

Аннотация

В магистерской диссертации разработана индуктивно-резистивная система электрообогрева с использованием новых алгоритмов управления системой. В пояснительной записке к магистерской диссертации представлено обоснование выбора вида системы электрообогрева. Теплотехнический расчёт выполнен в программе «Тепломаг». На основе теплотехнического расчёта приведены графики зависимости мощности обогрева от температуры окружающей среды.

В теоретической части пояснительной записки рассмотрены виды систем электрообогрева, их достоинства и недостатки. В разделе проектирования системы электрообогрева, рассмотрены строение и характеристики обогревательной системы. Приведены схемы контроля и автоматического управления системы, а так же схемы электроснабжения с применением однофазного источника. В описании схем управления системы электрообогрева, описан алгоритм автоматического управления, а так же дополнительные алгоритмы автоматического управления в разных исполнениях системы электрообогрева. В разделе монтажа и пуско-наладки приведены указания и особенности монтажа обогревательных элементов, а так же указания для выполнения испытаний при проведении пуско-наладочных работ.

Пояснительная записка содержит 95 листов, 33 рисунка и 5 таблиц.

Оглавление

Введение.....	5
1. Анализ существующих видов обогрева.....	9
1.1 Альтернативные системы обогрева.....	9
1.2 История развития систем электрообогрева.....	11
1.3 Скин-система электрического обогрева.....	15
1.4 Электрообогревательные системы, основанные на резистивных кабелях....	20
1.5 Электрообогревательные системы, основанные на саморегулирующихся кабелях.....	21
2. Проектирование индукционно-резистивной системы электрообогрева.....	25
2.1 Общие указания.....	25
2.2 Теплотехнический расчёт.....	26
2.3 Схема электрообогрева.....	28
2.4 Управляющая подсистема.....	32
2.5 Терморегулирующая аппаратура.....	46
2.6 Схемы управления в системе электрообогрева.....	50
2.6.1 Поддержание температуры до +60°C при жестком ограничении максимальной технологической температуры, разветвленная сеть труб.....	51
2.6.2 Защита от замерзания (поддержание +5°C), одиночная труба или несколько одиночных труб.....	52
2.6.3 Защита от замерзания (поддержание +5°C), разветвленная сеть труб.....	54
2.6.4 Поддержание терморежима до +60°C при необходимости жесткого ограничения максимального значения технологической температуры, при наличии одиночной трубы или нескольких одиночных труб.....	56
2.6.5 Соблюдение термического режима +60°C при наличии жесткого ограничения максимального значения технологической температуры, при одиночной трубе или нескольких одиночных трубах.....	58
2.7 Схема электроснабжения для СКИН-системы с применением однофазного источника.....	58
3. Монтаж, пуско-наладка и эксплуатация систем электрообогрева.....	60

3.1 Общие положения правила монтажа систем электрообогрева.....	60
3.2 Монтаж датчиков и нагревающих элементов на трубопроводах.....	64
3.3 Монтаж теплоизоляции.....	74
3.4 Монтаж кабелей управления, силовых кабелей.....	75
3.5 Монтаж шкафов управления, КТП, коробок управляющей системы, силовых коробок.....	77
3.6 Заземление.....	79
3.7 Пуско-наладочные работы.....	81
3.8 Испытания, настройка.....	84
Заключение.....	91
Список используемых источников.....	93

Введение

Современные нефтяные месторождения, газовые месторождения и нефтеперерабатывающие предприятия – это система технологических установок, площадок, скважин, резервуаров, которые связаны между собой обширной сетью технологических трубопроводов.

Извлекаемые из недр земли нефть и газ, транспортируются при помощи внутриплощадочных трубопроводов, и проходят глубокую систему очищения и подготовки к транспортировке, а потом благодаря межплощадочным трубопроводам оказываются в транзитных магистральных трубопроводах. Насосно-перекачивающие пункты, нефтебазы и отгрузочные терминалы обеспечены обширной сетью технологических и измерительных трубопроводов, резервуаров, открытых площадок и зданий, требующих подогрева.

