремиться к тому, чтобы каждая панель щита была перпендикулярна линии глаз оператора. Оптимальной является многогранная I форма щита, вписывающегося в часть дуги окружности (рис. 2.7).

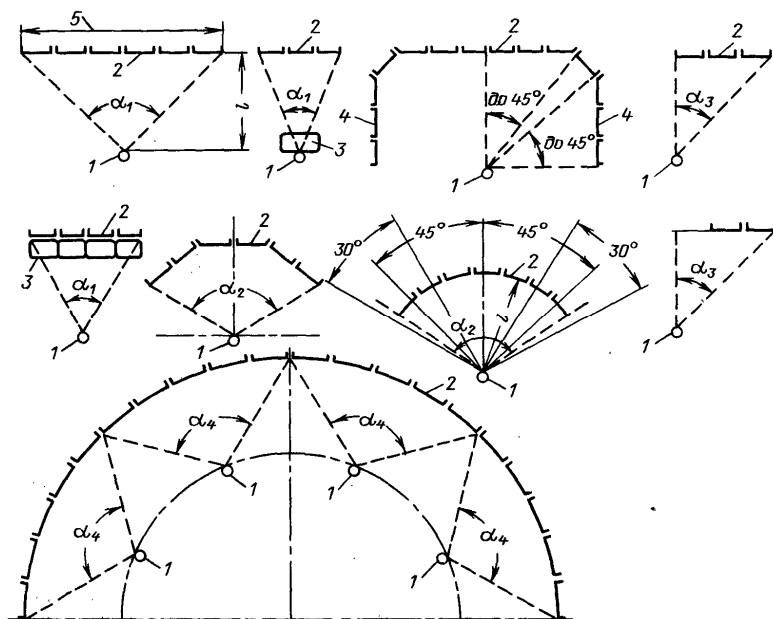


Рис. 2.7. Примеры расположения щитов и пультов относительно рабочего места диспетчера (оператора):

1 – рабочее место оператора; 2 – щит; 3 – пульт; 4 – панели щита для установки приборов редкого использования; 5 – размер фронта панелей;

I – дистанция наблюдения; α_1 – угол обзора оптимальный 30°, допустимый 90°; α_2 – угол обзора допустимый до 120°;

α_3 – угол обзора допустимый до 45°; α_4 – рекомендуемый угол обзора 90°

При обслуживании щита с приборами, информация с которых часто считывается одним оператором (диспетчером), радиус части окружности, в которую вписывается щит, не должен быть более 5 м. Рабочее место оператора (диспетчера) располагается в центре окружности. Рекомендуемый угол обзора многогранного щита для одного оператора – до 120°, максимальный 180°. При этом на крайних щитах устанавливаются средства информации, используемые наиболее редко.

Номенклатура панельных щитов с каркасом, а также вспомогательных щитов конструкций позволяет выполнять центральный щит практически любой формы в плане. При этом рекомендуется: повороты щита по фронту выполнять под углом 15, 30, 45°; примыкание торцевой части щита к фронтальной выполнять под углом 90°.

В отдельных случаях, обусловленных требованиями технической эстетики, допускается примыкание торцевой части щита к фронтальной с углом поворота, отличным от 90°.

Повороты пультов по фронту следует выполнять под углами 15 и 45°. Повороты фронта центрального щита и пультов должны быть выполнены с применением угловых вставок.

При установке щитов разных типов и поставщиков в линии фронта центрального щита необходимо обеспечивать идентичность выполнения их фасадов в части цветового решения, отделки поверхности, надписей и т.п.

Для установки щитов и стативов в специальных помещениях предусматривают двойные полы, позволяющие прокладывать линии связи в пределах помещения в любых необходимых направлениях. В небольших помещениях, например локальных помещениях управления, аппаратных и т.п., щитовые конструкции устанавливают над каналами.

2.5.7. ВВОДЫ В ЩИТЫ, ПУЛЬТЫ И СТАТИВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТРУБНЫХ ПРОВОДОВ

Монтаж вводов электрических и трубных проводов в щитовые конструкции представляет собой комплекс разных работ: 1) подготовку мест вводов и установку специальных изделий (сальников, вводов, соединителей, патрубков и т.п.); 2) прокладку и закрепление электрических кабелей с разделкой концов от места ввода до сборок контактных зажимов, прокладку пучков проводов по той же трассе либо прокладку пневматических кабелей и труб к сборкам переборочных соединителей; 3) присоединение жил кабеля или провода к сборкам контактных зажимов с прозвонкой и маркировкой жил либо присоединение труб к сборкам переборочных соединителей с маркировкой и в необходимых случаях – с продувкой. Ниже приведены конструкции и монтаж вводных устройств, а также сформулированы требования к ним.

Трубы, провода и кабели подводят к щитовой конструкции в том же порядке, в котором они сгруппированы в помещении. Ввод проводов снизу в открытый проем щитовой конструкции (кроме малогабаритных щитов) осуществляют без специальных вводных устройств (сальников, муфт и т.п.). Проход электрических проводов, а также капилляров манометрических термометров через крыши шкафных щитов, включая малогабаритные, выполняют через сальники, вводы, втулки и т.п. Вводы трубных проводов через крыши шкафных щитов выполняют аналогично электрическим, а также через переборочные соединители. Вводы трубных проводов в ЩПК и стативы осуществляют присоединением труб к сборкам переборочных соединителей. Трубные проводки, предусмотренные рабочей документацией, прокладывают на верху щитов и стативов после закрепления декоративных панелей, а при их отсутствии – после закрепления щитов. При этом необходимо принять меры, исключающие возможность повреждения лакокрасочного покрытия и деформации элементов щитов.

Небронированные кабели, трубы из цветных металлов и пластмассовые, вводимые в малогабаритные щиты снизу, должны быть защищены от механических повреждений. Защитные трубопроводы вводят через патрубки из водогазопроводных труб, которые закрепляют на крышах щитов контргайками.

Термоэлектродные провода подводят к приборам, установленным в щитовых конструкциях, минуя сборки контактных зажимов. Эти провода, а также кабели закрепляют в щитах способом, принятым при выполнении коммутации щита.

Во всех случаях вводы рекомендуются располагать на расстоянии около 150 мм от стенок щита.

2.5.8. ЗАНУЛЕНИЕ И ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЩИТОВ, ПУЛЬТОВ И СТАТИВОВ

В соответствии с требованиями ОСТ 36.13–76 щиты, пульты и стативы должны иметь заземляющий зажим по ГОСТ 21130–75, позволяющий присоединение нулевого защитного или заземляющего проводника из цветного металла (медные, алюминиевые жилы проводов и кабелей) и стали (стальные полосы). Заземляющий зажим щитовой конструкции расположен на специальной пластине в опорной раме щита или статива либо в нижней части пульта или малогабаритного щита. Заземляющий зажим должен быть обозначен нестираемым при эксплуатации знаком заземления с размерами по ГОСТ 21130–75. Зануление и заземление в щитовых конструкциях должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.007.7–85 ССБТ.

Металлические элементы щитовых конструкций, в том числе детали для монтажа аппаратов и проводов, должны иметь надежное электрическое соединение с заземляющим зажимом, обеспечивающее

непрерывную электрическую цепь. Значение сопротивлений между заземляющим зажимом и элементами щита, включая детали для монтажа аппаратов и проводок, не должно превышать 0,100 Ом. В шкафных и панельных с каркасом щитах, а также в стативах и пультах электрическое соединение между металлическими частями каркаса должно быть обеспечено через крепящие болты за счет контактного давления в местах сопряжения. Поверхности последних должны быть зачищены от лакокрасочного покрытия. Аналогично должно быть обеспечено электрическое соединение между фасадными панелями шкафов и панельных с каркасом щитов, стативов и пультов, а также крышами малогабаритных щитов и их каркасами. Электрическое соединение между каркасом и боковыми стенками шкафов и панельных с каркасом щитов, каркасами шкафов щитов должно осуществляться за счет врезания приварных скоб в кромки соответствующих отверстий в каркасах. Врезание происходит при повороте скоб в процессе сборки металлоконструкции. Электрическое соединение каркаса шкафов и панельных с каркасом щитов, стативов, вспомогательных элементов с заземляющим зажимом в их опорных рамах должно быть выполнено гибким проводником по рабочим чертежам конструкторской документации. Электрическое соединение между поворотной рамой и каркасом щита должно быть выполнено гибким проводником на основании рабочих чертежей конструкторской документации. Электрическое соединение двери малогабаритного щита и столешницы пульта с их каркасом должно быть выполнено гибким проводником по рабочим чертежам конструкторской документации. Электрическое соединение шкафов щитов, пультов и панелей с их каркасами обеспечивается через металлические петли. Электрическое соединение вспомогательных элементов с каркасами рядом стоящих щитов, а также с каркасами щитов, на которых они установлены, обеспечивается через крепящие болты аналогично электрическому соединению между металлическими частями каркаса.

Электрическое соединение между металлическими деталями для монтажа аппаратов и проводок и каркасом щитовой конструкции в зависимости от вида покрытия частей каркаса щита, а также принятой на предприятии-изготовителе технологии выполняют одним из следующих способов. При лакокрасочном покрытии частей каркаса их электрическое соединение с деталями для монтажа аппаратов и проводок обеспечивают: 1) гибким неразрезанным проводником, присоединяемым ко всем установленным основным металлическим деталям для монтажа аппаратов и проводок в месте их крепления к каркасу и к заземляющему зажиму щита, пульта или статива. Указанный проводник должен быть предусмотрен рабочей документацией; 2) контактным давлением винтов, крепящих металлические детали к стойкам каркаса.

При этом на данных стойках поверхности сопряжения с деталями должны быть зачищены от лакокрасочного покрытия, например цилиндрическим зенкером. Места зачистки покрывают противокоррозионной смазкой, указанной выше для элементов металлоконструкции щитов, пультов и стативов. При оцинкованном каркасе щитов исполнения УХЛ4 ГОСТ 15150–69 электрическое соединение обеспечивают контактным давлением крепящих винтов.

Зануление (заземление) корпусов устройств, имеющих специальные выводы «земля», выполняют гибким нулевым защитным проводником, предусмотренным рабочей документацией. Нулевой защитный проводник от вывода «земля» присоединяют к заземляющему зажиму щита либо к заземляющему зажиму, специально организованному на стойке каркаса щита, с соблюдением требований ГОСТ 21130–75. Соединение выводов «земля» устройств с заземляющим зажимом щита выполняют гибким неразрезанным нулевым защитным проводником, на котором смонтировано необходимое число кабельных наконечников. Последние монтируют на расстояниях, соответствующих расположению зануляемых устройств и позволяющих выполнить присоединение без натягивания проводника. Для присоединения нулевого защитного проводника к стойке каркаса щита поверхность у монтажного отверстия в стойке, предназначенного для установки заземляющего зажима, зачищают от лакокрасочного покрытия. Место зачистки при этом защищают противокоррозионной смазкой, указанной выше. В монтажное отверстие в стойке каркаса щита, поверхность вокруг которого подготовлена, устанавливают заземляющий зажим, который обозначают в обязательном порядке по ГОСТ 21130–75. Соединение вывода «земля» устройства со специально предусмотренным заземляющим зажимом на стойке каркаса выполняют гибким нулевым защитным проводником, оконцованным соответствующим кабельным наконечником.

Металлические корпуса устройств, подлежащих занулению, но не имеющих специальных выводов «земля», должны иметь электрическое соединение с металлическими деталями, на которых они установлены.

Зануление (заземление) щитовых конструкций в целом должно осуществляться путем присоединения щитов, пультов и стативов к близко расположенным заземляющим проводникам сети зануления (заземления) объекта или металлоконструкциям производственного назначения, металлическим открытым трубопроводам всех назначений, кроме трубопроводов с горючими и взрывоопасными смесями, канализации и центрального отопления. Зануление щитовых конструкций может быть выполнено также присоединением к заземляющему зажиму этих конструкций рабочего нулевого провода питающей электрической сети.

2.6. МОНТАЖ ЭЛЕКТРОПРОВОДОК

2.6.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Электропроводки прокладывают по кратчайшим расстояниям между соединяемыми приборами и средствами автоматизации, параллельно стенам, перекрытиям и колоннам, с минимальным количеством поворотов и пересечений, удобно располагают для монтажа и эксплуатации, а также достаточно удаляют от мест с повышенной температурой, технологического оборудования и электрооборудования, силовых и осветительных линий, избегая перекрещивания с другими электропроводами и технологическими трубопроводами. Трасса выбирается с учетом наименьшего расхода проводов и кабеля. Электропроводки защищают от механических повреждений, коррозии, вибрации и перегрева; координируют относительно строительных сооружений. Трасса должна быть согласована с установкой технологического оборудования и прокладкой трасс электропроводок электроснабжения и силового оборудования.

Удаление трасс электропроводок от сооружений, технологических трубопроводов и оборудования при параллельной прокладке должно быть не менее:

а) для открытых электропроводок: 100 мм – от технологических трубопроводов; 400 мм – от трубопроводов, транспортирующих горючие жидкости и газы;

б) для кабелей, прокладываемых в земле: 2000 мм – от теплопроводов; 1000 мм – от газопроводов и трубопроводов, транспортирующих горючие жидкости; 600 мм – от фундаментов зданий; 1000 мм – от фундаментов и опор линий передач до 1 кВ; 2000 мм – от древесных насаждений.

При пересечении трасс электропроводок с технологическими трубопроводами и оборудованием удаление должно быть:

а) для открытых электропроводок: 50 мм – от технологических трубопроводов; 100 мм – от трубопроводов, транспортирующих горючие жидкости и газы;

б) для кабелей, прокладываемых в земле: 500 мм – от тепло-, нефте- и газопроводов.

В электропроводках систем автоматизации допускается совместная прокладка в одной защитной трубе, коробе, кабеле или в одном пучке проводов, проложенных на лотках, цепей управления, регулирования, сигнализации, питания напряжением до 380 В переменного и 440 В постоянного тока, включая цепи питания и управления электродвигателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек.

Не разрешается совместная прокладка:

- измерительных цепей приборов и средств автоматизации с проводками другого назначения, которые могут создавать помехи, превышающие допустимые;
- взаиморезервируемых цепей питания;
- стационарно прокладываемых цепей питания электрифицированного инструмента и освещения щитов напряжением до 42 В;
- цепей систем пожарной автоматики;
- цепей питания электроприемников особой группы I категории.

Возможность совместных прокладок в одной трубе, канале, коробе, кабеле, пучке проводов измерительных цепей с цепями другого назначения регламентируется указаниями заводов-изготовителей.

Допускается совместная прокладка в одной трубе, коробе, кабеле измерительных цепей от преобразователей термоэлектрических (термопар) или термопреобразователей (термометров) сопротивления к автоматическим электронным потенциометрам и уравновешенным мостам постоянного тока. При этом количество прокладываемых измерительных цепей не ограничивается.

Электропроводки систем автоматизации в коробах, лотках, защитных трубах (кроме электропроводок противопожарных устройств) допускается прокладывать рядом с аналогично выполненными электропроводками установок электроснабжения, освещения и силового электрооборудования, включая силовые шинопроводы напряжением до 1000 В.

При совместной прокладке кабелей электропроводок систем автоматизации с силовыми кабелями установок электроснабжения и силового электрооборудования в каналах, туннелях и открыто на кабельных конструкциях в производственных помещениях и наружных установках должны соблюдаться следующие требования:

- при двустороннем расположении кабельных конструкций (полок) кабели электропроводок систем автоматизации должны размещаться по возможности на противоположной стороне от силовых кабелей;
- при одностороннем расположении кабельных конструкций кабели систем автоматизации должны размещаться только под или над силовыми кабелями, при этом между ними следует ставить горизонтально разделительные перегородки;
- кабели электропроводок систем автоматизации с взаиморезервируемыми цепями следует прокладывать на разных полках, разделенных перегородками;
- разделительные перегородки должны быть несгораемыми с пределом огнестойкости не менее 0,25 ч.

В коллекторах при прокладке кабелей электропроводок систем автоматизации совместно с силовыми кабелями, кабелями связи, водо-, тепло- и воздухопроводами должны соблюдаться следующие дополнительные требования:

- при двухрядном расположении кабелей и трубопроводов с одной стороны прохода должны прокладываться сверху кабели связи, под ними теплопроводы; с другой стороны – сверху силовые кабели, под ними кабели электропроводок систем автоматизации, внизу водопроводы;

- при однорядном расположении кабелей и трубопроводов сверху должны быть расположены силовые кабели, под ними кабели электропроводок систем автоматизации, под ними кабели связи, внизу – водо- и теплопроводы.

Совместная прокладка в коллекторах кабелей электропроводок систем автоматизации с газопроводами и трубопроводами, содержащими легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, не допускается.

Во всех случаях прокладки электропроводок систем автоматизации совместно с силовыми кабелями установок электроснабжения и силового электрооборудования электропроводки систем автоматизации, в частности измерительные цепи, не должны подвергаться недопустимому влиянию (магнитному и электрическому) силовых цепей.

В производственных помещениях и наружных установках электропроводки систем автоматизации (кроме электропроводок противопожарных устройств) допускается прокладывать совместно с командными и импульсными проводками (заполненными негорючими средами), выполненными в виде пластмассовых труб или пневмокабелей в коробах, на лотках, кабельных конструкциях.

При этом должны учитываться следующие требования:

- в коробах пластмассовые трубы или пневмокабели и электрические проводки должны прокладываться в отдельных каналах многоканальных коробов;

- на лотках пластмассовые трубы или пневмокабели должны прокладываться от электрических кабелей или пучков проводов на расстоянии не менее 150 мм;

- на кабельных конструкциях пластмассовые трубы или пневмокабели размещаются под электрическими кабелями.

2.6.2. КАБЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ

Все элементы кабельных проводок должны быть проложены с учетом удобств монтажа и эксплуатации, а также исключения опасных механических натяжений и повреждений кабеля. Кабели, прокладываемые в местах, где возможны повреждения, должны быть защищены по высоте на 2 м от уровня пола или земли.

Наружные электропроводки должны противостоять воздействию ветров, гололедов, осадков и быть защищены от непосредственного действия солнечных лучей.

Электрические проводки от датчиков, первичных измерительных преобразователей, исполнительных механизмов и т.п., устанавливаемых непосредственно на технологическом оборудовании и трубопроводах, рекомендуется объединять в соединительных коробках, ящиках независимо от того, к какой панели щита оператора должны подключаться эти проводки. От соединительных коробок, ящиков предусматривается прокладка магистральных многожильных кабелей до щитового (диспетчерского) помещения. Объединение цепей электропроводок систем автоматизации в магистральных многожильных кабелях производится с учетом требований совместной прокладки цепей различного назначения. В месте ввода кабелей в щитовое помещение следует устанавливать зажимный щит, к сборкам зажимов которого подключаются магистральные кабели, что исключает необходимость подключения жил одного кабеля к различным сборкам зажимов.

При наличии местных щитов, устанавливаемых непосредственно в производственных помещениях, проводки от них до операторных помещений следует выполнять многожильными магистральными кабелями.

В качестве кабельных электропроводок в системах автоматизации находят применение контрольные кабели.

Наиболее простой является открытая прокладка кабельных электропроводок. Она может осуществляться по стенам, конструкциям зданий, под площадками и перекрытиями производственных помещений, а также по стенам зданий и сооружений, по технологическим и кабельным эстакадам в наружных установках, на кабельных конструкциях. Кабели, в том числе бронированные, расположенные в местах, где производится перемещение механизмов, оборудования, грузов, транспорта, должны быть защищены от повреждений.

Прокладка кабелей в вентиляционных каналах запрещается. Допускается пересечение этих каналов одиночными кабелями, заключенными в стальные трубы. Открытая прокладка кабелей по лестничным клеткам не допускается.

Прокладка в каналах, туннелях, коллекторах, блоках допустима в тех случаях, когда затруднена или невозможна открытая прокладка кабеля. Использование каналов в производственных помещениях разрешается только в случаях, когда нет возможности применить открытую прокладку кабелей на кабельных конструкциях. Как правило, следует стремиться использовать каналы и туннели, общие с кабелями установок электроснабжения и силового электрооборудования.

Сооружение каналов и туннелей специально для электропроводок систем автоматизации допустимо только в отдельных случаях при наличии технико-экономических обоснований.

При прокладке кабельных электропроводок систем автоматизации в каналах, туннелях, коллекторах и блоках совместно с силовыми кабелями установок электроснабжения и силового электрооборудования должны соблюдаться требования совместной прокладки. Прокладка кабелей в блоках, как наименее экономичная, допускается только на отдельных участках трассы: в грунтах, агрессивных по отношению к оболочкам кабелей; в местах, где возможны разливы металла, и местах пересечения кабелями дорог, проездов и т.п., а также при необходимости защиты кабелей от блуждающих токов. Для изготовления блоков могут быть использованы железобетонные панели, асбоцементные трубы.

При выполнении электропроводок систем автоматизации, как правило, следует избегать прокладки кабелей в земле (траншеях). Такой вид прокладки допускается при малом числе кабелей в траншее (не более четырех-пяти); на участках территории с неагрессивными по отношению к оболочкам кабеля почвами, не загруженными другими подземными коммуникациями, только в случае, когда затруднена или невозможна открытая прокладка кабелей.

2.6.3. ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ В ЗАЩИТНЫХ ТРУБАХ, КОРОБАХ И ЛОТКАХ

Незащищенные изолированные провода, применяемые в электропроводках систем автоматизации, должны быть надежно защищены от механических повреждений, воздействия повышенной температуры, влаги и агрессивной среды.

Прокладка в коробах. Защиту электропроводок, прокладываемых в производственных помещениях и наружных установках с большим количеством проводов в потоке, рекомендуется выполнять стальными коробами. Стальные короба следует также использовать для прокладки кабелей, если последние, исходя из местных условий, недопустимо или нецелесообразно прокладывать открыто на кабельных конструкциях или стальных лотках. Для открытых электропроводок применяют короба со съемными крышками, для скрытых – глухие. В наружных установках короба должны защищать кабели и провода электропроводок от дождя и снега. Короба в наружных установках прокладывают по конструкциям зданий и сооружений, по технологическим и кабельным эстакадам; в производственных помещениях – по стенам, под перекрытиями зданий, по конструкциям, под площадками и т.п. Допускается прокладка коробов в полах производственных помещений, если конструкция короба предназначена для этой цели.

Высота установки коробов от пола не нормируется. При наличии условий, которые могут вызвать тягу воздуха внутри коробов (уклон трассы, разность температур), необходимо предусматривать уплотнения, разделяющие трассу коробов на отдельные участки.

Прокладка в лотках. При открытой прокладке электропроводок в сухих помещениях, где отсутствуют газы, вредно действующие на изоляцию проводов и кабелей, и существует возможность механического повреждения, рекомендуется использовать стальные лотки. Высота установки лотков не должна быть меньше 2 м от уровня пола или площадки обслуживания. В щитовых помещениях и помещениях, в которые имеет доступ только обслуживающий персонал, высота лотков не нормируется.

В коробах и лотках рекомендуется прокладывать провода и кабели, собранные бандажками в пучки (до 30 проводов в пучке). На лотках пучки располагают в один ряд, в коробах допускается многорядное расположение. На горизонтальных участках допускается прокладка проводов без объединения их в пучки.

Электропроводки в защитных трубах. В качестве защитных труб должны применяться пластмассовые и стальные трубы. Стальные трубы для электропроводок систем автоматизации следует применять, как исключение, в случаях когда не допускается прокладка проводов и кабелей без защитных труб, а применение пластмассовых труб запрещено. В целях расширения области применения пластмассовых труб в электропроводках в порядке опытно-промышленного внедрения при проектировании и монтаже силовых и осветительных сетей разрешается применение:

- открытых и скрытых электропроводок в винипластовых трубах и скрытых в полиэтиленовых трубах в пожароопасных зонах промышленных предприятий в пределах каждого этажа, кроме складских помещений, а также транзитных, горизонтальных и вертикальных прокладок;

- полиэтиленовых труб для электропроводок, заключенных в строительные конструкции жилых зданий высотой десять этажей и более (за исключением стояков – междуетажных вертикальных прокладок), при отсутствии в межквартирных стеновых панелях и панелях перекрытий, поставляемых домостроительными комбинатами, сквозных отверстий под электроустановочные изделия и сквозных ответвительных ниш; на участках выхода скрытых электропроводок наружу (из полов, фундаментов и т.п.) – винипластовых труб с соответствующей защитой в местах возможных механических повреждений.

Защитные трубы в наружных установках прокладывают по конструкциям зданий и сооружений, по технологическим и кабельным эстакадам.

Прокладка защитных труб в земле (траншеях) запрещается. Высота прокладки электропроводок в защитных трубах от уровня пола не нормируется. Исключением являются неметаллические защитные трубы, которые в местах возможных механических повреждений требуют дополнительной защиты отрезками металлических труб, уголков и т.п. Размеры защитных труб (диаметр, длина) должны обеспечивать свободную протяжку кабелей и проводов.

2.6.4. СЕТИ ЗАНУЛЕНИЯ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Для зануления и заземления электроустановок систем автоматизации должна использоваться заземляющая сеть (заземляющее устройство) системы электроснабжения и силового электрооборудования автоматизируемого объекта.

Исключение могут составить некоторые специальные системы автоматического контроля и управления, которые по специфическим условиям работы или требованиям заводов-изготовителей не допускается объединять с общей (с другими электроустановками) системой заземления. Для таких систем допускается предусматривать отдельное заземляющее устройство, которое должно отвечать всем требованиям, предъявляемым к защитному заземлению.

Выполнение зануления и заземления электроустановок систем автоматизации должно быть согласовано с организациями (подразделениями), проектирующими или эксплуатирующими электротехническую часть автоматизируемого объекта.

Рекомендуется зануление (заземление) в электроустановках систем автоматизации выполнять следующим образом.

Щит питания системы автоматизации соединяется нулевым защитным (заземляющим) проводником с магистралью зануления (заземления) у источника питания; все другие элементы электроустановок систем автоматизации, подлежащие занулению (заземлению), соединяются нулевыми защитными (заземляющими) проводниками со щитом питания.

Зануление (заземление) в электроустановках систем автоматизации следует выполнять:

а) при напряжениях переменного тока 380 В и постоянного тока 440 В и выше – во всех случаях;

б) при напряжениях переменного тока выше 42 В и постоянного тока выше 110 В только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках.

Зануление (заземление) не требуется выполнять при номинальных напряжениях 42 В и ниже переменного тока и 110 В и ниже постоянного тока.

Занулению (заземлению) подлежат металлические части электроустановок, не находящиеся под напряжением, но на которых может появиться опасное для жизни напряжение при повреждении электрической изоляции токоведущих частей (проводов, обмоток и т.п.). К ним относятся:

а) металлические корпуса контрольно-измерительных приборов, регулирующих устройств, аппаратов управления, защиты, сигнализации, освещения, корпуса электродвигателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек (вентилей) и т.д.;

б) металлические щиты и пульты всех назначений, на которых устанавливаются электрические приборы, аппараты и другие средства автоматизации; съемные или открывающиеся части щитов и пультов, если на них установлена электроаппаратура напряжением выше 42 В переменного или 10 В постоянного тока; вспомогательные металлические конструкции для установки электроприемников и аппаратов управления;

в) металлические оболочки, броня и муфты контрольных и силовых кабелей, металлорукава, металлические оболочки проводов и кабелей, стальные трубы электропроводок, коробки, металлические короба, лотки, кабельные конструкции, кронштейны и другие металлические элементы крепления электропроводок;

г) металлические корпуса стационарных и переносных трансформаторов, корпуса выпрямительных устройств;

д) металлические корпуса переносных и передвижных электроприемников;

е) приборы и аппараты, размещенные на движущихся частях технологического оборудования;

ж) стационарные металлические защитные ограждения открытых токоведущих частей электроустановок;

з) электрифицированный инструмент.

Не требуется зануление (заземление):

а) отдельными проводниками приборов, аппаратов и средств автоматизации, устанавливаемых на зануленных (заземленных) щитах и пультах или вспомогательных конструкциях, если обеспечивается надежный металлический контакт (без краски, лака и т.п.) между корпусами электроприемников и металлоконструкциями щитов и пультов;

б) корпусов электроприемников, изготовленных полностью из изоляционных материалов, например пластмассовых корпусов;

в) открывающихся и съемных частей зануленных (заземленных) металлических щитов, пультов, ограждений и т.п., если на этих открывающихся и съемных частях установлена электроаппаратура напряжением, не превышающим 42 В переменного или 10 В постоянного тока;

г) отдельно стоящих щитов и пультов, предназначенных для установки неэлектрических приборов и средств автоматизации, например пневматических приборов и регуляторов (без электропитания), манометров (без электрических цепей) и т.п.; электрическая проводка стационарного освещения таких щитов (если оно требуется) должна выполняться в зануленной (заземленной) стальной трубе (вплоть до ввода в осветительную арматуру). Указанные щиты и пульты, если они устанавливаются в помещениях и наружных установках, в которых применено зануление (заземление) электрооборудования с целью уравнивания потенциалов, также следует присоединить к сети зануления (заземления);

д) корпусов электроприемников с двойной изоляцией и корпусов электроприемников, подключаемых к сети через разделительные трансформаторы;

е) металлических скоб, креплений, отрезков стальных защитных труб в местах провода кабелей через стены и перекрытия.

В качестве нулевых защитных (заземляющих) проводников в электроустановках систем автоматизации следует использовать:

- нулевые рабочие проводники в электроустановках, питающихся от систем с глухозаземленной нейтралью, кроме ответвлений к однофазным электроприемникам, для зануления которых должен использоваться отдельный третий нулевой защитный проводник;

- специально предусмотренные для этой цели проводники (жилы кабелей, проводов, стальные полосы и т.п.);

- стальные трубы электропроводок;

- алюминиевые оболочки кабелей;

- металлические короба и лотки.

Допускается в качестве нулевых защитных (заземляющих) проводников использовать:

- металлические конструкции зданий и сооружений производственного назначения;

- металлические стационарные открыто проложенные трубопроводы всех назначений, кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных веществ и смесей, систем канализации и центрального отопления. При этом должно быть обеспечено надежное соединение указанных конструкций и трубопроводов с заземляющим устройством объекта и непрерывность электрической цепи по всей длине ее использования.

При питании от систем с глухозаземленной нейтралью полная проводимость нулевых защитных проводников должна составлять не менее 50% проводимости фазных проводников. При питании от сети с изолированной нейтралью сечение заземляющих проводников должно составлять не менее 1/3 проводимости фазных проводников. Сечение заземляющих жил проводов и кабелей в сетях постоянного тока могут приниматься равными сечению питающих проводников.

Требования к выполнению заземляющей сети. При выполнении заземляющей сети необходимо соблюдать следующие требования:

1) в заземляющей сети должны быть обеспечены непрерывная электрическая цепь по всей ее длине и надежность контактных соединений заземляющих проводников между собой и в местах присоединения к заземляющим элементам электроустановок систем автоматизации;

2) медные и алюминиевые заземляющие проводники должны присоединяться так же, как и фазные (соединение с помощью зажимов, пайкой, сваркой и т.п.). Прокладку отдельных заземляющих медных и алюминиевых проводников необходимо производить вместе с остальными (в одной трубе, коробе, лотке, кабеле). Во всех случаях, когда у зануляемого (заземляемого) оборудования отсутствуют заземляющие болты, для присоединения нулевых защитных (заземляющих) проводников из цветных металлов необходимо предусматривать приварку флажка с заземляющим болтом;

3) соединение стальных защитных труб электропроводок, используемых в качестве нулевых защитных (заземляющих) проводников, должно производиться с помощью резьбовых муфт; должен быть также обеспечен надежный контакт стальных труб с корпусами приборов и аппаратов, стальными соединительными коробками способами, предусмотренными инструкциями по монтажу. Соединение коробов, лотков, стальных полос, угловой стали должно производиться сваркой или с помощью болтовых соединений, имеющих приспособления против самоотвинчивания с соблюдением требований инструкций по монтажу. Стальные полосы, угловую сталь, используемые в качестве нулевых защитных проводников, следует прокладывать по возможности ближе к фазным проводникам;

4) при использовании в качестве нулевых защитных (заземляющих) проводников алюминиевых оболочек кабелей соединение с зануляемыми (заземляемыми) элементами должно выполняться с помощью гибких медных проводников сечением 6 мм^2 при сечении жил кабелей до 10 мм^2 и сечением 10 мм^2 при сечении жил кабелей $16 \dots 35 \text{ мм}^2$;

5) при установке приборов, аппаратов и средств автоматизации на зануленных (заземленных) щитах, пультах и вспомогательных конструкциях, а также при соединении между собой отдельных щитов и пультов в многосекционные щиты (пульты) в местах соединений должен быть обеспечен надежный металлический контакт (без краски, лака и т.п.). Зануление (заземление) составных щитов и пультов, у которых обеспечен надлежащий контакт отдельных панелей (шкафов, пультов) между собой и установочной металлической рамой, допускается выполнять в одном месте;

6) зануление (заземление) металлических корпусов отдельно стоящих аппаратов управления электродвигателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек (магнитных пускателей, кнопок управления и т.п.) должно осуществляться с помощью отдельных проводников, присоединяемых к нулевому защитному (заземляющему) проводнику ответвления данного электродвигателя;

7) в случаях, когда коробка, лотки, стальные защитные трубы не используются в качестве нулевых защитных (заземляющих) проводников, они должны быть занулены (заземлены) в соответствии с требованиями, приведенными в данном параграфе, как обычные элементы электроустановки, которые в результате пробоя изоляции проводов или кабелей могут оказаться под напряжением.

2.6.5. ВЫПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ

Перед разметкой трасс электропроводов должны быть определены точные места установки щитов и пультов, средств автоматизации, зажимных щитов, соединительных коробов и ящиков, местных щитов, приборов, регуляторов и других средств автоматизации, а также места прохода трасс через стены, и перекрытия. Разметка трасс электропроводов выполняется в соответствии с монтажными чертежами проекта автоматизации и проекта производства работ.

При разметке трасс открытых электропроводов производится отбивка окрашенным шнуром или нанесение другим способом вертикальных и горизонтальных линий. При этом для одиночных труб и кабелей линии указывают точное их местонахождение.

Для пакетов труб или группы кабелей вертикальные линии указывают оси пакетов или групп кабелей, а горизонтальные верхние – их края. При разметке горизонтальных участков трасс электропроводов в защитных трубах необходимо учитывать, что при переходах электропроводов из отапливаемых помещений в неотапливаемые со стороны последних на защитных трубопроводах необходимо установить водосборные трубки.

При разметке трасс электропроводов необходимо учитывать также допустимые радиусы внутренней кривой изгиба кабелей. Радиус изгиба защитных трубопроводов открытых электропроводов должен быть не менее четырех и скрытых не менее десяти наружных диаметров труб. Допускается радиус изгиба труб, равный шести наружным диаметрам, если вскрытие защитного трубопровода не представляет особых трудностей. Во время разметки трасс электропроводов выполняют также необходимые замеры для изготовления в МЗУ трубных блоков, блоков коробов и заготовок кабелей и жгутов установочных проводов.

После разметки вертикальных и горизонтальных линий, указывающих места прокладки электропроводок, размечают поперечными линиями места установки опорных конструкций и крепежных изделий, а также намечают места установки протяжных и соединительных устройств. При разметке мест крепления электропроводок и установке опорных конструкций необходимо учитывать, что расстояние между опорными конструкциями как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости должно быть не более 2 м под лотки и мосты и 4 м под короба.

Расстояния между креплениями открыто проложенных защитных пластмассовых труб должны быть: 0,5 м для труб диаметром 20 мм; 0,7 м для труб диаметром 25 мм; 0,9 м для труб диаметром 32 мм; 1,1 м для труб диаметром 40 мм и 1,3 м для труб диаметром 50 мм.

Расстояния между креплениями открыто проложенных защитных металлических труб на горизонтальных и вертикальных участках не должны превышать: 2,5 м для труб с условным проходом до 20 мм; 3 м для труб с условным проходом от 20 до 40 мм; 4 м для труб с условным проходом от 40 до 50 мм.

При совместной прокладке труб с различными условными проходами принимается наименьшее расстояние между креплениями. Кроме того, защитные трубы открытых электропроводок должны быть закреплены не далее 0,8 м от приборов, исполнительных механизмов и т.п. и не далее 0,3 м от соединительных и протяжных устройств. Гибкие металлические рукава крепят через 0,5...0,75 м.

Опорные конструкции для прокладки бронированных и небронированных кабелей диаметром более 18 мм устанавливают на расстоянии не более 1 м, а для прокладки небронированного кабеля диаметром до 18 мм не более 0,5 м. Независимо от расстановки опорных конструкций кабели должны быть закреплены у соединительных коробок, муфт и концевых заделок на расстоянии не менее 0,5 м.

Разметку скрытых электропроводок, выполненных в защитных трубах, проходящих в бороздах стен и потолков или в подливках полов, допускается производить по кратчайшему направлению.

2.6.6. УСТАНОВКА ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

При горизонтальной прокладке потоков кабелей по стенам зданий, в туннелях и каналах применяют сборные опорные кабельные конструкции, состоящие из кабельных стоек и полок закладных подвесок, оснований. Кабельные стойки крепят специальной скобой пристрелкой или сваркой к металлическим закладным устройствам и металлоконструкциям.

Многоярусные потоки кабелей, проходящие под перекрытиями, прокладывают по кабельным полкам, которые крепят к подвесам.

Подвесы представляют собой две кабельные стойки, связанные в нижней части поперечиной или шпилькой, а в верхней – фланцем для крепления к перекрытию. Кабельные подвесы устанавливают друг от друга на расстояниях, не превышающих 0,8 м, т.е. меньших расстояний между сборными кабельными конструкциями. Это объясняется тем, что кабельные подвесы выдерживают меньшую нагрузку, чем кабельные конструкции.

На горизонтальных участках при прокладке труб и кабелей по стенам допускается выполнение промежуточных креплений однолапковыми скобами, при этом лапки скоб должны располагаться ниже кабеля или трубы.

Для прокладки вертикальных потоков кабеля и защитных труб применяют П-образные конструкции из перфорированных уголков или швеллеров различных сечений.

При прокладке кабельных электропроводок широко применяют конструкции из перфорированных профилей, выполненные в виде мостов или лотков. Для установки лотков и мостов на стенах или колоннах применяют кабельные полки соответствующей длины или кронштейны, а для установки под перекрытиями – кабельные подвесы. Такой способ установки позволяет обеспечить укладку на них проводов или кабелей через борт без протягивания в лотках или мостах. Расстояние между соседними полками, на которых устанавливают лотки, должно быть 1,5...2 м. Лотки между собой соединяют болтами диаметром 6 мм и перфорированными полосами с продольными отверстиями.

2.6.7. ПРОКЛАДКА ЗАЩИТНЫХ ТРУБ И КОРОБОВ

После установки опорных конструкций приступают к монтажу защитных труб и коробов. Защитные трубопроводы во всех случаях, когда это возможно, следует использовать блоками, предварительно собранными в МЗМ. Блоки маркируют порядковыми номерами, указанными на чертежах, от начала потока труб к его концу, поэтому маркировка указывает на последовательность сборки на месте монтажа. Блоки доставляют на место монтажа и устанавливают на опорные конструкции с помощью подъемных механизмов и приспособлений.

Для электропроводок систем автоматизации должны применяться пластмассовые и металлические трубы.

В зависимости от окружающей среды защитные трубопроводы выполняют уплотненными и неуплотненными. Уплотненные электропроводки применяют во взрывоопасных зонах, а также в помещениях с агрессивной средой и в особо сырых.

Соединение труб неуплотненных трубопроводов. Трубы неуплотненных трубопроводов соединяют: а) манжетами с клиновой обоймой;

б) гильзами из отрезков труб большого диаметра, привариваемых к трубам; в) при наличии резьбы – прямыми соединительными муфтами непосредственно встык или с помощью вставок. По мере соединения блоков между собой их прикрепляют к опорным конструкциям скобами, хомутами или путем электросварки.

Соединение пластмассовых труб должно выполняться с помощью муфт и раструбов: винипластовых с последующим склеиванием; полиэтиленовых и полипропиленовых с последующей сваркой в муфтах или горячей обсадкой в раструбах. Изгибание пластмассовых труб производят с предварительным нагревом.

Крепление открыто прокладываемых пластмассовых труб должно допускать их свободное перемещение (подвижное крепление) при линейном расширении или сжатии от изменения температуры окружающей среды. Жесткие крепления устанавливают около мест ввода труб в аппараты и монтажные изделия, в местах прохода труб через стены, а также при вертикальной прокладке в средних точках между соседними компенсаторами.

Крепить пластмассовые трубы рекомендуется при помощи пластмассовых клиц либо металлическими скобами с обязательной прокладкой прокладочного материала – прессшпана, паронита и т.п.

Для затяжки проводов и кабелей при прокладке защитных трубопроводов применяют протяжные коробки, расстояние между которыми не должно превышать: 50 м при одном изгибе труб; 40 м при двух изгибах; 20 м при трех изгибах.

Для ответвления и соединения проводов и кабелей, затягиваемых в трубы, устанавливают соединительные коробки. Трубопроводы к соединительным коробкам присоединяют с помощью гибкого металлорукава. На концы защитных труб, входящих в протяжные коробки, короба, щиты и пульты, должны быть надеты втулки.

Концы защитных труб до затяжки проводов и кабеля закрывают заглушками, предотвращающими попадание в трубы воды, мусора или грязи.

Защитные трубы для скрытых электропроводок закладывают в период сооружений зданий и фундаментов, располагая трубы в бетонизируемых полах на глубине не менее 20 мм от поверхности пола. На выходе полиэтиленовых и полипропиленовых труб из фундаментов, подливок полов наружу должны применяться отрезки и коленья из стальных тонкостенных труб. Полиэтиленовые и полипропиленовые трубы при выходе из фундаментов и полов на стены должны защищаться стальным профилем на высоту до 1,5 м. Места соединения труб уплотняются. Соединение труб должно выполняться так, чтобы вода не попадала в защитные трубы. При необходимости заземления защитного трубопровода для соединения труб необходимо применять

хорошо затянутые муфты на сурике. Временно открытые концы труб должны быть плотно закрыты заглушками.

Замоноличивание и заделку скрытых защитных трубопроводов производят только после проверки правильности укладки и соединения труб. Результаты проверки должны быть оформлены актом на скрытые работы.

Стальные защитные короба. Для защиты неуплотненных электропроводок с большим числом проводов и кабелей применяют защитные стальные короба сечением 100×100, 150×150, 200×200 мм². Ответвления, повороты и соединения коробов разного сечения выполняют типовыми соединительными элементами (угольниками, крестами и переходами). Монтаж коробов заключается в установке их на опорные конструкции, стыковке между собой, закреплении с помощью болтов или сваркой к опорным конструкциям и соединении с защитными трубами или металлорукавами. В коробах, прокладываемых на вертикальных участках, должны быть приварены шпильки для крепления пучков и кабелей, прокладываемых между ними змейкой.

Приварка коробов должна проводиться до прокладки кабельных проводок с последующей зачисткой шва от шлака и металлических брызг и покраской мест сварки. Вывод кабелей из стальных коробов производится через отверстия в дне или боковых стенках с применением соединителей: металлорукав – короб, вводы кабельные и сальники.

Короба в месте пересечения осадочных и температурных швов зданий и сооружений должны иметь компенсирующие устройства.

2.6.8. ЗАТЯЖКА ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ В ЗАЩИТНЫЕ ТРУБЫ

Затяжка проводов должна осуществляться в полностью смонтированные защитные трубопроводы. Перед затяжкой проводов со свободных концов труб удаляют заглушки и продувают трубопровод сжатым воздухом. Затем между протяжными устройствами затягивается стальная проволока диаметром 1...2 мм. Для облегчения протяжки, особенно при больших пучках проводов и на сложных участках трассы, вдувается в трубы тальк. На концы труб в протяжных коробках со стороны подачи проводов и кабелей должны быть установлены пластмассовые втулки типа ВО. Заранее отмеренные и намотанные на инвентарные барабаны или вертушки пучки провода или отрезки кабеля устанавливают у конца трубопровода, с которого начинается затяжка.

В трубах допускается прокладка изолированных проводов и не бронированных кабелей с пластмассовой или резиновой оболочкой с минимальным сечением токопроводящих жил: 1 мм² для медных и 2,5 мм² для алюминиевых проводников. Провода и кабели должны быть из одного куска, сращивание не допускается. Затем провода или кабель соединяют с тросом и с помощью лебедки затягивают в трубы.

При протягивании проводов через протяжные и ответвительные коробки провода в них вытягивают и укладывают петлей, создавая запас для выполнения ответвления.

Провода, проложенные в защитных трубах на вертикальных участках при длине более 20 м, закрепляют зажимами или другими устройствами, помещенными в протяжных или ответвительных электрофитингах и т.п. Затяжку на участках рекомендуется производить снизу вверх. Защита проводов от конца защитных труб до прибора, исполнительного механизма и других средств автоматизации, ввод в которые не предусматривает присоединение защитной трубы, выполняют обычно металлорукавом.

Укладка проводов и кабеля на лотки и короба производится в следующей последовательности. Предварительно заготовленные в МЗМ пучки провода и мерные отрезки кабеля, намотанные на инвентарные барабаны, располагают у одного из концов трассы. По трассе устанавливают линейные ролики различных типов и с помощью лебедок прокладывают кабель и пучки провода вдоль трассы. С установленных коробов снимают крышки и укладывают пучки проводов и кабеля. При этом в коробах провода и кабель укладывают многослойно с упорядоченным или произвольным (россыпью) взаимным расположением, свободно без натягов, изломов и петель.

Коэффициент заполнения короба определяется в зависимости от сложности трассы и конкретных типов коробов и кабелей в соответствии с требованием монтажных инструкций.

Крепление проводов и кабеля в коробах производится на вертикальных участках трассы и при расположении коробов крышкой вниз или в боковую сторону при помощи шпилек и пластин, предусмотренных конструкцией короба. Расстояние между точками крепления должно составлять: при боковом расположении крышки не более 3 м; при крышке, направленной вниз, не более 1,5 м; при вертикальном расположении короба не более 1 м. Провода и кабель закрепляют также перед поворотом короба вверх или вниз на расстоянии не менее 0,5 м от начала поворота.

На лотках провода и кабели должны прокладываться пучками вплотную друг к другу в один слой (кабели, не скрепленные между собой в пучки, также укладываются в один слой). Наружный диаметр пучков проводов и кабелей не должен превышать 100 мм.

Для объединения в пучки и прокладки в коробах следует по возможности подбирать провода и кабели с однотипными изоляцией и оболочками.