Сегодня большинство месторождений нефти и газа в России находятся в северной климатической зоне. При этом температура выпадения парафина в определенных видах нефти достигает до $+30^{\circ}\text{C}$ и выше, что делает проблему стабилизации требуемой температуры перекачиваемого нефтепродукта весьма актуальной.

Будущее развитие добычи нефти и газа в России напрямую связано с исследованием разведанных запасов в северных районах и на шельфе. Идет активное освоение месторождений Восточной Сибири, строится промышленная инфраструктура для добычи нефти на шельфе. Вместе с этим развивается нефтепереработка и нефтехимия.

Правительство России приняло «Энергетическую стратегию России на период до 2020 года», в которой предполагается усиление роли восточных регионов в нефтяной и газовой промышленности РФ, диверсификация экспорта с выходом на рынок АТР. За минувшие годы в деятельность подавляющего большинства добывающих и перерабатывающих предприятий нефтегазовой отрасли пришли системы электрического обогрева, применение которых

представляет собой один из факторов обеспечения безаварийной работы и уменьшения себестоимости добычи, транспортировки нефти и газа.

Таким образом, в связи с вводом новых месторождений нефти и газа, а так же модернизации инфраструктуры старых месторождений, становится актуальной важная научно-техническая задача обеспечение устойчивости температуры нефти и газа по ходу переработки, транспортировки и хранения. Решение данной задачи повышает точность поддержания температуры, а так же снижает затраты энергии что, в конечном счете, повышает качество продукции.

Цель работы:

Снижение энергозатрат на обогрев трубопроводов нефтегазовой и химической промышленности, повышение стабилизации температуры в системе электрообогрева.

Задачи исследований, обеспечивающие реализацию поставленной цели:

- Провести анализ всех существующих видов систем электрообогрева
- Разработка системы автоматизации управления. Разработка проектной схемы, которая включает в себя датчики температуры объекта обогрева, терморегулирующую температуру, линию связи и устройства обработки и хранения получаемой информации.
- Разработка методик: монтажа системы электрообогрева и пуско-наладки.

Практическая значимость:

Разработанный алгоритм управления индукционно-резистивной системы обогрева на основе выявленных причин нестабильности поддержания температуры на разветвленном магистральном трубопроводе, позволяет решить проблему управления качеством продукта.

Использование разработанного алгоритма дает возможность организации эффективного управления технологическим процессом в пределах обогрева магистрального трубопровода, за счёт контроля температуры каждого участка разветвленного трубопровода.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Алгоритм управления системой электрообогрева;
- Система автоматического управления;
- Система питания нагревательных элементов.

Научная новизна:

Предложен новый алгоритм управления в разветвлённых магистральных трубопроводах магистральных трубопроводах, отличающийся от известных ранее тем то что, контроль температуры осуществляется на каждом участке разветвленного трубопровода.

Предложена новая система управления электрообогрева учитывающая требования нового алгоритма управления. Отличается от ранее известных тем то, что в состав регулятора температуры включается датчик температуры окружающей среды, а так же несколько датчиков на каждом из участков разветвленного трубопровода.

По теме диссертации опубликовано 3 научные статьи:

1. Ермаков В.В., Болдырев А.В. Повышение эффективности электрообогрева трубопроводов объектов химической и нефтяной промышленности// Интеллектуальный и научный потенциал XXI века: Сборник статей международной научно-практической конференции (22.05.17). В 4 ч. Ч.3/-Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2017. – 255 с. Стр. 33-35.

2. Ермаков В.В., Болдырев А.В. Система обогрева трубопровода, применяемая на основе СКИН-эффекта// Развитие научной конкуренции в области высоких технологий: Сборник статей международной научно-практической конференции (25.02.18) Уфа: ОМЕГА САЙНС, 2018 – 51 с. Стр. 12-14.

3. Ермаков В.В., Болдырев А.В. Система обогрева трубопровода на основе саморегулирующегося кабеля// Инновационное развитие экономики: Российский и зарубежный опыт: Сборник статей международной научно-практической конференции (03.04.18). Уфа: ОМЕГА САЙНС 2018 – 277 с. Стр. 4-5.

Структура и объём работы.

Структура: введение, 3 раздела, заключение, список использованных источников.

Объём: 95 страницы машинописного текста.

1. Анализ существующих видов обогрева

1.1 Альтернативные системы обогрева

Рост добычи нефти и её транспортировка до нефтеперерабатывающих предприятий, открыл такую проблему, как потребность в подогреве магистральных трубопроводов, емкостей для хранения нефтепродуктов, а также других объектов.

В начале XX столетия на нефтяных месторождениях Кавказа строится трубопровод с подогревом мазута для сокращения сопротивления его движению.

В Советском Союзе первые случаи применения трубопроводов с обогревом известны с начала 1930 года. Например, по заказу МОГЭС был построен мазутопровод диаметров 8 дюймов и длиной 5 км. Перекачивая мазут марки 80, подогретый до температуры 50°C. Главной задачей на тот момент было устранение загустевания мазута и после остановки движения. Трубопровод благополучно эксплуатировался с 1933 по 1939 г.

С развитием нефтяной промышленности число объектов, нуждающихся в применении подогрева, непрерывно увеличивалось. Например, применение заводнения, т. е. закачивание в пласт почвы воды, потребовало подогрева водоводов. Данная проблема наиболее актуальна для подогрева трубопроводов в районах Северной и Сибирской части России.

Исторически складывалось так, что одни из первых систем подогрева использовались на основе теплоносителей дымовых газов, горячей воды (95°C) и пара (120-130°C). Через какое то время нашло применение в качестве теплоносителя масло и высокотемпературные органические носители – жидкости ВОТ (свыше 160°). Больше всего в качестве подогрева использовался водяной пар, который транспортировался, без каких либо проблем и не представлял пожарной опасности. Чаще всего применялся насыщенный пар под давлением 0,3-0,4 Мпа, обеспечивая подогрев нефтепродукта до 70-90°C.[1]

В зависимости от типа строения обогреваемого объекта использовались разные виды обогрева, такие как:

- обогрев дымовыми газами трубчатых подогревателей и цистерн с нефтепродуктами;

- обогрев «острым» (открытым) паром, т.е. подача насыщенного пара в нефтепродукт.

- обогрев посредством подачи теплоносителей (которыми могут являться масло, горячая вода, «глухой» пар, а также жидкости ВОТ) в «рубашку» трубопровода, цистерны либо резервуара;

- применение встроенных подогревателей (змеевиков, секционных), куда производится подача теплоносителя.

При подогреве резервуаров и трубопроводов пар – основное техническое решение. Паросиловые хозяйства находились в составе многих предприятий. Задачей данного хозяйства являлась генерация пара и его распределение для потребителей. Пара пар-мазут была технически связанной – мазут применялся для генерации пара, а пар использовался для того, чтобы обеспечить налив-слив мазута.

Описанное выше технологическое решение обладает следующими положительными сторонами:

- увеличенная теплоемкость, благодаря которой нагреваемая среда может быстро получать нужное количество теплоты;

- возможность направленно подавать и подводить свежий пар посредством паропроводов на значительные расстояния;

- легкость генерации пара при условии использования мазута, имевшегося в то время повсеместно.

К недостаткам метода можно отнести следующие его особенности:

- при постоянной работе пара возникает множество проблем, которые связаны, прежде всего, с необходимостью отводить конденсат, а также коррозией;

- трубы могут эксплуатироваться в течение коротких сроков, из-за чего повышается стоимость эксплуатации, а также требуется большое количество обслуживающего персонала;
- «плечи» подогрева труб имеют короткую длину (до 500 метров);
- при прохождении пара по трубопроводу его температура снижается, вследствие чего растет расход пара;
- для генерации пара требуются существенные расходы;
- процессы не могут быть хоть сколько-нибудь серьезно автоматизированы (это возможно только для подсчета расхода пара на «плечи» и контроля температуры);
- повышенные капитальные и материальные затраты, которые дополнительно увеличиваются, если обогрев производится посредством рубашек;
- при остановке в прокачках пара пароспутники могут из-за замерзаний конденсата выйти из строя.