Крепление проводов, прокладываемых на лотках на прямых горизонтальных участках трассы, не требуется, за исключением случаев

установки лотков на ребро. Крепление проводов и кабеля на вертикальных участках должно выполняться с интервалом не более 0,4 м.

При креплении пучков проводов и небронированных кабелей металлическими скобами необходимо в местах крепления применять прокладки из прессишпана, пергамина или другого аналогичного материала. Выход проводов из лотков может осуществляться поверх борта или через отверстие перфорации. В местах выхода проводов должны быть установлены прокладки, предохраняющие изоляцию или оболочку от повреждения. В местах, где возможны механические повреждения, провода и кабели следует закрывать вторым лотком, образуя своеобразный короб. На проволочных лотках прокладывают пучки проводов и кабеля в один слой с креплением их к лотку перфорированной поливинилхлоридной лентой с кнопками и с расстоянием между точками крепления 30...40 см. Короба, лотки должны маркироваться в начале и конце трассы, у каждого ответвления в пределах каждого помещения согласно проекту. Провода, кабели, пучки проводов и кабелей маркируются в начале и конце трассы, на поворотах и ответвлениях, а также в местах подключения их к оборудованию при помощи бирок, на которых должны быть нанесены маркировочные знаки нестираемой краской.

2.6.9. ПРОКЛАДКА КАБЕЛЯ

Для прокладки кабеля в производственных помещениях, туннелях, каналах и шахтах кабельные барабаны доставляют на место монтажа и устанавливают на одном из концов трассы.

Перед размоткой кабеля необходимо произвести сверку протоколов заводских испытаний кабеля с документами, указанными на барабане. Установить барабан с учетом того, что размотка кабеля должна производиться сверху, а не снизу. Вывесить барабан с помощью стальной оси и кабельных домкратов, затем снять обшивку и произвести внешний осмотр кабеля на барабане. При прокладке кабеля в холодное время года необходимо перед прокладкой осуществить прогрев кабеля. Размотку и прокладку кабеля без предварительного его прогрева допускается проводить в тех случаях, когда температура воздуха в течение 24 ч до начала прокладки не опускалась, хотя бы временно, ниже температуры:

- 7 °С для кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией, бронированных, включая с защитным покровом;
- 15 °С для кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией в резиновой или поливинилхлоридной оболочке, небронированных и бронированных одной профилированной стальной оцинкованной лентой. Прогрев кабеля на барабанах может быть произведен: теплым

воздухом помещения, теплым воздухом от воздуходувки (с утеплением барабанов кабеля) и электрическим током.

При монтаже больших потоков магистральных кабелей необходимо вдоль трассы расставить линейные ролики различных типов, угловые секции роликов, подготовить тяговые лебедки и ограничители кабеля. Для обеспечения присоединения прокладываемых кабелей к тросу тянущей лебедки применяют кабельные захваты, проволоочные чулки и зажимы.

После укладки кабель закрепляют скобами и полосками-пряжками на вертикальных участках на каждой опоре и на горизонтальных участках – через одну-две опоры. Крепление кабеля должно исключать деформацию его оболочки и не должно нарушать соединение жил в муфтах и соединительных коробах под действием собственной массы кабеля на вертикальных участках трассы.

При креплении небронированных кабелей под скобы и конструкции в местах крепления подкладывают эластичные прокладки.

Ввод кабеля в соединительные коробки, приборы и средства автоматизации уплотняют сальниками. После прокладки и крепления кабель необходимо промаркировать бирками, которые устанавливают с обеих сторон проходов через стены и перекрытия, у соединительных коробок и у концевых заделок. Маркировка производится в полном соответствии с проектом.

2.6.10. ПРОХОДЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ СТЕНЫ И ПЕРЕКРЫТИЯ

Проходы электропроводок через стены и перекрытия зданий и сооружений разделяются на одиночные и групповые. В свою очередь одиночные и групповые проходы в зависимости от классификации помещений выполняют открытыми или уплотненными. Уплотненные проходы применяют, если необходимо предотвратить переход среды из одного помещения в другое.

Открытые проходы в стенах и перекрытиях выполняют в виде обрамленных проемов, допускающих замену электрических проводок без нарушения стены или перекрытия в месте прохода. Через открытые проходы электрические проводки пропускают транзитом. Одиночные кабели или небольшие группы кабелей сквозь стены и перекрытия прокладывают через отрезки труб.

Открытые проходы через наружные стены или через стены между отапливаемыми и неотапливаемыми помещениями, а также через внутренние стены и перекрытия сырых, особо сырых, пыльных помещений и помещений с химически активной средой после прокладки электропроводок должны быть уплотнены кирпичом, а отрезки труб – мастикой.

Открытые проходы электропроводок в стальных коробах осуществляют отрезком короба, длина которого на 200 мм больше толщины стены. Крышка короба приваривается к коробу, а сам короб приваривается к обрамлению проема, после чего проем должен быть заделан цементным раствором. При переходе короба через наружные стены и через стены между отопляемыми и неотапливаемыми помещениями, а также через внутренние стены и перекрытия сырых, особо сырых, пыльных помещений и помещений с химически активной средой внутреннюю полость короба уплотняют минеральной ватой на толщину стены.

2.6.11. ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ ВО ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНЫХ ЗОНАХ

2.6.11.1. Общие требования

Выбор способа прокладки электропроводок систем автоматизации во взрывоопасных зонах следует производить в соответствии с [11]. При этом необходимо учитывать, что в электропроводках систем автоматизации (цепях управления, измерения, сигнализации, питания и др.) во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Ia должны применяться провода и кабели с медными жилами. Во взрывоопасных зонах классов В-Iб, В-1г, В-II и В-IIa допускается применение проводов и кабелей с алюминиевыми жилами. При этом следует иметь в виду, что приборы и аппараты взрывозащищенных исполнений и без средств взрывозащиты, устанавливаемые в указанных зонах, должны иметь вводные устройства и контактные зажимы, позволяющие осуществлять присоединение алюминиевых проводников.

Во всех случаях при выборе материала жил проводов и кабелей (медных или алюминиевых), прокладываемых во взрывоопасных зонах, следует учитывать также рекомендации заводов-изготовителей приборов, аппаратов и средств автоматизации по выполнению их электрических проводок.

Наименьшее допустимое сечение жил проводов и кабелей электропроводок систем автоматизации во взрывоопасных зонах должно составлять: 1 мм^2 для медных и $2,5 \text{ мм}^2$ для алюминиевых проводников.

Допускается по рекомендации заводов-изготовителей приборов, аппаратов и средств автоматизации применение медных проводов и кабелей меньших сечений, если вводные устройства и контактные зажимы аппаратуры рассчитаны на присоединение проводников сечением жил менее 1 мм^2 и об этом имеется указание заводов-изготовителей, одобренное государственной контрольной организацией.

Во взрывоопасных зонах любого класса следует применять провода с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией; кабели с поливинилхлоридной, резиновой и бумажной изоляцией в поливинилхлоридной, резиновой и металлической оболочках.

Запрещается во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Iа применять кабели с алюминиевой оболочкой.

Применение проводов и кабелей с полиэтиленовой изоляцией или оболочкой запрещается во взрывоопасных зонах всех классов.

Кабели, прокладываемые во взрывоопасных зонах любого класса на кабельных конструкциях, лотках, в стальных защитных трубах, коробах, каналах, по технологическим и кабельным эстакадам, не должны иметь наружных покровов и покрытий из горючих материалов.

Во взрывоопасных зонах всех классов не допускается совместная прокладка электрических проводов с пластмассовыми трубами или пневмокабелями в одних коробах, на лотках, кабельных конструкциях.

При прокладке кабелей в помещениях с взрывоопасными зонами классов В-I и В-Iа с тяжелыми или сжиженными горючими газами следует, как правило, избегать устройства кабельных каналов, при необходимости устройства каналов последние должны быть засыпаны песком.

В наружной взрывоопасной зоне класса В-Iг кабели на кабельных конструкциях, в коробах, на лотках, в защитных трубах, а также провода в защитных трубах и коробах должны прокладываться, как правило, по конструкциям зданий и сооружений, по технологическим и кабельным эстакадам.

Наружную прокладку кабелей между взрывоопасными зонами, между наружной взрывоопасной зоной и производственным помещением или операторной рекомендуется выполнять по эстакадам (технологическим и кабельным), стенам и конструкциям зданий и сооружений, не применяя по возможности подземную прокладку кабелей в траншеях, каналах, блоках.

По технологическим эстакадам – с трубопроводами с горючими газами и легковоспламеняющимися жидкостями помимо кабелей, предназначенных для управления задвижками указанных трубопроводов, допускается прокладывать до 30 кабелей и защитных труб с проводами или кабелями электропроводок систем автоматизации. Предел огнестойкости конструкций эстакад должен быть не менее 0,75 ч. На указанных эстакадах небронированные кабели должны прокладываться в стальных защитных водогазопроводных трубах или в стальных коробах с открываемыми крышками; бронированные кабели – на кабельных конструкциях, лотках, в стальных коробах с открываемыми крышками. При этом кабельные конструкции, защитные трубы, лотки и короба следует прокладывать на расстоянии, не менее 0,5 м от тру-

бопроводов, по возможности со стороны трубопроводов с негорючими веществами.

Искробезопасные цепи должны удовлетворять следующим требованиям:

- не допускается использование – одного кабеля для искробезопасных и искроопасных цепей;
- провода искробезопасных цепей не должны иметь петель;
- изоляция проводов искробезопасных цепей должна иметь отличительный синий цвет. Допускается маркировать синим цветом только концы проводов;
- провода искробезопасных цепей должны быть защищены от наводок, нарушающих их искробезопасность.

Электропроводки систем автоматизации в пожароопасных зонах могут выполняться всеми способами, принятыми для прокладки в производственных помещениях и наружных установках с учетом следующих требований. В качестве стальных защитных труб в открытых электропроводах, выполняемых проводами, могут применяться стальные тонкостенные трубы с толщиной стенки не менее: 2,5 мм для алюминиевых проводов сечением 6 мм²; 2,8 мм для алюминиевых проводов сечением 10 мм² и медных сечением 4 мм². С этими же ограничениями в виде исключения разрешается применять отрезки стальных тонкостенных труб для выхода из пола, фундаментов и т.п.

Разрешается выполнение открытых и скрытых электропроводок в винипластовых трубах и скрытых в полиэтиленовых трубах в пожароопасных зонах промышленных предприятий в пределах каждого этажа, кроме складских помещений, а также транзитных горизонтальных и вертикальных прокладок. Для электропроводок применяют винипластовые трубы, классифицируемые по ТУ 6-19-051-249–79, либо аналогичные отечественные или зарубежные, классифицируемые по ГОСТ 12.1.017–80 как трудногорючие или с критерием оценки их пожарной опасности $K = 0,2 + 0,45$.

Область применения бронированных и небронированных кабелей в пожароопасных зонах определяется требованиями прокладки кабелей в производственных помещениях и наружных установках.

Не допускается в пожароопасных зонах всех классов применять провода и кабели с алюминиевыми жилами. Наименьшее допустимое сечение жил проводов и кабелей электропроводок систем автоматизации в пожароопасных зонах должно быть 1 мм² для медных и 2,5 мм² для алюминиевых проводников. В пожароопасных зонах всех классов не допускается совместная прокладка электрических проводов с пластмассовыми трубами или пневмокабелями в одних коробах на лотках и кабельных конструкциях.

2.6.11.2. Монтаж электропроводок в защитных трубах

Для защиты электропроводок во взрывоопасных зонах применяют обыкновенные стальные водогазопроводные трубы по ГОСТ 3262–75.

Заготовка защитных труб для электропроводок, как правило, выполняется в МЗМ монтажных управлений по заранее произведенным замерам и подготовленным эскизам. Перед началом обработки труб проверяют отсутствие поперечных и продольных разрезов, качество выполнения заводских сварных швов и целостность резьбы. Для защитных трубопроводов электропроводок взрывоопасных помещений и наружных установок не допускается применение тонкостенных легких и некондиционных водогазопроводных труб. Все трубы необходимо очистить от ржавчины и грязи механическим или химическим способом. После очистки окрашивают внутреннюю и наружную поверхности труб, за исключением труб, предназначенных для прокладки в бетоне. Такие трубы необходимо окрашивать только внутри.

Соединения защитных труб электропроводок между собой, с патрубками фитингов и коробок, а также с вводными устройствами приборов и средств автоматизации должны быть выполнены на трубной цилиндрической резьбе. Каждая труба в соединении должна содержать не менее пяти полных неповрежденных ниток резьбы. Соединение труб может быть разъемным и неразъемным.

Неразъемное соединение выполняется с помощью соединительных стальных прямых муфт по ГОСТ 8966–75. Муфта наворачивается на конец одной трубы с короткой резьбой; вторая труба также с короткой резьбой ввертывается в муфту. При выполнении разъемного соединения на конце одной трубы нарезают длинную резьбу, на которую наворачивают сначала контргайку, а затем муфту. К муфте подводят вторую трубу с нарезанной короткой резьбой и муфту наворачивают на нее до упора. Контргайка привертывается к муфте вплотную. Применять установочные заземляющие гайки в качестве контргайки запрещается.

Все резьбовые соединения при монтаже защитных труб электропроводок должны быть выполнены с подмоткой на резьбу пенькового волокна, пропитанного в сурике, разведенном на олифе. Применение вместо сурика масляных красок не допускается.

Затяжка проводов и кабеля в проложенные защитные трубы производится в обычном порядке.

Соединение и ответвление жил кабеля и проводов должны выполняться: а) в зонах классов В-I и В-II – во взрывозащищенных коробках пайкой или опрессовкой; б) в зонах классов В-Ia, В-IIa, В-Iб и В-1г – в соединительных коробках типов У614 и У615 на зажимах, во взрывозащищенных коробках типов КПП, КПД, КТО, КТД, КПЛ пайкой, сваркой или опрессовкой.

При выполнении винтовых соединений с помощью зажимов необходимо предотвращать самоотвинчивание винтов (болтов) путем установки стопорных или пружинных шайб или окраски резьбы. Не допускается применение зажимов с нажатием на жилу проводника торцом винта без прокладки или поджимного башмака, а также применение в зажимах винтов менее М4.

2.6.11.3. Прокладка кабеля

Кабельные электропроводки средств автоматизации независимо от класса помещения должны быть выполнены в соответствии с правилами, предъявляемыми к прокладке кабеля в обычных помещениях, и с учетом следующих дополнительных требований. При открытой прокладке кабеля необходимо выдерживать расстояние не менее 150 мм от задвижек, вентилях, обратных клапанов и другой технологической аппаратуры. При переходе кабеля через осадочные и температурные швы зданий и сооружений необходимо предусматривать компенсацию кабеля, выполненную в виде свободного провеса по обе стороны шва. В переходах через трубопроводы и в местах с возможными механическими повреждениями необходимо выполнять защиту кабельных проводок металлическими трубами, коробами, угловой сталью и т.п. Устройства защиты должны быть жестко прикреплены к строительным конструкциям. Ввод кабелей в приборы и средства автоматизации должен осуществляться при помощи вводных арматур. Места вводов должны быть надежно уплотнены. Броня кабелей, кабельные конструкции и элементы крепления должны быть окрашены красками или лаками, стойкими к воздействию окружающей среды. Запрещается устанавливать соединительные и разделительные муфты внутри взрывоопасных зон, а также в непосредственной близости технологических аппаратов взрывоопасных наружных установок (за исключением установки на кабелях с искробезопасными цепями, если в них возникает необходимость). При прокладке кабелей на кабельных конструкциях и в лотках в пожароопасных зонах классов П-I, П-II, П-Па и П-Ш они должны быть удалены от мест открытого хранения (размещения) горючих веществ на расстояние не менее 1 м. По эстакадам с трубопроводами с горючими газами и жидкостями, проходящими по территории зоны класса П-Ш, небронированные кабели рекомендуется прокладывать в коробах и стальных защитных трубах, бронированные – на кабельных конструкциях. При этом стальные защитные трубы, коробка и кабельные конструкции следует прокладывать на расстоянии не менее 0,5 м от трубопровода, по возможности со стороны трубопроводов с негорючими веществами.

2.6.11.4. Уплотнение электропроводок

При переходе труб электропроводки из помещения со взрывоопасной зоной класса В-I или В-Ia в помещение с нормальной средой или во взрывоопасную зону другого класса с другой категорией или группой взрывоопасной смеси или наружу труба с проводами в местах прохода через стену должна иметь разделительное уплотнение в специально для этого предназначенной коробке.

Во взрывоопасных зонах классов В-Iб, В-II и В-IIa установка разделительных уплотнений не требуется. Если во взрывоопасной зоне кабель проложен в стальной трубе, то при переходе трубы из этой зоны в невзрывоопасную или в помещение со взрывоопасной зоной другого класса либо с другой категорией или группой взрывоопасной смеси труба с кабелем в месте прохода через стену должна, также иметь разделительное уплотнение в специально предназначенной для этого коробке. Разделительное уплотнение не ставится, если труба с кабелем выходит наружу, а кабели прокладываются далее открыто или труба служит для защиты кабеля в местах возможных механических воздействий и оба конца ее находятся в пределах одной взрывоопасной зоны.

Разделительные уплотнения устанавливаются:

- в непосредственной близости от места входа трубы во взрывоопасную зону;
- при переходе трубы из взрывоопасной зоны одного класса во взрывоопасную зону другого класса – в помещение взрывоопасной зоны более высокого класса;
- при переходе трубы из одной взрывоопасной зоны в другую такого же класса – в помещение взрывоопасной зоны с более высокой категорией и группой взрывоопасной смеси.

Проходы кабельных электропроводок через стены и перекрытия выполняют через отрезки стальных труб или через специальные сварные короба с песком.

2.6.11.5. Зануление и заземление

Во взрывоопасных зонах занулению (заземлению) подлежат все электропроводки независимо от напряжения и рода тока. Исключение составляет искробезопасные цепи, зануление (заземление) которых, как правило, не допускается, если того не требуют условия работы искробезопасного прибора. Необходимость выполнения зануления (заземления) в этом случае устанавливается требованием заводской инструкции.

В качестве зануляющих (заземляющих) проводников в электроустановках систем автоматизации во взрывоопасных зонах должны использоваться:

- в одно- и двухфазных сетях – третьи жилы проводов и кабелей;
- в трехфазных сетях – четвертые жилы проводов и кабелей.

Стальные трубы электропроводок и алюминиевые оболочки кабелей, которые в невзрывоопасных установках допускается использовать в качестве зануляющих (заземляющих) проводников, во взрывоопасных зонах должны применяться лишь как дополнительные проводники.

Для зануления (заземления) датчиков и других средств автоматизации, гальванически не связанных с системой электроснабжения (питающихся, например, от вторичных приборов или преобразователей через имеющиеся в них трансформаторы), допускается применение специально предназначенных для этой цели проводников, проложенных как в общей оболочке с подключаемыми к ним проводами, так и отдельно от них.

2.7. МОНТАЖ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

2.7.1. МОНТАЖ ЗАКЛАДНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Монтаж закладных изделий и их установка определяются проектом автоматизации и должны предусматриваться в технической его части. Работы по врезке закладных изделий должны выполняться организациями, выполняющими монтаж технологических трубопроводов и оборудования.

Монтаж первичных приборов производится непосредственно на технологическом оборудовании, сигналы через первичные преобразователи поступают на измерительные приборы.

Закладные конструкции. Монтаж приборов для измерения температуры на технологических трубопроводах и оборудовании выполняется, как правило, с помощью специальных закладных конструкций – бобышек. Бобышка приварная – это деталь, привариваемая к технологическому трубопроводу или аппарату, имеющая резьбу (или без резьбы) для закрепления первичного измерительного преобразователя.

Бобышки изготавливают в соответствии с отраслевым стандартом ГОСТ 36.7–74 «Бобышки и штуцера приварные для установки приборов и устройств автоматики», который распространяется на приварные бобышки и штуцера, являющиеся комплектующими деталями технологических трубопроводов и аппаратов с условным давлением жидкостей и газов до 40 МПа. Термометры расширения, термобаллоны манометрических термометров и термопреобразователи соединяются с

бобышками, как правило, через установочные штуцера, которые иногда называют соединительными. Размеры и форму штуцера приборов для измерения температуры определяет ГОСТ 25164–82 «Приборы и устройства пневматические, электрические и гидравлические ГСП. Присоединительные размеры». По своим присоединительным размерам бобышки, изготавливаемые по ОСТ 36.7–74, полностью соответствуют ГОСТ 25165–82.

По типу и параметрам приварные бобышки подразделяют на прямые: БП1 на P_y до 20 МПа; БП2 на P_y от 20 до 40 МПа; БП3 на атмосферное давление; скошенные: БС1 на P_y до 20 МПа; БС2 на P_y от 20 до 40 МПа.

Бобышки всех типов по ГОСТ 36.7–74 могут иметь следующие размеры резьбы: М12×1,5; М20×1,5; М27×2; М33×2; М39×2.

Бобышки в зависимости от типа имеют следующие высоты: БП1 – 55 и 100; БП2 – 50, 60 и 100; БП3 – 25; БС1, БС2 – 115 и 140 мм. Высоту бобышки выбирают в зависимости от толщины слоя изоляции технологического трубопровода или аппарата.

Для отличия одного типа бобышки от другого в технической документации всем бобышкам присвоены условные обозначения. Например, прямая бобышка на P_y до 20 МПа с резьбой М20×1,5 высотой 55 мм имеет обозначение БП1-М20-55, ОСТ 36.7–74.

Рекомендуемые области применения бобышек. Бобышки БП1 и БП2 служат для присоединения погружных элементов термометров расширения, термобаллонов, манометрических термометров, термопреобразователей сопротивления, преобразователей термоэлектрических и др.; бобышки БП3 – для присоединения поверхностных термопреобразователей сопротивления и других преобразователей. Подчеркнем, что при монтаже приборов следует проверить соответствие материала бобышки материалу трубопровода или аппарата, для которых они предназначены, и качество их сварных соединений. Соответствие материала бобышки материалу трубопровода может быть установлено по маркировке бобышек, которая должна содержать размер резьбы, значение условного давления, группу стали по ГОСТ 356–68, товарный знак завода-изготовителя.

Способы монтажа. Способ монтажа прибора для измерения температуры на технологических трубопроводах или оборудовании зависит от диаметра трубопровода, конструктивных особенностей оборудования, места установки и габарита прибора.

Если диаметр трубопровода и длина чувствительного элемента прибора обеспечивают необходимую глубину погружения, то монтаж осуществляется непосредственно на трубопроводе с помощью прямой или скошенной бобышки. Если длина прибора значительно больше диаметра трубопровода, то применяют специальные устройства, уве-

личивающие в месте установки прибора диаметр трубопровода. Эти устройства могут иметь форму расширителя или стакана, изготовленного из трубы большего диаметра, с габаритами, удовлетворяющими условиям установки прибора.

Одним из основных условий установки прибора на технологическом трубопроводе, как уже было ранее отмечено, является соблюдение требуемой глубины погружения, от которой в значительной степени зависит точность измерения температуры. Глубина погружения прибора зависит от длины его монтажной части. Длина монтажной части I для прибора с неподвижным штуцером определяется как расстояние от рабочего конца до опорной площадки штуцера; для датчика с подвижным штуцером и без штуцера – как расстояние от рабочего конца до головки, а при отсутствии головки – до места заделки выводных концов. Таким образом, понятие «глубина погружения» прибора в технологический трубопровод определяется положением, которое занимает конец погружаемой части прибора ниже оси трубопровода. Как правило, конец погружаемой части в зависимости от типа прибора должен размещаться от 5 до 70 мм ниже оси трубопровода, по которому движется измеряемая среда. Соблюдение этого условия может быть достигнуто, как ранее было отмечено, путем применения бобышек разной длины и конструкции. Способы установки закладных устройств представлены ниже.

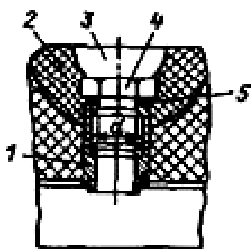


Рис. Бобышка (ЗК4-1-75).

Установка на металлической стенке или трубопроводе $D > 76$ мм, давление среды $P_y \ll 6,4$ МПа:
 1 – бобышка по ОСТ 36.7–74 или ТК4-226–75; 2 – легкоснимаемый слой изоляции; 3 – лунка;
 4 – пробка по ТК4-229–69;
 5 – прокладка по ТК4-556–68

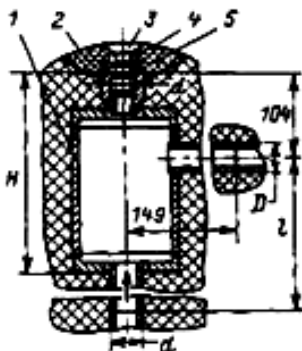


Рис. Расширитель (ЗК4-2-75).

Установка на трубопроводе $D = 14 - f - 38$ мм, $P_y = 6,4$ МПа:
 1 – расширитель по ЗК4-29-75;
 2 – легкоснимаемый слой изоляции;
 3 – лунка; 4 – пробка по ТК4-229–69;
 5 – прокладка по ТК4-566–6

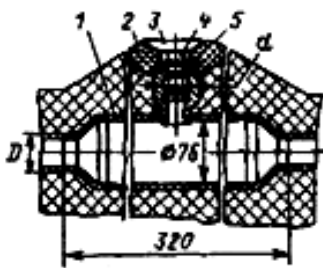


Рис. Расширитель (ЗК4-3-75).
Установка на трубопроводе
 $D = 45 - \text{г} 67 \text{ мм}$, $P_y = 10 \text{ МПа}$:
1 – расширитель по ЗК4-27-75;
2 – 5 – см. ЗК4-2-75

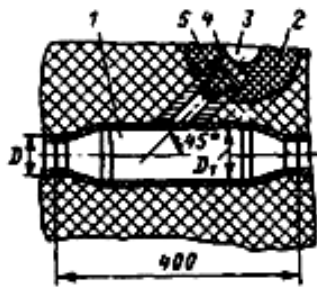


Рис. Расширитель (ЗК4-4-75).
Установка на трубопроводе
 $D = 45 - \text{г} 76 \text{ мм}$, $P_y \text{ сг} 16 \text{ МПа}$:
1 – расширитель по ЗК4-28-75;
2 – 5 – см. ЗК4-2-75

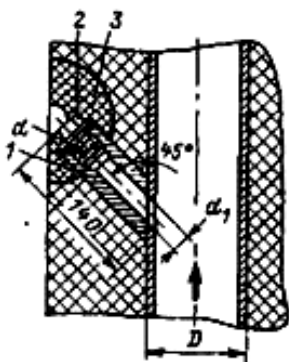


Рис. Бобышка, скошенная под углом 45° (ЗК4-5-75).
Установка на трубопроводе
 $D < 76 \text{ мм}$ или металлической
стенке, $P_y < 20 \text{ МПа}$:
1 – бобышка по ТК4-226-75;
2 – пробка по ТК4-229-69;
3 – прокладка по ТК4-566-68

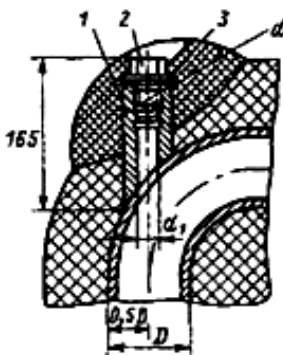
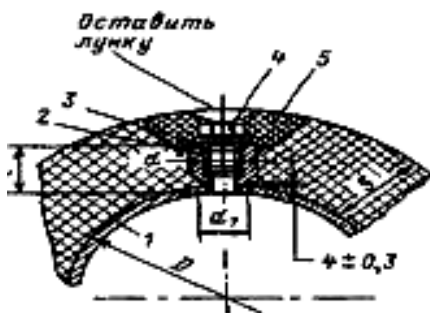
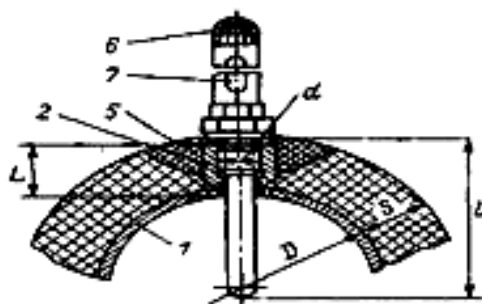


Рис. Бобышка, скошенная под углом 30° (ЗК4-6-75).
Установка на колене трубопровода
 $Z = 76 - \text{г} 168 \text{ мм}$, $P_y < 20 \text{ МПа}$:
1 – бобышка по ТК4-227-75;
2, 3 – см. ЗК4-5-75

Способ № 1 применяют тогда, когда приборы монтируют на горизонтальных участках трубопроводов диаметром более 76 мм. При этом длина монтажной части приборов может колебаться в пределах от 80 до 2000 мм. На рисунке 2.9, а показана установка бобышки на горизонтальном участке трубопровода диаметром свыше 76 мм. Монтаж бобышки и тепловую изоляцию выполняют, как правило, организации, монтирующие технологическое оборудование.



a)



б)

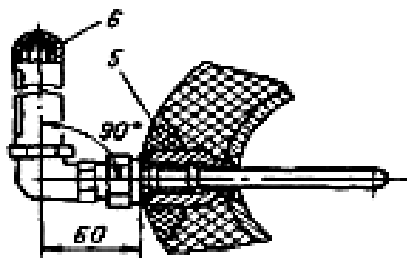


Рис. 2.9. Установка бобышки на трубопроводе диаметром свыше 76 мм (а) и термометров расширения прямого (б) и углового (в):

1 – трубопровод; 2 – бобышка; 3 – прокладка; 4 – пробка;
5 – легко снимаемый слой изоляции; 6 – защитная оправа; 7 – прибор;
D – диаметр трубопровода; d_t – диаметр отверстия в трубопроводе;
S – толщина слоя изоляции; z – глубина погружения; L – высота бобышки

Учитывая, что установка приборов производится после завершения всех работ по монтажу технологического оборудования, бобышку 2 закрывают пробкой 4, что позволяет выполнять опрессовку трубопроводов без установленных приборов.

2.7.2. ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА ПРИБОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДАХ

Термометры расширения. Применяют два способа установки термометров: с непосредственным соприкосновением чувствительного элемента с измеряемой средой или изолированно от измеряемой среды в защитной оправе. Первый способ создает благоприятные условия для теплопередачи, но не защищает термометр от механических повреждений и требует уплотнения мест ввода термометров в измеряемую среду. Второй способ увеличивает инерционность термометра, но обеспечивает сохранность от повреждений. На практике, как правило, применяют второй способ. Для снижения теплового сопротивления, которое возникает при использовании защитных оправ, кольцевой зазор между термометром и внутренней стенкой оправы заполняют теплопроводящим материалом – машинным маслом (для термометров со шкалой +200 °C), медными или стальными опилками (для термометров со шкалой до +500 °C). Для уменьшения теплоотдачи во внешнюю среду целесообразно часть оправы, выступавшую за пределы измеряемой среды, выполнять по возможности короткой и теплоизолированной. Промышленность выпускает оправы защитные для технологических стеклянных термометров по ГОСТ 3029–75 двух типов:

- 1) оправы с защитной трубкой с перфорацией для неагрессивных сред при условном давлении измеряемой среды, близком к атмосферному;
- 2) оправы с закрытой защитной трубкой для изоляции резервуара и погружаемой части термометра от соприкосновения с измеряемой средой при условном давлении среды P_y до 6,4 и 32,0 МПа.

Манометрические термометры. Термобаллон термометра должен быть полностью погружен в измеряемую среду. Положение термобаллона в измеряемой среде может быть любым (горизонтальное, вертикальное, наклонное) в зависимости от местных условий. Как и термометры расширения, термобаллон манометрического термометра в зависимости от давления измеряемой среды, а также ее химических свойств может быть смонтирован в защитной оправе. Для увеличения теплопроводности пространство между внутренней стенкой оправы и термобаллоном заполняют металлическими опилками или жидкостью с температурой кипения выше, чем верхний предел измерения термометра. Капилляр, соединяющий термобаллон манометрического термометра со вторичным прибором, должен прокладываться в местах с постоянной температурой. От горячих или холодных поверхностей

капилляр должен быть изолирован воздушным зазором или теплоизоляционным материалом. При прокладке капилляра манометрического термометра нельзя допускать резких перегибов, так как это может привести к закупорке внутреннего отверстия-капилляра, имеющего диаметр 0,2 или 0,36 мм. Радиус изгиба капилляра при поворотах должен быть не менее 60 мм. По всей длине капилляр необходимо защищать от механических повреждений перфорированным уголком или металлорукавом.

Термопреобразователи сопротивления. Исполнение термопреобразователей должно соответствовать параметрам и свойствам измеряемой и окружающей среды. Рабочий конец погружаемой части термопреобразователя должен размещаться для платиновых преобразователей на 50...70 мм ниже оси измеряемого потока, для медных – на 25...30 мм.

При измерении температуры более 400 °С устанавливать термопреобразователь, как правило, следует вертикально. В случае необходимости установки термопреобразователя горизонтально при рабочей длине более 500 мм проектом должна быть предусмотрена закладная конструкция с дополнительной опорой в конце закладной трубы. При горизонтальном и наклонном монтаже штуцер для ввода проводов в головку термопреобразователя сопротивления, как правило, должен быть направлен вниз. Рабочая часть поверхностных термопреобразователей сопротивления должна плотно прилегать к измеряемой поверхности на всей площади. Перед установкой поверхностных термопреобразователей на металлической поверхности место соприкосновения должно быть зачищено до металлического блеска.

Термоэлектрические преобразователи. Специальные требования, предъявляемые к монтажу термопреобразователей сопротивления, полностью распространяются на монтаж термопреобразователей. В отличие от термопреобразователей сопротивления рабочий конец термоэлектрического преобразователя должен выступать за ось потока на 5...10 мм.

2.8. МОНТАЖ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И РАЗРЯЖЕНИЯ

2.8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Приборы, измеряющие давление и разрежение, разделяются на следующие основные группы: манометры, измеряющие избыточное давление (газа, пара, жидкости) более атмосферного; вакуумметры, измеряющие давление менее атмосферного; мановакуумметры, измеряющие давление менее атмосферного и избыточное; тягомеры, напоромеры и тягонапоромеры, измеряющие небольшие разрежения и дав-

ления; дифференциальные манометры, измеряющие перепад или разность давлений.

По назначению приборы измерения давления и разрежения разделяются на рабочие, контрольные и образцовые. Ниже рассматриваются рабочие приборы, требующие монтажа, кроме дифференциальных манометров (дифманометров), которые чаще используются для измерения расхода.

По виду чувствительного элемента рассматриваемые в настоящем разделе приборы измерения давления и разрежения разделяются на: жидкостные, в которых измеряемое давление или разрежение уравнивается высотой столба жидкости; мембранные, в которых измеряемое давление или разрежение уравнивается силой упругой деформации мембраны; пружинные и сильфонные, в которых измеряемое давление или разрежение уравнивается упругой деформацией пружины или сильфона; тензопреобразовательные, в которых измеряемый параметр деформирует пластину монокристаллического сапфира с кремниевыми пленочными тензорезисторами, что в свою очередь изменяет электрическое сопротивление последних.

По исполнению приборы давления и разрежения делятся на: шкальные – показывающие, самопишущие; бесшкальные – сигнализирующие и преобразующие.

Сигнализирующие приборы, в состав которых входят реле, принято называть датчиками-реле давления (напора, тяги).

Приборы, преобразующие давление (разрежение) в выходной сигнал, называют преобразователями измерительными либо просто преобразователями давления.

В зависимости от выходного сигнала преобразователи делятся на электрические и пневматические.

В настоящем разделе рассматривается монтаж приборов измерения давления и разрежения.

Шкальные приборы давления могут устанавливаться на щитах и по месту. Определение «по месту» для приборов измерения давления и разрежения имеет несколько значений: на строительных основаниях помещений (на полу или стене) и непосредственно на технологических трубопроводах и оборудовании (аппаратах).

Бесшкальные приборы и датчики-реле давления (напора, тяги) устанавливаются, как правило, по месту.

2.8.2. ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Тензометрические приборы, преобразующие измеряемый параметр – давление, разрежение или разность давлений в электрический сигнал, выпускаются пяти модификаций: абсолютного давления «Сапфир-22ДА», избыточного давления «Сапфир-22ДИ», разрежения

«Сапфир-22ДВ», давления-разрежения «Сапфир-22ДИВ», разности давлений «Сапфир-22ДД», гидростатического давления «Сапфир-22ДГ». Две последние модификации служат в основном для измерения расхода и уровня.

Давление измеряемой среды по каналу при поступлении в мембранный тензопреобразователь вызывает прогиб его мембраны, что изменяет сопротивление тензорезисторов. Электрический сигнал по термопроводу передается в электронное устройство.

Другая модификация преобразователей «Сапфир-22» работает по другой схеме. Здесь измеряемая среда поступает в полость, отделенную разделительной металлической гофрированной мембраной от тензопреобразователя. Полость над мембраной заполнена кремнийорганической жидкостью. Под давлением измеряемой среды прогибается мембрана, кремнийорганическая жидкость изменяет давление на мембрану чувствительного элемента и дальше процесс измерения электрического сигнала протекает так же, как в предыдущем случае. Приборы с разделительной мембраной нашли широкое применение для измерения давления агрессивных и загрязненных сред.

Недопустимо применение преобразователей, имеющих измерительные блоки, заполненные кремнийорганической жидкостью, в процессах, где по условиям техники безопасности производства запрещается попадание этой жидкости в измеряемую среду.

В зависимости от агрессивности измеряемой среды выбираются материалы разделительной мембраны, соединительного ниппеля (при необходимости ниппель может не заказываться) и нижней части корпуса прибора.

Для измерения перепада давлений тензопреобразователь размещают в полости, отделенной двумя металлическими гофрированными мембранами с каждой стороны, куда подается давление измеряемой среды, независимо от того, агрессивна среда или нет.

Все приборы «Сапфир-22» бесшкальные и поэтому монтируются на строительных конструкциях производственных помещений на стойках, кронштейнах или стативах.

После установки прибора и подключения обвязки корпус преобразователя зануляется проводником сечением $2,5 \text{ мм}^2$.

Кабель измерительных цепей с сечением жил $0,75 \dots 1,5 \text{ мм}^2$ и диаметром оболочки до 14 мм вводят в сальниковый ввод. Жилы кабеля расключают в соответствии со схемой внешних соединений, после чего заделывается ввод и заворачивается гайка уплотнения.

Дальнейший процесс монтажа тензометрических преобразователей ведется так же, как и других преобразователей давления, описанных выше.

2.8.3. ДАТЧИКИ-РЕЛЕ ДАВЛЕНИЯ

Широкое распространение в промышленности получил унифицированный ряд малогабаритных датчиков-реле давления и разности давлений.

В зависимости от значения контролируемого давления датчики-реле подразделяются на датчики-реле напора – ДН, тяги – ДТ, давления – ДД и перепада напора – ДПН.

Принцип действия датчиков-реле основан на уравнивании силы, создаваемой давлением или разрежением контролируемой среды на чувствительный элемент (мембрана или сильфон), силой упругой деформации пружины.

В момент, когда давление контролируемой среды окажется выше сопротивления пружины, перемещение мембраны вызовет перемещение связанного с ней стержня, который нажмет кнопку микропереключателя. Срабатывание микропереключателя вызовет замыкание или размыкание электрической цепи – схемы контролируемого объекта.

Датчики-реле бесшкальные и поэтому монтируются на строительных основаниях производственных помещений на полу или стене. Датчики-реле устанавливаются в вертикальном положении. Поскольку их масса невелика (от 0,5 до 1,6 кг), крепление прибора осуществляется с помощью его резьбового штуцера 5. На штуцер М12×1,5 навинчивается переборочный соединитель М12×1,5, который и закрепляет прибор к кронштейну и присоединяет обвязку к прибору.

При установке на стене монтаж кронштейна осуществляется приваркой (для металлических переборок) или пристрелкой дюбелями.

Установка датчиков-реле непосредственно на технологических трубопроводах не рекомендуется, так как в этом случае прибор трудно защитить от действия высоких температур, влажности и вибрации.

Для подключения электрических проводов к датчикам-реле рекомендуется применять провода с сечением жил 0,5...1,0 мм², защищенные до коробок металлорукавом.

2.8.4. УСТАНОВКА ОТБОРНЫХ УСТРОЙСТВ ДАВЛЕНИЯ И РАЗРЯЖЕНИЯ

Во всех случаях установки приборов непосредственно на технологических трубопроводах и оборудовании должны применяться отборные устройства с трехходовым краном (вентилем) или с двумя вентилями для возможности отключения и проверки прибора.

Для невысоких давлений (P_y до 1,6 МПа) и температур до 80 °С широко применяются трехходовые краны типа 14М1, для высоких давлений (P_y до 20,0 МПа) и температур до 450 °С – трехходовые вентили 1014-ООБ. При необходимости установки прибора на трубопро-

воде или аппарате, где измеряемой средой являются нефтепродукты, применяется отборное устройство для сред с давлением P_y до 1,6 МПа и температурой до 120 °С или с температурой измеряемой среды до 400 °С. У этих отборных устройств трехходовой кран заменен двумя вентилями. Один из вентилялей служит для отключения прибора, а другой – для подсоединения контрольного прибора. Если давление среды пульсирует (например, после поршневых насосов) или температура среды выше 80 °С, отборные устройства должны быть с петлеобразным успокоителем (рис. 2.10, б – е).

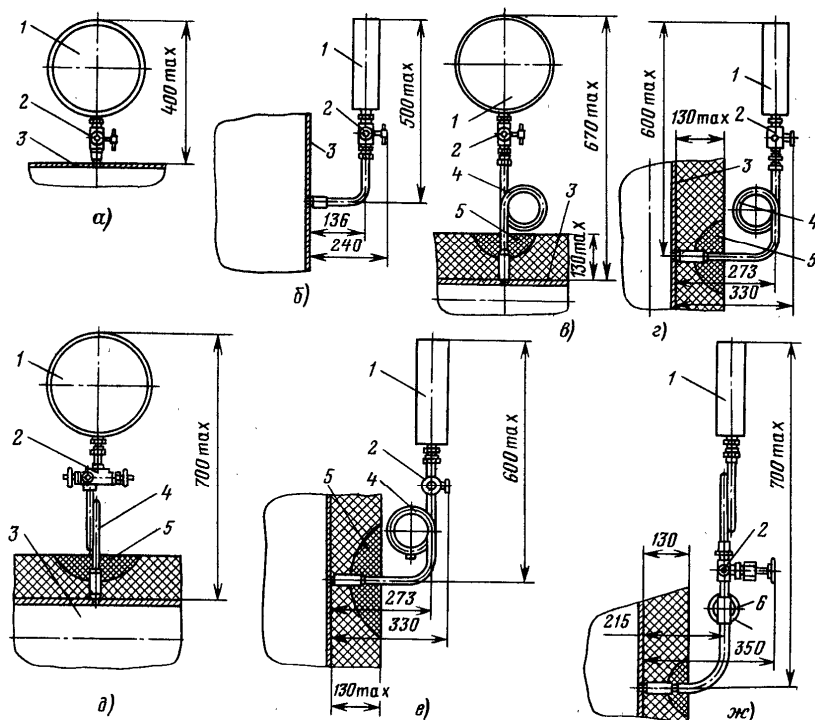


Рис. 2.10. Установка манометров, мановакуумметров и вакуумметров общего назначения на трубопроводах и аппаратах:

- а – на горизонтальном трубопроводе при P_y до 1,6 МПа и t до 80 °С;
- б – на вертикальном трубопроводе при P_y до 1,6 МПа и t до 80 °С;
- в – на горизонтальном трубопроводе при P_y до 1,6 МПа и t до 225 °С;
- г – на вертикальном трубопроводе при P_y до 1,6 МПа и t до 225 °С;
- д – на горизонтальном трубопроводе при P_y до 20,0 МПа и t до 450 °С;
- е – на вертикальном трубопроводе при P_y до 20,0 МПа и t до 450 °С;
- ж – на вертикальном трубопроводе с нефтепродуктами

Приборы устанавливаются на смонтированное отборное устройство, заканчивающееся штуцером с внутренней резьбой М20×1,5. В штуцер вкладывается прокладка, материал которой выбирается в зависимости от параметров измеряемой среды, а размеры принимаются по ТК4-566–68, и прибор ввертывается в штуцер поворотом за шестигранник до уплотнения с прокладкой (запрещается заворачивать прибор за корпус). Если корпус прибора занял неудобное для обозрения положение, его исправляют за счет толщины прокладки или кладут еще одну прокладку с тем, чтобы шкала прибора была обращена к возможному месту обслуживания (месту оператора, аппаратчика).

Отборные устройства давления и разрежения устанавливаются на технологическом оборудовании и трубопроводах и служат для периодического или непрерывного отбора измеряемой среды.

Отборные устройства, как правило, должны иметь запорные органы. Установка отборных устройств без запорной арматуры допускается при замерах разрежения до 100 Па в печах и топках и замере давления неядовитых газов (например, вентиляторного воздуха при давлении не более 700 Па). Размещать отборные устройства желательно в местах, где скорость движения среды наименьшая, поток плавный без завихрений, т.е. на прямолинейных участках трубопроводов при максимальном расстоянии от запорных устройств, колен, компенсаторов и других гидравлических сопротивлений.

Отборы давления воды или других жидкостей на горизонтальном или наклонном трубопроводе должны ввариваться ниже горизонтальной оси трубопровода и во всех случаях с уклоном таким образом, чтобы воздух или газ, выделяющиеся из жидкости в импульсной трубе, имели свободный выход в трубопровод.

Типовые закладные конструкции применимы для трубопроводов и аппаратов, выполненных только из углеродистой стали. Монтаж закладных конструкций на технологических трубопроводах и оборудовании производится до изоляции трубопроводов и до их гидравлического испытания организациями, ведущими монтаж этих трубопроводов и оборудования.

Закладные конструкции для установки отборных устройств давления, расхода и уровня должны заканчиваться запорной арматурой. Привариваемые к трубопроводам штуцера, как правило, не должны выступать внутрь трубопровода во избежание образования завихрений у мест отборов.

При измерениях давления агрессивных сред отборы давления должны иметь разделительные сосуды, которые необходимо устанавливать как можно ближе к отборным устройствам. Заполнение сосудов разделительной жидкостью выполняется организацией, занимающейся наладкой приборов и средств автоматизации.

При измерении давления агрессивных и вязких сред могут также применяться отборные устройства с мембранным разделителем.