Следует заметить, что из-за того, что отсутствия теплоизоляционных материалов, которые обладали бы достаточными долговечностью и качеством, а также особенностями функционирования трубопроводов, которые большую часть времени находились в режиме «остановка», для работы трубопровода требовалась мощность от 300 до 1000 Вт/м.

1.2 История развития систем электрообогрева

Электрообогрев начал повсеместно применяться за рубежом в начале 60-х годов прошлого столетия. Этому способствовало сразу несколько причин:

- повышение производства электроэнергии;
- создание теплоизоляционных материалов высокого качества, вследствие чего для обогрева стало требоваться меньше мощностей;
- расширение возможностей для автоматизации процессов на производстве.

Вследствие того, что потребные мощности продолжали оставаться значительными (от 100 до 300 Вт/м), наибольшую востребованность приобрели устойчивые к перепадам температуры решения – ими обеспечивалась большая мощность. Это имело связь прежде всего с тем, что на тех же производственных базах, что и производство ТЭНов и иных жестких нагревателей, стали создаваться кабели, оснащенные минеральной изоляцией.

Ленточные резистивные кабели также стали востребованным решением. В их состав входили базальтовые и стеклянные волокна с пропитками типа ЭНГЛ. Вместе с ленточными резистивными кабелями начали популярizоваться системы нагрева, основанные на таких кабелях. Толчком для этого послужило создание и распространение силиконовых резин и фторполимеров.

Еще одним шагом стало появление нагревательных лент, в которых использовался эффект саморегуляции. Они были изобретены при изучении свойств, которыми обладали угленаполненные проводящие пластмассы. Несмотря на то, что нагревательные ленты обладали в сравнении с резистивными лентами сниженной выделяемой мощностью (от 10 до 50 Вт/м), это уже не являлось их недостатком вследствие появления теплоизоляционных материалов с высокой эффективностью. Вместе с тем саморегулируемые нагреватели обладали такими преимуществами, как возможность изменять длины и невозможность перегрева. Это и обусловило их высокую популярность как технологического решения.

Резистивный прямой электрический нагрев также использовался для нагрева трубопроводов. При этом электрический ток пропусклся по той трубе, которая обогревалась. Этот способ использовался при необходимости произвести аварийный разогрев трубы небольшой протяженности. Однако данный метод не стал популярным, поскольку при его использовании снижалась безопасность обслуживающего персонала, а также возникала повышенная взрыво- и пожароопасность, что было особенно важно при перевозке нефтепродуктов.

В некоторых случаях при решении задач, связанных с обогревом трубопроводов, является целесообразным использование нагревательных индукционных систем. В них металлические стенки трубопроводов либо резервуаров нагреваются посредством действия электромагнитного поля, которое создает ток, протекающий в индукторе. Как правило, ток, используемый для таких задач, имеет промышленную частоту. Система обогрева может быть выполнена в двух вариантах: дискретный обогрев (только для отдельных участков трубопровода) либо сплошной обогрев. В случае дискретного обогрева индукторы, установленные на трубе, удалены друг от друга на заданное расстояние. Применение индукционных нагревательных систем является целесообразным тогда, когда трубы имеют небольшую длину (как правило, это возможно на территориях химических и нефтеперерабатывающих заводов).

Появление индукционно-резистивной нагревательной системы, которая впервые начала применяться в Японии, стала важным шагом. В основу данной системы положен скин-эффект. Она стала применяться с целью обогреть длинные (до 15 километров) трубопроводы. В Японии в 1971 году с помощью индукционно-резистивных систем обогревалось 120 километров трубопроводов, мощность составляла 15 МВт. Положительные свойства данных систем – безопасность, надежность, а также отсутствие питающих электросетей. [3]

Нужно заметить, что СКИН-системы являются очень востребованными в условиях Российской Федерации. Это обусловлено тем, что в России используется множество длинных трубопроводов, которые проложены и функционируют в суровых климатических условиях. Сегодня СКИН-системы производятся предприятиями трех стран – Японии, России и США.