Разделители служат для предохранения чувствительных элементов (мембран, сильфонов, трубчатых пружин) от попадания в них полимеризующихся, кристаллизующихся, агрессивных или загрязненных сред. Измеряемое давление воздействует на мембрану и с помощью разделительной жидкости передается чувствительному элементу прибора.

Для приборов-датчиков ГСП комплектно с разделителем поставляется соединитель, позволяющий отнести прибор от места установки разделителя. Один конец соединителя ввинчивается в разделитель, а другой навинчивается на штуцер манометра. Наличие соединителя существенно упрощает процесс заполнения разделителя промежуточной жидкостью.

В случае поставки прибора с собранным мембранным разделителем или прибора с разделителем и соединителем категорически запрещается их разделение перед монтажом во избежание вытекания жидкости.

Соединительные линии, служащие для соединения прибора с отборным устройством, называются импульсными. Соединительные линии должны иметь конфигурацию трассы, соответствующую свойствам измеряемой среды; должны быть герметичными, рассчитанными на условное давление измеряемой среды, минимальную длину и диаметр, отвечающий параметрам измеряемой среды и удаленности прибора от места отбора. Независимо от материала труб и протяженности трассы внутренний диаметр труб не должен быть менее 8 мм. Изгибы труб соединительных линий должны быть плавными, без вмятин и гофр.

Соединительные линии к приборам необходимо прокладывать так, чтобы исключалось образование газовых мешков (при измерении давления жидкости) или гидравлических пробок (при измерении давления газа).

В зависимости от взаимного расположения приборов и трубопроводов, давления, температуры и агрессивности измеряемых сред изменяются схемы установки манометров. Ниже (рис. 2.11) приведены наиболее характерные схемы установки манометров, учитывающие эти зависимости.

На рисунках 2.12 и 2.13 представлены схемы соединения приборов для измерения давления неагрессивной жидкости и пара, размещаемых ниже (рис. 2.12, *а*) и выше (рис. 2.12, *б* и *в*) отбора давления (разрежения), при температуре среды t до 100 °С и давлении P_y до 1,6 МПа. В этом случае для продувки импульсных линий разрешается применение трехходовых кранов.

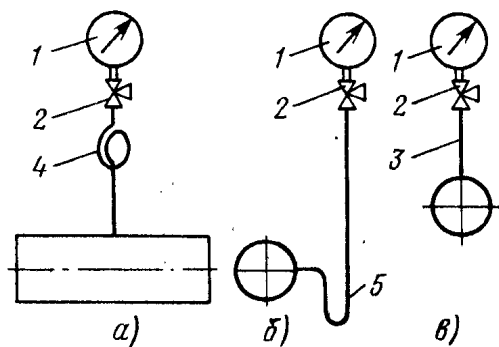


Рис. 2.11. Установка манометра на трубопроводе:

- а* – отборное устройство с кольцеобразной сифонной трубкой;
б – то же с петлеобразной сифонной трубкой; *в* – то же без сифонной трубки;
 1 – манометр; 2 – трехходовой кран; 3 – импульсная трубка;
 4 – кольцеобразная сифонная трубка; 5 – петлеобразная сифонная трубка

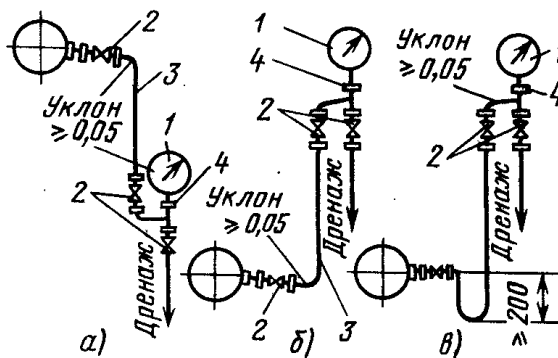


Рис. 2.12. Установка манометра для измерения давления неагрессивной жидкости и пара при P_y до 1,6 МПа и t до 100 °С:

- а* – манометр ниже отбора давления при измерении давления жидкости и пара;
б – манометр выше отбора давления при измерении давления и жидкости;
в – то же при измерении давления пара; 1 – манометр; 2 – вентиль запорный;
 3 – импульсная трубка; 4 – переходные трубные соединения

На рисунке 2.14, *а* и *б* представлены схемы соединения прибора при измерении давления неагрессивного сухого газа при расположении прибора ниже или выше отбора давления при температуре среды t до 100 °С и давлении P_y до 1,6 МПа. При измерении давления влажного неагрессивного газа схема соединения дополняется сборником конденсата (рис. 2.14, *в*).

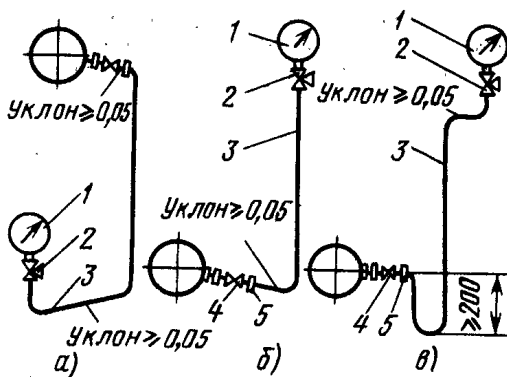


Рис. 2.13. Установка манометра для измерения давления неагрессивной жидкости или пара при $t > 100^\circ\text{C}$ и $P_y = 1,6\text{ МПа}$:

- а* – манометр ниже отбора давления при измерении давления жидкости;
б – манометр выше отбора давления при измерении давления жидкости;
в – то же при измерении давления пара; 1 – манометр;
 2 – трехходовой кран; 3 – импульсная трубка; 4 – вентиль запорный;
 5 – переходные трубные соединения

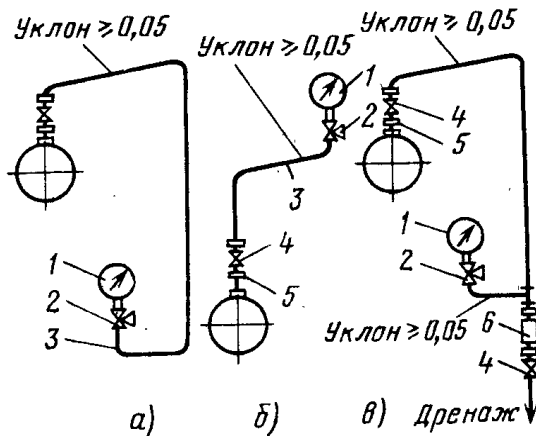


Рис. 2.14. Установка манометра для измерения давления неагрессивного сухого (*а* и *б*) и влажного (*в*) газов при $P_y = 1,6\text{ МПа}$ и $t = 100^\circ\text{C}$:

- 1 – манометр; 2 – трехходовой край; 3 – импульсная трубка; 4 – вентиль запорный; 5 – переходные трубные соединения; *б* – сборник конденсата

Схемы соединения прибора при измерении давления неагрессивного газа при его температуре t выше 100°C и давлении P_y выше $1,6\text{ МПа}$ представлены на рис. 2.15.

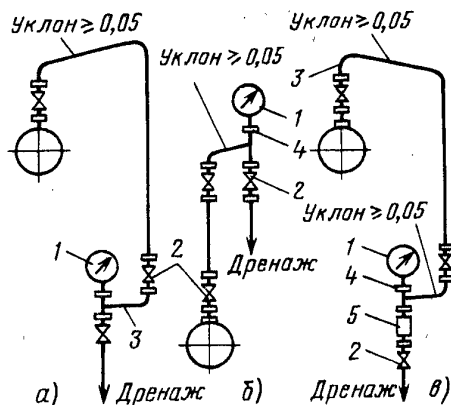


Рис. 2.15. Установка манометра для измерения давления неагрессивного сухого (а и б) и влажного (в) газов при $t > 100^\circ\text{C}$ и $P_y = 1,6 \text{ МПа}$:

1 – манометр; 2 – вентиль запорный; 3 – импульсная трубка;
4 – переходное трубное соединение; 5 – сборник конденсата

На рисунках 2.16 и 2.17 показаны схемы монтажа манометра для измерения давления агрессивного газа (рис. 2.16) и агрессивной или вязкой жидкости (рис. 2.17). В этом случае схемы дополняются разделительными сосудами. На рисунке 2.16 представлена схема измерения давления агрессивного газа, когда манометр размещается ниже отбора давления и плотность разделительной жидкости больше плотности измеряемой среды.

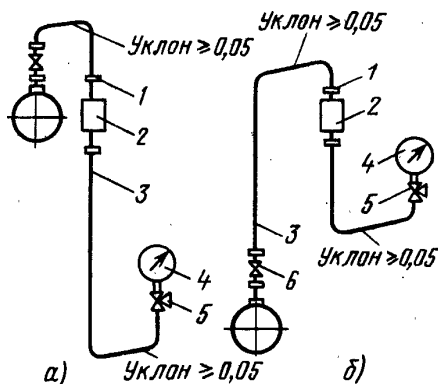


Рис. 2.16. Установка манометра для измерения давления агрессивного газа при плотности разделительной жидкости, большей плотности измеряемой среды, и при расположении манометра ниже (а) и выше (б) отбора давления:
1 – переходное трубное соединение; 2 – разделительный сосуд; 3 – импульсная труба; 4 – манометр; 5 – трехходовой, кран; 6 – вентиль запорный

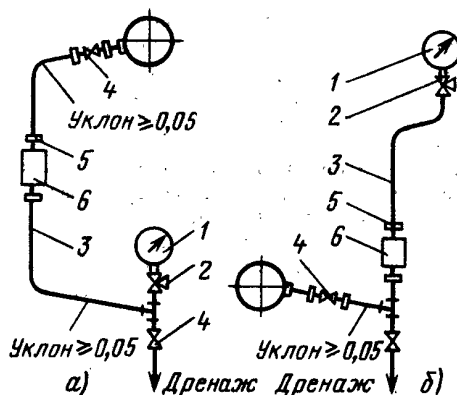


Рис. 2.17. Установка манометра для измерения давления агрессивной или вязкой жидкости при плотности разделительной жидкости, большей (а) и меньшей (б) плотности измеряемой среды, и при расположении манометра ниже и выше места отбора давления:

1 – манометр; 2 – трехходовой край; 3 – импульсная трубка; 4 – вентиль запорный; 5 – переходное трубное соединение; 6 – разделительный сосуд

Приведенные схемы относятся как к приборам, монтируемым по месту, так и к приборам, устанавливаемым на щитах и стативах.

При установке приборов по месту дренажные линии подводятся к дренажным коллекторам соответствующего назначения и давления.

При установке приборов на щитах и стативах могут выполняться свои дренажные коллекторы. Для контроля за сбросом дренажных жидкостей (если среда не агрессивна и не выделяет вредных веществ) дренажные трубки подводят к коллекторам с разрывом, т.е. через воронки.

2.9. МОНТАЖ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

2.9.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Количество вещества, проходящее по трубопроводу в единицу времени, называют расходом. В зависимости от особенностей технологии производства и состояния вещества различают объемный и массовый расход. Для жидкостей и газов, как правило, измеряют объемный, а для паров – массовый расход. Когда жидкости смешиваются с сыпучими веществами, измерение их расхода выражают также в единицах массового расхода. За единицу измерения объемного расхода жидкостей чаще всего принимают метр кубический в час ($\text{м}^3/\text{ч}$) или литр в секунду (л/с), а газов – метр кубический в час ($\text{м}^3/\text{ч}$). Единицами массового расхода являются килограмм в час (кг/ч) или тонна в час (т/ч).

Существует пять основных методов измерения расхода: объемный, скоростной, дроссельный, обтекания и индукционный.

Сущность объемного метода заключается в суммировании отмеренных объемов жидкости в единицу времени. Объемные расходомеры преимущественно применяют для измерения расхода вязких жидкостей (жирных кислот, мазутов, масел и других нефтепродуктов). Измеряющим органом прибора является калиброванная камера (камеры), устанавливаемая в рассечку трубопровода. Прибор (счетчик) отсчитывает количества объемов жидкостей, вытесненных из измерительной камеры прибора под действием разности давлений среды до и после камеры. На этом принципе устроены мазутомеры, бензомеры.

Скоростной метод основан на измерении скорости протекания жидкости по трубопроводу, поскольку скорость пропорциональна расходу. Скоростные расходомеры служат для измерения расхода воды, масел и называются поэтому водо- и масломерами. Скоростной расходомер врезают в технологический трубопровод с измеряемой средой. В результате измерительный орган такого расходомера – крыльчатка оказывается в потоке жидкости. Прибор отсчитывает число оборотов крыльчатки в единицу времени.

Дроссельный метод является развитием скоростного метода. Он основан на измерении перепада давления, создаваемого дроссельным устройством при движении вещества в трубопроводе. Перепад давления пропорционален изменению скорости. Дроссельные расходомеры применяют для измерения расхода всевозможных жидкостей, паров и газов. Дроссельный расходомер состоит из двух частей: дросселя (сужающего устройства), устанавливаемого непосредственно в трубопровод с измеряемой средой, и дифманометра, место установки которого определяется эксплуатационной целесообразностью.

Оба устройства соединены между собой соединительными линиями, передающими импульс от сужающего устройства (дросселя) к дифманометру.

Метод обтекания основан на измерении вертикального перемещения поплавка (поршня) в зависимости от расхода вещества, обтекающего поплавок в камере прибора. Расходомеры обтекания – ротаметры – применяют для измерения небольших расходов жидких и газообразных сред. Измерительным органом ротаметров является поплавок или поршень, вертикальное перемещение которого зависит от расхода. Противодействующей силой в этих приборах является вес поплавка. Перепад давления среды на ротаметре практически постоянен, поэтому ротаметры называют расходомерами постоянного перепада.

Индукционный метод основан на измерении ЭДС, индуцируемой потоком электропроводной жидкости, пропорциональной скорости потока жидкости в трубопроводе, т.е. ее расходу. Индукционные расходомеры применяют для измерения расхода электропроводных агрессивных, вязких, абразивных сред, пульп и жидких металлов. Измерительным органом индукционных расходомеров служит трубопровод-датчик с введенными в него электродами, передающими на усилитель индуцируемую потоком ЭДС.

Исходя из конструктивных особенностей, перечисленные приборы для измерения расхода жидкости, пара, газа и воздуха по способу монтажа можно разделить на две основные группы: приборы, устанавливаемые непосредственно в технологические трубопроводы, расход среды в которых подлежит измерению; приборы, устанавливаемые вне трубопроводов, в которых производится измерение, и получающие импульс при помощи специальных устройств.

К первой группе относятся объемные, скоростные, индукционные расходомеры и расходомеры обтекания (водомеры, мазутомеры, счетчики, ротаметры и т.п.). Эти приборы имеют простое фланцевое присоединение, выполнение которого не имеет каких-либо особенностей, требующих отдельного описания. Поэтому монтаж приборов этой группы в настоящем разделе не рассматривается.

Среди приборов второй группы наибольшее распространение получили дроссельные расходомеры переменного перепада – дифференциальные манометры (дифманометры).

В состав системы измерения с дифманометром входят дроссельные устройства – приемные преобразователи, создающие перепад давления в трубопроводах; вспомогательные устройства (разделительные, конденсационные, уравнительные и другие сосуды), обеспечивающие условия для нормальной работы прибора; соединительные линии, связывающие прибор с дросселем, и собственно прибор.

Решающими факторами для обеспечения правильности показаний дифманометров переменного перепада являются правильное выполнение схем подключения соединительных линий и врезки приемных преобразователей в технологические трубопроводы, а также правильное размещение и установка приборов.

1.9.2. ПРИЕМНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА

Приемники служат для однозначного преобразования измеряемой величины (расхода) в другую, физически отличную величину (перепад давления), измеряемую прибором. Основной класс приемников переменного перепада – сужающие устройства (диафрагмы, сопла). Из

приемников остальных классов в основном применяют напорные трубки, удобные для измерения местной скорости.

Существует объективная область применения сужающих устройств, оговоренная «Правилами РД-50-213–80» и определяемая диапазонами значений диаметров трубопроводов и относительных площадей сужающих устройств.

Сужающие устройства должны изготавливаться из материалов, устойчивых против длительного воздействия измеряемой среды, и иметь следующие обозначения: типоразмер и заводской номер; значение диаметра отверстия при температуре 20 °С; стрелку, указывающую направление потока; марку материала; знаки «+» и «–» соответственно на переднем и заднем (по направлению потока) корпусах камеры и торцах сужающего устройства.

Диафрагмы. Диафрагма представляет собой диск толщиной 4...8 мм, но не более 5% от диаметра трубы при температуре 20 °С, проходное отверстие которого рассчитано на создание местного сопротивления, обуславливающего измеряемый перепад давления. Существуют две разновидности диафрагм: камерные и бескамерные.

Любая диафрагма создает в трубопроводе ощутимые безвозвратные потери давления среды. Это ограничивает область применения диафрагм для тех случаев, где технологические условия не допускают таких потерь, например при низких давлениях газообразных сред и высоких давлениях парообразных. В этих случаях применяют другой вид сужающих устройств – сопла, которые за счет более мягких конструктивных форм активной части создают более низкие безвозвратные потери давления измеряемой среды. Так же как диафрагмы, сопла бывают камерные и бескамерные.

Сужающие устройства поставляются заводами-изготовителями комплектно с дифманометрами.

Сужающие устройства должны монтироваться в предварительно установленных фланцах только после очистки и продувки технологических трубопроводов (желательно перед их опрессовкой). Установка сужающих устройств должна производиться так, чтобы в рабочем состоянии обозначения на их корпусах были доступны для осмотра.

Сужающее устройство можно устанавливать только на прямом участке трубопровода независимо от положения этого участка в пространстве. При выборе места установки сужающего устройства необходимо иметь в виду, что измеряемый поток в этом месте должен целиком заполнить сечение трубопровода.

К основным конструктивным факторам трубопровода, влияющим на погрешности измерения расхода, относятся: отклонение действительных диаметров участков от расчетных значений, овальность тру-

бопроводов, дефекты прямых участков трубопровода, длина прямых участков до и после сужающего устройства.

Действительный внутренний диаметр участка трубопровода перед сужающим устройством определяют как среднее арифметическое результатов измерений в двух поперечных сечениях: непосредственно у сужающего устройства и на расстоянии двух диаметров от него, причем в каждом из сечений не менее чем в четырех диаметральных направлениях. Результаты отдельных измерений не должны отличаться от среднего значения более чем на 0,3%.

Прямой участок трубопровода перед сужающим устройством должен иметь круглое сечение на длине не менее двух диаметров. Результаты отдельных измерений диаметра на этой длине в любых различных плоскостях не должны отличаться более чем на 0,3% от среднего диаметра.

Сужающие устройства необходимо устанавливать на прямых участках трубопроводов, не имеющих непосредственно у сужающего устройства местных сопротивлений (колен, угольников, задвижек, вентилей, конических вставок и т.п.). Одним из важнейших факторов, влияющих на точность измерения расхода жидкостей и газов, является правильно выбранные расстояния между местными сопротивлениями и сужающим устройством.

Существует ряд особенностей взаимного расположения местных сопротивлений и сужающего устройства. Если расстояние между единичными коленами в трубопроводе превышает 15 диаметров, то каждое колено считают одиночным. Если это расстояние меньше указанного, то данную группу коленев считают одним местным сопротивлением данного типа [2]. Это допущение справедливо при условии равенства или превышения радиусов кривизны коленев диаметра трубопровода.

Места расположения сужающих устройств указываются в технологической части проекта. Врезка диафрагм осуществляется организацией, монтирующими технологическое оборудование и трубопроводы.

2.9.3 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ МАНОМЕТРЫ

Все дифференциальные манометры (дифманометры) составлены из четырех основных блоков: вентильного, чувствительного элемента, преобразования и блока выходного сигнала. Эти приборы имеют единый, унифицированный узел крепления, дающий возможность в зависимости от условий монтажа закрепить прибор на трубе либо на плоскости. Возможные варианты крепления приборов показаны на рис. 2.18.

В зависимости от эксплуатационных условий приборы могут устанавливаться на стене либо на полу.

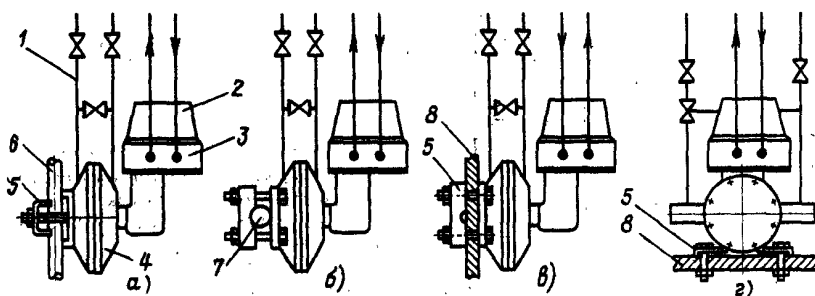


Рис. 2.18. Способы закрепления дифманометров на вертикальной трубе (а), на горизонтальной трубе (б), на вертикальной плоскости (в), на горизонтальной плоскости (г):
 1 – вентильный блок; 2 – блок преобразования; 3 – блок выходного сигнала;
 4 – блок чувствительного элемента; 5 – установочная конструкция;
 6 – вертикальная труба; 7 – горизонтальная труба; 8 – плоскость

Монтаж дифманометров включает в себя две основные операции: установку и обвязку. Установка – это закрепление приборов на строительных элементах зданий и сооружений, которая выполняется с помощью установочных конструкций. Операция обвязки заключается в соединении дифманометра с измерительной схемой.

На рисунке 2.19 показаны измерительные схемы с узлами обвязки при расположении дифманометра ниже либо выше сужающего устройства. Целесообразно выполнять эти узлы вне зоны монтажа в стационарных условиях, что обеспечивает высокое качество работ при минимальных трудозатратах.

Определяющими условиями выбора конструкции установки и обвязки дифманометров являются: тип и конструктивные особенности дифманометра, измеряемая среда и ее параметры, вид выходного сигнала и разновидность питания, взаимное расположение дифманометра и отборного устройства, окружающая среда, место установки.

Многообразие дифманометров требует широкого ассортимента установочных конструкций, унификация которых позволяет резко сократить номенклатуру. В основу унификации положен простой конструктивный прием. Любая установочная конструкция для большинства дифманометров разделяется на две основные составляющие: подставку под прибор и опору для крепления к элементу здания, сооружения и т.п. Такое разделение в большинстве случаев позволяет сделать опору независимой от типа дифманометра. Эффективность описываемого приема обусловлена незначительной сложностью и металлоемкостью подставки по сравнению с опорой. Ниже приведены типовые конструкции (ТК).

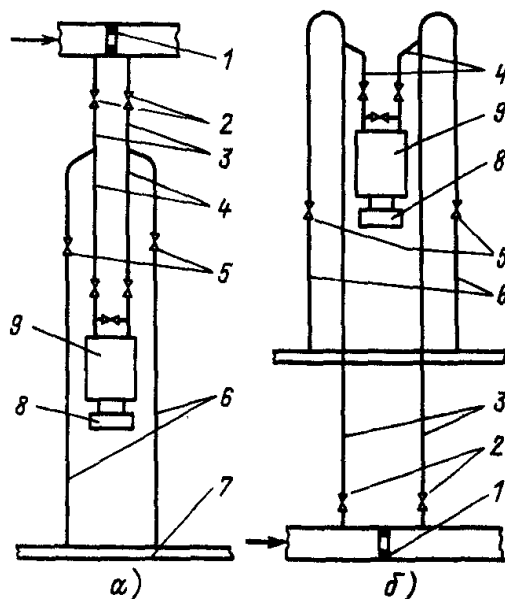


Рис. 2.19. Измерительные схемы с узлами обвязки:

- а* – дифманометр расположен ниже сужающего устройства;
б – то же, выше сужающего устройства; 1 – сужающее устройство;
 2 – вентили сужающего устройства; 3 – импульсные линии;
 4 – узлы обвязки дифманометров; 5 – продувочные вентили узлов обвязки;
 6 – продувочные линии; 7 – дренажный коллектор;
 8 – подставка для установки дифманометров; 9 – дифманометр

Подставки. Большинство приборов, созданных в последние годы, рассчитано на закрепление на трубе-стержне с помощью обхватной скобы или хомута. Поэтому подставки представляют собой стержень, приваренный к плоскому основанию. Стержень выполнен из стальной трубы.

Основания подставок одинаковые и их установочные отверстия и габаритные размеры унифицированы. Овальные установочные отверстия подставок облегчают их болтовое соединение с опорами.

Опоры также унифицированы благодаря ограниченности вариантов установки (стена, пол) и унификации подставок.

Для установки дифманометров на полу существует другая разновидность опор – стойка. Она представляет собой прямоугольную объемную конструкцию, элементы которой изготовлены из листовой стали. Верхняя площадка стойки аналогична горизонтальной плоскости кронштейна и служит тем же целям. Нижняя площадка предназначена

для закрепления стойки к полу с помощью трех анкерных болтов диаметром 14 мм.

Конструкция опор для напольной установки приборов позволяет также решать задачи, возникающие при монтаже приборов с электрическим выходным сигналом: установка соединительной коробки, закрепление электрического кабеля и т.п.

Обвязка приборов представляет собой комплект типовых трубных отводов с необходимыми изделиями и арматурой. Концы отводов приспособлены для соединения с приборами и внешними проводками.

Если отборные устройства расположены выше дифманометра, то трубы к нему подойдут сверху, а если ниже – снизу. При подводе труб снизу обвязка сложнее, так как появляются дополнительные отводы сложной конфигурации.

Монтаж дифманометров состоит из ряда последовательно выполняемых операций. Часть из них характерна для всех разновидностей приборов. Наряду с этим существуют операции, присущие отдельным исполнениям дифманометров.

К месту монтажа доставляют собранный и замаркированный узел обвязки дифманометра и устанавливают его на заранее закрепленную опору. Затем устанавливают дифманометр и соединяют его с соответствующими концами труб узла обвязки. Установку прибора желательно выполнить так, чтобы табличка бесшкального дифманометра или шкала шкального прибора была направлена в сторону предполагаемого места обслуживания.

До начала работ по установке прибора должны быть смонтированы импульсные трубы от сужающего устройства. Концы труб на вертикальном участке подвода к месту установки прибора должны иметь запас по длине в 50...100 мм при подводе труб как сверху, так и снизу. При стыковке с концами труб обвязки концы импульсных труб тщательно вымеряют и только после этого припуск отрезают. Концы импульсных труб разделявают, например, для приварки к трубам обвязки.

Правильность установки дифманометра на опоре проверяют по уровню и отвесу, после чего концы труб обвязки соединяют с концами импульсных труб. Вновь проверяют, правильно ли установлен прибор, и окончательно закрепляют его на опоре. Окончательно затягивают гайки соединителей дренажных и продувочных линий обвязки. Если после этих установочных операций прибор не изменил своего положения относительно вертикальной и горизонтальной осей, заваривают стыки импульсных труб трассы и обвязки. При обнаружении перекоса прибора его необходимо устранить, оперируя крепежными и установочными гайками, а при необходимости и разъединяя стык импульсных труб, соединенных «прихваткой». Окончательное соединение импульсных труб в любом случае выполняют только после правильной

установки прибора. При производстве сварочных работ в непосредственной близости от дифманометра можно повредить его. Поэтому перед сваркой либо «прихваткой» труб прибор накрывают подручными средствами, обеспечивающими его защиту. К установленному прибору присоединяют соединительные линии питания и командные.

При монтаже дифманометров необходимо следить за тем, чтобы гайки соединителей и штуцеров были затянуты по резьбе до конца; в соответствии со схемой соединений были выполнены присоединения жил проводов и кабелей к коммутационным зажимам соединительных коробок и приборов, а также пневмотруб к переборочным соединителям и штуцерам приборов; трубные и электрические проводки имели соответствующую маркировку и были надежно закреплены.

Соединительные линии для соединения сужающего устройства с дифманометром называются импульсными и должны: изготавливаться из материала, устойчивого против коррозирующего действия среды; иметь конфигурацию трассы, соответствующую свойствам измеряемой среды и условиям прокладки; быть удобными для монтажа, разборки, чистки и проверки; быть герметичными и рассчитанными на рабочее давление; иметь обоснованные проектом, с учетом рабочих параметров и условий прокладки, диаметр и минимальную длину. Плюсовая и минусовая линии должны находиться в одинаковых температурных условиях; линии должны быть проложены вертикально или с уклоном к горизонтали не менее 1:10, при этом желательно, чтобы на всем протяжении уклон линий был направлен в одну сторону. Изгибы труб соединительных линий должны быть плавными и не должны иметь острых углов и вмятин. Площадь сечения проходных отверстий вентилей в соединительных линиях должна быть не менее площади сечения труб (линий), при этом вентили должны быть прямоточными. В линиях, соединяющих сужающие устройства с уравнительными (конденсационными) сосудами, не должно быть вентилей.

Независимо от материала и конструкции труб все соединительные линии должны иметь внутренние диаметры не менее 12 мм от сужающих устройств до сосудов (уравнительных, разделительных и т.п.) и 8 мм от сосудов до дифманометров.

Трубопроводная арматура по конструкции присоединения выполняется под сварку либо под резьбовые соединения, которые подразделяются на соединения с внутренней или наружной резьбой. Более распространены вентили с резьбовым соединением.

По характеру выполняемых операций монтажные работы можно условно разбить на две стадии: подготовительную и исполнительную. Первая включает в себя: разметку трасс трубных проводок с учетом мест закрепления установочных конструкций, выполнение дыропробивных работ под установочные конструкции, установку закладных

деталей. Разметочные работы следует выполнять с учетом соблюдения уклонов и максимально допустимых расстояний между креплениями трубных проводок. В зависимости от принятой конструкции закладных и опорных деталей на объекте выполняют либо дыропробивные работы под конструкции, рассчитанные на вмазку, либо пристрелку конструкций с плоскими опорными поверхностями с помощью строительно-монтажного пистолета. В проемы, выполненные в процессе строительства, устанавливают такие закладные детали, как бронеплиты, патрубки и т.п. После этого приступают к исполнительной стадии монтажных работ – собственно прокладке, закреплению, соединению и присоединению труб.

Заготовленные и окрашенные импульсные трубы прокладывают по заранее установленным опорным конструкциям. Прокладку ведут от сужающего устройства к дифманометру. Трубы на конструкциях закрепляют с помощью стандартизованных скоб.

При вибрации в местах прокладки импульсные трубы должны быть закреплены с помощью гайки с контргайкой, при этом болт должен выходить из контргайки не менее чем на две нитки, но не более чем на высоту гайки. Поскольку импульсные трубы на горизонтальных участках прокладывают с уклоном 1:10, необходимо следить за тем, чтобы в местах закрепления болты были всегда перпендикулярны оси трубы.

Все импульсные трубы должны быть замаркированы в соответствии с проектной документацией.

В зависимости от типа измеряемой среды, ее рабочих параметров, а также условий прокладки существуют различные схемы соединительных линий.

Для измерения расхода неагрессивных жидкостей существуют три основные схемы (рис. 2.20).

Когда свойства измеряемой среды (агрессивность) или условия эксплуатации не позволяют осуществить непосредственное подключение дифманометра к сужающему устройству, в соединительные линии включают разделительные сосуды. Сосуды, участки линий, соединяющие их с дифманометром, а также сам дифманометр, если он не заполнен уравновешенной жидкостью (мембранные, сильфонные), заполняют разделительной жидкостью, через которую осуществляется передача перепада давлений дифманометру. Разделительные сосуды располагают максимально близко к сужающему устройству, чтобы возможно меньшая часть измерительной схемы соприкасалась с агрессивной жидкостью и чтобы чувствительный элемент прибора находился от нее как можно дальше; тем самым увеличивается степень защиты дифманометра.

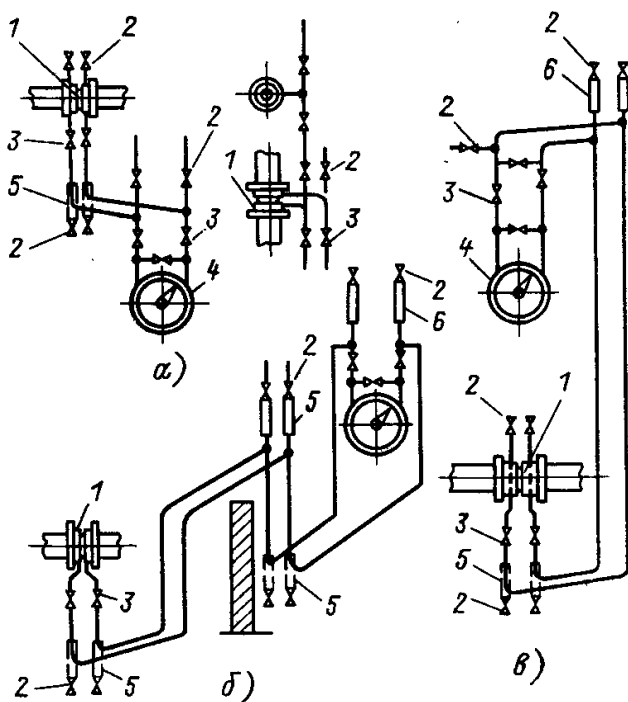


Рис. 2.20. Схемы соединительных линий при измерении расхода жидкости:

- а* – дифманометр расположен ниже сужающего устройства;
- б* – то же, если односторонний уклон соединительных линий невыполним;
- в* – дифманометр расположен выше сужающего устройства;
- 1 – сужающее устройство; 2 – продувочные вентили; 3 – запорные вентили;
- 4 – дифманометр; 5 – отстойные сосуды; 6 – газосборники

На рисунке 2.21 показаны схемы соединительных линий с разделительными сосудами, когда измеряемая жидкость легче разделительной при расположении дифманометра ниже или выше сужающего устройства. В последнем случае в высшей точке соединительных линий устанавливают газосборники. Линии от сужающего устройства подводят к верхней части сосудов. Измеряемая жидкость находится над разделительной и занимает объем в сосуде до уровня 4. Начиная с этого уровня, сосуд и соединительные линии заполнены разделительной жидкостью, максимальный уровень которой не должен быть ниже линии 5. Если уровень разделительной жидкости поднимается выше линии 4 при значительном возрастании расхода перепада давлений, возможно попадание части разделительной жидкости в трубопровод.

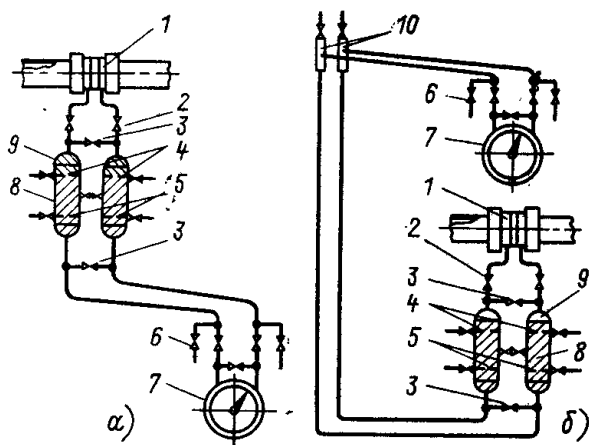


Рис. 2.21. Схемы соединительных линий при измерении расхода жидкости с разделительными сосудами (измеряемая жидкость легче разделительной):

- а* – дифманометр расположен ниже сужающего устройства;
б – то же, выше сужающего устройства; 1 – сужающее устройство;
 2 – запорный вентиль; 3 – уравнильный вентиль; 4 – начальный уровень разделительной жидкости; 5 – конечный уровень разделительной жидкости;
 6 – продувочные вентили; 7 – дифманометр; 8 – разделительная жидкость;
 9 – измеряемая жидкость; 10 – газосборник

В результате в плюсовой и минусовой соединительных линиях установятся неравные столбы разделительной жидкости. Это вызовет дополнительную погрешность в измерении расхода. В равной степени недопустимо снижение уровня разделительной жидкости за границу линии 5, поскольку станет невозможным контроль уровней разделительной жидкости в сосуде. Последствия такого нарушения те же, что и при превышении верхнего уровня 4. Независимо от соблюдения рассмотренных уровней необходимым эксплуатационным требованием является наличие в схемах уравнильных линий с вентилями 3. Эти линии служат для поддержания равных уровней жидкостей, заполняющих разделительные сосуды.

Схема соединительных линий с разделительными сосудами, когда измеряемая жидкость тяжелее разделительной, при расположении дифманометра ниже или выше сужающего устройства показана на рис. 2.22. От сужающего устройства нисходящие соединительные линии через короткий горизонтальный участок переходят в восходящий вертикальный участок, в который и включают разделительные сосуды. При этом линии от сужающего устройства подводят в нижнюю часть сосудов. В высшей точке восходящего участка устанавливают газосборники. Разделительная жидкость в сосуде находится над измеряемой.

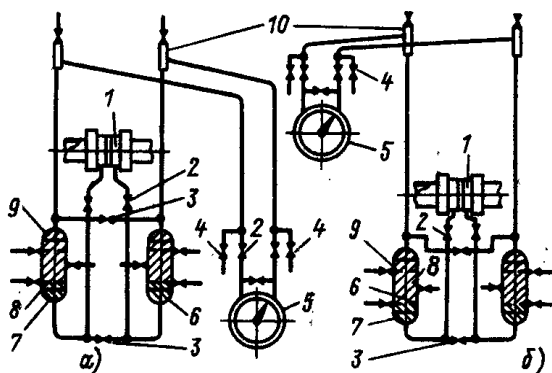
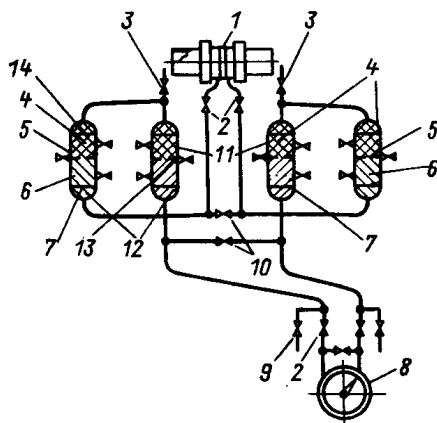


Рис. 2.22. Схемы соединительных линий при измерении расхода жидкости с разделительными сосудами (измеряемая жидкость тяжелее разделительной):

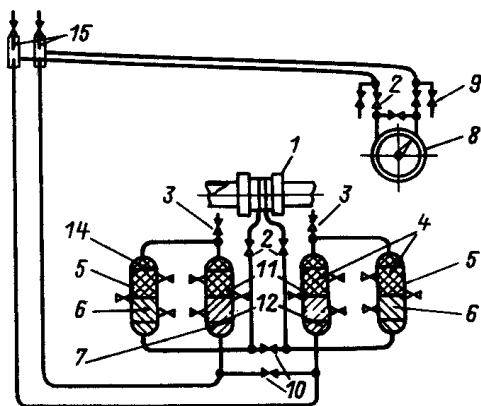
- а* – дифманометр расположен ниже сужающего устройства;
б – то же, выше сужающего устройства; 1 – сужающее устройство;
 2 – запорные вентили; 3 – уравнивающие вентили; 4 – продувочные вентили;
 5 – дифманометр; 6 – начальный уровень разделительной жидкости;
 7 – измеряемая жидкость; 8 – разделительная жидкость;
 9 – конечный уровень разделительной жидкости; 10 – газосборники

Когда подбор соответствующей разделительной жидкости бывает затруднителен, применяют схемы соединительных линий с тремя жидкостями: измеряемой (агрессивная жидкость), промежуточной (для отделения жидкости, залитой в дифманометр, от измеряемой агрессивной) и жидкостью, заполняющей дифманометр. Схемы соединительных линий с разделительными сосудами при применении промежуточной и разделительной жидкостей, когда измеряемая и разделительная жидкости тяжелее промежуточной, для случаев расположения дифманометра ниже или выше сужающего устройства показаны на рис. 2.23.

Помимо описанных схем для измерения расхода жидкости, существуют схемы с применением уравнительных сосудов. Уравнительные сосуды включают в соединительные линии при измерении расхода горячих жидкостей (с температурой выше 120 °С) поплавковыми, кольцевыми и сильфонными дифманометрами для обеспечения равенства плотности жидкости в плюсовой и минусовой трубах, соединяющих сосуды с прибором. При этом объем внутренней полости каждого сосуда должен быть не менее объема жидкости, перетекающей из сосуда в прибор при изменении его показания от нуля до максимума. Включение уравнительных сосудов в соединительные линии выполняется так же, как и при измерении расхода пара.



а)



б)

Рис. 2.23. Схемы соединительных линий при измерении расхода жидкости с разделительными сосудами при применении промежуточной и разделительной жидкостей (промежуточная жидкость легче измеряемой и разделительной):
 а – дифманометр расположен ниже сужающего устройства;
 б – то же, выше сужающего устройства; 1 – сужающее устройство;
 2 – запорные вентили; 3 – вентили заполнения сосудов промежуточной жидкостью; 4 – промежуточная жидкость; 5 – разделительные сосуды с измеряемой жидкостью; 6 – измеряемая жидкость; 7 – предельный уровень разделительной жидкости; 8 – дифманометр; 9 – продувочные вентили;
 10 – уравнильные вентили; 11 – разделительные сосуды с разделительной жидкостью; 12 – разделительная жидкость; 13 – нормальный уровень жидкости; 14 – предельный уровень измеряемой жидкости; 15 – газосборники

При измерении расхода газа необходимо исключить возможность попадания конденсата из основного трубопровода в соединительные линии, а также обеспечить удаление конденсата, выделившегося в линиях. Для этого соединительные линии подключают к верхней половине сужающего устройства, установленного на горизонтальном или наклонном трубопроводе с уклоном линий в сторону трубопровода; дифманометр устанавливают выше сужающего устройства (рис. 2.24, *а*). Так достигается естественный дренаж соединительных линий. Соединительные линии на всем протяжении по возможности должны иметь односторонний непрерывный уклон. При ступенчатой трассе в низших точках отдельных участков (ступеней) следует устанавливать отстойные сосуды.

Искусственное дренирование соединительных линий – установку отстойных сосудов в низших точках линий – выполняют, кроме рассмотренного выше случая, когда дифманометр устанавливается ниже сужающего устройства (рис. 2.24, *б*) и когда горизонтальная (с уклоном) трасса соединительных линий очень велика.

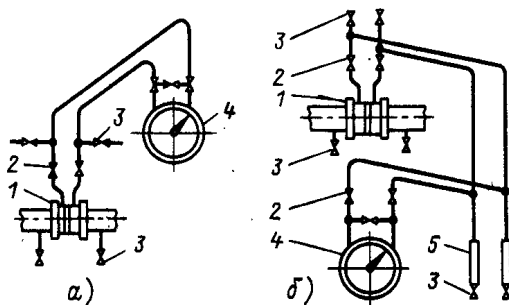


Рис. 2.24. Схемы соединительных линий при измерении расхода газа:
а – дифманометр расположен выше сужающего устройства; *б* – то же, ниже сужающего устройства; 1 – сужающее устройство; 2 – запорный вентиль;
 3 – продувочные вентили; 4 – дифманометр; 5 – отстойные сосуды

При измерении расхода водяного пара должны быть обеспечены постоянство и равенство уровней конденсата в обеих соединительных линиях, предохранение соединительных линий от попадания в них воздуха из паропровода, удаление из линий выделившегося или случайно попавшего в них воздуха.

Схемы соединительных линий строятся следующим образом. В непосредственной близости от сужающего устройства устанавливают уравнительные (конденсационные) сосуды, заполняемые конденсатом вместе с участками соединительных линий между ними и дифманометром.

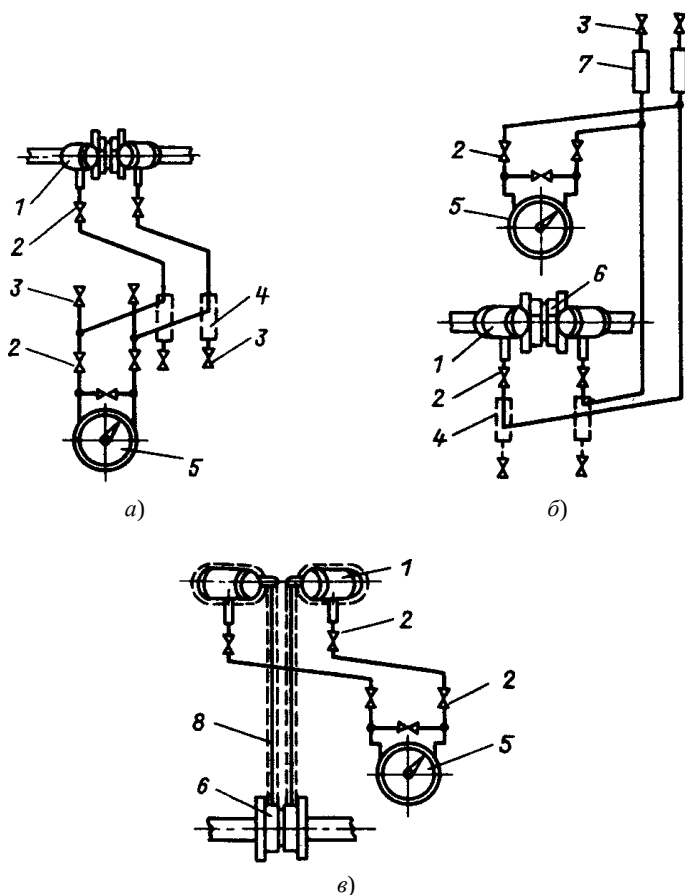


Рис. 2.25. Схемы соединительных линий при измерении расхода пара:
а – дифманометр расположен ниже сужающего устройства; *б* – то же, выше сужающего устройства при абсолютном давлении пара выше 0,2 МПа;
в – то же, до 0,2 МПа; 1 – уравнильные конденсационные сосуды; 2 – запорные вентили; 3 – продувочные вентили; 4 – отстойные сосуды; 5 – дифманометр; 6 – сужающее устройство; 7 – газосборники; 8 – термоизоляция

Сосуды, а также боковые отверстия в них должны находиться на одной высоте; для вертикальных и наклонных трубопроводов боковые отверстия в сосудах должны располагаться в плоскости верхнего отверстия для отбора давления в сужающем устройстве. Соединительные линии между сужающим устройством и сосудами на участках вблизи сосудов должны располагаться горизонтально и на одном уровне. Эти линии должны быть термоизолированы.

Наиболее рационально дифманометр устанавливать ниже сужающего устройства (рис. 2.22, *а*). При абсолютном давлении пара перед сужающим устройством более 0,2 МПа допускается установка дифманометра выше сужающего устройства. В этом случае схема соединительных линий выполняется согласно рис. 2.25, *б*. Такая схема применима также и для варианта, когда дифманометр расположен ниже сужающего устройства на расстоянии не более 1,5 м по вертикали. В высших точках соединительных линий устанавливают газосборники. При абсолютном давлении пара перед сужающим устройством 0,2 МПа и менее и расстоянии между трубопроводом и сосудами не более 4 м соединительные линии могут монтироваться по схеме, показанной на рис. 2.25, *в*. При этом трубы, соединяющие сужающее устройство с сосудами, должны иметь внутренний диаметр не менее 25 мм. Эти трубы и сосуды должны быть термоизолированы. Для обеспечения надежной работы дифманометра у каждого сосуда следует предусматривать вторую трубку для спуска конденсата в трубопровод.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под монтажом?
2. Способы монтажных работ и их характеристика.
3. Кто составляет план и график выполнения монтажных работ?
4. Этапы монтажа.
5. Какую документацию заказчик до начала выполнения работ должен передать монтажной организации?
6. Структура производственного объединения монтажных работ.
7. Что понимают под индустриализацией монтажа?
8. Дайте характеристику сетевым графикам.
9. Какие крепежные изделия используются при монтаже?
10. Правила прокладки кабелей и проводов.
11. Назовите приспособления для прокладки кабелей.
12. Назовите монтажный инструмент для разделки проводов и кабелей.
13. Монтаж датчиков температуры.
14. Монтаж датчиков давления.
15. Монтаж датчиков расхода.

3. НАЛАДКА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

3.1. НАЛАДКА СРЕДСТВ И СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Температура является термодинамическим параметром, пропорциональным кинетической энергии хаотического движения частиц, образующих физическое тело, которое находится в том или ином агрегатном состоянии.

Для измерения температуры применяют различные системы измерения.

Наиболее распространены системы измерения температуры, состоящие из первичных измерительных преобразователей (термометрических чувствительных элементов, являющихся составной частью термоэлектрических преобразователей) и термопреобразователей сопротивления и измерительных приборов (автоматических потенциометров и мостов, логометров, милливольтметров и миллиамперметров), соединенных между собой каналами связи.

3.1.1. ПОГРЕШНОСТИ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Точность системы измерения температуры является ее важной характеристикой. В каждом конкретном случае уровень точности определяется критерием целесообразности. Следовательно, метод, аппаратный состав системы измерения должны обеспечить требуемую точность измерения температуры. В общем случае всегда предпочтительнее использовать метод и аппаратуру, которые гарантировали бы некоторый запас точности измерения.

В настоящее время при оценке погрешности измерительных устройств и систем используют детерминистский подход, который регламентирует погрешность в пределах «от – до», «не больше чем» и т.п. [14].

В большинстве случаев допустимые значения погрешностей элементов системы измерения нормированы с большим запасом и их предельные значения не говорят о реальной погрешности элементов.

Приборы для измерения температуры фиксируют действительное значение температуры, которое отличается от истинного на значение погрешности. Погрешности вызываются многими факторами и в отношении характера и причин их появления делятся на систематические и случайные.

Систематическими называют погрешности, изменяющиеся во времени по определенному закону (частным случаем является посто-

янная погрешность, не изменяющаяся с течением времени) при повторных измерениях одной и той же величины. Систематические погрешности могут быть связаны с ошибками приборов (неправильная шкала, калибровка и т.п.), неучтенными экспериментатором.

Случайными называют погрешности, изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Случайные погрешности могут быть связаны с несовершенством приборов (трение в механических приборах и т.п.), тряской в городских условиях, с несовершенством объекта измерений (например, при измерении диаметра тонкой проволоки, которая может иметь не совсем круглое сечение в результате несовершенства процесса изготовления), с особенностями самой измеряемой величины.

Инструментальными называют погрешности, причина появления которых заключается в свойствах применяемых средств измерений. Эти погрешности определяют точностные характеристики каждого элемента системы измерения и системы в целом. Причины возникновения такой погрешности заложены в неточном регулировании каждого элемента системы, в погрешностях градуировки элементов и т.п.

Методические погрешности – это погрешности, присущие используемому методу измерения. Для измерительных систем температуры эти погрешности вызваны условиями теплообмена термопреобразователя и объекта.

Инструментальная и методические погрешности в зависимости от измерения стационарных или нестационарных температур разделяются на статические и динамические. При проведении динамических измерений проявляются оба вида погрешностей – статические и динамические, которые тесно связаны между собой. Поэтому при динамических измерениях правильнее говорить о статико-динамических погрешностях. С некоторым приближением динамическую погрешность можно определить как разность погрешностей в динамическом и статическом режимах.

На рисунке 3.1 показана взаимосвязь между перечисленными видами погрешностей.

Между случайными и систематическими погрешностями отсутствует четкая граница. Всегда имеется сопредельная группа погрешностей, которая с равным успехом может быть отнесена как к тем, так и к другим.

К систематическим погрешностям относят, прежде всего, методические погрешности, обусловленные тепловыми закономерностями взаимодействия термопреобразователя с объектом измерения.

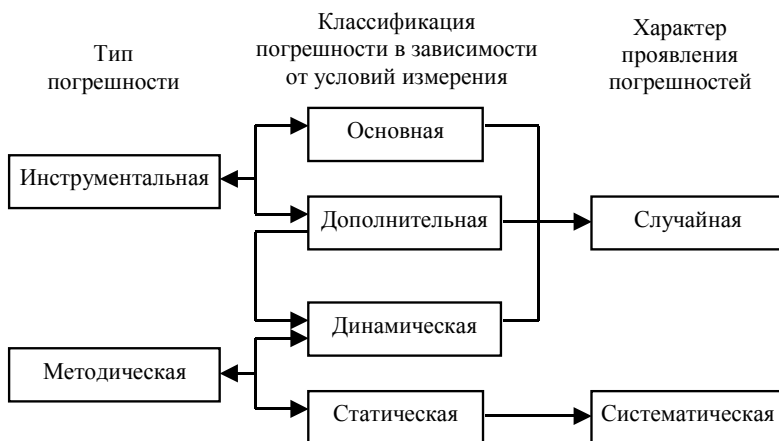


Рис. 3.1. Взаимосвязь погрешностей измерения температуры

Источниками возникновения методических погрешностей могут быть:

- искажение температурного поля объекта в месте установки термопреобразователя, а также искажение процесса теплообмена объекта с другими физическими телами;
- перепад температуры между объектом измерения и окружающими физическими телами;
- нестационарность тепловых процессов и возникающие вследствие этого динамические погрешности из-за термической инерции термопреобразователей;
- преобразование кинетической энергии набегающего газового потока в тепловую при торможении потока на неподвижном термопреобразователе.

Все остальные погрешности систем измерения температуры целесообразно рассматривать как случайные. К ним относятся погрешности, обусловленные нестабильностью отдельных звеньев системы измерения вследствие возникновения возмущающих воздействий, влияющих факторов; погрешности, обусловленные классом точности отдельных элементов системы и т.д. Часть этих погрешностей оценивают расчетным путем, часть – экспериментально.

Суммарная допускаемая погрешность измерений Δ включает в себя следующие допускаемые погрешности измерения:

- инструментальную $\Delta_{и}$;
- методическую $\Delta_{м}$;
- динамическую $\Delta_{д}$.

Динамическая погрешность обусловлена динамическими характеристиками всей системы измерения.

При стационарном температурном процессе динамическая погрешность обращается в ноль, и суммарная допускаемая погрешность распределяется между инструментальной и методической погрешностями.

Все составляющие суммарной допускаемой погрешности могут иметь систематические и случайные части.

Систематическую составляющую инструментальной погрешности измерительного прибора или первичного преобразователя можно определить в процессе поверки в лабораторных условиях. Ее можно устранить введением поправки или с помощью корректора нуля.

Случайную составляющую инструментальной погрешности, обусловленную вариацией прибора (допускаемой в соответствии с классом точности прибора или первичного преобразователя), снизить нельзя, и ее необходимо учитывать в полной мере при оценке суммарной случайной погрешности системы измерения.

Суммарная случайная инструментальная погрешность измерения температуры с помощью термопреобразователя сопротивления складывается из двух основных погрешностей: погрешности градуировочной характеристики термопреобразователя σ_{Γ} и погрешности измерения сопротивления термопреобразователя, т.е. погрешности измерительного прибора $\sigma_{\text{пр}}$. Ее значение в статическом режиме определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{ст}} = \sigma_{\text{ст}} = \sqrt{\sigma_{\Gamma}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2}. \quad (3.1)$$

Допускаемые отклонения сопротивлений термопреобразователей сопротивления указаны в ГОСТ 6651–2009.

Значение погрешности, вызванной изменением температуры линии связи, для двухпроводной схемы подключения термопреобразователя сопротивления можно определить по формуле

$$\Delta t = \frac{R_{\text{л}}(t_2 - t_1)}{\alpha R_0(\tau + t_1)}, \quad (3.2)$$

где Δt – погрешность, °C; $R_{\text{л}}$ – сопротивление линии при температуре t_1 , при которой производилась ее подгонка, Ом; t_2 – температура, при которой линия находится в эксплуатации, °C; R_0 – сопротивление термопреобразователя при 0 °C, Ом; $\tau = 1/\alpha_{\text{л}}$, $\alpha_{\text{л}}$ – температурный коэффициент сопротивления материала линии, °C⁻¹; $\alpha = (R_{100} - R_0)/(100R_0)$ – температурный коэффициент сопротивления

материала чувствительного элемента, $^{\circ}\text{C}^{-1}$, R_{100} – сопротивление термопреобразователя при 100°C , Ом.

Значения температурных коэффициентов сопротивлений в диапазоне температур 100°C следующие:

- для платины $\alpha = 0,0039^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- для меди $\alpha = 0,00427^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- для никеля $\alpha = 0,0069^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- для вольфрама $\alpha = 0,0048^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Пример 3.1. Подгонка сопротивления линии медного термопреобразователя сопротивления с номинальной статической характеристикой 50М производилась в месте прокладки при температуре окружающего воздуха $t_1 = 10^{\circ}\text{C}$ и составляет $R_n = 5$ Ом. В процессе эксплуатации температура окружающего воздуха в месте прокладки может достигать $t_2 = 25^{\circ}\text{C}$. Погрешность, вызванная изменением сопротивления линии от температуры,

$$\Delta t = \frac{5 \cdot (25 - 10)}{0,00427 \cdot 50 \cdot \left(\frac{1}{0,00427} - 10 \right)} = 1,5669^{\circ}\text{C}.$$

Суммарная случайная инструментальная погрешность измерения температуры с помощью термоэлектрического преобразователя складывается из следующих погрешностей:

- градуировки, в которую входит нестабильность градуировочных характеристик преобразователя σ_i ;
- из-за неоднородности электродов термопреобразователя $\sigma_{и}$;
- от применения термоэлектродных (компенсационных) проводов $\sigma_{т}$;
- связанной с электропроводностью материала изоляции $\sigma_{из}$;
- измерения выходного сигнала преобразователя (т.е. погрешности измерительного прибора) $\sigma_{пр}$.

Погрешности градуировки термоэлектрического преобразователя указаны в ГОСТ 3044–84.

Погрешности из-за неоднородности термоэлектродов термоэлектрического преобразователя могут достигать $30 \dots 40^{\circ}\text{C}$ и более. Неоднородность электродов может быть обусловлена неоднородностью их химического состава по длине и загрязнениями, наклепом, вкраплениями другого материала и т.п.

Эти дефекты возникают как при изготовлении термоэлектродной проволоки, так и при ее эксплуатации в неоднородном температурном

поле в контакте с «загрязняющими» материалами и в неблагоприятной атмосфере. В стандарте на термоэлектрические преобразователи значение рассматриваемой погрешности не нормировано.

Суммарная случайная средняя квадратическая инструментальная погрешность измерений температуры термоэлектрическим преобразователем

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\Gamma}^2 + \sigma_{\text{и}}^2 + \sigma_{\Gamma}^2 + \sigma_{\text{из}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2}, \quad (3.3)$$

или

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}, \quad (3.4)$$

где σ_i – частные случайные предельные погрешности.

С учетом вышеизложенного по измеренному значению $t_{\text{изм}}$ действительное значение температуры

$$t = t_{\text{изм}} \pm \sigma + \Delta, \quad (3.5)$$

где σ – суммарная случайная погрешность; Δ – суммарная систематическая погрешность.

Основные источники и составляющие погрешностей, приводящие к образованию результирующей случайной погрешности измерительных систем температуры, были перечислены выше.

Совокупность случайных погрешностей измерительной системы в действительности подчиняется нормальному закону распределения случайных величин, что способствует получению гарантированного запаса точности.

Поскольку составляющие системы измерения температуры (первичные преобразователи – каналы связи – измерительные приборы) нормированы в какой-то степени предельными допускаемыми погрешностями, при нормальном законе распределения имеем следующие зависимости между предельным значением погрешностей (Δ_m) и ее средним квадратическим значением:

- $\Delta_m = \sigma$ – встречается в среднем один раз на каждые 3 наблюдения;

- $\Delta_m = 2\sigma$ – на каждые 22 наблюдения;
- $\Delta_m = 3\sigma$ – на каждые 370 наблюдений;
- $\Delta_m = 4\sigma$ – на каждые 15 000 наблюдений;

Для нормального закона распределения известно, что при очень большом числе измерений погрешность, равная, например 3σ , будет иметь доверительную вероятность 99,7%. Это означает, что 99,7%

всего массива погрешностей находится в пределах $\pm 3\sigma$. Поэтому погрешность $\Delta_m = \pm 3\sigma$ принимается за предельную.

Отсюда следует, что

$$\sigma = \pm \frac{\Delta_m}{3}. \quad (3.6)$$

Формула (3.6) используется при расчете суммарных средних квадратических инструментальных погрешностей.

3.1.2. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ

Средства измерения температуры контактным методом включают в себя измерительные преобразователи, к которым подводится среда, температура которой измеряется.

Наиболее распространенными средствами измерений являются термоэлектрические преобразователи и термопреобразователи сопротивления.

3.1.2.1. Термоэлектрические преобразователи

Действие термоэлектрического преобразователя основано на использовании зависимости термоэлектродвижущей силы термопары (термометрического чувствительного элемента) от температуры.

Термоэлектрические преобразователи позволяют измерять температуру от -200 до $+2500$ °С. Они изготавливаются следующих типов (табл. 3.1).

3.1. Типы термоэлектрических преобразователей

Тип ТП	Буквенное обозначение НСХ
Платинородий-платиновые ТПП 13	R
Платинородий-платиновые ТПП 10	S
Платинородий-платинородиевые ТПР	B
Железо-константановые ТЖК (железо-медноникелевые)	J
Медь-константановые ТМКн (медь-медноникелевые)	T
Нихросил-нисилловые ТНН (никельхромникель-никелькремниевые)	N
Хромель-алюмелевые ТХА (никельхром-никельалюминиевые)	K

Тип ТП	Буквенное обозначение НСХ
Хромель-константановые ТХКн (никельхром-медноникелевые)	Е
Хромель-копелевые ТХК	Л
Медь-копелевые ТМК	М
Сильх-силиновые ТСС	І
Вольфрамрений-вольфрамрениевые ТВР	А-1, А-2, А-3
Примечание. В скобках даны названия, принятые Международной Электротехнической Комиссией (МЭК).	

Термоэлектрические преобразователи, работающие при высоких температурах, не всегда могут обеспечить стабильность измерения из-за исключительной подвижности и активности атомов любых элементов при высоких температурах.

В этих условиях происходит химическое взаимодействие материалов термоэлектродов с окружающей средой. Поэтому практически невозможно создать универсальные термоэлектрические преобразователи, которые были бы одинаково стойкими в окислительных, восстановительных, науглероживающих и других газовых средах.

Для защиты термоэлектродов от вредного воздействия окружающей среды при высоких температурах применяют газонепроницаемую, стальную, металлокерамическую и керамическую защитную арматуру.

Для этой цели в промышленных системах измерения температуры дополнительно применяют поддув азота в защитную арматуру термоэлектрического преобразователя.

Термоэлектрические преобразователи платинородий-платиновые надежно работают в нейтральной и окислительной средах, но неприменимы в восстановительной атмосфере, особенно в присутствии окислов металла и кремнезема. Вредно действуют на платину пары металла и углерод (особенно окись углерода). Науглероживание пластины приводит к изменению термоЭДС термопары и придает хрупкость ее электродам.

Термоэлектрические преобразователи из хромель-алюмеля хорошо работают в восстановительной и нейтральной средах. В окислительной среде на поверхности электродов образуется окисная пленка, в результате чего снижается термоЭДС.

Для измерения высоких температур, особенно температур расплавленных металлов, применяют вольфрамрениевые термоэлектрические преобразователи. Их можно использовать в инертной атмосфере и кратковременно – в окислительной.

Формулы для вычисления пределов допускаемых отклонений термоЭДС термоэлектрических преобразователей от номинального значения приведены в табл. 3.2 (ГОСТ Р 8.585–2001).

3.2. Формулы для вычисления пределов допускаемых отклонений термоЭДС термоэлектрических преобразователей от номинального значения

Обозначение промышленного термопреобразователя	Обозначение типа термопары	Класс допуска	Диапазон измерений, °C	Пределы допускаемых отклонений ТЭДС от $HCX \pm \Delta t$, °C
ТПП	S, R	2	0...600 600...1600	1,5 0,0025t
		1	0...1100 1100...1600	1,0 1,0 + 0,003 (t – 1100)
ТПР	В	3	600...800 800...1800	4,0 0,005t
		2	600...1800	0,0025t
ТХК	L	3	–200...–100 –100...100	1,5 + 0,01 t 2,5
		2	–40...360 360...800	2,5 0,7 + 0,005t
ТХКн	Е	3	–200...–167 –167...40	0,015 t 2,5
		2	–40...333 333...900	2,5 0,0075t
		1	–40...375 375...800	1,5 0,004t
ТХА, ТНН	К, N	3	–250...–167 –167...40	0,015 t 2,5
		2	–40...333 333...1300	2,5 0,0075t
		1	–40...375 375...1300	1,5 0,004t
ТМК	Т	3	–200...–66 –66...40	0,015 t 1,0
		2	–40...135 135...400	1,0 0,0075t
		1	–40...125 125...350	0,5 0,004t
ТЖК	J	2	0...333 333...900	2,5 0,0075t
		1	–40...375 375...750	1,5 0,004t

Обозначение промышленного термопреобразователя	Обозначение типа термопары	Класс допуска	Диапазон измерений, °C	Пределы допускаемых отклонений ТЭДС от НСХ $\pm \Delta t$, °C
ТМК	М	–	–200...0 0...100	1,3 + 0,001 t 1,0
ТВР	А-1, А-2, А-3	3	1000...2500	0,007t
		2	1000...2500	0,005t

Примечания:

1. t – значение измеряемой температуры, °C;
2. Пределы допускаемых отклонений ТЭДС термопар ΔE рассчитывают по формуле

$$\Delta E = \Delta t \frac{dE}{dt},$$

где Δt – предел допускаемого отклонения ТЭДС термопары от НСХ преобразования, °C;

$\frac{dE}{dt}$ – чувствительность термопары, рассчитанная для измеренного значения температуры, мВ·°C^{–1}.

Конструктивно одинарный термоэлектрический преобразователь состоит из двух термоэлектродов, имеющих общий горячий спай, и защитной арматуры, служащей для предохранения термоэлектродов и их выводных зажимов от загрязнений и механических повреждений.

Термоэлектроды по всей длине изолированы друг от друга и от металлической, металлокерамической или керамической части защитной арматуры.

Для изоляции термоэлектродов применяют асбест (при температуре до 300 °C), кварцевые трубки и бусы, шамот (при температуре до 1000 °C), фарфоровые трубки или бусы (при температуре 1300...1400 °C). При более высоких температурах электроизоляционные свойства фарфора ухудшаются, поэтому используют трубки из окиси алюминия, окиси магния, окиси бериллия, двуокиси тория или двуокиси циркония.

Показатель тепловой инерции термопреобразователей, определенный при коэффициенте теплоотдачи, практически равном бесконечности, в газовой или воздушной среде должен соответствовать следующим значениям: для термопреобразователей малой инерционности – не более 10 с; средней инерционности – не более 60 с; большой инерционности – свыше 60 с.

Термоэлектрические преобразователи монтируются на трубопроводах, технологических аппаратах и т.п. В защитной арматуре термоэлектрических преобразователей различают:

- длину монтажной части термоэлектрических преобразователей с неподвижным штуцером или фланцем – расстояние от рабочего конца защитной арматуры до опорной плоскости штуцера или фланца;
- длину монтажной части термоэлектрических преобразователей с подвижным штуцером или фланцем, а также термоэлектрических преобразователей без штуцера или фланца – расстояние от рабочего конца защитной арматуры до головки, а при отсутствии ее – до мест заделки выводных проводников.

Подключение термоэлектрических преобразователей. В местах подключения проводников термопары к измерительной системе возникают дополнительные термоЭДС. В результате их действия на вход измерительной системы фактически поступает сумма сигналов от рабочей термопары и от «термопар», возникших в местах подключения (рис. 3.2).

Существуют различные способы избежать этого эффекта. Самым очевидным способом исключения этой погрешности является поддержание температуры холодного спая постоянной и равной $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.3). В этом случае термоЭДС контактов подключения компенсируют друг друга, так как контакты состоят из одинаковых материалов и находятся при одинаковой температуре. Однако этот способ практически неприменим в промышленных системах контроля.



Рис. 3.2. Схема подключения термопары без стабилизации температуры холодного спая

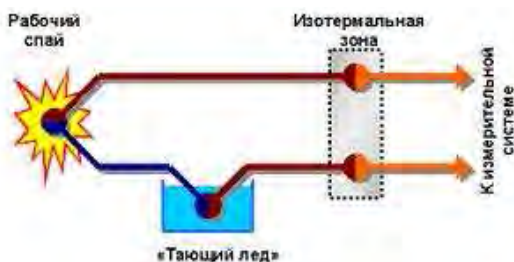


Рис. 3.3. Схема подключения термопары со стабилизацией температуры холодного спая

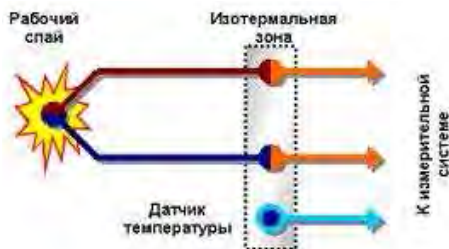


Рис. 3.4. Схема подключения термопары с компенсацией температуры холодного спая

В настоящее время в промышленных системах широко используется техника «компенсации холодного спая». Этот метод заключается в том, что температура холодного спая измеряется другим датчиком температуры, а затем величина термоЭДС холодного спая программно или аппаратно вычитается из сигнала термопары (рис. 3.4). Места подключения термопары к измерительной системе должны иметь одинаковую температуру, т.е. находиться в изотермальной зоне.

Подключение к клеммным соединителям должно производиться либо термопарными электродами того же типа, что и используемая термопара, либо соответствующими *компенсационными проводами*. Соединение компенсационных проводов как с термопарой, так и с прибором должно производиться с соблюдением полярности.

3.1.2.2. Термопреобразователи сопротивления

Основной частью термопреобразователя сопротивления (ТС) является чувствительный элемент, действие которого основано на использовании зависимости электрического сопротивления от температуры.

Чувствительные элементы ТС изготавливаются из платины, меди или никеля и позволяют измерять температуру в пределах от -200 до $+850$ °C.

Промышленность выпускает ТС типа ТСП (платиновый), ТСМ (медный) и ТСН (никелевый).

ТС выпускаются с классами допуска АА, А, В и С (табл. 3.3).

3.3. Обозначение типа, температурные коэффициенты, классы допусков ТС

Тип ТС	Обозначение типа ТС	α , °C ⁻¹	Класс допуска
Платиновый	Pt	0,00385	АА, А, В, С
	П	0,00391	АА, А, В, С
Медный	М	0,00428	А, В, С
Никелевый	Н	0,00617	С

Под классом допуска понимается обобщенная характеристика термопреобразователя, определяющая допускаемые отклонения сопротивления R_0 при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, W_{100} (отношение сопротивлений при 100 и $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) и погрешности измерения температуры Δt от номинальных значений. Класс точности определяется чистотой платины, меди или никеля и качеством изготовления термопреобразователя.

Номинальные статические характеристики преобразования рассчитываются по уравнению

$$R_t = W_t R_0, \quad (3.7)$$

где R_t – сопротивление ТС при температуре t , Ом; W_t – отношение сопротивлений при температуре t и $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Значения W_t выбирают из таблиц ГОСТ 6651–2009.

Пределы допускаемых значений основной погрешности термопреобразователей сопротивлений в общем случае не должны превышать значений Δt , приведенных в табл. 3.4.

Отклонения сопротивлений ΔR_t определяются из уравнения

$$\Delta R_t = \Delta t \frac{dR_t}{dt}, \quad (3.8)$$

где $\frac{dR_t}{dt}$ – чувствительность термопреобразователя, рассчитанная для

температуры t по следующим уравнениям:

1) платиновые ТС, $\alpha = 0,00385\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Для диапазона измерений от -200 до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\frac{dR_t}{dt} = R_0 [A + 2Bt + 3C(t - 100)t^2].$$

3.4. Классы допуска и диапазоны измерений ТС

Класс допуска	Допуск, $^{\circ}\text{C}$	Диапазон измерения, $^{\circ}\text{C}$		
		платиновый	медный	никелевый
АА	$\pm(0,1 + 0,0017 t)$	$-50\dots250$	–	–
А	$\pm(0,15 + 0,002 t)$	$-100\dots450$	$-50\dots120$	–
В	$\pm(0,3 + 0,005 t)$	$-196\dots660$	$-50\dots200$	–
С	$\pm(0,6 + 0,01 t)$	$-196\dots660$	$-180\dots200$	$-60\dots180$

Для диапазона измерений от 0 до 850 °C

$$\frac{dR_t}{dt} = R_0(A + 2Bt).$$

Значения постоянных следующие:

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1},$$

$$B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2},$$

$$C = -4,183 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4};$$

2) платиновые ТС, $\alpha = 0,00391 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Для диапазона измерений от – 200 до 0 °C

$$\frac{dR_t}{dt} = R_0[A + 2Bt + 3C(t - 100)t^2].$$

Для диапазона измерений от 0 до 850 °C

$$\frac{dR_t}{dt} = R_0(A + 2Bt).$$

Значения постоянных следующие:

$$A = 3,969 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1},$$

$$B = -5,841 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2},$$

$$C = -4,33 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4};$$

3) медные ТС, $\alpha = 0,00428 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Для диапазона измерений от – 180 до 0 °C

$$\frac{dR_t}{dt} = R_0[A + 2B(t + 6,7) + 3Ct^2].$$

Для диапазона измерений от 0 до 200 °C

$$\frac{dR_t}{dt} = R_0A.$$

Значения постоянных следующие:

$$A = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1},$$

$$B = -6,2032 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2},$$

$$C = 8,5154 \cdot 10^{-10} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3};$$

4) никелевые ТС, $\alpha = 0,00617 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Для диапазона измерений от – 60 до 100 °C

$$\frac{dR_t}{dt} = R_0(A + 2B).$$

Для диапазона измерений от 100 до 180 °C

$$\frac{dR_t}{dt} = R_0 [A + 2Bt + 3C(t - 100)t^2].$$

Значения постоянных следующие:

$$A = 5,4963 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1},$$

$$B = 6,7556 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2},$$

$$C = 9,2004 \cdot 10^{-9} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}.$$

Невысокий температурный предел измерения медных термопреобразователей сопротивлений объясняется окисляемостью меди при высоких температурах.

К преимуществам меди следует отнести низкую стоимость, легкость получения ее в чистом виде, сравнительно высокий температурный коэффициент электрического сопротивления и линейную зависимость сопротивления от температуры.

Конструктивно термопреобразователь сопротивления состоит из чувствительного элемента (платиновой, медной или никелевой проволоки, намотанной на каркас) и защитной арматуры, служащей для предохранения чувствительного элемента и зажимов для выводных проводников от механических повреждений.

Провода от чувствительного элемента до выводных зажимов по всей длине изолированы друг от друга и от металлической части защитной арматуры.

Подключение термопреобразователей сопротивления.

При подключении ТС используется три основные схемы подключения:

- двухпроводная;
- трехпроводная;
- четырехпроводная.

В простейшей двухпроводной схеме влияние сопротивления подводящих проводов не устраняется (рис. 3.5). Напряжение измеряется не только на чувствительном элементе, но и на соединительных проводах.

При этом нужно иметь в виду, что сопротивление соединительных проводов проявляет себя двумя способами. Во-первых, изменяется эквивалентное сопротивление датчика, что приводит к смещению в измерении температуры. Во-вторых, сопротивление соединительных проводов само по себе зависит от температуры окружающей среды.

Иногда смещение температуры пытаются скорректировать во вторичном приборе, однако этот подход неэффективен, так как температура окружающей среды меняется.

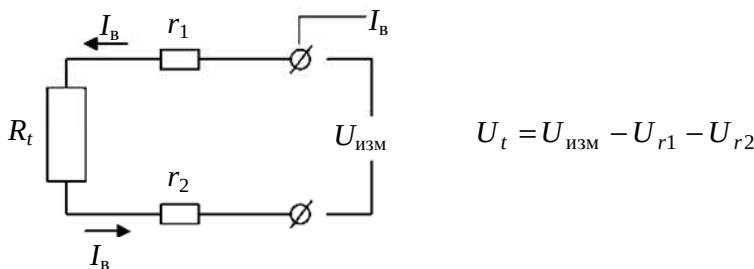


Рис. 3.5. Двухпроводная схема соединения ТС

Двухпроводная схема может быть использована в случае, если сопротивлением подводящих проводов (r_1 , r_2) можно пренебречь по сравнению с R_t .

Влияние сопротивления соединительных проводов в трехпроводной схеме устраняется путем компенсации (рис. 3.6). Компенсация возможна, если соединительные провода одинаковы. В этом случае появляется возможность выделить отдельно напряжение на соединительных проводах и скомпенсировать его.

Равенство сопротивлений соединительных проводов и их температурных зависимостей является основным условием применимости трехпроводной схемы.

В четырехпроводной схеме питание чувствительного элемента током возбуждения производится с помощью одних проводов, а измерение разности потенциалов на чувствительном элементе – с помощью других (рис. 3.7). Если измерение напряжения производится высокоомным вольтметром (ток через r_2 и r_3 не течет), то влияние сопротивления всех проводов полностью исключается.

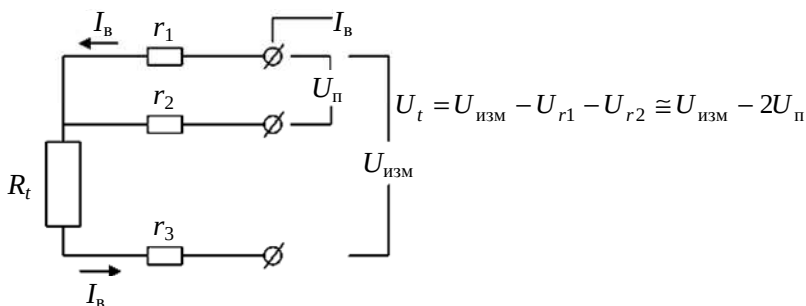


Рис. 3.6. Трехпроводная схема соединения ТС

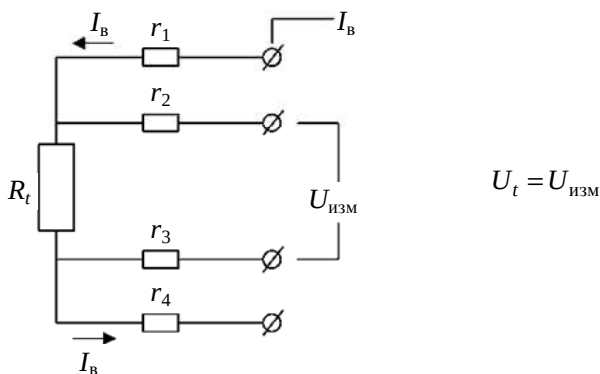


Рис. 3.7. Четырехпроводная схема соединения ТС

Следует учесть, что если измерительный прибор рассчитан на четырехпроводную схему, то датчик к нему можно подключить и по двухпроводной схеме. При этом дополнительная погрешность измерения, вызванная влиянием соединительных проводов, будет иметь величину порядка $(r_2 + r_3)/R_t$.

Погрешности измерения, которые возникают за счет влияния соединительных проводов, для различных схем приведены в таблице.

Таблица

Схема подключения	Дополнительная погрешность	Примечание
Двухпроводная	$\frac{r_1 + r_2}{R_t}$	
Трехпроводная	$\frac{\Delta r}{R_t}$	Δr – разность сопротивлений соединительных проводов
Четырехпроводная	$\frac{r_2 + r_3}{R_{\text{вх}}}$	$R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление вольтметра

3.1.3. КАНАЛЫ СВЯЗИ

Каналы связи предназначены для передачи измерительной информации между измерительными преобразователями и измерительными приборами.

Правильный прибор и оценка того или иного канала связи во многом определяют работоспособность системы измерения.

3.1.3.1. Термоэлектродные (компенсационные) провода

Как правило, вторичные измерительные приборы с измерительным термоэлектрическим преобразователем соединяют термоэлектродными (компенсационными) проводами.

В настоящее время действует ГОСТ 24335–80 «Провода термоэлектродные. Технические условия».

Известно, что термоЭДС, развиваемая термоэлектрическим преобразователем (термопарой), зависит от температуры свободных концов. Поэтому для правильной оценки температуры по шкале измерительного прибора свободные концы термопреобразователя «переносят» с помощью термоэлектродных проводов в место с более постоянной температурой, чтобы в дальнейшем автоматически или вручную вводить поправку на температуру свободных концов.

В большинстве случаев жилы термоэлектродных проводов изготавливают из материалов, которые при соединении между собой развивают термоЭДС, одинаковую с термоЭДС термоэлектрического преобразователя. Эта идентичность термоэлектрических характеристик ограничивается, как правило, температурой 100 °С, выше которой характеристики термопар и термоэлектродных проводов могут различаться.

Термоэлектродный провод необходимо подсоединять непосредственно на зажимы измерительного прибора (преобразователя).

Токопроводящие жилы термоэлектродных проводов изготавливают из металла и сплава или пары сплавов, условные обозначения которых указаны в табл. 3.5.

В настоящий момент используются следующие марки термоэлектродных проводов:

- ПТВ, ПТГВ, ПТВО, ПТГВО, ПТВП, ПТП, ПТВЭ – медь-константан, медь-медноникелевый сплав ТП, хромель-копель, хромель-алюмель, медь-копель;

- ПТГВ – медь-медноникелевый сплав МН-2,4;

- ПТВ, ПТФЭ, ПТФДЭ – сплав никель-медь, сплав медь-титан.

Для обозначения соответствующего металла или сплава жил провода, изоляция из поливинилхлоридного пластиката в проводах марок ПТВО, ПТГВО или цветные нити в обмотке и оплетке проводов марок ПТП, ПТПЭ, ПТФ, ПТФДЭ имеют разную расцветку (табл. 3.6).

Термоэлектрические преобразователи типа ТПР применяют без термоэлектродных проводов.

3.5. Технические характеристики токопроводящих жил термоэлектродных проводов

Термо-электрический преобразователь	Материал термоэлектродного провода		Обозначение	ТермоЭДС в паре между жилами при температуре рабочего конца 100 °С и свободного 0 °С, мВ
	положительный	отрицательный		
ТХК	Хромель	Копель	ХК	6,860±0,18
ТХА	Хромель	Алюмель	ХА	4,095±0,11
	Медь	Константан	М	4,10±0,1
ТПП	Медь	Сплав ТП	П	0,640±0,03
ТМК	Медь	Копель	МК	4,770±0,12
ТЖК	Железо	Константан	ЖК	5,27±0,2

3.6. Цвета изоляции жил термоэлектродных проводов

Марка	Цвет изоляции
Хромель	Фиолетовый или черный
Копель	Желтый или оранжевый
Алюмель	Белый
Медь	Красный или розовый
Константан	Коричневый
Сплав ТП	Зеленый

3.1.3.2. Соединительные провода

Термопреобразователи сопротивления работают в комплекте с логометрами, автоматическими мостами и другими вторичными приборами, для которых сопротивление внешней линии (канала связи) ограничено и должно быть 5 или 15 Ом (указано на шкале прибора).

Термопреобразователи сопротивления могут находиться на значительном расстоянии от вторичного измерительного прибора, поэтому в качестве соединительных проводов выбирают медные провода или контрольные кабели с сечением жил 1...1,5 мм. Применение соединительных проводов с алюминиевыми жилами нежелательно из-за более высокого удельного электрического сопротивления и невысокой механической прочности. Кроме того, сопротивление перехода алюминий–медь (например, при подключении к медному термопреобразователю сопротивления) со временем значительно меняется.

3.1.4. ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С УНИФИЦИРОВАННЫМ ВЫХОДНЫМ СИГНАЛОМ

Измерительные преобразователи с унифицированным выходным сигналом предназначены для измерения температуры различных сред путем преобразования сигнала первичного термопреобразователя в унифицированный электрический выходной сигнал постоянного тока.

Термопреобразователи состоят из первичного термопреобразователя и преобразователя сигнала с унифицированным электрическим выходным сигналом постоянного тока (преобразователя сигнала) в виде «таблетки», установленного в головку первичного термопреобразователя (рис. 3.8).

По зависимости выходного сигнала от измеряемой температуры термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом подразделяют на:

- термопреобразователи с линейной зависимостью;
- термопреобразователи с нелинейной зависимостью.

По связи между входными и выходными цепями термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом подразделяют на:

- термопреобразователи с гальванической связью;
- термопреобразователи без гальванической связи.

По наличию регулировки начала и конца поддиапазона измерения в условиях эксплуатации термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом подразделяют на:

- термопреобразователи с регулировкой;
- термопреобразователи без регулировки.

По типу применяемых первичных преобразователей температуры термопреобразователи подразделяют на:

- термопреобразователи сопротивления (ТС) – по ГОСТ 6651;
- преобразователи термоэлектрические (ТП) – по ГОСТ 6616.



Рис. 3.8. Термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом

Преобразователи термоэлектрические должны иметь компенсацию температуры свободных концов.

Выходные сигналы термопреобразователей – постоянный ток от 0 до 5 мА; от 0 до 20 мА; от 4 до 20 мА.

Напряжение питания термопреобразователей от источника постоянного тока:

- 24 В – для термопреобразователей с выходным сигналом от 0 до 5 мА и от 0 до 20 мА;
- 12...36 В – для термопреобразователей с выходным сигналом от 4 до 20 мА.

Допустимые отклонения напряжения питания – $\pm 1\%$.

По виду исполнения термопреобразователи подразделяют на:

- обычного исполнения;
- взрывозащищенного исполнения (Ex).

Метрологические характеристики измерительных преобразователей с унифицированным выходным сигналом в нормальных условиях в зависимости от типов представлены в табл. 3.7.

3.7. Метрологические характеристики измерительных преобразователей с унифицированным выходным сигналом

Тип преобразователя	Диапазон измерения, °C	Предел допустимого значения основной погрешности, %			Примечание
		Для всех поддиапазонов, кроме 50 °C	Для поддиапазонов менее		
			50 °C	100 °C	
Измерительный преобразователь для термопреобразователей с ТС: с линейной зависимостью с нелинейной зависимостью	-200... +600	±0,1 ±0,2	±0,2 ±0,4		
Измерительный преобразователь для термопреобразователей с ТП: с линейной зависимостью с нелинейной зависимостью	-200... +1600	±0,25 ±0,4	±0,4 ±0,6	Без учета погрешности за счет компенсации температуры свободных концов	

Подключение измерительных преобразователей с унифицированным выходным сигналом. На рисунке 3.9 представлены схемы электрических подключений термопреобразователей с унифицированным выходным сигналом НПП «Элемер».

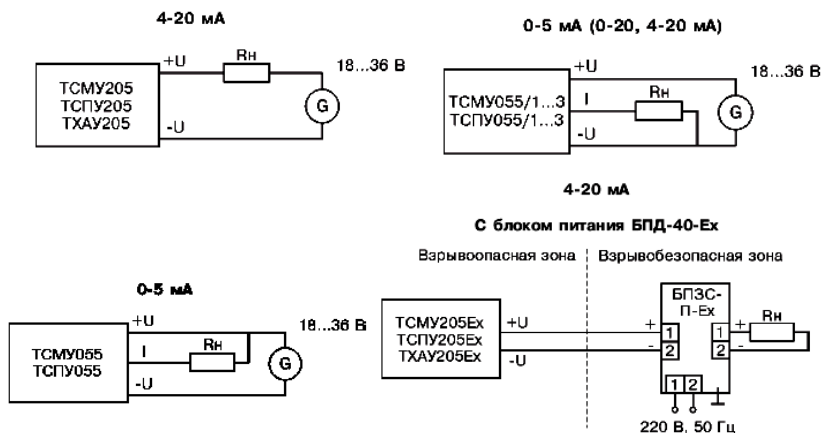


Рис. 3.9. Схемы внешних электрических подключений термопреобразователей с унифицированным выходным сигналом:

R_n – вторичный прибор; G – блок питания;

БПЗС-П-Ех – блок питания с барьером искрозащиты

3.1.5. ВТОРИЧНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

В качестве вторичных измерительных приборов для измерения температуры используются:

- автоматические потенциометры, милливольтметры – в комплекте с термоэлектрическими преобразователями;
- автоматические мосты, логометры – термопреобразователями сопротивления.

Автоматические потенциометры предназначены для измерения температуры при работе в комплекте с термоэлектрическими преобразователями.

В основу работы потенциометров положен компенсационный метод измерения термоЭДС термоэлектрических преобразователей. Для измерения термоЭДС преобразователя в потенциометрах используется мостовая потенциометрическая схема, в которой измеряемая термоЭДС компенсируется падением напряжения на калиброванном переменном регулируемом резисторе при прохождении через него определенного рабочего тока (рис. 3.10).

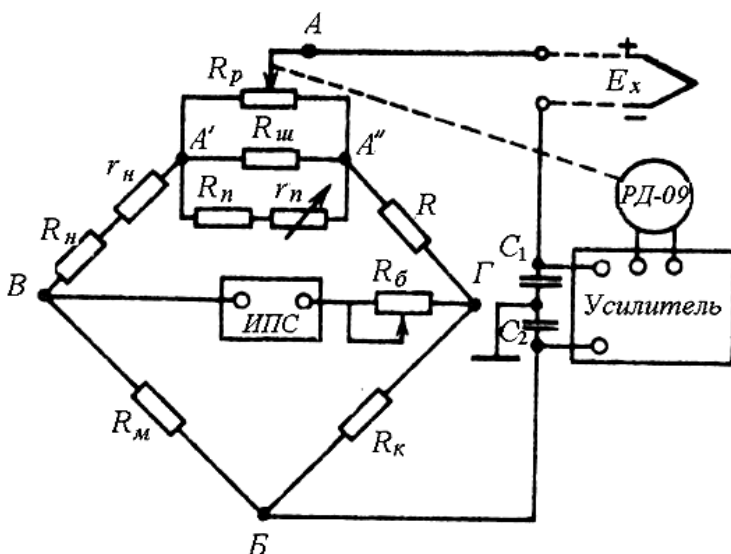


Рис. 3.10. Принципиальная электрическая схема потенциометра

Эта схема является общей для большинства типов потенциометров. Измерительный мост потенциометра состоит из следующих сопротивлений R_p – регулируемого резистора; $R_{ш}$ – сопротивление шунта; R_n и r_n – постоянного и переменного сопротивлений для регулировки начала шкалы; R_n и r_n – постоянного и переменного сопротивлений для регулировки предела шкалы; $R_б$ – балластного сопротивления; R_m – сопротивления из медной проволоки; R_k – сопротивления контрольного; R – постоянного сопротивления.

Схема питается от источника стабилизированного напряжения ИПС.

При неизменных рабочем токе и сопротивлении ветвей $BA\Gamma$ и $BB\Gamma$ напряжение между точками A и B зависит только от положения подвижного контакта резистора R_p . Перемещение контакта переменного резистора происходит автоматически при нарушении разбаланса схемы от изменения термоЭДС термоэлектрического преобразователя.

Одновременно с перемещением подвижного контакта изменяется положение указателя шкалы прибора.

Напряжение между точками A' и A'' определяет диапазон измерений прибора.

Действие компенсационного медного сопротивления заключается в том, что при изменении температуры свободных концов термоэлектрического преобразователя на сопротивлении R_m появляется дополни-

тельное падение напряжения, компенсирующее изменение термоЭДС, вызванное изменением температуры свободных концов преобразователя. Таким образом, компенсация изменения температуры свободных концов преобразователя осуществляется автоматически.

Для устранения влияния помех, возникающих в цепи термоэлектрического преобразователя, на вход прибора подключены конденсаторы C_1 и C_2 .

Сопротивление R служит для контроля напряжения питания измерительного моста путем измерения падения напряжения на этом сопротивлении.

Милливольтметры служат для измерения температуры в комплексе с термоэлектрическими преобразователями.

Милливольтметр представляет собой магнитоэлектрический прибор, в котором протекание тока через рамку, помещенную в поле постоянного магнита, вызывает поворот ее на угол, пропорциональный току, а следовательно, измеренной термоЭДС.

На рисунке 3.11 показана принципиальная электрическая схема милливольтметра.

Конструктивно милливольтметр состоит из постоянного магнита с плюсовыми наконечниками и концентрично расположенного между ними неподвижного железного сердечника. В узком воздушном зазоре между ними располагается (охватывая сердечник) подвижная рамка r . Рамка скреплена с указателем. При повороте рамки возникает противодействующий момент спиральных пружинок, уравнивающий магнитоэлектрический момент.

Угол поворота рамки зависит также от внутреннего электрического сопротивления милливольтметра, которое подстраивается до паспортного значения с помощью добавочного сопротивления R_d , включенного последовательно с подвижной рамкой.

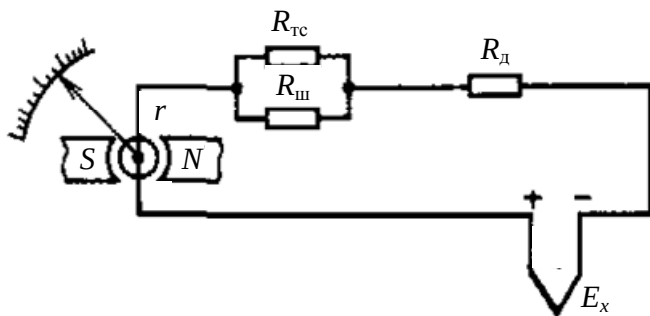


Рис. 3.11. Принципиальная электрическая схема милливольтметра

Для компенсации влияния изменения температуры окружающей среды на показания милливольтметра служит терморезистор $R_{тс}$ с отрицательным температурным коэффициентом, зашунтированный манганиновой катушкой $R_{ш}$.