В сравнении с другими способами обогрева электрический обогрев обладает следующими преимуществами:

- Удобство конструктивного исполнения;
- Повышенная концентрация мощности;

- Постоянство обогревательной мощности по всей длине трубопровода;
- Широкие возможности для температурной регуляции нагрева;
- Низкая сложность встраивания в автоматизированные системы, которые внедрены в большинстве производственных предприятий;
- Сниженная материалоемкость, повышенная экономическая эффективность, достигаемая оптимальным расходом электрической энергии. Точность, простота автоматического подсчета затрат на электрической обогрев;
- Повышенная безопасность, длительные сроки эксплуатации, что обеспечивается использованием качественных материалов и передовых технологий. Повышенная пригодность к ремонту;
- Экологичность;
- Возможность восстановить функционирование трубопровода в случае перебоев в электропитании.

Запитывание систем электрического обогрева происходит от общих систем электрического снабжения на предприятиях. Для них создаются собственные автоматизированные управляющие системы, в которые закладываются алгоритмы для поддержания нужного режима. Такие алгоритмы могут быть интегрированы с АСУ верхних уровней и использоваться на разветвленных и сложных трубопроводных сетях, а также резервуарах различных форм. [14]

Сниженная относительно других способов обогрева стоимость, широкие возможности для автоматизации, быстрота и простота монтажа, надежность, подтвержденная десятилетиями функционирования электрических обогревающих систем – объективные преимущества таких систем, вследствие которых пароспутники сегодня почти не применяются. Однако на территории взрывоопасных зон электрообогревательные системы нужно применять с особой тщательностью. В случае тщательного проектирования и надлежащей эксплуатации даже во взрывоопасных зонах электрообогревательные системы будут полезными и безопасными.

1.3 Скин-система электрического обогрева

Принцип действия скин – системы.

Системы индукционно-резистивного обогрева для трубопроводов, которая иначе называется как скин-система, в иностранных литературных источниках получила обозначение «скин-система».

Основные подсистемы: нагревательные индукционно-резистивные элементы; контроль; питание; управление; крепеж; тепловая изоляция.

Индуктивно-резистивные нагреватели представляют собой короткозамкнутые коаксиальные линии, где изолированный внутренний проводник свободно помещается в ферромагнитной трубке.

Вследствие того, что система электрообогрева имеет протяженную длину, в её состав входят соединительные коробки связи, а также питающие коробки и соединители для изолированных проводников.

В завершении плеча обогрева проводник закорачивается с обогревной трубкой. В начале плеча между проводником и трубкой возникают переменные напряжения, подаваемые источником электропитания в соответствии с рисунком 1.3.1.[13]

Когда происходит подача переменного напряжения $U_{ин}$ посредством проводника I от источника питания, а также ферромагнитной стальной трубке 3, протекающий в зазоре ток I формирует электромагнитное поле во внутренней поверхности нагревательной трубки. Данное электромагнитное поле характеризуется таким параметром, как магнитная напряженность H .

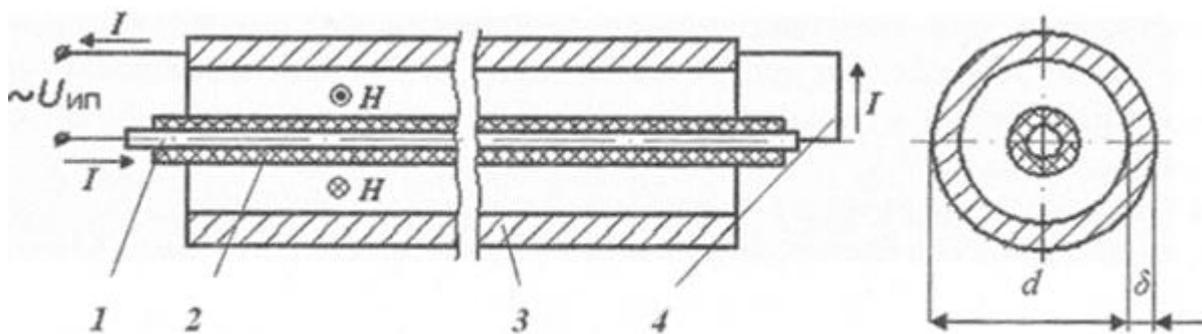


Рисунок 1.3.1 – Нагревательный элемент в СКИН-системе электрического обогрева трубопровода: 1 – жила в проводнике – индукторе, 2 – электроизоляция проводника, 3-трубка из стали, 4 – соединение трубки и проводника в конце линии

Ток проходящий по проводнику внутри трубки, индуцирует магнитное поле, которое взаимодействует с протекающим в трубке током противоположного направления. Ферромагнитная стальная трубка 3 греется из-за тепла, которое исходит от тока противоположного направления I , проходящий по ней, а также индукционному нагреву трубы в электромагнитном переменном поле (иными словами при помощи комбинированного индукционно-резистивного обогрева).

Распределение в проводниках плотности тока – важная особенность системы. Внутренний проводник в нагревательном элементе, который имеет сокращение ИРП (индукционно-резистивный проводник) выполняется с жилой, проводящей ток и произведенной из алюминия либо меди $8-50 \text{ мм}^2$. Размеры ИРН: диаметр – от 25 до 50 мм, толщина – от 3 до 4 мм. Как правило, применяется ток, имеющий промышленную частоту (50 Гц). Приложение питающего напряжения осуществляется так, что по ИРП и ИРН ток течет в разных направлениях. При условиях, описанных выше, сопротивление во внутреннем проводнике практически такое же, что и сопротивление в постоянном токе. В ферромагнитном внешнем проводнике имеют место другие процессы.

Поскольку магнитная относительная проницаемость в стали при соответствующей напряженности в электромагнитном поле приобретает значения в диапазоне от 80 до 1000, то из-за того, что протекающие токи взаимно влияют друг на друга, ток вытесняется к внутренней поверхности трубки. Поскольку ИРН обладает магнитными свойствами, то в нем отмечается поверхностный эффект (ток протекает только в поверхностном тонком слое, имеющем толщину порядка 1 миллиметра). Вследствие поверхностного эффекта сопротивление на переменном токе ИРН приобретает гораздо большее значение, чем на постоянном. Оно определяется тем, какова глубина проникновения электромагнитного поля.

Электрическая безопасность – важная особенность системы обогрева на основе скин эффекта. Как было продемонстрировано выше, ток проходит по внутренним стенкам индуктивно-резистивных нагревателей, когда на внешних поверхностях трубки ток отсутствует, как и электропотенциалы. Поэтому, заземление ИРН есть возможность делать во всех местах. Обычно, ИРН и контур заземления закорачиваются в конце участка обогрева. [16]

Монтаж ИРН на трубопроводе, который обязан иметь обогрев, осуществляется так, чтобы между ИРН и трубопроводом возникла надежная тепловая связь. Конструктивно один или несколько нагревательных элементов монтируются к теплоизолированному трубопроводу по всей его длине. От нагревательных элементов тепло за счёт теплопередачи передается трубопроводу и транспортируемому продукту в соответствии с рисунком 1.3.2.



Рисунок 1.3.2 – Схема тепловых потоков у трубопровода со СКИН-системой обогрева

Основные достоинства скин – систем обогрева.