Для правильного измерения термоЭДС термоэлектрическим преобразователем необходимо, чтобы общее сопротивление электрической цепи, по которой протекает ток, имело постоянное значение.

Сопротивление прибора при неизменной температуре окружающей среды практически постоянно.

Сопротивление внешней цепи (термоэлектродного провода к термоэлектрическому преобразователю) милливольтметра должно быть равно 5 или 15 Ом (указано на шкале прибора).

Автоматические мосты предназначены для измерения температуры при работе в комплекте с термопреобразователями сопротивления.

Измерительная схема автоматического моста представляет собой схему уравновешенного моста, в одно из плеч которого включен термопреобразователь сопротивления. В основу работы электронных мостов положен нулевой метод измерения сопротивления.

На рисунке 3.12 приведена упрощенная принципиальная электрическая схема уравновешенного моста.

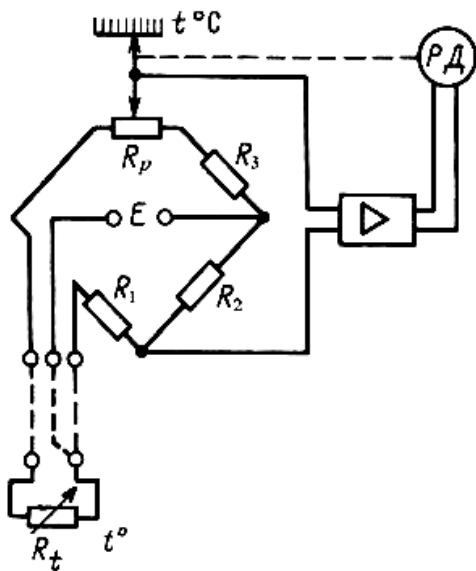


Рис. 3.12. Упрощенная принципиальная электрическая схема уравновешенного моста

Подключение термопреобразователя сопротивления производится по трехпроводной схеме, т.е. источник питания E одним полюсом подключается непосредственно к одному из зажимов термопреобразователя. При этом сопротивление линии R_1 включается в два соседних плеча измерительного моста, что позволяет значительно уменьшить погрешность измерения от изменения сопротивления линии вследствие изменения температуры окружающей среды.

В результате к одному из зажимов термопреобразователя сопротивления подсоединяются два провода, одним из которых является провод питания, а к другому – один провод.

При отклонении температуры изменяется сопротивление R_b , нарушается баланс схемы и подвижный контакт резистора R_p автоматически перемещается в сторону восстановления равновесия схемы. Одновременно с перемещением подвижного контакта изменяется положение указателя шкалы прибора.

Резисторы измерительного моста R_1, R_2, R_3 выполнены из манганиновой проволоки.

Логометр служит для измерения температуры в системах измерения с термопреобразователем сопротивления.

На рисунке 3.13 представлена принципиальная электрическая схема логометра в комплексе с термопреобразователем сопротивления.

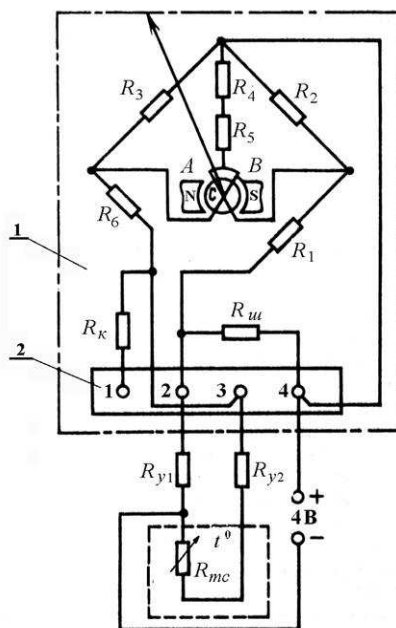


Рис. 3.13. Принципиальная электрическая схема логометра с термопреобразователем сопротивления

Последовательно с одной из рамок включен термопреобразователь сопротивления, при изменении сопротивления которого ($R_{тс}$) изменяется соотношение токов в рамках и происходит поворот подвижной части в магнитном поле под действием магнитоэлектрических моментов. Так как воздушный зазор между полюсами магнита и сердечником имеет переменную ширину, то рамка с большим магнитоэлектрическим моментом попадает при повороте в более слабое магнитное поле, а вторая рамка – в более сильное.

Магнитоэлектрические моменты выравниваются, и перемещение стрелки прекращается.

Подключение термопреобразователя сопротивления осуществляется по двухпроводной или трехпроводной схеме.

Сопротивление соединительных линий должно быть доведено до требуемого значения (2,5, 5 или 15 Ом) при помощи подстроечных (уравнительных) сопротивлений катушек R_{y1} и R_{y2} .

3.1.6. ПРЕДМОНТАЖНАЯ ПРОВЕРКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Наладка потенциометров и милливольтметров, мостов и логометров начинается с проведения предмонтажной проверки.

При проведении предмонтажной проверки главной операцией является определение основной допускаемой погрешности.

За нормирующее значение измеряемой величины для потенциометров и милливольтметров принимают верхнее конечное значение диапазона измерения в милливольтах, если нулевое значение находится вне диапазона измерения, или сумму абсолютных конечных значений диапазона измерения в милливольтах, если нулевое значение находится внутри диапазона измерения.

За нормирующее значение для мостов и логометров принимают разность конечных значений пределов измерения в единицах сопротивления.

Пределы основной допускаемой погрешности для потенциометров и милливольтметров, а также мостов и логометров постоянны во всем диапазоне измерения и в зависимости от класса точности определяются пределами основной допускаемой абсолютной погрешности.

Например, для потенциометра с диапазоном измерения от -50 до $+50$ °С класса точности 0,5, работающего с термоэлектрическими преобразователями типа ТХК с номинальной статической характеристикой

преобразования ХК, предел допускаемой основной погрешности равен 0,5% суммы абсолютных конечных значений диапазона измерения:

$$\Delta = \pm 0,005 \cdot (3,003 - 3,229) = \pm 0,005 \cdot 6,302 = \pm 0,0315 \text{ мВ.}$$

Для моста класса точности 0,25 с диапазоном измерения от 0 до 200 °С, работающего с термопреобразователями сопротивления типа ТСП, имеющими номинальную статическую характеристику преобразования 50П, предел основной допускаемой погрешности Δ равен $\pm 0,25\%$ разности конечных значений диапазона измерения в единицах сопротивления:

$$\Delta = \pm 0,0025 \cdot (88,515 - 50) = \pm 0,096 \text{ Ом.}$$

После предмонтажной проверки потенциометров и милливольтметров, мостов и логометров следует подготовить их к монтажу.

При этом необходимо снять перемычки на зажимах колодок внешних подключений многоточечных приборов, поставить выключатели подачи питания в положение «Выключено», зафиксировать те части приборов, которые по инструкции должны фиксироваться, закрыть крышки приборов на ключ и выполнить другие операции, специально предусмотренные инструкцией к прибору.

3.1.6.1. Проверка автоматических потенциометров и милливольтметров

При проведении предмонтажной проверки потенциометр или милливольтметр должен быть приведен в нормальное рабочее состояние в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации.

При проверке соединение образцового прибора с поверяемым осуществляют медными или термоэлектродными проводами с учетом требуемого внешнего сопротивления.

После прогрева потенциометра или милливольтметра при любом значении задаваемого напряжения в диапазоне измерения необходимо оценить реакцию приборов на изменение входного сигнала.

Убедившись в том, что приборы правильно реагируют на изменение входного сигнала, необходимо приступить к проверке основной погрешности.

При использовании образцовых потенциометров необходимо знать входное (выходное) сопротивление, т.е. низкоомный потенцио-

метр или высокоомный. Применимость того или иного типа образцового потенциометра для поверки определяется допускаемым сопротивлением линии связи поверяемого потенциометра.

При использовании высокоомного образцового потенциометра для поверки потенциометров в качестве источника напряжения следует применять источник регулируемого напряжения ИРН, с помощью которого осуществляется гальваническая развязка низкоомного поверяемого и высокоомного образцового потенциометров. В этом случае высокоомным потенциометром измеряют задаваемое напряжение.

Некоторые типы потенциометров имеют встроенную манганиновую катушку, которая тумблером или переключкой подключается вместо компенсационной медной.

На рисунке 3.14, *а* показана схема поверки потенциометра при наличии манганиновой катушки. Поверяемый и образцовый приборы соединяются медными проводами. Сопротивление R устанавливают таким, чтобы оно совместно с выходным сопротивлением образцового прибора было равно $0,8 \dots 1,0$ наибольшего значения сопротивления термоэлектрического термометра, указанного в технической документации на поверяемый прибор, включая сопротивление линии связи.

При проверке потенциометров, имеющих встроенные манганиновые катушки или не имеющих их, применяется схема, показанная на рис. 3.14, *б*. Поверяемый прибор соединяется с образцовым потенциометром соответствующим термоэлектродным проводом. При этом с помощью ртутного термометра с ценой деления $0,1^\circ\text{C}$ необходимо контролировать температуру в месте подсоединения проводов к образцовому потенциометру.

Согласно этой схеме свободные концы от поверяемого потенциометра выносятся на образцовый потенциометр.

Если источником напряжения служит ИРН, то проверка проводится по схеме на рис. 3.14, *в*.

Соединение поверяемого потенциометра с ИРН выполняют термоэлектродным проводом, а образцового потенциометра с ИРН – медным.

В этом случае контроль температуры осуществляют в месте подсоединения термоэлектродного провода к ИРН.

Милливольтметры, имеющие шкалу, выраженную в градусах температуры, включают в измерительную цепь последовательно с резистором $R_{\text{рез}}$ (рис. 3.15). Сопротивление его должно соответствовать внешнему сопротивлению, указанному на шкале поверяемого прибора, с допуском $R_{\text{д}}$:

$$R_{\text{рез}} = (R_{\text{вн}} \pm R_{\text{д}}) .$$

Допуск $R_{\text{д}} = 0,1R_{\text{вн}}$, но не более $0,5 \text{ Ом}$.

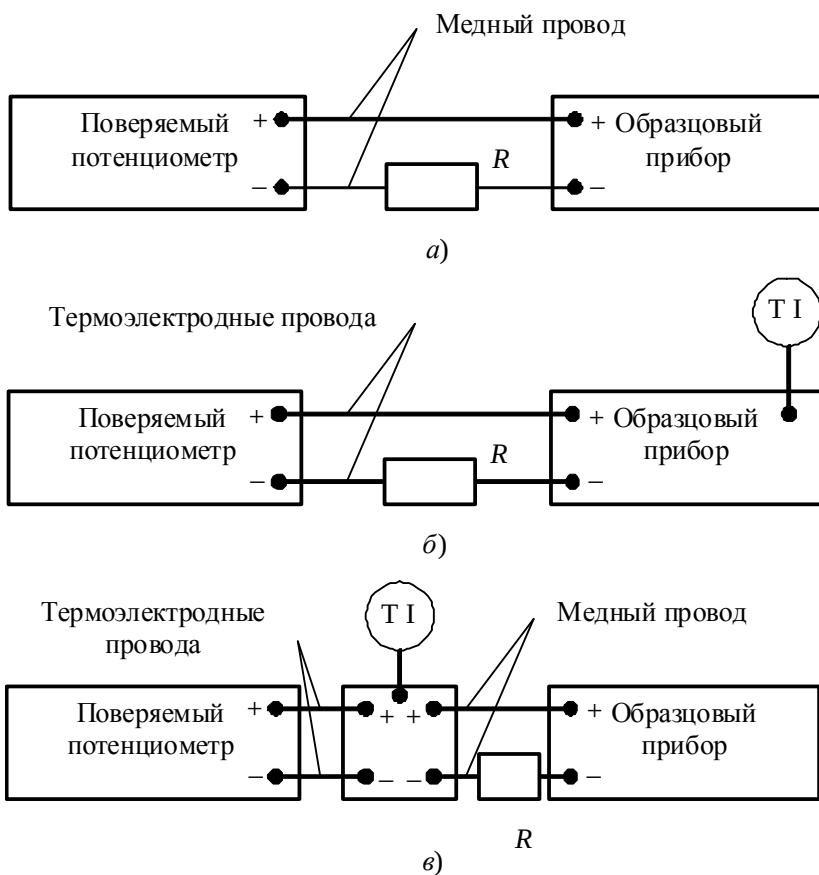


Рис. 3.14. Схема проверки потенциометров:
а – с манганиновой катушкой; *б* – без манганиновой катушки; *в* – с ИРН

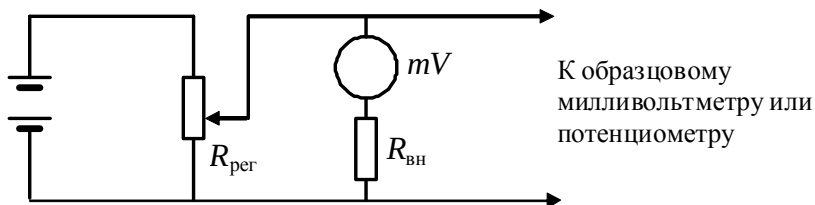


Рис. 3.15. Схема проверки милливольтметров

3.1.6.2. Проверка автоматических мостов и логометров

При предмонтажной проверке мостов и логометров в первую очередь производится внешний осмотр приборов.

После включения моста или логометра и их прогрева (моста – в течение 0,5 ч, а логометра ~ не менее 10 мин при некотором значении сопротивления имитатора датчика в диапазоне измерения) необходимо оценить чувствительность и реакцию на ступенчатое изменение сопротивления на образцовом приборе.

Убедившись в нормальном функционировании приборов, необходимо приступить к проверке основной погрешности.

Основная погрешность мостов и логометров поверяется на всех оцифрованных отметках шкалы.

Образцовые приборы, применяемые для определения основной погрешности моста, должны обеспечивать установку проверяемых значений сопротивлений с погрешностью, не превышающей 1/3 основной погрешности прибора. В качестве таких приборов используются образцовые магазины сопротивлений (МСП-60М и Р4831 класса точности 0,02 или МСП-63 класса точности 0,05).

При проверке метрологических характеристик логометров вычисляют предел допускаемой основной погрешности и, устанавливая стрелку (перо) поверяемого прибора на оцифрованных отметках, с помощью образцового средства проверки сравнивают значение абсолютной погрешности Δ на каждой отметке с пределом допускаемой основной погрешности Δ_0 . Если $\Delta \leq \Delta_0$, то и основная погрешность не превышает класса точности логометра.

3.1.6.3. Проверка цифровых приборов для измерения температуры

Вопросы проверки цифровых приборов для измерения температуры рассмотрим на примере измерителя регулятора ТРМ1 (ООО «Производственное объединение ОВЕН») [12].

Микропроцессорный программируемый измеритель-регулятор типа ТРМ1 совместно с входным датчиком (термопреобразователем или унифицированным источником сигнала) предназначен для контроля и управления различными технологическими производственными процессами и позволяет осуществлять следующие функции:

- измерение температуры и других физических величин с помощью стандартных датчиков (в зависимости модификации прибора);
- регулирование измеряемой величины по двухпозиционному (релейному) закону;
- отображение текущего измерения на встроенном светодиодном цифровом индикаторе;
- формирование выходного тока 4...20 мА для регистрации или управления исполнительными механизмами по П-закону.

Функциональная схема прибора приведена на рисунке 3.16. Прибор имеет вход для подключения первичных преобразователей (датчиков), блок обработки данных, состоящий из измерителя физических величин, цифрового фильтра и логического устройства. Логическое устройство в соответствии с запрограммированными пользователями функциональными параметрами формирует сигналы управления выходным устройством, которое в зависимости от модификации прибора может быть дискретного или аналогового типа.

Прибор позволяет подключать на вход датчики, имеющие унифицированные выходные сигналы (тока 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА; напряжения 0...1 В), а также термоэлектрических преобразователей и термометров сопротивления.

Предел допустимой основной приведенной погрешности измерения входной величины (без учета погрешности датчика) – $\pm 0,25\%$ или $\pm 0,5\%$ в зависимости от класса точности прибора.

В приборе ТРМ1 имеется логическое устройство, которое может работать в одном из режимов:

- устройство сравнения;
- П-регулятор;
- регистратор.

Проверка прибора заключается в правильности его монтажа, правильности подключения внешних цепей прибора, его поверки и дальнейшей необходимой юстировки.

Поверку прибора проводят территориальные органы или ведомственная метрологическая служба потребителя, имеющая право поверки. Требования к поверке, порядок, основные этапы проведения определяются методикой КУВФ.421210.002 МП.

Межповерочный интервал – 2 года.

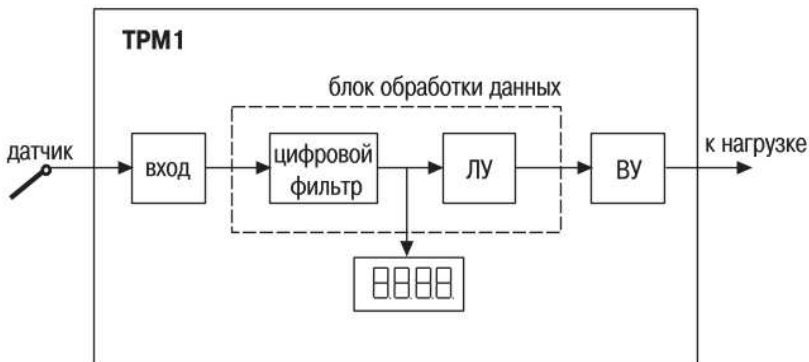


Рис. 3.16. Функциональная схема ТРМ1

При проведении поверки должны выполняться операции:

- внешний осмотр;
- проверка электрического сопротивления изоляции;
- опробование;
- определение основной приведенной погрешности;
- определение основной приведенной погрешности цифроаналоговых преобразователей «параметр–ток» (для модификаций ТРМ с индексом «И»).

При проведении поверки приборов должны применяться следующие средства измерений:

- компаратор напряжений Р3003 – класс точности 0,0005;
- калибратор тока П321 – основная погрешность $\pm 0,01\%$ в диапазоне от 10 до 10 А;
- калибратор напряжения П320 – предел 100 мВ, $\delta = \pm 0,015\%$;
- магазин сопротивлений Р4831 – класс точности 0,02;
- вольтметр универсальный В7-53/1 – диапазоны измерений (0...300) В, (0...1) А;
- частотомер ЧЗ-35А – диапазон измерения от 10 Гц до 50 МГц, с погрешностью измерения $2 \cdot 10^{-7}$;
- мегомметр М4100/3 ($U = 500\text{В}$) – класс точности 1,0;
- термометр ТЛ-4 – от 0 до 55 °С, ц. д. 0,1 °С.

Проверку электрического сопротивления изоляции в нормальных климатических условиях и при температуре окружающего воздуха, соответствующей ее верхнему предельному значению, проводить по методике, изложенной в ГОСТ 12997.

Измерение сопротивления изоляции проводить при помощи мегомметра М4100/3.

Прибор считают выдержавшим испытание, если измеренное сопротивление изоляции для любой из приведенных пар точек не менее 20 МОм.

Определение основной приведенной погрешности прибора.

Контрольные точки для проверки диапазонов измерений и определения значения основной приведенной погрешности приведены в таблице 6 КУВФ.421210.002 МП [13].

1. Определение основной приведенной погрешности при работе с термопреобразователями сопротивления.

При первичной поверке значение основной приведенной погрешности прибора определять в контрольных точках для одного (любого) типа первичного преобразователя из числа предусмотренных к применению в данном исполнении ТРМ.

При периодической поверке в случае, когда комплектация прибора ТРМ первичными преобразователями (датчиками) не известна, либо

может изменяться в процессе эксплуатации прибора, поверка производится в контрольных точках для каждого типа первичного преобразователя предусмотренных к применению в данном исполнении ТРМ.

В случае, когда прибор ТРМ работает только с заданным пользователем типом первичного преобразователя, допускается определять погрешность прибора при работе только с указанным преобразователем, при этом в свидетельстве о поверке указываются тип первичного преобразователя и диапазон измерений.

К входу поверяемого канала прибора вместо термопреобразователя сопротивления подключить магазин сопротивлений Р4831. Подключение магазина к прибору производить с помощью трехпроводной линии по схеме подключения (рис. 3.17). При этом сопротивления соединительных проводов должны быть равными и не превышать 15 Ом.

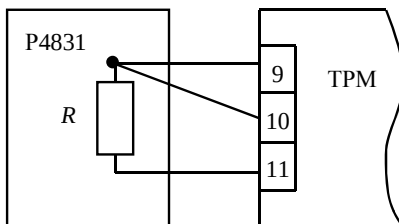
Последовательно устанавливать на магазине сопротивлений Р4831 сопротивления, соответствующие значениям входного сигнала в контрольных точках, приведенных в таблице 6 КУВФ.421210.002 МП в зависимости от модификации и исполнения прибора [13]. Зафиксировать по установившимся показаниям цифрового индикатора прибора измеренную прибором температуру для каждой контрольной точки.

Рассчитать для каждой контрольной точки основную приведенную погрешность по формуле

$$\gamma = \frac{T_{\text{изм}} - T_{\text{нсх}}}{T_{\text{норм}}} \cdot 100\%,$$

где γ – основная приведенная погрешность прибора; $T_{\text{изм}}$ – измеренное прибором значение температуры в заданной контрольной точке, °С; $T_{\text{нсх}}$ – значение температуры в заданной контрольной точке по НСХ термопреобразователя, °С; $T_{\text{норм}}$ – нормирующее значение, равное разности максимальной и минимальной температур диапазона измеряемых температур прибором, °С.

Результат считать положительным, если в каждой контрольной точке $|\gamma| < 0,25\%$ (0,5%).



**Рис. 3.17. Схема подключения
магазина сопротивлений
Р4831 к ТРМ1**

2. Определение основной приведенной погрешности при работе с преобразователями термоэлектрическими (термопарами).

Подключить к входу поверяемого прибора термоэлектродные провода, НСХ которых соответствуют НСХ преобразования термопары. Концы проводов соединить с медными проводами и спаи их (свободные концы) поместить в нулевой термостат с дистиллированной водой и тающим льдом, не менее чем за 0,5 ч до начала поверки. Концы медных проводов подключить к компаратору напряжений.

Подключение производить по схеме, изображенной на рис. 3.18.

Температуру свободных концов контролировать с помощью эталонного термометра для введения поправки на температуру свободных концов (при температуре, отличающейся от 0 °С более чем на 0,1 °С).

Последовательно устанавливать на компараторе напряжений напряжения, соответствующие контрольным точкам, приведенным в таблице 6 КУВФ.421210.002 МП в зависимости от модификации и исполнения прибора [13]. Зафиксировать по установившимся показаниям цифрового индикатора измеренную прибором ТРМ температуру для каждой из этих точек.

Рассчитать по формуле основную приведенную погрешность измерения входных сигналов термопар.

$$\gamma_2 = \frac{T_{\text{изм}} - T_{\text{уст}} - e}{T_{\text{норм}}} \cdot 100\%,$$

где γ_2 – основная приведенная погрешность прибора в контрольной точке, %; $T_{\text{изм}}$ – измеренное прибором значение температуры в заданной контрольной точке, °С; $T_{\text{уст}}$ – значение температуры в заданной контрольной точке по НСХ термопреобразователя, °С; $T_{\text{норм}}$ – нормирующее значение, равное разности максимальной и минимальной температур диапазона измеряемых температур прибором, °С; e – поправка на температуру свободных концов компенсационных проводов, °С.

Результат считать положительным, если в каждой контрольной точке $|\gamma_2| < 0,5\%$.

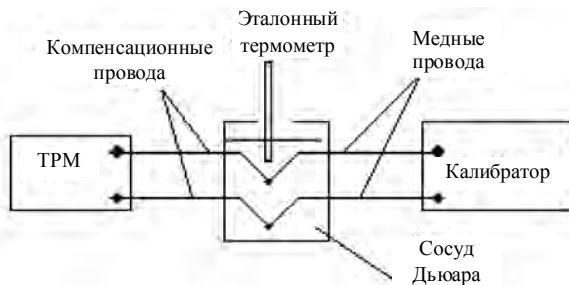


Рис. 3.18. Схема подключения компаратора напряжений Р3003 к ТРМ1

3. Определение основной приведенной погрешности прибора при работе с первичными преобразователями, формирующими выходной сигнал в виде постоянного тока.

К входу поверяемого канала прибора вместо первичного преобразователя подключить калибратор тока ПЗ21 (рис. 3.19).

Установить для поверяемого канала в программируемом параметре «Нижняя граница измерения первичного преобразователя» значение «000,0», а в параметре «Верхняя граница измерения первичного преобразователя» – значение «100,0».

Последовательно устанавливая на выходе калибратора токи, соответствующие значениям входного сигнала в контрольных точках, приведенных в таблице 6 КУВФ.421210.002 МП (для заданной данному входу НСХ), зафиксировать по показаниям цифрового индикатора установившиеся значения для каждой из этих точек [13].

Рассчитать для каждой контрольной точки основную приведенную погрешность прибора по формуле

$$\gamma = \frac{P_{\text{изм}} - P_{\text{нсх}}}{P_{\text{норм}}} \cdot 100\%,$$

где $P_{\text{изм}}$ – измеренное прибором значение сигнала в заданной контрольной точке; $P_{\text{нсх}}$ – значение сигнала в контрольной точке, соответствующее НСХ входного сигнала; $P_{\text{норм}}$ – нормирующее значение, равное разности между верхней и нижней границей диапазона измерений входного сигнала (100% и 0%).

Результат считать положительным, если в каждой контрольной точке основная приведенная погрешность не превышает значений, указанных в таблице 6 КУВФ.421210.002 МП в зависимости от модификации и исполнения прибора [13].

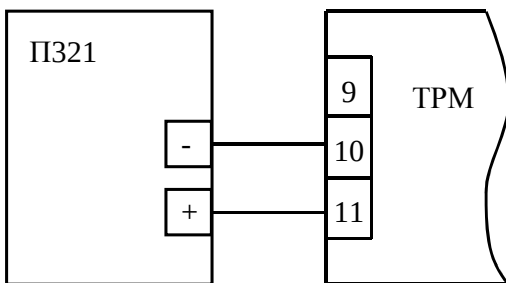


Рис. 3.19. Схема подключения калибратора тока ПЗ21 к ТРМ1

3.1.7. НАЛАДКА И ВКЛЮЧЕНИЕ В РАБОТУ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Наладка систем измерения температуры и включение их в работу выполняются наладочным персоналом после окончания монтажных работ.

В первую очередь проверяется правильность монтажа первичных измерительных преобразователей, каналов связи и вторичных измерительных приборов. Затем выполняются работы по наладке первичных измерительных преобразователей в комплекте с каналами связи.

После этого система измерения включается в работу.

3.1.7.1. Проверка монтажа и наладка термоэлектрических преобразователей

При наладке термоэлектрического преобразователя, прежде всего, обращают внимание на правильность монтажа и соответствие типа преобразователя и длины его монтажной части данным проектной документации.

Рабочий конец термоэлектрического преобразователя (горячий спай) должен располагаться в середине измеряемого потока. Конец погружаемой части преобразователя должен выступать за ось потока на 5...10 мм. При установке преобразователя в рабочем пространстве печей, в топках, газоходах и т.п. активная часть термоэлектрического преобразователя должна выступать на 20...50 мм в измеряемую среду.

При наладке необходимо проконтролировать фазировку самого термоэлектрического преобразователя (термопары). Следует помнить, что термоэлектрод алюмель – «минус» термопары ХА обладает магнитным свойством и притягивается магнитом. Термоэлектрод копель – «минус» термопары ХК имеет более светлый цвет, чем термоэлектрод хромель.

В затруднительных случаях полярность термоэлектродов может быть определена с помощью контрольного прибора (милливольтметра, переносного потенциометра). При соединении «плюса» контрольного прибора с «плюсом» термопары стрелка контрольного прибора отклоняется вправо.

С учетом того, что у всех термоэлектрических преобразователей промышленного изготовления должен маркироваться положительный термоэлектрод, следует проверить соответствие маркировки и действительной полярности электродов.

Следующая операция наладки преобразователя заключается в проверке сопротивления электрической изоляции между термоэлектродом и металлической частью защитной арматуры, а также между термоэлектродом многозонных и двойных преобразователей – с помощью тестера (омметра).

При низком сопротивлении изоляции следует проверить изоляцию испытательным напряжением с помощью мегаомметра на 500 В. Электрическая изоляция должна выдержать это напряжение в течение 1 мин при одних и тех же параметрах температуры и влажности окружающей среды.

Термоэлектродный провод должен быть подключен к зажимам в головке преобразователя в соответствии с полярностью жил.

При необходимости перед подключением термоэлектродного провода к преобразователю необходимо произвести прозвонку жил провода до прибора или сборки зажимов.

После указанных операций следует закрыть крышку на головке преобразователя, проверить наличие уплотнительной прокладки, сальника на вводе провода в головку, обеспечить мероприятия по взрывозащите, если преобразователь во взрывозащищенном исполнении и т.д.

Термоэлектродный провод должен быть проложен в защитных стальных трубах или коробах; не допускается совместная прокладка цепей управления, сигнализации и питания переменного тока с термоэлектродным проводом (кабелем).

При сращивании термоэлектродного провода жилы соответствующей полярности должны быть скручены, обязательно сварены и тщательно изолированы.

Сопротивление линии связи и термоэлектрического преобразователя милливольтметров $R_{вн}$ должно иметь определенное значение (5 или 15 Ом), указанное на шкале прибора.

После перечисленных операций наладка термоэлектрического преобразователя и линии связи считается законченной.

3.1.7.2. Проверка монтажа и наладка термопреобразователей сопротивления

При наладке термопреобразователей сопротивления прежде всего обращают внимание на правильность монтажа и соответствие типа термометра и длины его монтажной части данным проектной документации.

Конец погружаемой части термопреобразователя сопротивления должен размещаться ниже оси измеряемого потока для платиновых преобразователей – на 50...70 мм, для медных – на 25...30 мм.

Сопротивление электрической изоляции между обмотками и корпусом, а также между цепями преобразователей с двумя чувствительными элементами должно быть не менее 40 МОм.

Сопротивление изоляции можно измерить с помощью тестера (омметра).

При низком сопротивлении изоляции следует проверить ее мегаомметром на испытательное напряжение переменного тока 500 В при температуре (20 ± 5) °С и относительной влажности окружающего воздуха до 80%. Электрическая изоляция должна выдержать указанное напряжение в течение 1 мин.

Термопреобразователь сопротивления может подключаться к измерительному прибору (логометру, автоматическому мосту) по двух- или трехпроводной схеме присоединения.

Двухпроводную схему подключения применяют в условиях незначительного изменения температуры окружающей среды в месте прокладки соединительного провода (кабеля) и только при работе с логометрами.

Сопротивление линии связи для логометра не должно превышать значения, обозначенного на шкале прибора.

Допускаемое отклонение сопротивления катушек должно быть не более $+0,05 R_{\text{л}}$, где $R_{\text{л}}$ – сопротивление внешней соединительной линии логометра.

При трехпроводной схеме включения прибора проверяется правильность прозвонки соединительных проводов, а затем производится подгонка сопротивления каждого из двух проводов до значения, равного половине значения внешнего сопротивления, указанного на шкале прибора.

Третий провод подключается к одному из соединительных проводов на зажимах головки термопреобразователя сопротивления.

3.1.7.3. Наладка и включение системы в работу

После проверки правильности подключения силовых цепей питания, заземления и проведения наладочных операций система измерения температуры включается в работу.

При работе систем на действующем технологическом объекте, а также в период подготовки к включению может возникнуть необходимость в проверке основной погрешности измерительных приборов.

Для этого (с разрешения руководящего технологического персонала) следует отключить от вторичного прибора внешние термоэлектродные провода, подключить образцовый прибор и проверить вторичный прибор на всех оцифрованных отметках шкалы.

Необходимо помнить, что термоэлектрические преобразователи и термопреобразователи сопротивления имеют различные нормированные показатели тепловой инерции. Поэтому в необходимых случаях для уменьшения динамических погрешностей измерения температур следует применять термопреобразователи с меньшими показателями тепловой инерции.

Для этих же целей защитную арматуру, в которую устанавливается термопреобразователь, заполняют трансформаторным маслом или медными опилками.

Работоспособность потенциометра можно определить, закоротив концы термоэлектродного провода на колодке прибора. Показание прибора в этом случае должно соответствовать температуре медной катушки.

При включении измерительной системы может выявиться влияние внешних электрических помех на показания потенциометра.

Наладочный персонал должен уметь правильно оценить влияние помех на работоспособность измерительной системы температуры в целом.

Источниками внешних помех могут быть оборудование, создающее сильные магнитные поля, радиоустановки и т.п.

Внешние помехи разделяются на поперечные и продольные. Поперечной помехой называется паразитное напряжение между входными зажимами измерительной схемы прибора, а продольной – паразитное напряжение между любым зажимом измерительной схемы и заземленным корпусом прибора.

Поперечные и продольные помехи могут быть постоянного или переменного тока. В некоторых случаях помеху трудно отличить от измеряемой величины. Это относится, например, к поперечным помехам постоянного тока.

Основными источниками возникновения поперечных помех являются электромагнитные паводки на термопреобразователь и линии связи, а также паразитные термоЭДС в местах спаев различных термоэлектрических материалов.

Поперечная помеха, попадая на вход измерительной схемы прибора и действуя совместно с полезным сигналом от первичного преобразователя, вызывает дополнительную погрешность показаний измерительного прибора.

Напряжение продольной помехи сказывается на показаниях прибора в том случае, когда оно преобразуется в напряжение поперечной помехи, например при заниженном сопротивлении изоляции между входом измерительной схемы и корпусом прибора.

Для исключения поперечной помехи от паразитной термоЭДС, возникающей в местах спая разнородных материалов, необходимо применять термоэлектродный провод, имеющий характеристики, идентичные характеристикам материала электродов термоэлектрического преобразователя. При невозможности выполнения этого условия следует термоэлектродный или другой провод стыковать так, чтобы спаи имели одну и ту же температуру.

Поперечные помехи, действующие на соединительные провода, уменьшаются при скручивании соединительных проводов, электростатическом экранировании, и при заземлении экрана в одной точке, обычно при заземленном термопреобразователе.

Для уменьшения влияния продольной помехи в приборе должна быть обеспечена высокая степень изоляции входных цепей и измерительной схемы путем устранения или уменьшения всех емкостей относительно заземленного корпуса прибора.

3.2. НАЛАДКА СРЕДСТВ И СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Под давлением понимается физическая величина, характеризующая напряженное состояние сред – жидких и газообразных, подчиняющихся закону Паскаля, в которых при равновесии касательные напряжения отсутствуют.

В технике измерений существуют понятия абсолютного, атмосферного, избыточного и вакуумметрического давления.

Абсолютное давление – давление, при измерении которого за начало отсчета принимают абсолютный нуль давления.

Абсолютный нуль давления может существовать либо в замкнутом объеме, из которого удалены все молекулы, либо при полном прекращении движения молекул, т.е. при абсолютной температуре (ОК).

Атмосферное давление – абсолютное давление околоземной атмосферы.

Избыточное давление – разность абсолютного и атмосферного давлений.

Вакуумметрическое давление – разность атмосферного и абсолютного давлений.

Предмонтажная проверка датчиков давления и перепада давления производится при температуре окружающей среды $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

В соответствии с таблицами стандартных справочных данных ГСССД 2–77 (Вода. Плотность при атмосферном давлении и температурах от 0 до 100°C) и ГСССД 3–77 (Ртуть. Плотность ртути и коэффициент термического расширения при атмосферном давлении и температурах от 0 до 350°C) плотность воды и ртути при температуре 20°C равна соответственно 998,2 и 13545 кг/м. Для этой же температуры принято, что давлению 1 кгс/см соответствует давление 738,0 мм рт. ст.

Исходя из указанных значений рассчитаны таблицы для диапазонов измерения датчиков (приборов) давления, выраженных в единицах системы СИ, в то время как образцовые средства измерений отградуированы во внесистемных единицах давления [14].

Для измерения давления применяют соответственно манометры абсолютного давления, барометры, манометры (дифманометры) избыточного давления и вакуумметры, а также измерительные преобразователи (датчики) тех же наименований.

Измерительные преобразователи, как правило, не имеют шкалы (диаграммы), позволяющей непосредственно оценить давление, а преобразуют его в унифицированный выходной сигнал (например, токовый, напряжения или пневматический).

В промышленных установках наиболее распространены манометры избыточного давления, имеющие обычно нулевую точку отсчета (от атмосферного давления). Применяются и узкопредельные манометры – манометры с безнулевой шкалой.

Манометры избыточного давления в газовых средах с верхним пределом измерения не более 40 кПа называются напоромерами.

Вакуумметры применяют для измерения давления разреженного газа. Вакуумметры для измерения давления разреженного газа с верхним пределом измерения не более – 40 кПа называются тягомерами.

Имеется группа приборов – мановакуумметров, предназначенных для измерения избыточного давления и давления разреженного газа.

Мановакуумметры для газовых сред с верхним пределом измерения не более 20 кПа называются тягонапоромерами.

Разность двух давлений измеряют дифференциальными манометрами (дифманометрами).

Манометры применяют для измерения постоянных и переменных по направлению давлений.

Постоянным давлением считают давление, не изменяющееся или плавно изменяющееся по времени со скоростью не более 1%/с от суммы верхних пределов измерений приборов.

Переменным считают давление, плавно и многократно возрастающее или убывающее по любому периодическому закону со скоростью от 1 до 10%/с от суммы верхних пределов измерений.

По принципу действия манометры подразделяются на следующие виды: жидкостный, грузопоршневой, деформационный, электрический, электронный, ионизационный, тепловой, вязкостный.

Наибольшее распространение в промышленности имеют манометры деформационного вида (мембранные, сильфонные, трубчатопружинные – по типу чувствительного элемента), электрические (пьезометрические, сопротивления, ионизационные), принцип действия которых основан на зависимости электрических параметров от измеряемого давления, и грузопоршневые, применяемые в качестве образцовых средств измерений.

По выходному сигналу измерительные преобразователи давления (ИПД) подразделяются на аналоговые и цифровые. Основной парк действующих ИПД относится к аналоговым с унифицированным токовым сигналом 0...5, 0...20 или 4...20 мА. В последнее десятилетие наметился переход к ИПД с цифровым выходом. Широкое распространение получил цифровой протокол HART. Этот открытый стандартный гибридный протокол двунаправленной связи предусматривает передачу цифровой информации поверх стандартного аналогового сигнала 4...20 мА.

Активно развивается разработка и расширяется использование ИПД с поддержкой различных разновидностей промышленных сетей, например, Foundation Fieldbus, ModBus, Profibus и др. При этом используется полностью цифровой коммуникационный протокол для передачи информации в обоих направлениях между ИПД и системами управления.

3.2.1. ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ

Системы измерения давления сред на современных автоматизированных производствах используют в качестве первичных преобразователей измерительные преобразователи (датчики) давления и вакуума с выходными электрическими токовыми, цифровыми или пневматическими сигналами.

Эти датчики по сравнению с показывающими манометрами имеют значительно более высокий класс точности, более трудоемки в наладке, при проверке требуют применения высокоточных образцовых средств измерения на входе и выходе прибора.

Далее рассматриваются именно эти преобразователи – датчики.

В настоящее время на рынке присутствует большая номенклатура преобразователей (датчиков) давления различных производителей. Рассмотрим ИПД типа «Сапфир-22» (ОАО «Теплоконтроль», г. Казань), датчики давления типа АИР-10 (НПП «Элемер», г. Зеленоград) с унифицированными выходными токовыми сигналами.

Преобразователи давления типа «Сапфир-22» [15].

Преобразователи давления этого типа служат: для измерения абсолютного давления («Сапфир-22ДА»), причем различные модели имеют верхние пределы измерений от 3 кПа до 16 МПа; измерения избыточного давления («Сапфир-22ДИ») с верхними пределами измерений от 0,16 кПа до 100 МПа; измерения вакуума («Сапфир-22ДВ») с верхними пределами измерений от 0,16 до 100 кПа; измерения давления – разрежения («Сапфир-22ДИВ») с диапазонами верхних и нижних пределов изме-

рений от $\pm 0,08$ до $- 0,1$ МПа или 2,4 МПа; измерения разности давлений («Сапфир-22ДД») в пределах от 0,16 кПа до 16 МПа; измерения гидростатического давления («Сапфир-22ДГ») в пределах от 2,5 до 250 кПа.

Значение измеряемого параметра, равное нулю, для преобразователей типа «Сапфир-22ДИВ» находится внутри диапазона измерения.

Преобразователи давления типа «Сапфир-22» выпускаются также во взрывозащищенном исполнении («Сапфир-22*-Вн»). Маркировка по взрывозащите, вид взрывозащиты:

- взрывонепроницаемая оболочка – 1ExdII BT4/H₂;
- искробезопасная электрическая цепь – 0ExiaII CT4 X.

Предел допускаемой основной погрешности преобразователей составляет 1,0, 0,15, 0,2, 0,25 и 0,5% в зависимости измеряемого параметра и верхнего предела измерения.

Выходной сигнал преобразователей может быть в диапазонах 0...5, 0...20, 4...20 мА.

Предел допускаемой основной погрешности преобразователей давления, выраженный в процентах нормирующего значения, численно равен классу точности.

За нормирующее значение для преобразователей «Сапфир-22ДИВ» принимают сумму абсолютных значений верхних пределов измерений избыточного давления и вакуума (разрежения), для остальных преобразователей – верхний предел измерения входного параметра.

За нормирующее значение преобразователей также может быть принят диапазон изменения выходного сигнала.

Расчетное значение выходного сигнала $I_{\text{расч}}$ для любого заданного значения входного параметра преобразователей давления с диапазоном изменения выходного сигнала 0...5 или 0...20 мА, кроме преобразователей типа «Сапфир-22ДИВ», определяется по формуле

$$I_{\text{расч}} = \frac{PI_{\text{max}}}{P_{\text{max}}}, \quad (3.9)$$

где P и P_{max} – соответственно заданное и максимальное (верхний предел измерения) значения давления, Па; I_{max} – верхнее предельное номинальное значение выходного сигнала, мА.

Для указанных выше преобразователей давления с диапазоном изменения выходного сигнала 4...20 мА расчетное значение выходного сигнала определяется по формуле

$$I_{\text{расч}} = \frac{P(I_{\text{max}} - I_{\text{min}})}{P_{\text{max}}} + I_{\text{min}}, \quad (3.10)$$

где I_{min} – нижнее предельное номинальное значение выходного сигнала, мА.

Расчетное значение выходного сигнала $I_{\text{расч}}$ для любого заданного значения P входного параметра преобразователей типа «Сапфир-22ДИВ» с диапазонами изменения выходного сигнала 0...5 или 0...20 мА определяется по следующим формулам:

- при измерении избыточного давления

$$I_{\text{расч}} = \frac{(P_{\text{вак max}} + P)I_{\text{max}}}{P_{\text{вак max}} + P_{\text{изб max}}}; \quad (3.11)$$

- при измерении вакуума

$$I_{\text{расч}} = \frac{(P_{\text{вак max}} - P)I_{\text{max}}}{P_{\text{вак max}} + P_{\text{изб max}}}, \quad (3.12)$$

где $P_{\text{вак max}}$ и $P_{\text{изб max}}$ – верхние пределы измерения давления по вакуумметрическому и манометрическому диапазонам преобразователя, Па.

Расчетное значение выходного сигнала $I_{\text{расч}}$ для любого заданного значения P входного давления преобразователей типа Сапфир-22ДИВ с диапазонами изменения выходного сигнала 4...20 мА определяется по следующим формулам:

- при измерении избыточного давления

$$I_{\text{расч}} = \frac{(P_{\text{вак max}} + P)(I_{\text{max}} - I_{\text{min}})}{P_{\text{вак max}} + P_{\text{изб max}}} + I_{\text{min}}; \quad (3.13)$$

- при измерении вакуума

$$I_{\text{расч}} = \frac{(P_{\text{вак max}} - P)(I_{\text{max}} - I_{\text{min}})}{P_{\text{вак max}} + P_{\text{изб max}}} + I_{\text{min}}. \quad (3.14)$$

Преобразователи давления типа АИР-10 [5].

Измерительные преобразователи давления АИР-10 предназначены для непрерывного преобразования значений избыточного давления, абсолютного давления и разности давлений жидких и газообразных, в том числе агрессивных, сред в унифицированный выходной токовый сигнал. АИР-10 используются в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами.

Преобразователи выпускаются в двух модификациях АИР-10/М1 и АИР-10/М2, отличающихся конструктивным исполнением и устойчивостью к электромагнитным помехам. Каждая из модификаций имеет общепромышленное исполнение и взрывозащищенное исполнение с уровнем взрывозащиты «особовзрывобезопасный» и видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» уровня «ia» (маркировка взрывозащиты «0ExiaIICT6»).

Преобразователи АИР-10 являются микропроцессорными устройствами и могут подключаться к компьютеру посредством интерфейса RS-232 для градуировки и конфигурирования. Конфигурирование АИР-10 включает: изменение диапазонов измерения; выбор зависимости выходного сигнала от входного (возрастающей – 4...20 мА или убывающей – 20...4 мА); установку числа усреднений (времени демпфирования); изменение зависимости выходного сигнала от входного с линейной на корнеизвлекающую и обратно (для АИР-10/М1-ДД, АИР-10/М2-ДД).

Конструктивно АИР-10 состоит из стального цилиндрического корпуса, в котором размещены модули электронного устройства. С одного торца корпуса ввинчен штуцер с тензопреобразователем, на другом конце корпуса установлена герметичная вилка для подключения к токовой петле 4...20 мА. Вилка устанавливается через резиновое уплотнительное кольцо и закрепляется пластмассовой гайкой, которая наворачивается на внешнюю резьбу корпуса.

Доступ к органам управления и присоединения осуществляется посредством снятия вилки внешнего подключения, для чего отворачивают пластмассовую гайку крепления и снимают вилку с уплотнительным кольцом. За вилкой внешнего подключения расположены (рис. 3.20): кнопка подстройки «нуля» 1; переключатели для задания конфигурации 2; вилка для подключения к интерфейсу RS 232 3; переключатель 4.

Кнопка 1 продублирована герконом (устанавливается по заказу для АИР-10-ДИ и АИР-10-ДД), зона расположения которого показана на наклейке. При поднесении магнитного брелока (по заказу) к этой зоне производится подстройка «нуля» измеряемого сигнала так же, как при нажатии кнопки 1. Пределы измерений преобразователей АИР представлены в табл. 3.8.

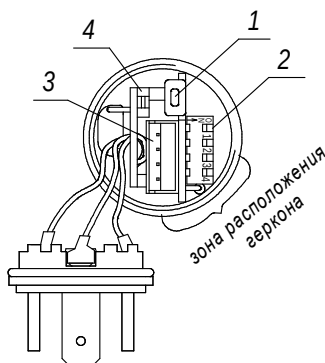


Рис. 3.20. Вид на плату конфигурации преобразователя АИР-10

3.8. Пределы измерений преобразователей АИР-10 (ДА, ДИ, ДВ, ДГ)

Измерительный преобразователь	Код модели	Максимальный верхний предел измерения		Ряд верхних пределов измерений по ГОСТ 22520–85
		кПа	МПа	
АИР-10/М1-ДА АИР-10Ех/М1-ДА АИР-10/М2-ДА АИР-10Ех/М2-ДА	1065		2,5	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5
	1055	600		25, 40, 60, 100, 160, 250, 400, 600
	1035	100		4, 6, 10, 16, 25, 40, 60, 100
АИР-10/М1-ДИ АИР-10Ех/М1-ДИ АИР-10/М2-ДИ АИР-10Ех/М2-ДИ	1190, 1195		60	2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 40; 60
	1180, 1185		16	0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16
	1170, 1175		6,0	0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0
	1160, 1165		2,5	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5
	1150, 1155	600		25, 40, 60, 100, 160, 250, 400, 600
	1145	250		10, 16, 25, 40, 60, 100, 160, 250
	1135	100		4, 6, 10, 16, 25, 40, 60, 100
АИР-10/М1-ДД АИР-10Ех/М1-ДД АИР-10/М2-ДД АИР-10Ех/М2-ДД				
	1450	600		25, 40, 60, 100, 160, 250, 400, 600
	1430	100		4, 6, 10, 16, 25, 40, 60, 100
	1420	40		1,6; 2,5; 4,0; 6,0 (6,3); 10; 16; 25; 40
	1400	4		0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0

Питание АИР-10 осуществляется от источников постоянного тока напряжением от 9 до 36 В при номинальном значении ($24^{+0,48}_{-0,48}$) В или ($36^{+0,72}_{-0,72}$) В. Мощность, потребляемая АИР-10, не превышает 0,6 Вт для напряжения питания 24 В и 1 Вт для напряжения питания 36 В. Схема подключения АИР-10 показана на рис. 3.21.

Питание взрывозащищенных преобразователей АИР-10Ех/М1, АИР-10Ех/М2 должно осуществляться от искробезопасных источников постоянного тока напряжением 24 В или источников питания в комплекте с барьерами искрозащиты или с преобразователями измерительными модульными ИПМ 0299Ех/М1 (или ИПМ 0399Ех/М3) с уровнем взрывозащиты «особовзрывобезопасный». Выходные цепи взрывозащищенных преобразователей АИР-10Ех/М1, АИР-10Ех/М2 рассчитаны на подключение к искробезопасным сигнальным цепям с унифицированным сигналом постоянного тока 4...20 или 20...4 мА (рис. 3.22).

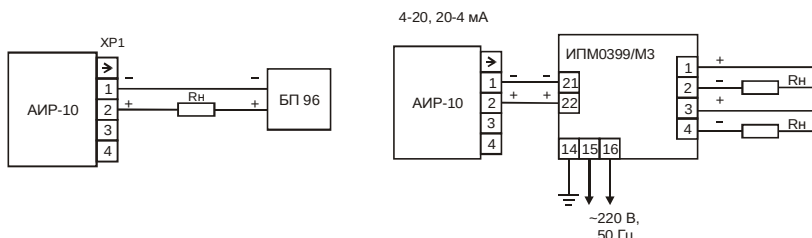


Рис. 3.21. Электрическая схема подключений АИР-10:

БП 96 – блок питания; R_n – сопротивление нагрузки

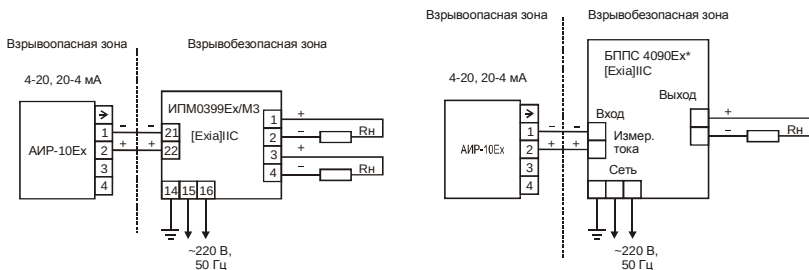


Рис. 3.22. Электрическая схема подключений АИР-10Ех:

БППС 4090 – блок питания и преобразования сигнала искрозащитный; ИПМ0399Ех – искробезопасный измерительный модульный преобразователь; R_n – нагрузка (например, вход контроллера)

Номинальная статическая характеристика АИР-10-ДА, АИР-10-ДИ, АИР-10-ДД с линейной зависимостью соответствует следующему виду:

$$I = \frac{P - P_{\text{н}}}{P_{\text{в}} - P_{\text{н}}} (I_{\text{в}} - I_{\text{н}}) + I_{\text{н}}, \quad (3.15)$$

где $I_{\text{в}}, I_{\text{н}}$ – верхнее и нижнее предельные значения выходного сигнала, мА; $P_{\text{в}}, P_{\text{н}}$ – верхний и нижний пределы измерений давления, кПа, МПа или кгс/см²; P – значение измеряемого давления в тех же единицах, что и $P_{\text{в}}, P_{\text{н}}$.

Номинальная статическая характеристика преобразователей АИР-10-ДИВ с линейной зависимостью соответствует следующему виду:

$$I = \frac{P + P_{\text{рв}}}{P_{\text{ив}} + P_{\text{рв}}} (I_{\text{в}} - I_{\text{н}}) + I_{\text{н}}, \quad (3.16)$$

где $P_{\text{ив}}$ и $P_{\text{рв}}$ – верхние пределы измерений избыточного давления и разрежения соответственно, а значения P имеют знак минус при измерении разрежения и знак плюс – при измерении избыточного давления.

3.2.2. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ И ПРЕДМОНТАЖНАЯ ПРОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Подготовительные работы по наладке систем измерения давления заключаются в изучении систем автоматизации, предусмотренных проектной документацией.

Особое внимание уделяется датчикам и приборам давления, работающим во взрывоопасных условиях и в агрессивных средах.

При использовании в проекте автоматизации разделительных сосудов в системах измерения давления необходимо совместно с технологами определить вид разделительной жидкости, нейтральной по отношению к измеряемой среде.

В процессе подготовки к предмонтажной проверке средств измерений и автоматизации (СИА) оборудуют рабочие места, выбирают проверочные приспособления и устройства, собирают схемы проверок.

В качестве примера рассмотрим особенности предмонтажной проверки преобразователя давления системы «Сапфир-22» и АИР-10.

3.2.2.1. Проверка преобразователей давления системы «Сапфир-22»

Проверка преобразователей давления системы «Сапфир-22» производится в соответствии с «Методическими указаниями по проверке МИ 1997–89» [17].

При проведении проверки должны соблюдаться следующие условия:

- преобразователи должны быть установлены в рабочее положение;
- температура окружающей среды должна быть $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, преобразователи должны быть предварительно выдержаны при указанной температуре окружающей среды не менее 3 ч;
- относительная влажность окружающей среды должна быть от 30 до 80%;
- атмосферное давление должно быть от 84 до 106,7 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.);
- напряжение питания должно быть $36 \pm 0,72$ В постоянного тока, пульсация напряжения не должна превышать $\pm 0,5\%$ значения напряжения питания;
- температура измеряемой среды в камерах преобразователей не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на $\pm 2^\circ\text{C}$;
- вибрация, тряска, удары, наклоны и магнитные поля (кроме земного), влияющие на работу преобразователя, должны отсутствовать;
- выдержка преобразователя перед началом испытания после включения питания должна быть не менее 30 мин;
- нагрузочные сопротивления должны быть: (500 ± 50) Ом – при проверке преобразователей с предельными значениями выходного сигнала 0...20 или 4...20 мА, (1200 ± 50) Ом – при проверке преобразователей с предельными значениями выходного сигнала 0...5 мА;
- измеряемая среда должна быть: для преобразователей с верхними пределами до 2,5 МПа включительно – воздух или нейтральный газ, для преобразователей с пределом более 2,5 МПа – жидкость.

При проведении проверки необходимо выполнить следующие операции: внешний осмотр, опробование, определение герметичности, определение основной погрешности и вариации выходного сигнала.

Перед сборкой поверочной схемы необходимо выбрать образцовые средства, которые подключаются для контроля входного и выходного сигналов.

Основную погрешность определяют следующими способами:

- 1) по образцовому средству измерения (СИ) на входе преобразователя устанавливают измеряемый параметр, равный номинальному, а по другому образцовому СИ измеряют значение выходного сигнала;
- 2) по образцовому средству измерения (СИ) на входе преобразователя устанавливают расчетное значение выходного сигнала, соответствующее номинальному значению измеряемого параметра, а по другому образцовому СИ измеряют значение этого параметра на входе преобразователя;

3) сравнением выходных сигналов поверяемого и образцового преобразователей.

Схемы подключения преобразователей для измерения выходного сигнала при проведении поверки по указанным выше способам приведены в приложениях 1 – 10 [17].

При способе поверки, когда по образцовому прибору на входе преобразователя давления устанавливают заданное значение давления, а по другому образцовому прибору измеряют и сравнивают с расчетным значением выходной токовый сигнал, должно соблюдаться следующее условие:

$$\left(\frac{\Delta_P}{P_{\max}} + \frac{\Delta_I}{I_{\max} - I_0} \right) \cdot 100 = L_p \gamma, \quad (3.17)$$

где Δ_P – предел допускаемой абсолютной погрешности образцового прибора, контролирующего входной параметр при давлении или разряжении, равном верхнему пределу измерений поверяемого преобразователя, кПа, МПа; $P_{\max}$ – верхний предел измерений (или диапазон измерений для преобразователей «Сапфир-22ДИВ») поверяемого преобразователя, кПа, МПа; Δ_I – предел допускаемой абсолютной погрешности образцового прибора, контролирующего выходной сигнал, при верхнем предельном значении выходного сигнала поверяемого преобразователя, мА; $I_{\max}$, I_0 – соответственно верхнее и нижнее предельные значения выходного сигнала, мА; L_p – отношение предела допускаемого значения погрешности образцовых СИ, примеряемых при проверке, к пределу допускаемого значения основной погрешности поверяемого преобразователя; γ – предел допускаемой основной погрешности поверяемого преобразователя в процентах нормирующего значения.

Пример 3.1. Требуется проверить соблюдение условия поверки преобразователя давления типа «Сапфир-22ДИ» класса точности 0,25 с верхним пределом измерения 1 МПа и выходным сигналом 4...20 мА, если на входе применяется грузопоршневой манометр типа МП-60 класса точности 0,05, а на выходе – прибор цифровой типа Ш68014 класса точности 0,02/0,01 на поддиапазоне 100 мА.

Предел допускаемой основной погрешности грузопоршневого манометра составляет $\Delta_P = 0,0005 \cdot 1000 = \pm 0,5$ кПа.

Предел допускаемой основной погрешности прибора Ш68014 при верхнем предельном значении выходного сигнала составляет $\Delta_I = 0,02 + 0,01 \cdot (100/20 - 1) = 0,06$, или в единицах тока $\Delta_I = 0,0006 \cdot 20 = \pm 0,012$ мА.

Тогда условие поверки (3.17) будет

$$(0,5/1000 + 0,012/16) \cdot 100 \leq (1/4) - 0,25, \text{ так как } 0,12 \geq 0,06,$$

то условие поверки не выполняется, и, следовательно, необходимо применить образцовые приборы более высокого класса точности, например грузопоршневой манометр класса точности 0,02 на входе и цифровой вольтметр типа Щ1516 класса точности 0,01 с образцовой катушкой типа Р321 класса точности 0,01 на выходе.

Пример 3.2. Требуется проверить соблюдение условия поверки преобразователя давления типа «Сапфир-22ДИ» класса точности 0,5 с верхним пределом измерения 2 кПа и выходным сигналом 4...20 мА, если на входе подключается микроманометр типа МКВ-250 класса точности 0,02, а на выходе – цифровой прибор типа Ш68014 класса точности 0,02/0,01 на поддиапазоне измерения 100 мА.

Предел допускаемой основной погрешности прибора МКВ-250 составляет $\Delta_p = 0,0002 \cdot 2 = \pm 0,0004$ кПа.

Предел допускаемой основной погрешности прибора Щ68014 на верхнем предельном значении выходного сигнала составляет (см. пример 3.1) $\Delta_I = \pm 0,012$ мА.

Тогда условие поверки (3.17) будет

$$(0,0004/2 + 0,012/16) \cdot 100 \leq (1/4) - 0,5, \text{ так как } 0,095 < 0,125.$$

условие поверки выполняется и выбранные образцовые средства пригодны для поверки.

После сборки поверочной схемы проверяют герметичность системы, состоящей из соединительных линий и образцовых приборов, под давлением, равным верхнему пределу измерений давления. Для определения герметичности систему после набора требуемого давления отключают от устройства, создающего давление (вакуум).

При опробовании проверяют работоспособность преобразователей и функционирование корректора нуля.

Работоспособность преобразователей проверяют, плавно изменяя измеряемое давление от нижнего предельного значения до верхнего. При этом выходной сигнал должен плавно изменяться в диапазоне изменения выходного сигнала.

Функционирование корректора нуля проверяют, задав любое значение измеряемого давления. При вращении корректора сначала по часовой стрелке, а затем против часовой стрелки должно наблюдаться соответствующее изменение выходного сигнала в сторону уменьшения и увеличения.

Определение герметичности преобразователей типа «Сапфир-22ДВ» с верхними пределами измерения менее 0,1 МПа и «Сапфир-22ДИ» производят при подаче в измерительную камеру вакуума или избыточного давления, соответственно равных верхнему пределу измерений. Определение герметичности преобразователей типа «Сапфир-22ДИВ» с верхними пределами измерения вакуума менее 0,1 МПа и избыточного давления от 0,3 до 2,4 МПа производят при подаче в измерительную камеру избыточного давления, равного верхнему пределу измерений.

Преобразователь считают герметичным, если 3 мин выдержки под давлением (вакуумом), указанным выше, в течение последующих 2 мин не наблюдается изменение выходного сигнала.

При определении герметичности преобразователей типов «Сапфир-22ДВ» с верхним пределом измерений вакуума 0,1 МПа, «Сапфир-22ДИВ» с верхним пределом измерения вакуума 0,1 МПа и верхним пределом измерения избыточного давления до 0,25 МПа включительно, а также «Сапфир-22ДА» с верхним пределом измерения до 0,25 МПа в измерительной камере создают абсолютное давление не более 0,07 кПа (0,53 мм рт. ст.)

После отключения преобразователя от устройства, создающего абсолютное давление, и выдержки в течение 5 мин изменение выходного сигнала в последующие 3 мин не должно превышать 0,5% его диапазона.

Определение герметичности преобразователей «Сапфир-22ДА» с верхним пределом измерения более 0,25 МПа производят при создании абсолютного, равного верхнему пределу измерений, или избыточного давления, равного значению $P_{\max} = 1 \text{ кгс/см}^2$.

Оценка герметичности преобразователя аналогична оценке герметичности преобразователей типа «Сапфир-22ДИ».

Допускается проверку герметичности преобразователей совмещать с проверкой герметичности системы, которая производится после сборки поверочной схемы.

Основную погрешность преобразователей давления определяют не менее чем на пяти значениях измеряемой величины, достаточно равномерно распределенных в диапазоне измерения, в том числе при значениях измеряемой величины, соответствующих нижнему и верхнему предельным значениям выходного сигнала.

Основную погрешность определяют при значении измеряемой величины, полученном при приближении к нему как от меньших значений к большим, так и от больших к меньшим (т.е. при прямом и обратном ходах).

Перед проверкой при обратном ходе преобразователь выдерживают в течение 5 мин под воздействием верхнего предельного значения измеряемого параметра, соответствующего предельному значению выходного сигнала.

Допускается выдержку преобразователей «Сапфир-22ДИВ» производить только на верхнем пределе измерений избыточного давления.

Если при поверке преобразователей давления типов «Сапфир-22ДИВ» и «Сапфир-22ДВ» с верхним пределом измерений вакуума 0,1 МПа атмосферное давление равно или менее 0,1 МПа, максимальное значение вакуума допускается устанавливать численно равным $0,95P_A$ (P_A – атмосферное давление в миллиметрах ртутного столба). Расчетные значения выходных сигналов при этом определяются по (3.11) – (3.14).

Преобразователь давления типа «Сапфир-22ДА» с верхним пределом измерения 0,1 МПа и выше поверяют в точках при вакууме, численно равном $0,95P_{\text{бар}}$, значении избыточного давления $P_{\text{изб max}}$ и трех-четырех промежуточных значениях давления.

Максимальное значение избыточного давления определяют по формуле

$$P_{\text{изб max}} = P_{\text{абс max}} - P_{A \text{ ном}}, \quad (3.18)$$

где $P_{\text{абс max}}$ – верхний предел измерений абсолютного давления, МПа; $P_{A \text{ ном}} = 0,1$ МПа – номинальное атмосферное давление.

Расчетные значения выходных сигналов $I_{\text{расч}}$ при задании вакуума определяются по формуле

$$I_{\text{расч}} = \frac{(P_{\text{бар}} - P_{\text{вак}})(I_{\text{max}} - I_0)}{P_{\text{абс max}}} + I_0, \quad (3.19)$$

где $P_{\text{бар}}$ – барометрическое давление во время поверки преобразователя, мм рт. ст., определяемое с точностью не хуже $\pm 0,8$ мм рт. ст.; $P_{\text{вак}}$ – значение задаваемого вакуума, мм рт. ст.

Расчетные значения выходных сигналов $I_{\text{расч}}$ при задании избыточного давления определяют по формуле

$$I_{\text{расч}} = \frac{(P_{\text{бар}} + P_{\text{изб}})(I_{\text{max}} - I_0)}{P_{\text{абс max}}} + I_0, \quad (3.20)$$

где $P_{\text{изб}}$ – значение задаваемого избыточного давления, мм рт. ст.

Перед проверкой корректором нуля устанавливают выходной сигнал на расчетное значение при задании вакуума, численно равного $0,95P_{\text{бар}}$. Расчетные значения выходных сигналов определяют по (3.19).

Если значение атмосферного давления находится в пределах от 700 до 770 мм рт. ст., то допускаются расчетные значения выходных сигналов определять по следующим формулам:

– при задании вакуума

$$I_{\text{расч}} = \frac{(P_{\text{бар}} - P_{\text{вак}})(I_{\text{max}} - I_0)}{P_{\text{абс max}}} + I_0. \quad (3.21)$$

– при задании избыточного давления

$$I_{\text{расч}} = \frac{(P_{\text{бар}} + P_{\text{изб}})(I_{\text{max}} - I_0)}{P_{\text{абс max}}} + I_0. \quad (3.22)$$

где $P_{\text{бар}} = P_A = 0,1$ МПа.

В этом случае следует:

- перед поверкой преобразователя корректором нуля установить значение выходного сигнала, равное расчетному, определяемому по формуле (3.21), при задании вакуума, численно равного $(0,9...0,95)P_{\text{бар}}$;
- произвести поверку при прямом и обратном ходах;
- создать в измерительной камере преобразователя абсолютное давление, равное $10^{-1}...10^{-2}$ мм рт. ст., и корректором нуля установить нижнее предельное значение выходного сигнала.

Перед определением основной погрешности любого преобразователя давления должно быть проверено и в случае необходимости откорректировано значение выходного сигнала, соответствующее нулевому значению измеряемого давления.

3.2.2.2. Проверка преобразователей давления АИР-10

Поверку АИР-10 проводят органы Государственной метрологической службы или другие аккредитованные по ПР 50.2.014–2003 на право поверки организации. Требования к организации, порядку проведения поверки и форма представления результатов поверки определяются ПР 50.2.006–94 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения».

Межповерочный интервал:

- три года для АИР-10-ДА, АИР-10-ДИВ, АИР-10-ДИ и АИР-10-ДД с индексом заказа А01 и В02, АИР-10-ДД модели 14х0 с индексом заказа В02 и С05;
- пять лет для АИР-10 с индексом заказа С05, кроме моделей 14х0.

Операции поверки. При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в табл. 3.9.

3.9. Операции поверки АИР-10

Операции поверки	Обязательность проведения поверки при	
	первичной поверке	периодической поверке
1. Внешний осмотр	Да	Да
2. Проверка герметичности системы	Да	Нет
3. Опробование	Да	Да
4. Проверка электрической прочности изоляции	Да	Нет
5. Проверка электрического сопротивления изоляции	Да	Нет
6. Определение основной приведенной погрешности	Да	Да
7. Обработка результатов поверки	Да	Да
8. Оформление результатов поверки	Да	Да

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха – 23 ± 2 °С;
- относительная влажность воздуха – 30...80%;
- атмосферное давление – 84,0...106,7 кПа (630...800 мм рт. ст.);
- напряжение питания – $36 \pm 0,72$ В или $24 \pm 0,48$ В;
- пульсация напряжения питания не должна превышать $\pm 0,5\%$ значения напряжения питания;
- нагрузочное сопротивление – 500 ± 50 Ом (для 36 В) или 250 ± 25 Ом (для 24 В);
- рабочая среда для АИР-10 с верхними пределами до 2,5 МПа включительно – воздух или нейтральный газ, более 2,5 МПа – жидкость; допускается использовать жидкость при поверке АИР-10 с верхними пределами измерений от 0,4 до 2,5 МПа при условии обеспечения тщательного заполнения системы жидкостью;
- внешние электрические и магнитные поля должны отсутствовать или находиться в пределах, не влияющих на работу АИР-10;
- вибрация, тряска, удары, влияющие на работу АИР-10 в процессе поверки, должны отсутствовать.

Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- АИР-10 должны быть выдержаны при температуре 23 ± 2 °С не менее 3 ч;

- выдержка АИР-10 перед началом испытаний после включения питания должна быть не менее 30 мин;

- АИР-10 должны быть установлены в рабочее положение.

Проведение поверки. При внешнем осмотре устанавливают отсутствие механических повреждений, соответствие маркировки, проверяют комплектность.

При наличии дефектов, влияющих на работоспособность АИР-10, несоответствия комплектности, маркировки определяют возможность дальнейшего их применения.

Проверку герметичности системы проводят при значении давления, равном максимальному верхнему пределу измерений поверяемого АИР-10.

При проверке герметичности системы, предназначенной для поверки АИР-10, на место поверяемого АИР-10 устанавливают преобразователь, герметичность которого проверена, или любое другое СИ, имеющее погрешность не более 2,5% и позволяющее фиксировать изменение давления, равное 0,5% заданного значения давления.

Создают давление, равное максимальному верхнему пределу измерений поверяемого АИР-10, и отключают источник давления. Если в качестве эталонного СИ применяют грузопоршневой манометр, его колонку и пресс также отключают.

Систему считают герметичной, если после трехминутной выдержки под давлением, равным верхнему пределу измерения, в течение последующих 2 мин в ней не наблюдают падения давления.

Если система предназначена для поверки АИР-10 с разными значениями верхних пределов измерений, проверку герметичности рекомендуется проводить при давлении, соответствующем наибольшему из этих значений.

При опробовании поверяемых АИР-10 проверяют их работоспособность с использованием прибора для измерения тока, например, с помощью автоматизированной системы поверки термопреобразователей производства «Элемер».

Проверку герметичности АИР-10 рекомендуется совмещать с операцией определения основной погрешности.

Методика проверки герметичности АИР-10 аналогична методике проверки герметичности системы. В случае обнаружения негерметичности системы с поверяемым АИР-10 следует проверить отдельно систему и АИР-10.

Проверку электрической прочности изоляции производят между контактами для подсоединения напряжения и корпусом с помощью установки GPI-745A, позволяющей поднимать напряжение равномерно ступенями, не превышающими 10% значения испытательного напряжения.

Испытательное напряжение следует повышать, начиная с нуля или со значения, не превышающего номинальное напряжение цепи до испытательного в течение не более 30 с.

Погрешность измерения испытательного напряжения не должна превышать $\pm 5\%$.

Изоляцию выдерживают под действием испытательного напряжения в течение 1 мин. Затем напряжение снижают до нуля или значения, не превышающего номинальное, после чего испытательную установку отключают.

Изоляция цепей АИР-10 должна выдерживать полное испытательное напряжение без пробоев и поверхностного перекрытия.

Проверку электрического сопротивления изоляции производят между контактами для подсоединения напряжения и корпусом с помощью мегаомметра Ф4102/1-1М. Сопротивление изоляции не должно быть менее 20 МОм при испытательном напряжении 500 В (для АИР-10Ех) и 250 В (для АИР-10).

Определение основной приведенной погрешности для всех диапазонов измерений

По эталонному средству измерений на входе АИР-10 устанавливают номинальное измеряемое давление, а по другому эталонному средству измерений измеряют выходной сигнал АИР-10.

Основную погрешность АИР-10 определяют как максимальное отклонение измеренных значений выходного сигнала от расчетных.

Проверка производится при значениях измеряемого давления, приведенных в табл. 3.10.

Основную погрешность определяют при значении измеряемого давления, полученном при приближении к нему как со стороны меньших, так и со стороны больших значений (при прямом и обратном ходах).

Перед проверкой при обратном ходе АИР-10 выдерживают в течение 5 мин под воздействием верхнего предельного значения давления.

После перехода на меньший диапазон АИР-10 выдерживают в течение 5 мин под воздействием нулевого давления.

Основную погрешность для конкретного диапазона измерений определяют в поверяемых точках, соответствующих 0, 25, 50, 75 и 100% диапазона измерений по методике рассмотренной выше.

3.10. Значение измеряемого давления в поверяемых точках

Условное обозначение верхнего предела (диапазона измерений)	Значение измеряемого давления в поверяемой точке, % от диапазона измерений, для			
	АИР-10-ДИВ			АИР-10-ДА АИР-10-ДИ АИР-10-ДД
	модель 1340	модели 135х	модели 136х	
1	0; 25; 50; 75; 100	0; 25; 50; 75; 100	0; 25; 50; 75; 100	0; 25; 50; 75; 100
2	100	100	100	100
3	0; 100	100	100	100
4	0; 100	100	100	100
5	0; 100	0; 100	100	100
6	0; 100	0; 100	100	100
7	0; 100	0; 100	100	100
8	0; 50; 100	0; 50; 100	0; 50; 100	0; 50; 100

Обработка результатов поверки. За нормирующее значение принимают разность верхнего и нижнего предельных значений унифицированного выходного сигнала.

Основную приведенную погрешность γ_1 вычисляют по формуле

$$\gamma_1 = \frac{I - I_p}{I_B - I_H} \cdot 100\%, \quad (3.23)$$

где I – измеренное значение выходного сигнала, мА; I_p – расчетное значение выходного сигнала, соответствующее проверяемому значению измеряемого давления, мА. При использовании ИКСУ-2000 основную приведенную погрешность γ_d , вычисляют по формуле

$$\gamma_d = \frac{P - P_3}{P_v - P_n} \cdot 100\%, \quad (3.24)$$

где P – значение давления, измеренное ИКСУ-2000; P_3 – давление, установленное на входе АИР-10 по эталонному средству измерений; P_v и P_n – верхний и нижний пределы измерений давления. Наибольшее из рассчитанных значений основной приведенной погрешности не должно превышать значений пределов допускаемой основной приведенной погрешности для конкретного индекса заказа (класса точности), указанных в табл. 2.5 – 2.7 [16].

3.2.3. ОСМОТР МОНТАЖА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ИСПОЛНЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

При проверке правильности монтажа средств измерений, входящих в каждую систему измерения давления, прежде всего обращают внимание на монтаж импульсных трубных проводок, выполненных от мест отбора давлений к датчикам (преобразователям) и приборам.

Требования, предъявляемые к монтажу каналов связи (как электрических, так и пневматических), прокладываемых от датчиков (преобразователей) к функциональным блокам, вторичным приборам и т.п., рассмотрены в разделе 2.

Необходимо проконтролировать, чтобы все датчики давления были установлены в рабочем положении, предусмотренном техническими описаниями и инструкциями по эксплуатации для конкретного типа датчиков.

Запорные вентили, установленные в местах отбора давлений и непосредственно у датчиков, должны быть закрыты.

3.3. НАЛАДКА СРЕДСТВ И СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

Расход вещества это физическая величина, характеризующая количество вещества, прошедшего через поперечное сечение канала (трубопровода, потока, водослива и т.п.) в единицу времени.

Количество вещества может выражаться величиной массы, величиной индивидуальной массы (количеством молей) и величиной объема. Соответственно, различают массовый расход, мольный расход и объемный расход.

Объемными единицами измерения расхода Q_v могут быть, например, $\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{мин}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, а массовыми Q_m – $\text{кг}/\text{с}$, $\text{кг}/\text{ч}$, $\text{т}/\text{ч}$.

Для пересчета массового расхода в объемный можно использовать зависимость $Q_v = Q_m / \rho$, где ρ – плотность среды в рабочих условиях.

В зависимости от конструкции преобразователя расхода, т.е. устройства, непосредственно воспринимающего измеряемый расход вещества, расходомеры делятся на соответствующие виды.

В настоящее время наиболее распространенными из них являются расходомеры переменного перепада давления, электромагнитные и ультразвуковые расходомеры.

Принцип действия расходомеров переменного перепада давления основан на измерении перепада давления на гидравлическом сопротивлении. При протекании потока через сужающее устройство скорость его повышается по сравнению со скоростью до сужения, а статическое давление падает. Зная диаметр трубопровода, плотность среды и перепад давления, можно определить мгновенную скорость потока, которая через известную площадь поперечного сечения трубопровода пересчитывается в объемный расход.

В качестве указанного неподвижного устройства используются стандартные сужающие устройства, выполняемые в соответствии с ГОСТ 8.586.1-5:2005 (рис. 3.23):

- расходомерная диафрагма (диафрагма), представляющая собой диск с отверстием;
- расходомерное сопло (сопло), представляющее собой устройство с круглым отверстием, имеющим плавно сужающуюся часть на входе и цилиндрическую часть на выходе, а в особых случаях – только сужающуюся или только цилиндрическую часть;
- расходомерная труба, представляющая собой устройство, имеющее на выходе диффузор, обычно в виде расходящегося конуса, предназначенного для возможно полного восстановления потенциальной энергии потока;
- сопло Вентури, представляющее собой устройство, имеющее входной цилиндрический участок, переходящий в сходящуюся коническую часть, цилиндрическую горловину и длинный диффузор.

Величина расхода определяется в соответствии с выражением

$$G = \beta \left(\pi D^2 / 4 \right) \sqrt{\Delta p}, \quad (3.25)$$

где β – коэффициент пропорциональности; D – внутренний диаметр трубопровода; Δp – величина перепада давления на сужающем устройстве.

Стандартные диафрагмы рассчитываются для трубопроводов диаметром не менее 50 мм, сопла – не менее 30 мм, а трубы Вентури – не менее 65 мм.

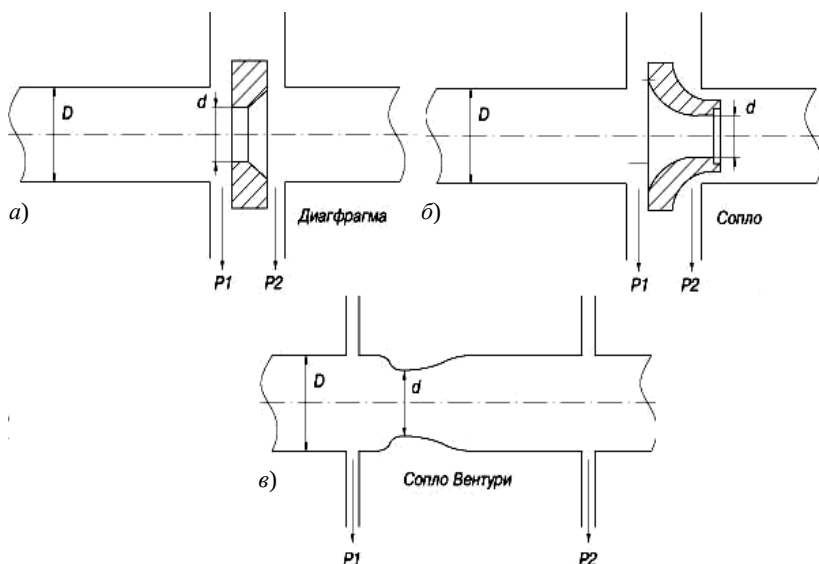


Рис. 3.23. Стандартные сужающие устройства

Применение метода переменного перепада давления при измерении расхода требует выполнения комплекса определенных условий:

- фазовое состояние потока не должно изменяться при прохождении сужающего устройства (к примеру, пар после прохождения диафрагмы не должен конденсироваться, вода вскипать);
- поток до и после сужения должен быть ламинарным, что требует значительных длин прямых участков до и после сужающих устройств, особенно после местных сопротивлений (насосы, клапаны – до 100 D_y);
- загрязнение среды не должно превышать предельных значений.

Преимуществами построения расходомеров на базе стандартных диафрагм, сопел и труб Вентури являются сравнительная техническая простота метода без применения сложных микропроцессорных устройств, возможность индикации расхода прямопоказывающим прибором с квадратичной шкалой и измерения расходов при малых скоростях течения жидкости или газов (0,1...0,5 м/с), очень высокая устойчивость к загрязнению измеряемой среды.

К недостаткам таких расходомеров следует отнести высокую трудоемкость монтажа, значительную потерю давления на сужающих устройствах (что требует дополнительных затрат на работу насосов),

трудность проведения проверок и невысокую точность при небольшом диапазоне изменения расхода (1:3) из-за наличия квадратичной шкалы.

Принцип действия электромагнитного расходомера заключается в следующем:

- электродвижущая сила индуцируется в проводнике, который пересекает силовые линии;
- ЭДС пропорциональна скорости движения проводника;
- направление тока, которое в этом случае возникает в проводнике, к направлению движения проводника и магнитному полю перпендикулярно (в соответствии с законом Фарадея об электромагнитной индукции);
- замена проводника производится струей проводящей жидкости, которая проходит между полюсами магнита;
- после этого проводится замер ЭДС, и получается схема электромагнитного расходомера.

Электромагнитный расходомер может быть выполнен с постоянной, либо электромагнитной, питаемой переменным током частотой (рис. 3.24).

Принцип действия ультразвукового расходомера основывается на измерении импульсов ультразвукового колебания в направлении движения жидкостного потока, идущего против него. Производят возбуждение импульсов пьезоэлектрических преобразователей, которые устанавливаются на определенном участке трубопровода с производимыми на нем замерами жидкости. Скорость потока измеряется одним или двумя лучами ультразвуковых колебаний, что напрямую зависит от установки пьезоэлектрических преобразователей относительно сечения потока.

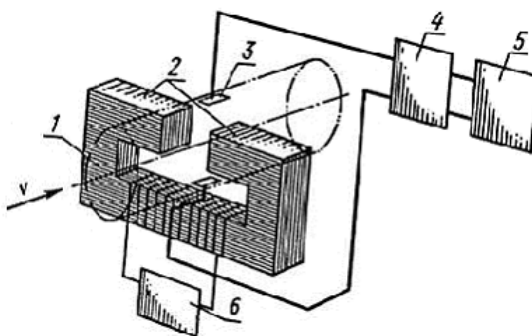


Рис. 3.24. Принципиальная схема электромагнитного расходомера:

1 – трубопровод; 2 – полюса магнита; 3 – электроды для съема ЭДС;

4 – электронный усилитель; 5 – отсчетная система;

6 – источник питания магнита

К стандартным (нормализованным) сужающим устройствам согласно ГОСТ 8.586.5–2005 относятся диафрагмы, сопла и трубы Вентури, применяющиеся для измерения расхода вещества без их индивидуальной градуировки.

Правила устанавливают требования к выполнению расходомерных устройств при их разработке, проектировании, монтаже, эксплуатации, поверке и требуют соблюдения следующих условий при измерении:

- условия проведения измерений должны соответствовать ГОСТ 8.586.1 (разделы 5, 6 и 7);
- характеристики окружающей среды при эксплуатации СИ должны соответствовать условиям применения средств измерения, установленным его изготовителем;
- диапазон измерений применяемого СИ должен быть не менее диапазона изменений измеряемой величины;
- метрологические характеристики СИ выбирают с учетом обеспечения необходимой неопределенности результатов измерений расхода и количества среды;
- характеристики энергоснабжения СИ в условиях эксплуатации должны соответствовать характеристикам СИ, установленным его изготовителем;
- измерения следует выполнять СИ, прошедшими поверку или калибровку в зависимости от сферы применения.

Средства измерения применяют в соответствии с требованиями технической документации по их эксплуатации.

3.3.1. ПРОВЕРКА РАСХОДОМЕРОВ ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ

Предмонтажную проверку расходомеров рассмотрим на примере расходомеров переменного перепада давления – дифманометров.

Практика проведения наладочных работ показывает, что предмонтажную проверку дифманометров следует проводить в собранном виде с вентильной арматурой.

Операцию сборки и дальнейшей опрессовки должен производить персонал заказчика с составлением соответствующей документации.

Предмонтажная проверка расходомеров представляет собой комплекс работ по проверке и определению соответствия основных технических характеристик требованиям, установленным в паспортах и инструкциях заводов изготовителей рабочих средств измерений.

Предмонтажная проверка производится в соответствии с требованиями нормативно-технической документации Госстандарта, технических описаний и инструкций по эксплуатации (или паспортов) конкретных типов дифманометров.

Следует учесть, что проверка расходомеров по метрологическим характеристикам требует особой внимательности и точности, поскольку по этим приборам при ведении технологического процесса подсчитывают материальный баланс на промежуточных стадиях, ведут учет расходов входных потоков и готовой продукции.

При проведении пусконаладочных работ нередки случаи, когда в ходе предмонтажной проверки производится подготовка расходомеров к проведению государственной или ведомственной поверки.

В этом случае к объему предмонтажной проверки (внешний осмотр, определение основной погрешности и вариации, определение сопротивления изоляции электрических цепей, юстировка) добавляются дополнительные операции в соответствии со стандартами на методы и средства поверки конкретных видов расходомеров.

Перед проверкой дифманометры должны быть установлены в рабочее положение.

Предмонтажную проверку следует проводить при температуре 20 °С, атмосферном давлении 760 мм рт. ст., относительной влажности 60%.

Допускаемые отклонения указанных параметров в зависимости от классов точности проверяемых приборов должны составлять:

- температуры – ± 2 °С для дифманометров и расходомеров классов точности 0,25; 0,4; 0,6 и 1; ± 5 °С для дифманометров и расходомеров классов точности 1,5; 2,0; 2,5 и 4,0;
- атмосферного давления – минус 10 мм рт. ст. для приборов всех классов точности;
- относительной влажности – 30...80% для приборов всех классов точности.

Дополнительными условиями для проведения предмонтажной проверки являются следующие:

- перед проверкой дифманометры должны быть выдержаны в помещении, где она производится, не менее 6 ч;
- напряжение питания должно отличаться от номинального значения не более чем на $\pm 2\%$. Частота переменного тока питания должна составлять $(50 \pm 0,5)$ Гц;
- давление питающего воздуха должно находиться в пределах $(140 \pm 4,2)$ кПа. Воздух должен быть чистым, не должен содержать влаги, масла и т.п. (в соответствии с ГОСТ 17433–80);

- внешние электрические и магнитные поля (кроме земного), влияющие на работу дифманометров, должны отсутствовать;
- тряска, вибрация и удары, влияющие на работу датчиков, должны отсутствовать;
- выдержка дифманометров перед проверкой после подачи напряжения питания должна быть не менее 30 мин.

Предел допускаемой основной погрешности для расходов выражают в форме приведенной погрешности.

Приведенная погрешность расходомера – отношение его абсолютной погрешности Δ к нормирующему значению x_N .

Нормирующим значением у дифманометров может быть диапазон измерения или изменения выходного сигнала.

Предел допускаемой основной погрешности расходомера (т.е. приведенную погрешность) выражают в процентах нормирующего значения. Ее значение равно классу точности расходомера.

Проведение предмонтажной проверки дифманометров-расходомеров подразумевает использование градуировочных таблиц или расчет значения перепада давлений для проверяемых отметок по шкале, или по выходному сигналу.

При выборе образцовых средств поверки дифманометров с токовыми выходными сигналами для определения погрешности и выходного сигнала дифманометра должно быть соблюдено по ГОСТ 8.240–77 следующее условие:

$$\left(\frac{\Delta_{\text{обр1}}}{h_{\text{max}}} + \frac{\Delta_{\text{обр2}}}{I_{\text{max}} - I_0} \right) \cdot 100 \leq C\gamma_{\text{пов}}, \quad (3.26)$$

где $\Delta_{\text{обр1}}$ – предел допускаемой абсолютной погрешности образцового прибора на входе дифманометра при давлении, равном предельному номинальному перепаду давлений поверяемого дифманометра; h_{max} – предельный номинальный перепад давления поверяемого дифманометра; $\Delta_{\text{обр2}}$ – предел допускаемой абсолютной погрешности образцового прибора на выходе дифманометра при выходном сигнале, равном I_{max} ; I_{max} – верхнее предельное значение выходного сигнала; I_0 – нижнее предельное значение выходного сигнала; $\gamma_{\text{пов}}$ – предел допускаемой основной погрешности поверяемого дифманометра, выраженный в процентах нормируемого значения; C – коэффициент запаса точности, равный 1/4 (1/3).

Температура измеряемой среды на входе в дифманометр не должна отличаться от температуры окружающего воздуха более чем на $\pm 5^\circ\text{C}$.

Перед проведением проверки необходимо выполнить подготовительные работы:

- дифманометр установить в рабочее положение;
- проверить герметичность системы (состоящей из соединительных линий и образцового прибора) давлением, равным предельному номинальному перепаду давления поверяемого дифманометра. При определении герметичности систему отключают от устройства, создающего давление. Систему считают герметичной, если после выдержки в течение 3 мин под давлением, равным предельному номинальному перепаду давлений, в течение последующих 2 мин в ней не наблюдается падение давления.

При проведении проверки должны выполняться следующие основные операции:

- установка начального значения выходного сигнала дифманометра;
- проверка герметичности между «плюсовой» и «минусовой» камерами измерительного блока;
- определение основной погрешности и вариации выходного сигнала.

Предел допускаемой основной погрешности дифманометра, выраженный в процентах нормирующего значения или диапазона изменения выходного сигнала, численно равен классу точности поверяемого дифманометра.

Нормирующее значение равно предельному номинальному перепаду давления (для дифманометров с линейной зависимостью выходного сигнала от измеряемого перепада давлений) или верхнему пределу измерения расхода (для дифманометров с квадратичной зависимостью выходного сигнала от измеряемого перепада давлений).

Расчетные значения выходных сигналов $I_{\text{расч}}$ при заданном номинальном перепаде давления h для преобразователей с линейной зависимостью между выходным сигналом и измеряемым перепадом давлений определяют по формуле

$$I_{\text{расч}} = \frac{(I_{\text{max}} - I_0)h}{h_{\text{max}}} + I_0, \quad (3.27)$$

где I_0 – начальное значение выходного сигнала; I_{max} – верхнее предельное номинальное значение выходного сигнала; h_{max} – предельный

номинальный перепад давления. Для преобразователей с квадратичной зависимостью выходного сигнала от измеряемого перепада давлений расчетные значения выходных сигналов определяют по формуле

$$I_{\text{расч}} = (I_{\text{max}} - I_0) \sqrt{\frac{h}{h_{\text{max}}}} + I_0. \quad (3.28)$$

При проверке герметичности в «плюсовую» камеру дифманометра подают давление, равное предельному номинальному перепаду давлений.

Допускается проводить проверку герметичности в процессе проверки основной погрешности дифманометра, выдерживая дифманометр под предельным номинальным перепадам давлений в течение 5 мин.

При проверке герметичности дифманометр отключают от устройства, создающего давление.

Дифманометр считают герметичным, если после 3 мин выдержки под давлением, равным предельному номинальному перепаду давлений, в течение последующих 2 мин не наблюдается изменения выходного сигнала.

Основную погрешность определяют путем установки по образцовому прибору на входе дифманометра номинального перепада давлений и измерения по другому образцовому прибору соответствующего выходного сигнала. При этом сравнивают абсолютную погрешность отклонения выходного сигнала дифманометра от его расчетного значения с пределом допускаемой основной погрешности, рассчитанным предварительно для данного дифманометра исходя из его класса точности.

Предел допускаемой основной погрешности дифманометров-расходомеров выражается в процентах (численно равных классу точности) диапазона измерений или диапазона изменения выходного сигнала.

Основная погрешность дифманометра определяется не менее чем на пяти значениях перепада давлений, в том числе при предельном номинальном значении перепада.

Проверку проводят при плавном нарастании перепада, а затем после выдержки под предельным номинальным перепадом давлений в течение не менее 5 мин – при плавно убывающем перепаде давлений.

Одними из наиболее распространенных датчиков перепада давлений можно считать преобразователи измерительные разности давлений типа «Сапфир-22ДД» и «Сапфир-22ДД-Вн». Преобразователи типа

«Сапфир-22ДД» предназначены для преобразования разности давлений среды, уровня жидкости, расхода жидкости или газа в унифицированный токовый сигнал для дистанционной передачи.

Проверку преобразователей разности давления системы «Сапфир-22» производится в соответствии с «Методическими указаниями по поверке МИ 1997–89 [17]. Пример поверки преобразователей давления системы «Сапфир-22» рассмотрен в главе 3.2.

3.3.2. ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РАСХОДОМЕРОВ

Электромагнитные расходомеры нашли широчайшее применение на объектах промышленности и ЖКХ. Среди наиболее распространенных расходомеров этого класса присутствуют расходомеры «ВЗЛЕТ ЭР» производства ЗАО «ВЗЛЕТ», ИПРЭ-7(Т) – ОАО «Арзамасский приборостроительный завод» (www.oaoapz.ru), ПРЭМ – ЗАО «НПФ Теплоком» (www.teplocom.spb.ru), СИМАГ-11 – компания «СИМАФЛОУ» (www.simaflow.ru), РСМ-05 – ООО НПФ «ТЭМ-прибор» (tempribor.com).