СКИН-системы имеют некоторые достоинства при их использовании для обогрева трубопроводов по сравнению с другими (кабельными) системами электрообогрева:

- Питание с одного конца. По своему строению СКИН-система предполагает подачу питания с одного конца обогреваемого участка, что допускает отступить от сопровождающей электросети;

- Электробезопасность. Наружная поверхность нагревательного элемента заземлена и имеет нулевой потенциал относительно земли;

- Экономичность при повышенных длинах трубопроводов. Это самый эффективный способ обогреть любые длинные магистральные трубопроводы при условии отсутствия сопроводительной сети;

- Повышенная надежность и прочность. Эти свойства обеспечены конструкцией СКИН-систем;

- Одним участком может обогреваться до 15 километров трубопроводов;
- Нагревательные элементы дают выделение в диапазоне от 20 до 60 Вт/м, в отдельных случаях этот параметр способен достигать значений 120 Вт/м;
- Поддерживаемые в трубопроводе рабочие температуры $t = 5^{\circ}\text{C} - 140^{\circ}\text{C}$;
- Требуется нестандартный двухфазный либо однофазный источник питания, который изготовлен по индивидуальному проекту с характеристиками: напряжение $U_{ин}$ - не менее 5 кВ, ток I находится в диапазоне 60 – 120 А, частота $f = 50$ Гц.

Конструкция обогревательной подсистемы ИРСН системы

Индукционно – резистивная система обогрева состоит из основных элементов:

- индукционно-резистивные нагреватели трубчатые (ИРН) – закреплены на обогреваемых трубопроводах;
- индукционно-резистивные проводники (ИРП) – находятся внутри ИРН;
- индукционно-резистивные питающие коробки (ИРПК) – присоединяют ИРП и ИРН к электропитающим сетям;
- индукционно-резистивная соединительная коробка (ИРСК) – соединяет отдельные части ИРП с ИРН, закреплена на трубопроводе, который обогревается;
- индукционно – резистивные концевые коробки (ИРКК) – присоединяют ИРП к ИРН, находятся в завершении обогревательной линии;
- комплектные распределительные устройство (КРУ) – подает питание к ИРСН, управлению обогревом, обеспечивает тепловую и электрическую защиту;
- сеть управления, силовая сеть.

1.4 Электрообогревательные системы, основанные на резистивных кабелях

К числу нагревательных резистивных лент и кабелей относятся те, где тепло выделяется благодаря эффекту Джоуля-Ленца, когда электрический ток проходит по нагревательным жилам. Такие кабели также имеют название «кабели последовательных схем». Конструирование нагревательных секций, производимых с использованием резистивных лент или кабелей, осуществляет так, чтобы по всей нагревательной жиле приложенное напряжение полностью падало, а составляющие секции не перегревались существеннее, чем это необходимо. Как правило, нагревательная секция в длину составляет от 5 до 100-200 метров. Резистивные ленты и кабели способны обладать разным количеством нагревательных жил спиральной либо линейной формы. Произвольно резать резистивные ленты и кабели по длине запрещено. [21]

Материалы и исполнение отдельных элементов (таких, как токопроводящие и нагревательные жилы, изоляция, экран, бронь, оболочка, защитные покровы) определяют, каким конструктивным исполнением будут обладать конкретные ленты и кабели.

При нагреве тепловая мощность, которой обладают резистивные ленты и кабели, уменьшается незначительно. Степень изменения является зависящей от температурного коэффициента сопротивления материалов, примененных для производства нагревательной жилы в соответствии с таблицей 1.4.1. Сплавы высоких сопротивлений меняют свои сопротивления меньше всего ($\text{TKp} = 0,00002$), наибольшим температурным коэффициентом обладает ($\text{TKp} = 0,0042$).

Важностью обладает также и то, насколько отличаются температуры кабелей в режиме рабочего функционирования и во время включения. Нормирование номинального сопротивления, которым обладают резистивные кабели, осуществляется при температуре +20 градусов Цельсия, при этом включение под нагрузку обычно осуществляется в условиях отрицательных температур. Таблица 1.4.1 дает представление о степени изменения в

сопротивлении резистивных кабелей в зависимости от того, какова разница температур и из какого материала произведены нагревательные жилы. Температурами, при которых включаются обогревательные системы, наиболее часто являются -40 и -20°C. Такие отметки температур, как +60 и +150°C – типичный нагрев жил в среднетемпературных и обычных нагревательных кабелях при рабочих режимах.