Проверку электромагнитных расходомеров рассмотрим на примере преобразователя расхода электромагнитного измерительного ИПРЭ-7 [18].

Преобразователь расхода электромагнитный измерительный ИПРЭ-7 предназначен для преобразования объемного расхода в токовый и частотно-импульсный сигнал и измерения объема жидких невязрывоопасных сред с удельной электропроводностью от 10^{-3} до 10 См/м.

В состав преобразователя входят:

- преобразователь расхода первичный ППР7 (ППР);
- преобразователь измерительный ИП-7 (ИП).

Принцип действия преобразователя основан на законе электромагнитной индукции, согласно которому в электропроводной среде, пересекающей магнитное поле, наводится ЭДС, пропорциональная скорости ее движения.

Для создания магнитного поля в потоке измеряемой среды на силовые катушки ППР с ИП подается импульсное напряжение. Под действием магнитного поля на электродах, расположенных в измерительном сечении ППР, наводится импульсное напряжение, амплитуда которого пропорциональна скорости потока, средней магнитной индукции и Ду. Это напряжение подается на ИП. ИП осуществляет преобразование импульсного напряжения в токовый, частотно-импульсный и цифровой сигналы, вывод этих сигналов на разъем «ВЫХОД», вычисление объема. Частотно-импульсный выход является пассивным, гальванически развязанным.

Предмонтажная подготовка ИПРЭ-7 состоит в следующем:

- место установки ППР должно быть наименее подвержено вибрации и удобно для осмотра и обслуживания;
- напряженность внешнего магнитного поля в месте установки ППР не должна превышать 400 А/м постоянного магнитного поля и 80 А/м переменного магнитного поля сетевой частоты;
- направление потока измеряемой среды через ППР должно совпадать с направлением стрелки на корпусе ППР, а уплотнительные прокладки и сварные швы не выступать внутрь трубопровода;
- положение ППР в пространстве – произвольное, но при этом постоянно (даже в отсутствие расхода) должно быть обеспечено заполнение всего объема трубы ППР измеряемой средой;
- при вертикальной или наклонной установке ППР направление потока должно быть снизу вверх (рис. 3.25, а);
- в случае частичного заполнения трубопровода (по сечению) ППР следует устанавливать в U-образном колене (рис. 3.25, б);
- длина прямолинейного участка трубопровода перед ППР (по потоку) должна быть не менее 5Ду, после ППР – не менее 3Ду;
- внутренний диаметр прямолинейных участков трубопровода должен быть равен Ду ППР с отклонением не более $\pm 2\%$; если отклонение диаметра трубопровода от Ду ППР более $\pm 2\%$, то сочленение ППР с трубопроводом следует выполнять посредством конических патрубков конусностью не более 18 (рис. 3.25, в) или посредством концентрических переходов по ГОСТ 17378.

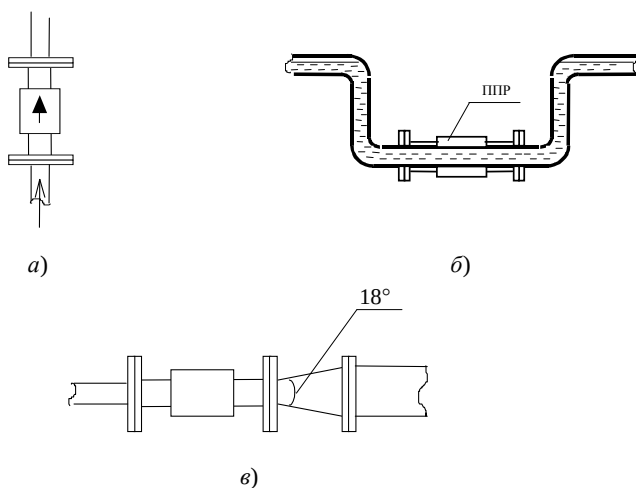


Рис. 3.25. Особенности монтажа ППР ИПРЭ-7

При проведении поверки ИПРЭ-7 выполняют следующие операции [8]:

- внешний осмотр;
- проверка электрического сопротивления изоляции ППР и ИП;
- проверка герметичности и прочности корпуса ППР 2;
- опробование;
- проверка функционирования ЖКИ ИП;
- проверка меню ИП;
- проверка возможности ввода адреса преобразователя (кода абонента) и вывода информации на цифровой выход;
- проверка правильности индикации ошибок;
- определение метрологических характеристик;
- определение относительной погрешности измерения объема;
- определение относительной погрешности преобразования цифрового кода в токовый сигнал.

При проведении поверки применяют средства измерения и испытательное оборудование, указанные в табл. 2 [19].

Средства измерения должны быть поверены и иметь действующие свидетельства о поверке. Испытательное оборудование должно быть аттестовано, и иметь действующие свидетельства об аттестации.

Допускается применение средств измерения и испытательное оборудование других типов, обеспечивающих измерение параметров с требуемой точностью.

При поверке преобразователей соблюдают требования безопасности, определяемые ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 12.3.019, ГОСТ 12.2.086, ГОСТ 12.2.040.

При проведении поверки соблюдают следующие условия:

- температура окружающего воздуха 25 ± 10 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха 30...80%;
- атмосферное давление 84...106 кПа (630...795 мм рт. ст.);
- температура измеряемой среды 20 ± 10 °С;
- напряжение питания $220 \pm 4,4$ В с частотой 50 ± 1 Гц;
- диаметр трубопровода на входе и выходе ППР $Dу \pm 2\%$;
- длина прямолинейного участка трубопровода на входе ППР – не менее 5Ду, на выходе ППР – не менее 3Ду;
- положение трубопровода ППР – горизонтальное;
- источники внешних электрических и магнитных полей (кроме земного) находятся на расстоянии не менее 3 м;
- при одновременной поверке нескольких преобразователей вставки, соединяющие ППР, имеют длину не менее 2/3 от длины ППР для Ду от 40 до 200 мм и не менее 0,5 от длины ППР для $Dу \leq 32$ мм.

Перед началом поверки преобразователь выдерживают при температуре плюс 25 ± 10 °С не менее двух часов, если до начала проверки он находился в условиях, отличных от нормальных.

Проверяют наличие действующих свидетельств о поверке используемых средств измерения.

Проверяют наличие эксплуатационной документации на преобразователь.

Подготавливают к работе средства измерения, применяемые при поверке преобразователя, в соответствии с их эксплуатационной документацией.

Одной из наиболее важных этапов при поверке расходомеров является этап определения метрологических характеристик.

Испытания проводят на поверочных стендах с использованием автоматизированного средства контроля проливных стендов (АСК-ПС).

В зависимости от Ду ППР и используемого поверочного стенда одновременно можно испытывать до четырех преобразователей.

На пультах П-ИП-7 в зависимости от количества ИПРЭ-7 устанавливают последовательно адреса преобразователей согласно табл. 3.11 из ряда: 031, 032, 033, 034 (начиная с 031). Включают питание преобразователя, ЭВМ, блока коммутации АСК-ПС и запускают программу `ipre700.exe` (программа доступна на сайте производителя) на исполнение.

Оценивают информацию, выведенную на экран в секторе «Результаты поиска». Если количество подключенных преобразователей, тип преобразователя (ИПРЭ-7), Ду, заводские номера ППР и ИП, диапазон и дата градуировки, градуировочные коэффициенты, коэффициенты токового выхода, корректирующий коэффициент соответствуют испытываемым преобразователям, то выбирают пункт подменю «Продолжить». В противном случае устраняют причину несоответствия и запускают пункт подменю «Повторить поиск», а затем – «Продолжить».

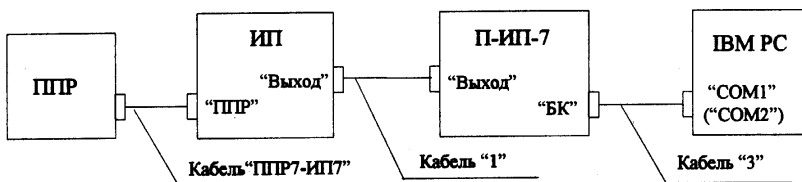


Рис. 3.26. Схема подключения ИПРЭ-7 при поверке

Для преобразователя перед определением относительной погрешности измерения объема проверяют функционирование режима индикации «Объем».

Устанавливают расход воды ($Q_{\max} \pm 5\%$), контролируя по индикатору ИП или по образцовому расходомеру.

Переводят ИП в режим индикации «Объем» и наблюдают за индикатором ИП в течение времени, необходимом для увеличения показаний ИП не менее чем на 3 единицы младшего разряда. Увеличение показаний должно происходить равномерно. Допускается контролировать значение расхода по экрану монитора, выбрав пункт меню «Проверка».

Определение относительной погрешности измерения объема проводят на расходах: $Q_{\max}$, $Q_{\max}/10$, $Q_{\max}/50$, $Q_{\min} = Q_{\max}/200$ для преобразователя с диапазоном расходов 200:1. Для преобразователя с диапазоном расходов 200:1 значения расходов в зависимости от D_u входящего в комплект ППР приведены в табл. 3.11.

3.11. Значения расходов в зависимости от D_u

Типоразмер ППР	Расход, м ³ /ч			
	$Q_{\max}$ (режим 1)	$Q_{\max}/10$, (режим 2)	$Q_{\max}/50$, (режим 3)	$Q_{\min}$, (режим 4)
ППР7-10	2,82	0,282	0,056	0,014
ППР7-20	11,3	1,13	0,226	0,056
ППР7-32	22,68	2,268	0,454	0,113
ППР7-40	36,0	3,6	0,72	0,18
ППР7-50	57,6	5,76	1,152	0,288
ППР7-80	144,0	14,4	2,88	0,72
ППР7-100	226,8	22,68	4,54	1,134
ППР7-150	576,0	57,6	11,52	2,88
ППР7-200	900,0	90,0	18,0	4,5

Порядок работы при определении относительной погрешности измерения объема:

а) в пункте меню «Настройка» задают метод проверки: весовой или сличения;

б) в пункте меню «Режим» задают режим проверки (см. табл. 3.11);

в) выбирают пункт меню «Поверка» и нажимают клавишу $\langle \text{Enter} \rangle$;

г) если задан весовой метод проверки, то вводят с клавиатуры значение температуры воды согласно показанию термометра, стоящего в линии стенда, сливают из бака воду и обнуляют показание индикатора весов, нажав кнопку «Тара»;

д) устанавливают в линии стенда расход согласно заданному режиму проверки с погрешностью $\pm 5\%$, контроль расхода ведут по показаниям индикатора ИП или образцового расходомера, выводимым на экран в строке «Установленный расход» сектора «Образцовое средство»;

е) вводят с клавиатуры время измерения и нажимают клавишу $\langle \text{Enter} \rangle$;

ж) при весовом методе проверки по истечения заданного времени проверки и возвратного срабатывания переключателя потока, после прекращения изменения показаний весов, нажимают клавишу $\langle \text{Enter} \rangle$; затем сливают воду из бака;

и) считывают значение относительной погрешности измерения объема, которое должно появиться в секторе окна программы после окончания процесса проверки на заданном расходе.

С целью обеспечения необходимой точности измерения, минимальные массы воды $M_{\min}$, кг, набираемой в бак, для всех расходов и для всех типоразмеров ППР выбирается в соответствии с руководством по эксплуатации на поверочный стенд.

Минимальное время измерения при весовом методе $T_{\min}$, с, определяют для каждого веса и для каждого расхода Q_i , при котором эти веса используются, по формуле

$$T_{\min} = 3,6 M_{\min} / Q_i, \quad (3.29)$$

где $M_{\min}$ – минимальные массы воды, кг; Q_i – значение расхода, взятое по табл. 3.11, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Значения $M_{\min}$, $T_{\min}$ должны быть указаны на поверочном рабочем месте, на котором проводят проверку основной относительной погрешности преобразователя.

Максимальные значения массы воды ограничены вместимостью бака. Максимально допустимое время наполнения бака выводится на экран в строке «Время наполнения бака».

При проверке методом сличения время измерения должно быть не менее: на $Q_{\max} - 60$ с, $Q_{\max}/10 - 150$ с, $Q_{\max}/50 - 240$ с, $Q_{\min} - 600$ с.

По завершении поверки относительной погрешности измерения объема на всех расходах для соответствующей модификации преобразователя посредством пункта меню «Протокол» выводят распечатку протокола проверки.

Преобразователь считают выдержавшим испытание, если относительная погрешность измерения объема не превышает $\pm 1,0\%$.

Примечание – Расчет значения относительной погрешности измерения объема δV_i , %, при каждом измерении производится программой по формуле (3.30) при весовом методе проверки и по формуле (3.31) при проверке методом сличения:

$$\delta V_i = \frac{V_i - \frac{m_i}{\rho_i} K}{\frac{m_i}{\rho_i} K} \cdot 100, \%, \quad (3.30)$$

$$\delta V_i = \frac{V_i - V_{\text{э}i}}{V_{\text{э}i}} \cdot 100, \%, \quad (3.31)$$

где V_i – объем воды, измеренный проверяемым преобразователем, м^3 ; m_i – масса воды в баке, измеренная весами поверочного стенда, т; ρ_i – плотность воды, соответствующая температуре воды в трубопроводе поверочного стенда, т/м^3 ; $K = 1,001$ – коэффициент, учитывающий массу вытесненного воздуха; $V_{\text{э}i}$ – объем воды, измеренный образцовым расходомером, м^3 .

3.3.3. ПРОВЕРКА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

В настоящее время среди ультразвуковых расходомеров широкое распространение получила продукция ЗАО «Взлет» (www.vzljot.ru) – расходомеры-счетчики серии ВЗЛЕТ МР, ООО НПФ «Эй-Си Электроникс» (www.encont.ru) – расходомер-счетчик жидкости US800, НПП «Сигма-С» (www.npp-sigma-s.ru) – счетчик-расходомер УЗС-1, ЗАО «Днепр» (www.dnepr-7.ru) – расходомеры-счетчики серии Днепр-7, ОАО «Завод «Старорусприбор» (www.staroruspribor.ru) – расходомеры-счетчики UFM-005.

Проверку ультразвуковых расходомеров рассмотрим на примере счетчика ультразвукового УЗС-1, предназначенного для измерений объема и объемного расхода жидкости в напорных трубопроводах [20].

УЗС-1 имеет модели исполнения:

- с одним одноканальным измерительным участком (модель 1.1);
- с одним двухканальным измерительным участком (модель 2.1),

для измерения расхода жидкости с повышенной точностью;

- с двумя одноканальными измерительными участками (модель 2.2), для измерений расходов жидкостей в двух трубопроводах.

Вариант счетчика для измерения объема и расхода горючих и взрывоопасных жидкостей имеет в своем обозначении приставку «-ex».

Принцип действия УЗС-1 основан на зависимости времени распространения ультразвуковых импульсов в акустически прозрачной среде от скорости ее движения (расхода жидкости). УЗС-1 является частотно-импульсным ультразвуковым устройством, преобразующим разность времен распространения сигнала между пьезоэлектрическими преобразователями по и против потока жидкости в электрические сигналы.

УЗС-1 является ультразвуковым частотно-импульсным устройством, работающим по методу синхроколец.

При проведении операций поверки УЗС-1 должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- влажность не более 80% при температуре $+25^\circ\text{C}$;
- электропитание УЗС-1 и средств его поверки осуществляется от электросети однофазного переменного тока, напряжением $(220 \pm 4,4) \text{ В}$.

При проведении операции поверки на поверочной установке должны соблюдаться следующие условия:

- измерительный участок ИУ должен быть расположен на ПУ таким образом, чтобы обеспечивался прямолинейный участок длиной не менее 10 Ду до места установки ИУ и не менее 5 Ду после места установки;
- при проведении поверки не допускается течи жидкости во фланцевых, резьбовых, сварных соединениях;
- наличие включений свободного газа (воздуха) в жидкости не допускается;
- давление жидкости в трубопроводе не менее 0,1 МПа;
- технологическая жидкость в ПУ – вода по СанПиН 2.1.4.1074–01;
- температура жидкости в трубопроводе $(15 \dots 30)^\circ\text{C}$;
- изменение температуры жидкости за время поверки не более 5°C ;
- изменения расхода жидкости от установленного значения в процессе измерений не должно превышать $\pm 2,5\%$.

При проведении поверки выполняют следующие операции [21]:

- внешний осмотр;
- проверка относительной погрешности δ_o измерения объема жидкости проливным методом;
- проверка погрешности преобразования δ_ϕ при теоретической градуировке;
- проверка приведенных погрешностей $\gamma_{QЭ}$, $\gamma_{FЭ}$, $\gamma_{TЭ}$ и относительной погрешности $\delta_{иЭ}$ преобразования разности периодов синхроколец ΔT в показания расхода, в частоту, в ток и в импульсы объема соответственно;
- проверка относительной погрешности $\delta_{wЭ}$ преобразования разности периодов синхроколец ΔT в показания объема;
- проверка относительной погрешности δ_o измерения объема жидкости теоретическим методом;
- проверка приведенной погрешности γ_Q измерения расхода по индикатору УЗС-1, приведенной погрешности γ_F измерения расхода по частотному выходу, приведенной погрешности γ_T измерения расхода по токовому выходному сигналу и относительной погрешности $\delta_{и}$ измерения объема по импульсному выходу;
- проверка относительной погрешности δ_B измерения времени;
- проверка запоминания информации об объеме и времени работы при отключении питания.

При проведении поверки используются следующие средства поверки:

- частотомер ЧЗ-63;
- вольтметр В7-40;
- расходомерная поверочная установка (ПУ);
- имитатор расхода ИР-2 467875.002.

Все применяемые при поверке средства измерений должны быть поверены органами государственной метрологической службы и иметь действующие свидетельства о поверке или оттиски поверительных клейм.

СИ и вспомогательное оборудование могут быть заменены на другие средства поверки, позволяющие проводить измерения с погрешностью не более чем у указанных выше средств поверки.

Результаты поверки оформляются протоколом. Рекомендуемая форма протокола приведена в прил. 5 [21].

При положительных результатах поверки оформляется свидетельство о поверке в соответствии с ПР 50.2.006 и ставится оттиск поверительного клейма по ПР 50.2.007 на мастику в пломбирочных чашках, расположенных на задней стенке УЗС-1.

При отрицательных результатах поверки оформляется свидетельство о непригодности в соответствии с ПР 50.2.006 с указанием причины, и данный УЗС-1 к применению не допускается.

3.4. НАЛАДКА СРЕДСТВ И СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ

В настоящее время операция измерения уровня является ключевой для организации контроля и управления технологическими процессами во многих отраслях промышленности. К приборам для измерения уровня заполнения емкостей и сосудов предъявляются различные требования: в одних случаях требуется только сигнализировать о достижении определенного предельного значения, в других необходимо проводить непрерывное измерение уровня заполнения.

Приборы для непрерывного слежения за уровнем принято называть уровнемерами, приборы для сигнализации о предельных значениях уровня – сигнализаторами уровня.

Существует широкая номенклатура средств контроля и измерения уровня, использующих различные физические методы: емкостный, кондуктометрический, гидростатического давления, поплавковый, ультразвуковой, радиоволновый. Эти методы и средства позволяют контролировать уровень различных сред: жидких (чистых, загрязненных), пульп, нефтепродуктов, сыпучих твердых различной дисперсности. При выборе уровнемера необходимо учитывать такие физические и химические свойства контролируемой среды, как температура, абразивные свойства, вязкость, электрическая проводимость, химическая агрессивность и т.д. Кроме того, следует принимать во внимание рабочие условия в резервуаре или около него: давление, вакуум, нагревание, охлаждение, способ заполнения или опорожнения (пневматический или механический), наличие мешалки, огнеопасность, взрывоопасность и др. [22].

3.4.1. ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ

3.4.1.1. Поплавковые средства измерения уровня

Поплавковые датчики уровня одни из самых недорогих и вместе с тем надежных устройств для измерения уровня жидкостей. При правильном выборе, поплавковые датчики уровня могут использоваться для контроля уровня самых разных продуктов, начиная от сточных вод, химически агрессивных жидкостей или пищевых продуктов. Высокие или низкие температуры, наличие пены, пузырьков или, напри-

мер, работающей мешалки так же перестает быть проблемой при правильном выборе.

Поплавковые датчики уровня устойчивы к пене и пузырькам в жидкости и могут работать с вязкими жидкостями. Однако следует помнить, что датчики уровня поплавкового типа не подходят для измерения липких и засыхающих жидкостей, жидкостей с механическими включениями, а также в случае замерзания жидкости.

По конструкции поплавковые датчики уровня могут быть разделены на несколько видов.

Самым простым является датчик с поплавком, передвигающимся по вертикальному штоку. Внутри поплавок, как правило, находится постоянный магнит, а в штоке, представляющем из себя полую трубку, находятся герконы. Плавая на поверхности жидкости, поплавок передвигается по штоку датчика вслед за изменением уровня и, проходя мимо герконов внутри штока, замыкает или наоборот размыкает их, сигнализируя о достижении определенного уровня.

Представителем такого класса уровнемеров с выходным сигналом 4...20 мА является ПМП-062 (рис. 3.27) от ООО НПП «СЕНСОР» (www.nppsens.ru).

Уровнемер ПМП-062 (далее именуется ПМП) предназначен для измерения уровня жидкости в стационарных и передвижных резервуарах путем преобразования уровня в унифицированный токовый сигнал 4...20 мА. Может иметь дополнительные выходы («сухие» контакты) для контроля достижения нижнего и верхнего пределов измерения. Диапазон измерения уровня от 150 до 6000 мм с точностью ± 5 мм.

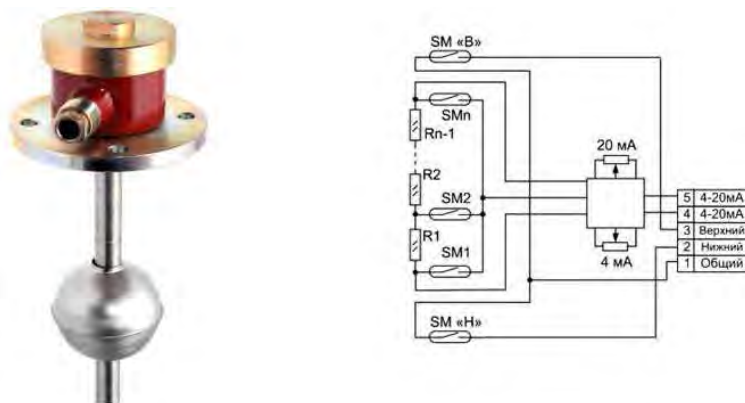


Рис. 3.27. Внешний вид и электрическая схема уровнемера ПМП-062

ПМП-062 состоит из направляющей – трубы $\varnothing 18$, приваренной к стальному цилиндрическому корпусу с крышкой, заворачиваемой по резьбе. В корпусе имеется кабельный ввод. На направляющей находится свободно перемещаемый поплавок со встроенным магнитом, ход которого ограничен стопорами. Внутри направляющей находятся герконы, резисторы. В корпусе находится электронная плата преобразования уровня в токовый сигнал, на которой расположены винтовые клеммные зажимы для присоединения кабеля. На плате расположены подстроечные резисторы «4 мА» и «20 мА». ПМП крепится вертикально к стенке (крышке, люку) резервуара посредством фланца (муфты, гайки).

Принцип работы уровнемера заключается в следующем. Поплавок перемещается по направляющей и своим магнитом вызывает замыкание герконов SM1, SM2, Непрерывность измерения с шагом 5 мм достигается установкой герконов в ряд и соединением их через резисторы по схеме резистивного делителя напряжения. Электронная плата осуществляет преобразование уровня в линейно возрастающий токовый сигнал 4...20 мА.

Существует еще один тип поплавковых датчиков уровня – это магнитострикционные датчики. Принцип их действия основан на измерении времени распространения ультразвукового импульса внутри металлического стержня, снабженного поплавком со встроенным магнитом. Это, пожалуй, самый точный тип датчика уровня. Типичная точность магнитострикционных датчиков составляет доли миллиметра и выше.

Магнитострикционные датчики выпускаются, например, фирмами Balluff (Micropulse), MTS Sensors (Temposonic и LevelPlus), TR Electronic и др. Отечественным производителем магнитострикционных датчиков уровня является ООО НПП «СЕНСОР» (уровнемер ПМП-201).

3.4.1.2. Буйковые средства измерения уровня

В основу работы буйковых уровнемеров положено физическое явление, описываемое законом Архимеда. Он гласит, что на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила F , пропорциональная весу вытесненной им жидкости. Чувствительным элементом в этих уровнемерах является цилиндрических буюк, изготовленный из материала с плотностью, большей плотности жидкости. Зачастую буюк выполнен в виде трубы из нержавеющей стали, запаянной с обеих сторон, к одному из концов которой приделан крючок. Буюк находится в вертикальном положении и частично погружен в жидкость. Длина

буйка подбирается приближенной к максимальному измеряемому уровню в аппарате.

При изменении уровня жидкости в аппарате согласно закону Архимеда вес буйка в жидкости изменяется пропорционально изменению уровня. Выталкивающая сила, действующая на буюк, равна

$$F = \rho g V_{\text{ж}} = \rho g S h,$$

где ρ – плотность измеряемой жидкости, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $V_{\text{ж}}$ – объем вытесненной буйком жидкости, м³; S – площадь поперечного сечения буйка, м²; h – длина буйка, погруженного в жидкость, м.

Эта сила воспринимается измерительной системой уровнемера и преобразуется в унифицированный электрический токовый и пневматический сигнал.

Представителем уровнемеров этого класса является буйковый измерительный преобразователь уровня «Сапфир-22ДУ» производства ОАО «Теплоприбор» (www.teplotribor.ru), г. Рязань.

Преобразователи «Сапфир-22ДУ» предназначены для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами, в том числе, с взрывоопасными условиями производства («Сапфир-22ДУ-Вн», «Сапфир-22ДУ-Ех») и обеспечивают непрерывное преобразование значения измеряемого параметра – уровня жидкости или уровня границы раздела жидких фаз как нейтральных, так и агрессивных сред – в стандартный токовый выходной сигнал дистанционной передачи [23].

Преобразователь состоит из измерительного блока (рис. 3.28) и электронного преобразователя.

При изменении измеряемого уровня происходит изменение гидростатической выталкивающей силы, действующей на чувствительный элемент – буюк. Это изменение через рычаг передается на тензопреобразователь, размещенный в измерительном блоке, где линейно преобразуется в изменение электрического сопротивления тензорезисторов. Электронный преобразователь преобразует это изменение сопротивления в токовый выходной сигнал. Гидравлический демпфер, внутренняя полость которого заполнена вязкой жидкостью, сглаживает колебания.

Электронный блок позволяет получить:

- линейно возрастающие характеристики выходного сигнала;
- переключаемые различные токовые выходные сигналы;
- контрольный сигнал – «ТЕСТ» на специальных контактах клеммной колодки.

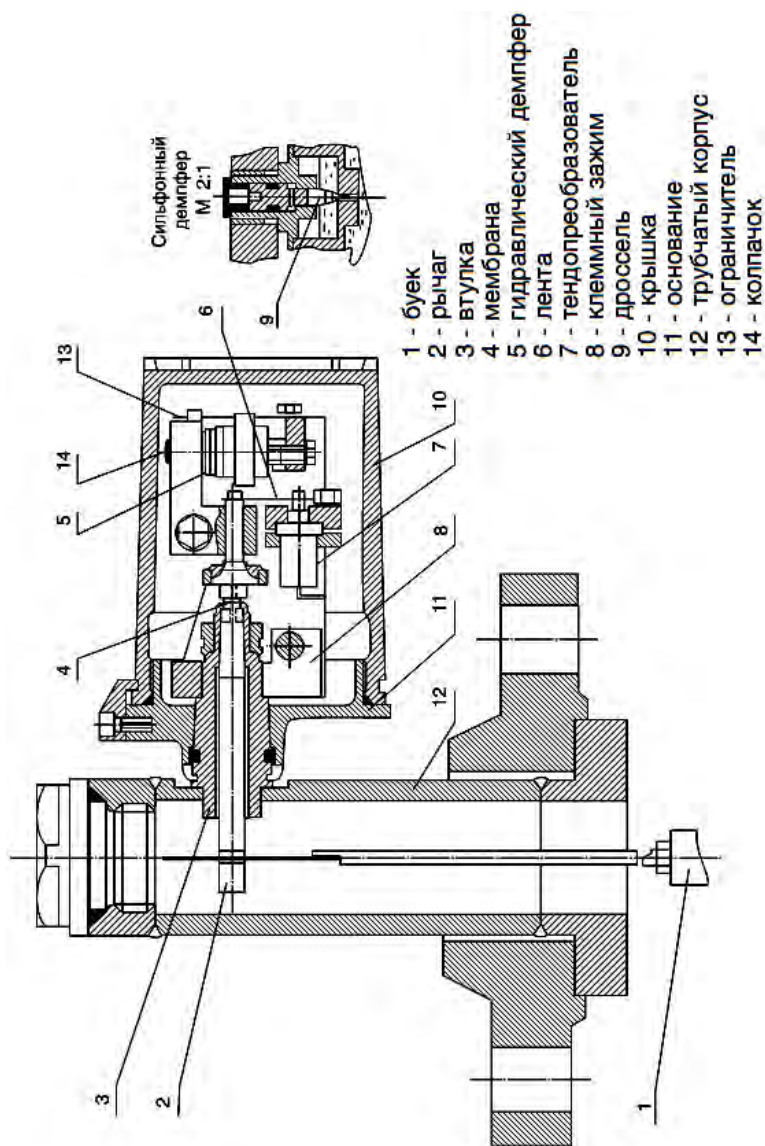


Рис. 3.28. Внешний вид преобразователя уровня «Сафир-22ДУ»

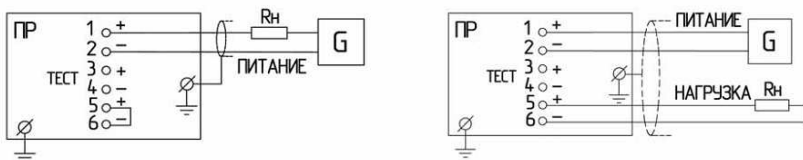


Рис. 3.29. Схема электрическая внешних соединений для преобразователей «Сапфир-22ДУ», «Сапфир-22ДУ-Вн»

Электрическое подключение преобразователей «Сапфир-22ДУ» к внешним цепям может осуществляться по двух- или четырехпроводной схеме (рис. 3.29).

3.4.1.3. Гидростатические средства измерения уровня

Гидростатический метод измерения уровня – метод, основанный на измерении гидростатического давления столба жидкости на дно резервуара

$$P = \rho gh,$$

где P – давление, Па; ρ – плотность, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; h – высота столба жидкости, м.

При выборе метода измерения уровня следует учитывать, что корректные измерения гидростатическими датчиками возможны только в средах с постоянной плотностью, так как гидростатическое давление зависит от плотности жидкости и величины уровня.

Существует три основных типа гидростатических уровнемеров – погружные, врезные и фланцевые, выделяемые по типу присоединения к процессу. Так же, так как этот фактор обуславливает специальные требования к материалам, из которых изготовлен прибор, имеет смысл выделять гидростатические уровнемеры по типу измеряемых сред: неагрессивная к нержавеющей стали, агрессивная к нержавеющей стали, пульпообразная, густая и абразивная среды.

Химические свойства измеряемой среды, а для пищевых и фармацевтических производств – гигиенические требования к оборудованию, – обуславливают значительные конструкционные особенности гидростатических уровнемеров, требуя исполнения корпуса, мембраны и уплотнителей из соответствующих материалов.

Гидростатические датчики уровня – датчики избыточного давления, поэтому необходима связь сенсора с атмосферой.

Для подачи атмосферного давления в корпус погружного датчика уровня применяется специальный кабель, который помимо сигнальных линий несет еще и полую трубку, защищенную на обратном конце воздухопроницаемым, но водонепроницаемым фильтром. Корпус по-

грузного датчика воздухопроницаем и должен быть водонепроницаем (степень пылевлагозащиты IP 68). Длина кабеля должна быть больше максимального уровня жидкости в емкости, далее сигнал можно передавать и обычным кабелем. В гидростатических датчиках уровня применяют специальные решения для обеспечения проницаемости корпуса для воздуха.

Для полностью закрытых емкостей, где создается избыточное давление между крышкой емкости и жидкостью, наиболее оптимальным будет применение гидростатических датчиков дифференциального давления. В этом случае с помощью специального капилляра необходимо связывать датчик дифференциального давления с областью избыточного давления емкости. Датчики избыточного давления устанавливать не рекомендуется, так как при наличии избыточного давления показания прибора будут некорректны, а очень высокое давление между жидкостью и крышкой емкости может вывести прибор из строя. Это связано с тем, что конструктивные особенности датчика избыточного давления не позволяют присоединить капилляр к сенсору, а сенсор датчика избыточного давления в свою очередь, в большинстве случаев, не рассчитан на высокие статические давления, которые могут создаваться под крышкой емкости.

Гидростатические уровнемеры являются одними из самых распространенных средств измерения уровня. В первую очередь это связано с простой их конструкции и дешевизне. Подавляющее большинство отечественных производителей датчиков давления имеет в номенклатуре выпускаемых ими средств устройства, позволяющие измерять уровень жидких сред гидростатическим методом. Среди них ООО НПП «ЭЛЕМЕР» (www.elemer.ru), ПГ «Метран» (www.metran.ru), компания «BD Sensors RUS» (www.bdsensors.ru), НПК «Эталон» (www.npk-etalon.ru), ОАО «Теплоприбор» (www.teplopribor.ru), ОАО «Теплоконтроль» (www.teplocontrol.ru) и др.

3.4.1.4. Емкостные средства измерения уровня

Работа емкостных уровнемеров основана на различии диэлектрической проницаемости жидкостей и воздуха. Простейший первичный преобразователь емкостного прибора представляет собой электрод (металлический стержень или провод), расположенный в вертикальной металлической трубке. Стержень вместе с трубой образуют конденсатор. Емкость такого конденсатора зависит от уровня жидкости, так как при его изменении от нуля до максимума диэлектрическая проницаемость будет изменяться от диэлектрической проницаемости воздуха до диэлектрической проницаемости жидкости. В случае измерения уровня в металлическом резервуаре используется один проводник (стер-

жень или металлический трос), а другим проводником является сам резервуар, в котором находится жидкость, уровень которой необходимо измерить.

Принцип действия емкостных уровнемеров состоит в следующем: при заполнении или опорожнении резервуара электрическая емкость расположенного в уровнемере чувствительного элемента изменяется пропорционально уровню погружения в контролируемую среду. Это изменение емкости преобразуется электронной схемой в сигнал постоянного тока, который затем используется для местных показаний, для двух установок сигнализации и для передачи на другие устройства.

На рынке автоматизации достаточно широко применяются сигнализаторы уровня и уровнемеры с выходным унифицированным токовым сигналом (или иначе датчики-индикаторы, измерители-сигнализаторы), использующие емкостной метод измерения уровня. Они используются для измерения текущего уровня и сигнализации двух перестраиваемых предельных уровней воды, молока, пива, щелочи, кислот, нефти и нефтепродуктов, зерна и продуктов его размола, сахара, цемента, песка, извести, а также других жидких и сыпучих сред, в том числе в емкостях, находящихся под избыточным давлением.

Типичным представителем уровнемеров с выходным унифицированным токовым сигналом, использующим емкостной метод измерения уровня является датчик-индикатор уровня РИС-101М1 производства СКБ «Приборы и системы» (www.skbg.ru) [24].

Датчики-индикаторы РИС-101М1 предназначены для контроля уровня жидких и твердых (сыпучих) сред в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами, в том числе с взрывоопасными условиями производства.

Датчики-индикаторы обеспечивают:

- преобразование уровня контролируемой среды в стандартные токовые сигналы;
- визуальную, звуковую и релейную (типа «сухой контакт») сигнализацию назначенных пользователем четырех предельных уровней среды;
- цифровую индикацию уровня в процентах или в метрах;
- передачу информации об измеряемых параметрах по последовательному интерфейсу RS-485 ModBus RTU.

Датчики-индикаторы РИС-101М1 имеет два токовых выхода (рис. 3.30): «выход 1» (0-5; 0-20; 4-20 мА) используется для дистанционной передачи показаний уровнемера в АСУТП, «выход 2» (0...5 мА) – для отображения информации на показывающем приборе (амперметре). Кроме этого имеется четыре релейных выходов, срабатывающих при достижении измеряемого уровня соответствующих уставок.

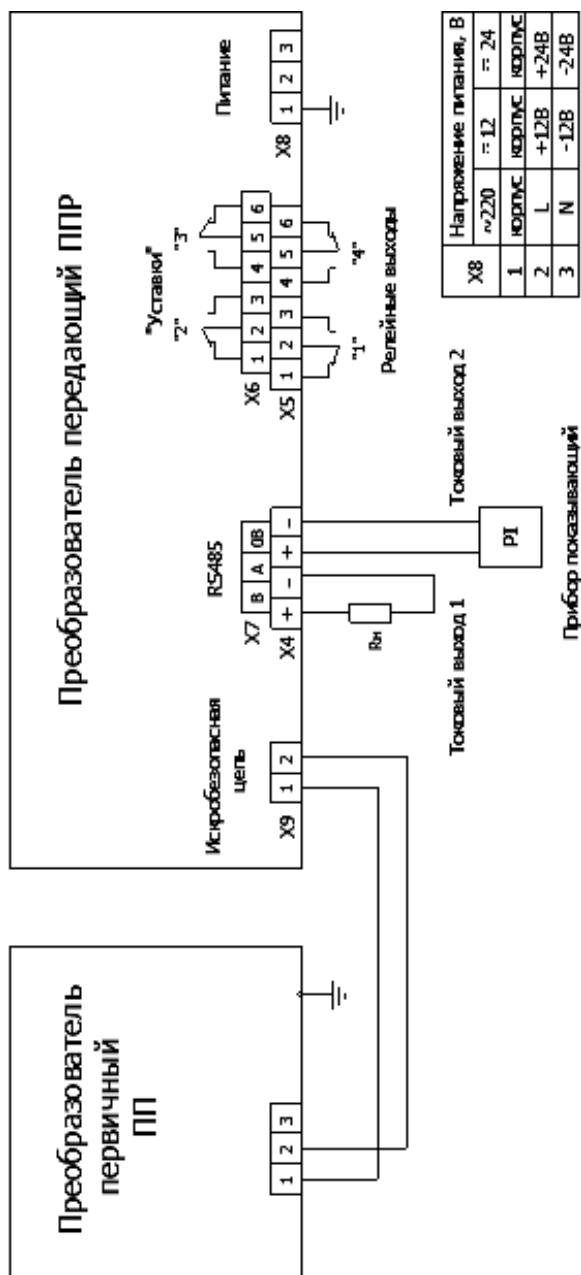


Рис. 3.30. Схема подключений датчика-индикатора уровня РИС-101М1

3.4.1.5. Кондуктометрические средства контроля уровня

Действие кондуктометрических уровнемеров основано на измерении сопротивления между электродами, помещенными в измеряемую среду (одним из электродов может быть стенка резервуара или аппарата). Кондуктометрические уровнемеры (уровнемеры сопротивления) применяются для измерения уровня проводящих жидкостей (в том числе, и жидких металлов). Первичный преобразователь кондуктометрического уровнемера представляет собой два электрода, глубина погружения которых в жидкость и определяет текущее значение ее уровня. Выходным параметром преобразователя является его сопротивление или проводимость.

Основные факторы, ограничивающие точность кондуктометрических уровнемеров – непостоянство площадей поперечных сечений электродов и вследствие этого непостоянство удельных сопротивлений по длине электродов, а также образование на электродах пленки (оксида или соли) с высоким удельным сопротивлением, что приводит к резкому неконтролируемому снижению чувствительности датчика.

Кроме того, на точность кондуктометрических уровнемеров существенное влияние оказывает изменение электропроводности рабочей жидкости, поляризация среды вблизи электродов. Вследствие этого погрешности кондуктометрических методов измерения уровня (даже при использовании различных компенсационных схем) достаточно высоки (5...10%), поэтому они находят преимущественное применение в качестве сигнализаторов уровня проводящих жидкостей.

Сигнализаторы уровня, построенные на базе кондуктометрического метода, очень широко распространены в промышленности. В первую очередь это связано с простотой их конструкции, надежностью и чрезвычайно низкой ценой.

Среди отечественных производителей имеется множество предприятий, производящих кондуктометрические сигнализаторы уровня. Среди них СКБ «Приборы и системы» (www.skbr.ru), производящий сигнализаторы уровня ЭРСУ-ЗР, РОС-301, ДРУ-ЭПМ, ЭРСУ-6М; компания «ОВЕН» (www.owen.ru) – сигнализаторы САУ-М6, САУ-М7Е, БКК1; ОАО «Теплоприбор» (www.teplopribor.ru) – датчики-реле уровня РОС-301, -301И; НПК «Эталон» (www.npk-etalon.ru) – датчик-реле уровня РОС 301В.

Электронные регуляторы-сигнализаторы уровня ЭРСУ-ЗР, РОС-301 предназначены для сигнализации и поддержания в заданных пределах уровня электропроводных жидкостей в трех точках в одном или различных резервуарах [25].

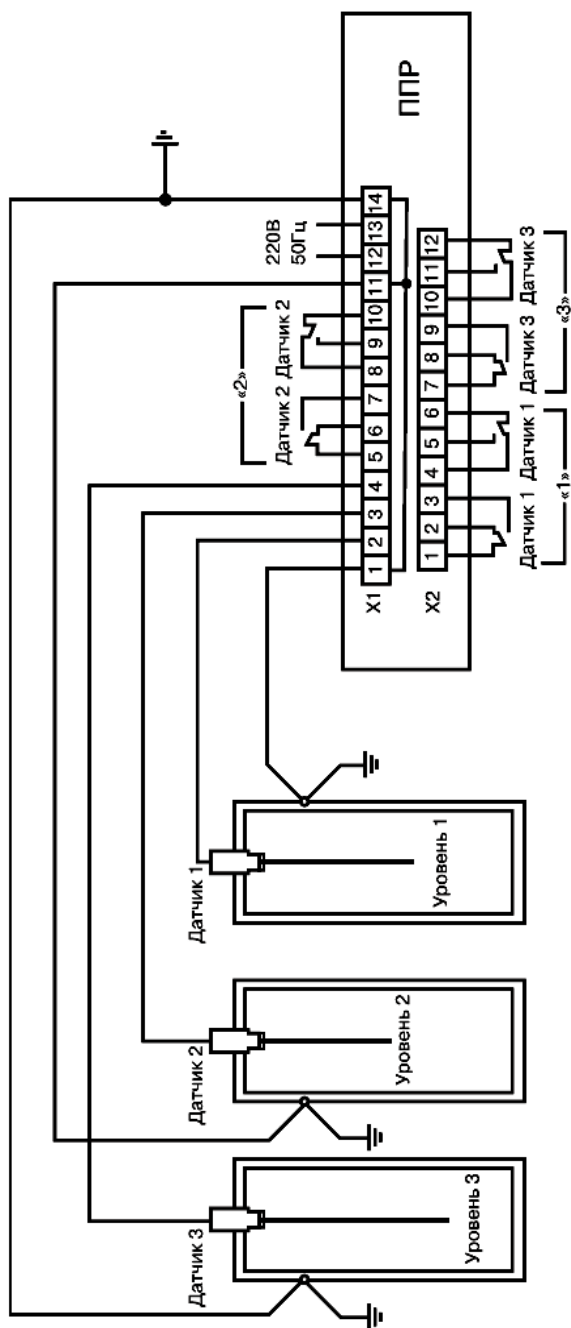


Рис. 3.31. Схема электрическая подключения приборов ЭРСУ-ЗР, РОС-301

Приборы состоят из преобразователя передающего и трех датчиков. Датчик состоит из корпуса, чувствительного элемента (погружаемая в жидкость часть датчика) и колпачка, служащего для уплотнения сигнального провода, подключаемого к выводу чувствительного элемента.

Принцип действия приборов основан на преобразовании изменения электрического сопротивления между электродом датчика и стенкой резервуара в электрический релейный сигнал.

Приборы имеют три независимых канала, позволяющих контролировать три уровня жидкости в одном или разных резервуарах (рис. 3.31).

3.4.1.6. Вибрационные средства контроля уровня

Вибрационные сигнализаторы уровня применяются для измерения граничных значений жидкостей. Модульная конструкция приборов позволяет использовать их в емкостях, резервуарах и трубопроводах. Благодаря универсальной и простой измерительной системе, сигнализатор уровня практически не критичен к химическим и физическим свойствам жидкости. Вибрирующий элемент приводится в действие пьезоэлектрическим методом и вибрирует с механической резонансной частотой приблизительно 1200 Гц. При погружении вибрирующего элемента в измеряемую среду частота изменяется. Это изменение частоты улавливается встроенным генератором и преобразуется в команду на переключение. Вибрационные уровнемеры достаточно компактны и могут работать без внешней обработки сигнала, имеют встроенный блок электроники, который обрабатывает сигнал уровня и преобразует его (в зависимости от типа встроенного генератора) в соответствующий выходной сигнал. При помощи этого выходного сигнала можно работать с подключенными дополнительными устройствами напрямую (например, системой предупреждающей сигнализации, ПЛК, насосами и т.д.). В настоящее время вибрационные уровнемеры наилучшее решение для липких сред.

Один из отечественных вибрационных сигнализаторов уровня – сигнализатор ВИБРОТАЧ производства ОАО «Челябинский завод «Теплоприбор» (www.tpchel.ru).

3.4.1.7. Акустические (ультразвуковые) средства измерения уровня

В акустических, или ультразвуковых, уровнемерах используется явление отражения ультразвуковых колебаний от плоскости раздела сред жидкость–газ. Действие уровнемеров этого типа основано на измерении времени прохождения импульса ультразвука от излучателя до поверхности жидкости и обратно. При приеме отраженного импульса излучатель становится датчиком. Электронный блок служит для фор-

мирования излучаемых ультразвуковых импульсов, усиления отраженных импульсов, измерения времени прохождения импульсом двойного пути и преобразования этого времени в унифицированный электрический сигнал.

Среди отечественных ультразвуковых уровнемеров широкое применение получили уровнемеры Зонд-3М, Эхо-5, Эхо-5Н производства ОАО «Завод «Старорусприбор» (www.staroruspribor.ru), Эхо-Ас-01 – ПНП «Сигнур» (www.signur.ru), уровнемеры У-25 – ООО «Завод «АКУСТИКА» (www.zavoda.ru).

Уровнемеры ЗОНД-3М предназначены для бесконтактного автоматического дистанционного измерения уровня различных жидких сред, сыпучих и кусковых материалов, если скорость изменения уровня среды не превышает 0,5 см/с [25].

Уровнемеры состоят из акустического преобразователя (АП) и преобразователя передающего измерительного модернизированного (ППИ-М), соединенных между собой трехжильным кабелем длиной до 500 метров. Выпускаются уровнемеры в следующих исполнениях:

- ЗОНД-3М – пылеводозащищенное;
- ЗОНД-3М-В – взрывозащищенное;
- ЗОНД-3М-К – защищенное от высокоагрессивной среды;
- ЗОНД-3М-Т, ЗОНД-3М-В-Т, ЗОНД-3М-К-Т – тропическое исполнение.

3.4.1.8. Микроволновые радарные уровнемеры

Радарные уровнемеры используют явление отражения электромагнитных колебаний от плоскости раздела сред жидкость–газ. Радарные датчики уровня не имеют контакта с измеряемым объектом. Это позволяет использовать их в сложных условиях, в частности, при высоком давлении, высоких температурах, при нахождении паров и газов над поверхностью. По сравнению с ультразвуковыми уровнемерами, радарные способны обеспечить большую точность измерения, обладают меньшей зоной нечувствительности, способны работать при больших давлениях в резервуаре.

Современные радарные уровнемеры являются «интеллектуальными» устройствами, объединяющими в себе и измерительную часть, и обработку полученного сигнала.

В радарных уровнемерах применяются СВЧ-сигналы с несущей частотой, лежащей в диапазоне от 5,8 до 26 ГГц. В настоящее время в радарных системах контроля уровня применяются в основном две технологии: с непрерывным частотно-модулированным излучением (FMCW – frequency modulated continuous wave) и импульсным излучением сигнала.

Технология FMCW основана на реализации косвенного метода измерения расстояния. Уровнемер излучает микроволновый сигнал, частота которого изменяется непрерывно по линейному закону между двумя значениями. Отраженный от поверхности жидкости сигнал принимается той же антенной и анализируется с помощью программного обеспечения. Его частота сравнивается с частотой сигнала, излучаемого в данный момент времени. Значение разности частот прямо пропорционально расстоянию до контролируемого объекта.

В радарх же импульсного типа применяется метод определения расстояния, основанный на непосредственном измерении времени прохождения СВЧ-импульса от излучателя до поверхности жидкости и обратно. Время прохождения сигналом расстояния в несколько метров составляет единицы наносекунд, поэтому получение точного измерения настолько малых значений требует специальных методов обработки сигнала. Для решения этой задачи используется преобразование микроволнового импульса в ультразвуковой сигнал. В результате преобразования к обработке сигналов радарного уровнемера легко применяются схемы, которые используются в акустических указателях уровня жидкости.

На сегодняшний день радарные уровнемеры являются самыми универсальными, так как их эксплуатация обеспечивает минимальный контакт измерительного устройства с контролируемой средой. Они могут работать вне зависимости от изменений температуры и давления (причем радарные уровнемеры жидкости применимы в таких условиях, в которых невозможно использование других методов).

Радарные уровнемеры имеют большую устойчивость к таким факторам как запыленность, испарения с контролируемой поверхности, пенообразование, обладают высочайшей точностью. Однако недостатком радарного метода является дороговизна таких приборов.

Среди отечественных производителей радарных уровнемеров широкое применение получила продукция компании «Лимако» (www.limaco.ru): УМЛ-11, УМЛ-11А1, УМЛ-11А2, УМЛ-31А2.

3.4.2. ПРЕДМОНТАЖНАЯ ПРОВЕРКА ДАТЧИКОВ УРОВНЯ

Предмонтажная проверка представляет собой комплекс работ по проверке отдельных характеристик датчиков уровня, необходимых для обнаружения возможных неисправностей, вызванных условиями транспортировки и хранения [14].

Предмонтажная проверка производится в соответствии с требованиями нормативно-технической документации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, технических описаний и инструкций по эксплуатации (или паспортов) конкретных типов датчиков уровня, а также с учетом данных технологического регламента.

Предмонтажная проверка датчиков уровня часто бывает связана с их переградуировкой, например на другое значение плотности жидкости.

При проведении пусконаладочных работ нередки случаи, когда в ходе предмонтажной проверки производится подготовка датчиков уровня к сдаче в госповерку.

В этом случае к объему предмонтажной проверки (внешний осмотр, определение основной погрешности и вариации показаний приборов, определение сопротивления изоляции электрических цепей) добавляются операции (в соответствии со стандартами) по проверке тех или иных датчиков уровня.

При внешнем осмотре необходимо обратить особое внимание на состояние опор подвижных частей, внутренней коммутации, узлов крепления и арретирования.

Кроме этого учитывая условия транспортирования и хранения датчиков, необходимо подтянуть крепящие болты и винты разъемных соединений.

Перед проверкой и в ходе ее выполнения датчики уровня должны быть полностью собранными во избежание искажений результатов измерений из-за затираний, касаний, заеданий и т.п. при работе на месте монтажа.

Подготовка средств измерений к монтажу выполняется в объеме, предусмотренном техническим описанием и инструкцией по эксплуатации конкретных типов датчиков и приборов.

При подготовке средств измерений к монтажу следует выполнить обязательные условия:

- должна быть обеспечена защита чувствительных элементов и измерительных механизмов;
- средства измерений должны иметь все комплектующие, необходимые для выполнения монтажных работ.

После проведения предмонтажной проверки датчиков уровня они должны быть подготовлены к монтажу. Датчики уровня должны иметь маркировку позиций, для которых они предназначены, а также комплектующие элементы, например колодки зажимов с винтами, крышками, сальниковыми вводами и т.п.

Если дифманометры перед прохождением предмонтажной проверки были оборудованы вентильной арматурой, то перед передачей их в монтаж необходимо закрыть вентили «+» и «-» и открыть уравнительные вентили.

Передача датчиков уровня в монтаж (так же, как и всех других средств измерений) должна сопровождаться соответствующей отметкой (датой и фамилией выдавшего) в журнале выполнения предмон-

тажной проверки и комплектования позиций систем автоматизации на объекте (цех, отделение, установка).

При осмотре монтажа средств измерений уровней необходимо учитывать требования и правила, изложенные в соответствующих технических описаниях и инструкциях по эксплуатации и в нормативных документах ОАО – Ассоциация «Монтажавтоматика».

Исходя из конкретных требований технологического регламента, конструкций технологических аппаратов, удобства эксплуатации датчиков уровня производится проверка проектных решений по системам измерения уровня и принимаются меры по обеспечению их работоспособности.

В соответствии с практикой выполнения пусконаладочных работ на объекте (установке, агрегате, цехе и т.п.) выделяют два последовательных этапа контроля правильности монтажа средств измерения уровня.

На первом этапе после монтажа технологического оборудования (аппаратов, емкостей и т.п.) до начала установки датчиков уровня и прокладки импульсных линий необходимо с помощью рулетки и магнита (последний – для определения материала стали: к нержавеющей магнит не притягивается) проверить правильность врезок ответных фланцев под датчики уровня, установки пьезотрубки, отборов (под дифманометрические датчики уровня).

На втором этапе следует контролировать правильность обвязки датчиков и монтажа импульсных линий,

При осмотре места монтажа буйковых датчиков уровня необходимо убедиться, что врезка горизонтальных и вертикальных патрубков, на которые устанавливаются уровнемеры, выполнена правильно и в местах, удобных для обслуживания.

Уплотнительная поверхность ответного фланца должна иметь соответствующее исполнение исходя из вида уплотнительной поверхности фланца буйкового датчика уровня [14]. Соответствие уплотнительных поверхностей особенно важно для обеспечения герметичности стыковочной поверхности в аппаратах, работающих под избыточным давлением. При этом диаметры ответных фланцев должны быть равны диаметрам фланцев уровнемеров.

Место врезки патрубка должно выбираться с таким расчетом, чтобы было исключено воздействие на боек энергии падающей жидкости, динамическое воздействие потока жидкости, вызванное близким расположением всасывающей линии насоса, воздействие значительных колебаний (пульсаций) уровня жидкости в аппарате и т.п.

Подготовка систем измерения уровня, как и систем измерения других параметров, по включению является завершающим этапом пе-

ред проведением индивидуальных испытаний и комплексного опробования оборудования. Эта операция является последней перед завершением комплекса монтажно-наладочных работ.

При первоначальном включении датчиков уровня следует отключить каналы связи с выхода и нулевое значение выходного сигнала измерять непосредственно на выходе датчика уровня. Затем к датчику подключают другие средства измерений, входящие в систему. После этого нулевое значение параметра следует проконтролировать по показаниям измерительных приборов, установленных на щитах.

Дифманометрические датчики уровня, работающие в системах с уравнительными или разделительными сосудами, подлежат проверке вместе с импульсными линиями и сосудами заполнению уравнительной (рабочей) или разделительной жидкостью.

Заполнение лучше всего производить через датчик снизу вверх до появления жидкости в соответствующих контрольных пробках сосудов, чтобы удалить воздух.

При этом на датчике уравнильный ventиль следует держать открытым, а ventиль на «минусовой» линии – закрытым, если заполняются «плюсовая» линия и сосуд, и наоборот, если заполняются «минусовая» линия и сосуд.

По окончании заполнения датчика, линий и сосудов уравнильный ventиль должен быть обязательно закрыт.

Обычно в этот период на объекте производят опрессовку технологических трубопроводов и оборудования. Поэтому запорные ventили па отборах следует держать в закрытом состоянии.

После выполнения подготовительных операций на дифманометры подается питание. Схема подачи питания такая же, как и для буйковых датчиков уровня.

При подготовке к включению барботажных датчиков уровня необходимо убедиться, что вся импульсная линия после регулятора расхода воздуха, включая непосредственно пьезотрубку и датчик, абсолютно герметична, так как незначительная утечка воздуха вызывает неточность измерения.

Поэтому следует произвести опрессовку импульсной линии с помощью, например U-образного манометра. Для этого надо на нижний конец пьезотрубки надеть заглушку, подключить контрольные приборы для опрессовки и создать необходимое давление. После отключения питания давление не должно падать. В противном случае неплотность следует устранить. Затем регулятором расхода воздуха устанавливают расход воздуха в пьезотрубку, равный 50% по шкале ротаметра.

Подготовка гидростатических и поплавковых датчиков уровня сводится к подаче питания на датчик, проверке нулевого выходного сигнала и отработке его с элементами, входящими в систему.

3.5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

3.5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Работники, занятые на пусконаладочных работах, обязаны знать и соблюдать основные правила техники безопасности при выполнении работ на строительном-монтажной площадке, действующих электроустановках, во взрывоопасных и вредных производствах, при работах на установках высокого давления. Ниже излагаются основные специфические вопросы техники безопасности при производстве пусконаладочных работ.

Наладка систем автоматизации должна выполняться в соответствии со СНиП 111-4-80, ОСТ 36-100.3.11-87, проектом производства работ (ППР) или технологической запиской. Осуществлять работы на крупных и технически сложных объектах без ППР или технологической записки запрещено.

Технологическая записка должна содержать наименование объекта; состав и последовательность выполняемых работ; инструмент, приспособления, средства защиты, состав бригады, указания по технике безопасности.

Записка должна не повторять инструкции или проект, а отражать конкретные указания для выполнения данного вида работ и меры по безопасному их ведению. Особо оговариваются опасные места, пути следования к месту работы, наличие ограждений, опасных зон, телефоны скорой помощи.

При работе во вредных производствах разъясняются методы выявления первых признаков отравления, пути выхода из загазованных помещений и т.п.

Состав бригады, выполняющей данные работы, должен по квалификации и численности соответствовать объекту и условиям выполнения работ.

Руководитель наладочных работ перед началом работ на объекте обязан:

- ознакомиться сам и ознакомить наладчиков с правилами внутреннего распорядка на объекте и пройти общий инструктаж со стороны ответственного представителя заказчика;
- проверить срок действия удостоверения у каждого наладчика и при выдаче задания учитывать квалификационную группу исполнителя;
- провести инструктаж на рабочих местах всего персонала, работающего под его руководством, проверить состояние защитных средств, которые будут применяться в процессе работы;

- определить готовность монтажа и достаточность мероприятий по технике безопасности, назначить руководителей бригад и определить их состав;

- ознакомить всех членов бригад с особенностями объекта, размещением щитовых помещений и т.д.;

- определить с заказчиком порядок подачи напряжения для опробования схем.

Выполнение работ по наладке систем автоматизации разрешается производить лицам, которые:

- прошли соответствующее медицинское освидетельствование;
- прошли проверку знаний и получили квалификационные группы по электробезопасности;

- прошли вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте;

- изучили действующие на объекте санитарные правила, касающиеся мер индивидуальной защиты и личной гигиены;

- освоили методику проведения соответствующих работ по наладке систем автоматизации.

Лица, не достигшие 18-летнего возраста, не могут быть допущены к работам по наладке систем автоматизации.

Вводный инструктаж проходят все без исключения наладчики, принятые на работу. Вводный инструктаж должен ознакомить нового работника с производственной обстановкой на предприятии, правилами трудового внутреннего распорядка, общими законоположениями по охране труда и правилами техники безопасности и промышленной санитарии, опасными моментами, которые могут встретиться при выполнении наладочных работ, и соответствующими мерами предосторожности, правилами пожарной безопасности, организацией работы по охране труда, технике безопасности и промсанитарии.

Вводный инструктаж проводит инженер по технике безопасности или руководитель отдела (участка).

Инструктаж проводится с отдельными работниками или группой работников в виде популярной лекции-беседы с демонстрацией плакатов и наглядных пособий. Проведение вводного инструктажа оформляется в журнале регистрации вводного инструктажа по технике безопасности.

Первичный инструктаж на рабочем месте по технике безопасности и производственной санитарии проводится до начала работы для всех вновь принятых работников.

При проведении первичного инструктажа наладчик должен быть подробно ознакомлен:

- с технологическими процессами и оборудованием на рабочих местах, сведениями о характере производства, вредными выделения-

ми, мерами личной предосторожности и общими правилами безопасности;

- с порядком подготовки к работе и проверки исправности оборудования, пусковых и контрольных приборов, заземляющих устройств, ограждений, инструмента и приспособлений, предохранительных и защитных средств;

- с порядком применения предохранительных приспособлений и индивидуальных защитных средств, их назначением и правилами пользования, с требованиями к спецодежде, спецобуви, правилами оказания первой помощи пострадавшим;

- с требованиями правильной организации и содержания рабочего места;

- с содержанием инструкций по технике безопасности и необходимостью их строгого выполнения для данного производства;

- с безопасными приемами работы, которые должны предохранить от травматизма, профзаболеваний и отравлений;

- с правилами безопасности и личной гигиены при работе со взрывоопасными и вредными химикатами (кислотами, растворителями и т.д.);

- с дополнительными требованиями, учитывающими специфику данного вида работ;

- с требованиями пожарной безопасности.

Перечень профессий и должностных работников, освобожденных от первичного инструктажа на рабочем месте, утверждает руководитель организации по согласованию с профсоюзным комитетом и службой охраны труда.

Первичный инструктаж на рабочем месте оформляется в специальном типовом журнале, который должен быть у каждого руководителя наладочной бригады.

Периодически повторный инструктаж. Повторный инструктаж по технике безопасности проводится для всех работников, за исключением лиц, освобожденных от первичного инструктажа на рабочем месте, независимо от их квалификации, стажа и опыта работы, не реже одного раза в три месяца по программе первичного инструктажа. Инструктаж проводится в форме беседы, с подробным разбором случаев нарушений правил ТБ, производственной санитарии, а также их последствий. Инструктаж проводится руководителем группы (бригады) либо одним из руководителей отдела (участка).

Внеплановый инструктаж по ТБ проводится по программе первичного инструктажа в следующих случаях:

- при введении в действие новых или переработанных стандартов, правил, инструкций по охране труда, а также изменений к ним;

- при изменении технологического процесса, замене или модернизации оборудования, приспособлений и инструмента, исходного сырья, материалов и других факторов, влияющих на безопасность труда;

- при нарушении работающими и учащимися требований безопасности труда, которые могут привести или привели к травме, аварии, взрыву или пожару, отравлению;

- по требованию органов надзора;

- при перерывах в работе – для работ, к которым предъявляются дополнительные (повышенные) требования безопасности труда, более чем 30 календарных дней, а для остальных работ – более двух месяцев.

Внеплановый инструктаж проводят индивидуально или с группой работников одной профессии. Объем и содержание инструктажа определяют в каждом конкретном случае в зависимости от причин или обстоятельств, вызвавших необходимость его проведения. Внеплановый инструктаж отмечается в журнале регистрации инструктажа на рабочем месте с указанием причин его проведения.

Инструктаж проводит руководитель группы (бригады), один из руководителей отдела (участка) либо представитель предприятия, на котором проводятся наладочные работы.

Целевой инструктаж проводится:

- при выполнении разовых работ, не связанных с прямыми обязанностями работника по специальности (погрузка, выгрузка, уборка территории, разовые работы вне предприятия, цеха и т.п.);

- при ликвидации последствий аварии, стихийных бедствий, производстве работ, на которые оформляется наряд-допуск, разрешение и другие документы.

Целевой инструктаж проводится непосредственно руководителем работ и фиксируется в журнале инструктажей и необходимых случаях – в наряде-допуске.

3.5.2. ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ЗАВЕРШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ НА ОБЪЕКТЕ

Для обеспечения безопасного производства работ при одновременной работе на площадке нескольких строительно-монтажных организаций наладчик должен знать и выполнять следующее:

- 1) при организации своего рабочего места убедиться в том, что выполняемые вблизи строительные, монтажные и другие работы не создают опасности. При наличии опасности не приступать к работе до полного ее устранения;

2) не стоять под грузом, поднимаемым или перемещаемым кранами и другими подъемными механизмами;

3) первую подачу напряжения в схему контроля, управления или сигнализации производить только с разрешения ответственного лица электромонтажной организации и заказчика; при этом необходимо поставить в известность ответственных лиц всех организаций, ведущих строительно-монтажные работы, и проверить наличие ограждений, надписей и предупредительных плакатов, наличие защитных средств и противопожарного инвентаря, исправность освещения и защитного заземления;

4) убедиться в том, что электроустановки и их части, расположенные в строящихся или реконструируемых цехах, при опробовании или включении надежно ограждены. На ограждениях должны быть вывешены предупредительные плакаты. При отсутствии ограждений надо поставить наблюдающего. Необходимо помнить, что случайная подача напряжения может повлечь за собой несчастный случай с тяжелыми последствиями. Запрещается пользоваться защитными средствами, не прошедшими установленных испытаний, а также с истекшим сроком испытания;

5) напряжение переносных светильников для освещения рабочего места должно быть: в помещениях без повышенной опасности – до 220 В; с повышенной опасностью и особо опасных – до 42 В, при особо неблагоприятных условиях – до 12 В. Светильник необходимо устанавливать так, чтобы он не ослеплял работающего. Переносные светильники должны иметь металлическую сетку, предохраняющую лампу от случайного удара, жесткое крепление патрона, изолированную ручку, а также особую вилку (по конструктивному выполнению), исключающую возможность включения ее в сеть высокого напряжения.

Применять стационарные светильники в качестве ручных переносных ламп запрещается. Переносные светильники должны быть только заводского изготовления и исключающими возможность прикосновения к токоведущим частям;

6) при применении новых измерительных приборов и аппаратов, а также новых методов наладки электрооборудования изучать и выполнять требования утвержденных инструкций, методик и указаний по их применению;

7) не производить пуск механизмов (насосов, вентиляторов, электродвигателей и т.д.) при отсутствии или неисправности ограждений движущихся частей этих механизмов;

8) наладочные работы на высоте производить только при наличии ограждений на специально оборудованных площадках. При выполнении работ с приставных лестниц участвуют два человека: один работает, второй наблюдает или подстраховывает внизу;

9) ходить по территории завода, стройки и т.д. только по тротуарам, дорожкам, переходам, специально предназначенным для пешеходного движения, придерживаясь правой стороны. Запрещается пересекать железнодорожный путь впереди движущегося поезда, ходить по железнодорожным путям и на близком расстоянии вдоль железнодорожных путей, ходить и находиться в цехах, в которых не производятся работы по наладке приборов и средств автоматизации.

Проходить по стройплощадке только по установленным переходам, переходным мосткам, лестницам;

10) соблюдать форму одежды. На территории стройки находиться обязательно в защитной каске установленного образца, рабочих ботинках, спецодежде. Производители работ и мастера не должны допускать к работе лиц, не имеющих соответствующей исправной спецодежды, спецобуви, а при необходимости – других средств индивидуальной защиты;

11) совмещать монтажные и наладочные работы разрешается лишь при согласованном графике и обеспечении безопасности работы строительного, монтажного и наладочного персонала.

Ответственность за общие мероприятия по ТБ несет руководитель монтажных работ. Ответственность за безопасное производство пусконаладочных работ несет руководитель наладочных работ. Разрешение на производство наладочных работ на объекте после окончания монтажных работ оформляется прорабом монтажного участка и руководителем наладочных работ на объекте записью в «Журнале регистрации разрешений производства наладочных и монтажных работ», который является документом, дающим право на производство наладочных работ. После передачи в наладку смонтированного агрегата производить электромонтажные работы без разрешения наладчиков запрещается. При необходимости производства таких работ делается соответствующая запись в Журнале регистрации разрешений.

3.5.3. ПРОИЗВОДСТВО НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Наладочные работы в действующих электроустановках и производственных помещениях должны выполняться в строгом соответствии с «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Следует обратить особое внимание на следующие основные положения.

Цепи вторичной коммутации проверяют при помощи источника безопасного напряжения. Пользоваться для этой цели можно омметром, тестером или другим прибором напряжением до 42 В. Проверяемые цепи должны быть полностью обесточены. Питание временных

схем включают только через аппараты защиты с ясным обозначением включенного и отключенного положений. Последовательно с закрытым выключателем питания включается коммутационное устройство с видимым разрывом (например, штепсельный разъем). Временные питающие линии должны быть выполнены открыто проводом соответствующего сечения и изоляции, надежно закреплены и подвешены на высоту, обеспечивающую свободный проход людей или проезд транспорта. Сборку временных схем для электрических испытаний, переключение проводов в схеме, перестановку приборов производить без снятия напряжения запрещается. Перед подачей оперативного тока для наладки и опробования схем, управление которыми производится с нескольких мест, должна быть устранена возможность управления со всех мест, кроме одного (отключены цепи, закрыто на ключ помещение, вывешены запрещающие плакаты и т.д.). По окончании работы временное питание необходимо отключить, так как оставленная под напряжением схема может явиться причиной несчастного случая.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром, а также испытание электрической прочности изоляции повышенным напряжением производятся только на полностью отключенной части электроустановки или схемы. Наличие (отсутствие) напряжения в цепях напряжением до 500 В определяется токоискателем.

Перед началом работы с мегаомметром или установкой для проверки электрической прочности изоляции необходимо убедиться в отсутствии людей, производящих работу на частях электроустановки, к которым присоединен мегаомметр (испытательная установка); проверить по схеме, куда выходят разветвленные участки цепи; закрыть к ним доступ посторонних лиц и повесить в этих местах предупредительные плакаты или поставить наблюдающего на время производства измерений.

После испытания изоляции повышенным напряжением производитель работ должен разрядить несколько раз токоведущие части на землю и убедиться в полном отсутствии на них заряда, прежде чем сообщить, что напряжение снято.

Для защиты людей, работающих на отключенных токоведущих частях оборудования или электроустановки, от поражения электрическим током при ошибочной подаче напряжения на отключенный участок или при появлении на нем наведенного напряжения накладываются переносные заземления. Переносные заземления применяются в тех частях электроустановки, в которых нет стационарных заземляющих устройств.

Наложение переносного заземления следует производить в следующем порядке:

- присоединить переносное заземление к заземляющему устройству;

- проверить отсутствие напряжения на заземляющих токоведущих частях;
- надеть диэлектрические перчатки или взять специальные штанги из изоляционного материала;
- наложить переносное заземление на заземляемые токоведущие части и закрепить его.

При снятии переносного заземления его отсоединяют сначала от токоведущих частей и лишь затем от заземляющего устройства.

Проверка отсутствия напряжения должна производиться переносным вольтметром или указателем напряжения. Указатели напряжения, вольтметры, применяемые для проверки наличия (отсутствия) напряжения, должны быть рассчитаны на его номинальное значение.

Непосредственно перед проверкой отсутствия напряжения должна быть определена исправность применяемого указателя напряжения или другого прибора присоединением его к токоведущим частям, заведомо находящимся под напряжением и расположенным поблизости. Отсутствие напряжения должно быть проверено между всеми фазами и между каждой фазой и землей. После проверки отсутствия напряжения указатель или другой прибор, которым отсутствие напряжения проверялось, следует снова проверить, чтобы убедиться в его исправности. Проверка отсутствия напряжения в отключенной для производства работ части электроустановки должна производиться оперативным персоналом.

Стационарные устройства, сигнализирующие об отключенном состоянии аппаратов: сигнальные лампочки, постоянно включенные вольтметры, различные блокирующие устройства, предупреждающие доступ в камеры, находящиеся под напряжением и т.п. — являются только вспомогательными средствами, на основании которых не допускается делать заключение об отсутствии напряжения на оборудовании. Запрещается снимать приборы, находящиеся под напряжением. Регулировку и настройку электрических элементов допускается производить только после снятия электропитания.

Опробование электроприводов механизмов необходимо производить только в присутствии официального представителя монтажной организации и только после окончания наладки узлов защиты и схемы управления. Перед началом опробования следует убедиться, что электропривод может быть остановлен любым отключающим устройством, предусмотренным схемой. Кроме того, необходимо установить зрительную телефонную связь между пультом управления, электроприводом и механизмами. Перед пуском электропривода все посторонние лица должны быть удалены из зоны опробования. По окончании работ, связанных с опробованием электропривода или приводимых им в действие механизмов, следует отключить выключатель и разъединитель и вывесить плакаты «Не включать — работают люди».

Оформление работы. Организационными мероприятиями, обеспечивающими безопасность работы в электроустановках, предусматривается оформление работы нарядом-допуском или распоряжением. Наряд есть письменное распоряжение на производство работ, определяющее место, время начала и окончания работы, условия ее безопасного проведения, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность работ.

3.5.4. ЗАЩИТНЫЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Защитными средствами называются приборы, аппараты, приспособления и устройства, а также отдельные части устройств, приспособлений и аппаратов, которые служат для защиты персонала, работающего в электроустановках, от поражения электрическим током, воздействия электрической дуги или продуктов ее горения и т.п. Все они должны удовлетворять требованиям «Инструкции по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках» [26].

Изолирующие электрозащитные средства делятся на основные и дополнительные.

Основными называются такие защитные средства, изоляция которых надежно выдерживает рабочее напряжение электроустановки и при помощи которых допускается касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением. К основным защитным изолирующим средствам, применяемым в электроустановках напряжением до 1000 В, относятся:

- изолирующие штанги всех видов;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- устройства и приспособления для обеспечения безопасности работ при измерениях и испытаниях в электроустановках (указатели напряжения для проверки совпадения фаз, клещи электроизмерительные, устройства для прокола кабеля и т.п.);
- специальные средства защиты, устройства и приспособления изолирующие для работ под напряжением в электроустановках напряжением 110 кВ и выше (кроме штанг для переноса и выравнивания потенциала).

Дополнительными называются такие защитные средства, которые могут при данном напряжении обеспечить защиту от поражения током. Они являются дополнительной к основным средствам мерой защиты. К дополнительным защитным изолирующим средствам, применяемым в электроустановках напряжением до 1000 В, относятся:

- диэлектрические перчатки, галоши и боты;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;

- штанги для переноса и выравнивания потенциала;
- изолирующие колпаки, покрытия и накладки;
- лестницы приставные, стремянки изолирующие стеклопластиковые.

Кроме перечисленных средств защиты в электроустановках применяются следующие средства индивидуальной защиты:

- средства защиты головы (каска защитные);
- средства защиты глаз и лица (очки и щитки защитные);
- средства защиты органов дыхания (противогазы и респираторы);
- средства защиты рук (рукавицы);
- средства защиты от падения с высоты (пояса предохранительные и канаты страховочные);
- одежда специальная защитная (комплекты для защиты от электрической дуги).

Перед каждым употреблением защитного средства персонал обязан проверить его исправность и отсутствие внешних повреждений. По заводскому клейму необходимо проверить, на какое напряжение рассчитано данное защитное средство и не истек ли срок периодического испытания. Резиновые перчатки, кроме того, необходимо проверить на отсутствие проколов.

3.5.5. РАБОТА В ДЕЙСТВУЮЩИХ УСТАНОВКАХ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ И В ЗОНЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Выполнять наладочные работы на установках, агрегатах, трубопроводах, емкостях, находящихся под давлением и в зоне высоких температур, можно только по разрешению ответственного лица по их эксплуатации и после выполнения ответственным оперативным дежурным (начальником смены, дежурным оператором) всех мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение работ и предусматривающих инструктаж руководителей работ и бригады.

Руководитель бригады должен проследить, чтобы оперативным дежурным были зафиксированы в оперативном журнале все необходимые технические и организационные мероприятия, предшествующие допуску к работе, или оформить допуск нарядом. Наладочному персоналу разрешается производить работы только в определенном месте и только с приборами и средствами автоматизации.

Наладочному персоналу запрещается:

- производить отключение и включение приборов и регуляторов без письменного разрешения ответственного лица;
- открывать и закрывать запорную арматуру, кроме вентилей, находящихся у приборов или датчиков;

- производить работы в области высоких температур и давлений без ограждений, экранов;
- затягивать уплотнения, сальники приборов и арматуры, находящихся под давлением;
- устранять мелкие дефекты приборов и регуляторов без их отключения;
- снимать характеристики регулирующих органов без соответствующего разрешения и оформления в оперативном журнале;
- снимать датчики, встроенные в технологическое оборудование.

3.5.6. РАБОТА ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ

Работа во взрывоопасных производствах наряду с обычными мерами безопасности требует знания ряда дополнительных требований. Прежде всего, необходимо знать, с какими взрывоопасными смесями газов, легковоспламеняющихся жидкостей и горючих пыли и волокон связано производство (категория и группа смеси).

Отметим, что согласно п. 7.3.16 ПУЭ к взрывоопасным относятся смеси с воздухом горючих газов, паров легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), горючих пыли и волокон с нижним концентрационным пределом воспламенения не более 65 г/м при переходе их во взвешенное состояние, которые при определенной концентрации способны взорваться при возникновении источника инициирования взрыва.

К взрывоопасным относится также смесь горючих газов и паров ЛВЖ с кислородом или другим окислителем (например, хлором). Концентрация в воздухе горючих газов и паров ЛВЖ принята в процентах к объему воздуха, концентрация пыли и волокон – в граммах на кубический метр к объему воздуха.

Важным является знание классификации взрывоопасных зон, на основании которой производится выбор электрооборудования и соблюдаются безопасные методы труда.

Правилами устройства электроустановок предусмотрена следующая классификация взрывоопасных зон:

- п. 7.3.40. Зоны класса В-I – зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т.п.;
- п. 7.3.41. Зоны класса В-Ia – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела

воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей;

- п. 7.3.42. Зоны класса В-Іб – зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей и которые отличаются одной из следующих особенностей:

- горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15% и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях по ГОСТ 12.1.005–88 (например, машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок);

- помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения, имеют взрывоопасную зону только в верхней части помещения;

- п. 7.3.43. Зоны класса В-Іг – пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ, надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, прудов-стойников с плавающей нефтяной пленкой и т.п. Взрывоопасная зона класса В-Іг устанавливается в пределах от 0,5 до 20 м в зависимости от наличия вентиляции, ограждающих конструкций и т.д.;

- В-ІІ и В-Іа – зоны, расположенные в помещениях, в которых переходящие во взвешенное состояние горючие пыли и волокна выделяются в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовывать с воздухом взрывоопасные смеси соответственно при нормальных режимах работы (п. 7.3.45 – В-ІІ) или только в результате аварий и неисправностей (п. 7.3.46 – В-Іа).

В зависимости от категорий смесей и классов взрывоопасных зон выбирается соответствующее электрооборудование. Правильность его использования должна контролироваться при пусконаладочных работах.

По ГОСТ 12.2.020–76 взрывозащищенное электрооборудование подразделяется по уровням и видам взрывозащиты, группам и температурным классам.

Установлены следующие уровни взрывозащиты электрооборудования: «электрооборудование повышенной надежности против взрыва» (знак 2), «взрывобезопасное электрооборудование» (знак 1) и «особовзрывобезопасное электрооборудование» (знак 0).

Виды взрывозащиты характеризуются техническими средствами, обеспечивающими безопасность (табл. 3.12).

Группы взрывозащищенного оборудования определяют область их применения, группа I – рудничное, группа II – для внутренней и наружной установок.

Электрооборудование группы II, имеющее взрывонепроницаемую оболочку или искробезопасную электрическую цепь, подразделяется на подгруппы IIA, IIB и IIC в зависимости от параметров взрывозащиты, применяемых для соответствующих категорий взрывоопасных смесей. Наиболее опасной является смесь категории IIC, для которой, например, безопасный экспериментальный максимальный зазор (БЭМЗ) составляет менее 0,5 мм; к этой категории относятся смеси с водородом, ацетиленом, сероуглеродом и т.п.

Температурные классы электрооборудования группы II определяют предельную температуру, при которой оборудование является взрывозащищенным для определенной группы взрывоопасной смеси (табл. 3.13).

3.12. Виды взрывозащиты

Взрывонепроницаемая оболочка	d
Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением защитным газом	p
Искробезопасная электрическая цепь	i
Кварцевое заполнение оболочки с токоведущими частями	q
Масляное заполнение оболочки с токоведущими частями	o
Специальный вид взрывозащиты	s
Защита вида «е»	e

3.13. Температурные классы электрооборудования группы II

Знак температурного класса электрооборудования	Предельная температура, °C	Группа взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным
T1	450	T1
T2	300	T1, T2
T3	200	T1-T3
T4	135	T1-T4
T5	100	T1-T5
T6	85	T1-T6

В маркировку по взрывозащите электрооборудования в указанной ниже последовательности входят:

- знак уровня взрывозащиты электрооборудования (2, 1, 0);
- знак Ex, указывающий на соответствие электрооборудования стандартам на взрывозащищенное электрооборудование;
- знак вида взрывозащиты (d, i, q, o, s, e);
- знак группы или подгруппы электрооборудования (II, IIA, IIB, IIC);
- знак температурного класса электрооборудования (T1, T2, T3, T4, T5, T6).

Например, маркировка 2ExiICT6 означает: электрооборудование повышенной надежности против взрыва, обеспечено соответствие стандартам, вид взрывозащиты – искробезопасная электрическая цепь, подгруппа IC, температурный класс T6.

В практике пусконаладочных работ широкое применение получают взрывозащищенные датчики «Сапфир-22ВН» с маркировкой по взрывозащите IExdIIBT4 или IExsdIIBT4. Это означает, что уровень взрывозащиты соответствует взрывобезопасному оборудованию (знак 1), обеспечено соответствие стандартам (Ex), вид взрывозащиты – взрывонепроницаемая оболочка (d) или сочетание со специальным видом взрывозащиты (s), подгруппа IIB, температурный класс T4 (температура самовоспламенения среды – 135...200 °C).

При монтаже или вскрытии в процессе наладки взрывозащитных соединений (корпус – крышка, корпус – фланец и др.) вводные устройства должны быть осмотрены (недопустимы царапины, вмятины), тщательно протерты и покрыты тонким слоем консистентной смазки (типа Циатим-201, Циатим-221).

После затяжки болтов до отказа должны быть проверены взрывонепроницаемые зазоры с помощью щупа.

Датчики «Сапфир-651», «Сапфир-652» имеют вид взрывозащиты – искробезопасная электрическая цепь, что обеспечивается установкой специальных устройств (барьеров защиты) в блоках питания или отдельно.

При подключении кабелей и проводов с искробезопасными цепями необходимо проверить емкость и индуктивность этих линий (включая датчик) и сравнить их с указанными в инструкции по монтажу или на табличке прибора. Если к прибору подключаются разные цепи: искробезопасные и неискробезопасные, то зазор между ними должен быть не менее 50 мм.

При работе во взрывоопасных и загазованных зонах необходимо:

- работать бригадой не менее двух человек, а при проведении работ в колодцах, резервуарах, агрегатах – не менее трех человек;
- применять только специальный, как правило омедненный, инструмент;

- быть в обуви без стальных подковок и гвоздей;
- производить монтаж и демонтаж приборов на технологическом оборудовании только после его опорожнения и дегазации;
- при работе в газоопасных зонах пользоваться противогазами аналогично тому, как работают соответствующие службы заказчика;
- пользоваться переносными приборами искробезопасного исполнения.

Контрольные вопросы

1. Общее определение понятия температуры.
2. Принцип действия термометра сопротивления.
3. Каким требованиям должны удовлетворять теплочувствительные элементы?
4. Схемы включения термометра сопротивления.
5. Назовите основные погрешности преобразователей.
6. Материалы термопар, их характеристики.
7. Схемы включения термоэлектрического термометра.
8. Погрешности термоэлектрического термометра.
9. Классификация термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом.
10. Выходные сигналы, термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом.
11. Схемы подключений термопреобразователей с унифицированным выходным сигналом.
12. В чем заключается предмонтажная проверка измерительных приборов?
13. Проверка автоматических потенциометров.
14. Проверка автоматических милливольтметров.
15. Образцовые приборы, используемые при проверке автоматических мостов и логометров.
16. Порядок поверки измерителя-регулятора ТРМ1.
17. Основные операции по проверке монтажа и наладка термоэлектрических преобразователей.
18. Основные операции по проверке монтажа и наладка термометров сопротивления.
19. Мероприятия, направленные на снижение внешних электрических помех на показания термопреобразователя.
20. Что характеризует давление как физическая величина?
21. Виды давлений в технике измерений.
22. Классификация манометров по принципу действия.
23. Классификация манометров по выходному сигналу.

24. Особенности наладки преобразователей давления типа «Сапфир-22».

25. Особенности наладки преобразователей давления типа АИР-10.

26. Что характеризует расход как физическая величина?

27. Принцип действия расходомеров переменного перепада давления.

28. Перечислите стандартные сужающие устройства.

29. Преимущество и недостатки расходомеров на базе стандартных сужающих устройств.

30. Принцип действия электромагнитного расходомера.

31. Принцип действия ультразвукового расходомера.

32. В чем состоит предмонтажная проверка расходомеров?

33. В чем состоит предмонтажная подготовка электромагнитного расходомера ИПРЭ-7?

34. Операции при проведении поверки ИПРЭ-7.

35. Условия и требования при проведении операций поверки ультразвукового расходомера УЗС-1.

36. Операции при проведении поверки УЗС-1.

37. Классификация методов измерения уровня.

38. Принцип работы поплавочного уровнемера.

39. Принцип работы буйковых уровнемеров.

40. Принцип работы гидростатических уровнемеров.

41. Принцип работы емкостных уровнемеров.

42. Принцип работы кондуктометрических средств контроля уровня.

43. Принцип работы вибрационных средств контроля уровня.

44. Принцип работы акустических средств контроля уровня.

45. Принцип работы микроволновых средств контроля уровня.

46. Предмонтажная проверка датчиков уровня.

47. Виды инструктажей.

48. Требования к организации безопасности производства наладочных работ.

49. Защитные средства, применяемые в электроустановках.

50. Классификация взрывоопасных зон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии изложены основы по организации и проведению монтажных, наладочных и эксплуатационных работ систем автоматического контроля и управления.

Грамотная эксплуатация средств автоматики обеспечивается знанием правил наладки, ремонта и монтажа приборов и средств автоматики. При проведении пусконаладочных работ и выполнении текущей эксплуатации инженеру по автоматизации потребуются знания организации и ведения монтажных работ.

Авторы надеются, что учебное пособие, которое студенты прочитали, создало запас знаний, который будет полезен в их дальнейшей профессиональной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др. ; под ред. В.А. Кузнецова. – М. : Радио и связь, 1990. – 240 с.
2. Кудрицкий, В.Д. Автоматизация контроля радиоэлектронной аппаратуры / В.Д. Кудрицкий, М.А. Сеница, П.И. Чинаев ; под ред. П.И. Чинаева. – М. : Сов. Радио, 1977. – 256 с.
3. Лабунец, В.С. Исследование распределения метрологических отказов в разных участках диапазона измерения погрешности прибора / В.С. Лабунец // Метрология. – 1980. – № 2. – С. 4 – 7.
4. Данилевич, С.Б. Построение рациональных методик поверки средств измерений с помощью метода имитационного моделирования / С.Б. Данилевич // Метрология. – 1980. – № 5. – С. 12 – 14.
5. Большакова, Л.П. Оптимизация методик поверки средств измерений параметров ИС / Л.П. Большакова // Электронная промышленность. – 1985. – Вып. 3(141). – С. 10 – 12.
6. Лисенков, А.И. Метод выбора поверяемых отметок / А.И. Лисенков // Метрология. – 1981. – № 4. – С. 8 – 11.
7. Горлач, А.А. Цифровая обработка сигналов в измерительной технике / А.А. Горлач, М.Я. Минц, В.И. Чинков. – Киев : Техника, 1985. – 152 с.
8. Полетаев, В.П. Планирование оптимальных межповерочных интервалов рабочих средств измерений в условиях массового производства / В.П. Полетаев // Метрология. – 1977. – № 10. – С. 27 – 33.
9. Минько, Э.В. Экстремальная экономико-математическая модель определения межповерочных интервалов средств измерений / Э.В. Минько, В.А. Поз, О.Е. Лысоев // Метрология. – 1977. – № 10. – С. 56 – 60.
10. Илюкович, А.М. Использование методов автономной поверки в метрологической практике / А.М. Илюкович, А.Т. Дюжин // Измерительная техника. – 1984. – № 9. – С. 43 – 45.
11. Монтаж средств измерения и автоматизации : справочник / под ред. А.С. Ключева. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 488 с.
12. Измеритель-регулятор микропроцессорный одноканальный: Руководство по эксплуатации. КУВФ. 421210.002 РЭ. – М. : ООО «ПО ОВЕН».
13. Измерители-регуляторы микропроцессорные ТРМ1, 2ТРМ0, 2ТРМ1, ТРМ10, ТРМ12: Методика поверки. КУВФ.421210.002 МП. – М. : ООО «ПО ОВЕН».

14. Наладка средств измерений и систем технологического контроля : справочное пособие / А.С. Клюев и др. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 400 с.
15. <http://www.teplocontrol.ru/415.htm>.
16. Преобразователи давления измерительные АИР-10. Руководство по эксплуатации НКГЖ.406233.005РЭ. НПП «Элемер».
17. Преобразователи давления измерительные. Методика поверки МИ 1997–89. – М., 1990. – 39 с.
18. Преобразователь расхода электромагнитный измерительный ИПРЭ-7. Руководство по эксплуатации ЛГФИ.407212.013 Р.
19. Преобразователь расхода электромагнитный измерительный ИПРЭ-7. Методика поверки ЛГФИ.407212.013 МИ.
20. Счетчики ультразвуковые УЗС-1. Модели 1.1, 2.1, 2.2. Руководство по эксплуатации 407251.002 РЭ.
21. Счетчики ультразвуковые УЗС-1. Методика поверки 407251.002 Д2.
22. Жданкин, В. Сигнализаторы изменения уровня / В. Жданкин // Современные технологии автоматизации, 2002. – № 2. – С. 6 – 15.
23. Преобразователь измерительный уровня буйковый Сапфир-22 ДУ, Сапфир-22 ДУ-Вн, Сапфир-22 ДУ-Ех. Руководство по эксплуатации.
24. ООО СКБ «Приборы и системы». Каталог. – 2011. – 136 с.
25. ОАО «Завод «Старорусприбор». Каталог продукции. Приборы измерения, сигнализации и контроля уровня жидких, сыпучих и кусковых материалов. 2011. – 66 с.
26. Инструкция по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках. – М. – 60 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СИСТЕМА ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕМОНТА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ НАДЗОР ЗА СРЕДСТВА- МИ ИЗМЕРЕНИЯ	4
1.1. Назначение и содержание работ по эксплуатации	4
1.2. Применение средств измерений и контроля	7
1.3. Техническое обслуживание и поверка	8
1.4. Ремонт	9
1.5. Транспортирование и хранение	17
1.6. Категорирование и списание	18
1.7. Ведение учета и эксплуатационной документации	19
1.8. Государственные и отраслевые поверочные схемы	21
1.9. Назначение метрологической аттестации и поверки средств измерений, виды поверок и способы их выполнения	23
1.10. Достоверность поверки	25
1.11. Определение объема поверочных работ	27
1.12. Поверка по сокращенной программе. Методы поверки многопредельных и многоцелевых средств измерений	28
1.13. Способы определения числа поверяемых отметок в диапазоне измерений в аналоговых и цифровых измерительных приборах	29
1.14. Назначение и корректировка межповерочных интервалов	30
Контрольные вопросы	32
2. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО МОНТАЖУ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ	33
2.1. Подготовка к производству монтажных работ подготовка к производству работ	33

2.2.	Взаимоотношения между заказчиками и подрядными организациями. Общие положения	36
2.3.	Сдача и приемка законченных комплексов монтажных и специальных строительных работ	49
2.4.	Монтаж элементов автоматики	51
2.5.	Монтаж щитов, пультов и стативов	51
2.6.	Монтаж электропроводок	69
2.7.	Монтаж приборов для измерения температуры	93
2.8.	Монтаж приборов для измерения давления и разряжения	99
2.9.	Монтаж приборов для измерения расхода	109
	Контрольные вопросы	125
3.	НАЛАДКА СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ	126
3.1.	Наладка средств и систем измерения температуры	126
3.2.	Наладка средств и систем измерения давления	166
3.3.	Наладка средств и систем измерения расхода	185
3.4.	Наладка средств и систем измерения уровня	203
3.5.	Техника безопасности при производстве наладочных работ	220
	Контрольные вопросы	234
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	236
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	237

Учебное электронное издание

НАЗАРОВ Виктор Николаевич,
ТРЕТЬЯКОВ Александр Александрович,
ОНЕВСКИЙ Павел Михайлович,
ЕЛИЗАРОВ Игорь Александрович

МОНТАЖ, НАЛАДКА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Учебное пособие

Редактор Л.В. Комбарова
Инженер по компьютерному макетированию Т.Ю. Зотова

Подписано в печать 18.06.2012.
Формат 60 × 84/16. 13,95 усл. печ. л. Заказ № 354

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14