Таблица 1.4.1 – Зависимость сопротивления и мощности кабелей от температуры

Материал, из которого произведена нагревательная жила	ТКр	Температура жилы, °С				
		-40	-20	20	60	150
Константан	0,00002	0,9988	0,9992	1	1,0008	1,0026
Нихром	0,0001	0,994	0,996	1	1,004	1,013
Алюмель	0,0024	0,856	0,904	1	1,096	1,312
Нержавеющая сталь	0,003	0,82	0,88	1	1,12	1,39
Латунь	0,0027	0,838	0,892	1	1,108	1,351
Медь	0,0042	0,748	0,832	1	1,168	1,546

1.5 Электрообогревательные системы, основанные на саморегулирующихся кабелях

Саморегулирующиеся ленты и кабеля – нагревательные резистивные схемы, которые обладают схожим с конструкцией зональных резистивных лент устройством. В них есть две токопроводящие параллельные жилы, которые не являются изолированными. Те жилы, которые проводят ток, либо заключаются в проводящие полимерные матрицы, либо соединяются посредством специальных проводящих полимерных нитей. Саморегулирование достигается благодаря тому, что тепловыделяющие элементы в лентах, произведенные из проводящих полимерных материалов, повышают сопротивление при

увеличении температуры. Размер коэффициента ТКр у проводящих полимеров доходит до 0,05-0,075 (превышает значение меди в 12-18 раз).

Нагревательные саморегулирующиеся ленты и кабели являются специфическими кабельными изделиями. Их типовая конструкция следующая: две жилы, расположенные параллельно и проводящие ток, покрываются полимером, который является полупроводящим и покрыт углеродом (как правило, для обозначения этого полимера применяется термин «матрица»). Сверху матрицы накладываются электрическая изоляция, оболочка, а также экранирующая оплетка. Как показано на рисунке 1.5.1, саморегулирующиеся ленты являются овальными. [31]

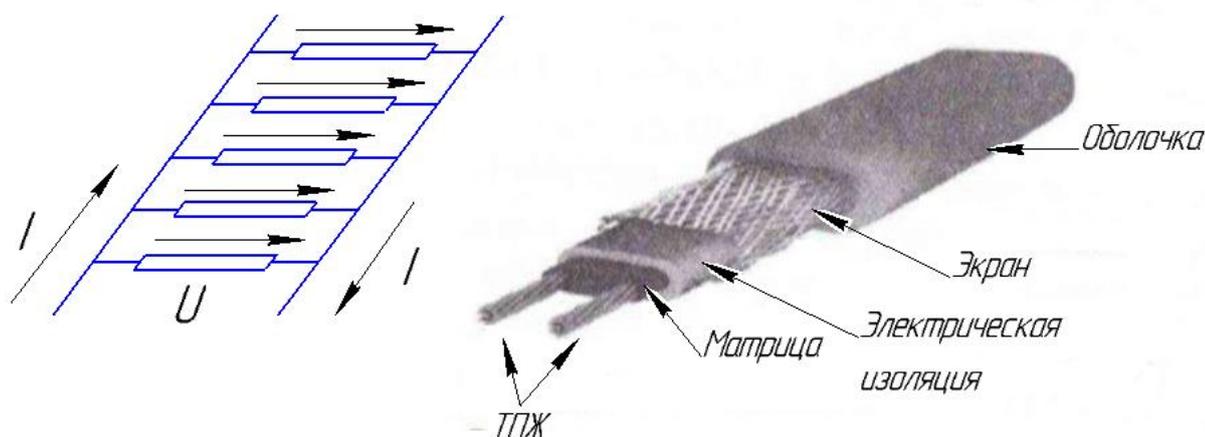


Рисунок 1.5.1 – Схема, внешний вид саморегулирующихся кабелей

Возможно условное изображение полупроводящих матриц как огромного числа сопротивлений, которые параллельно подсоединяются к жилам, проводящим ток. Когда на находящиеся в разомкнутом состоянии жилы поступает напряжение, в полупроводящих матрицах появляется ток, из-за этого начинает исходить тепло. Материя, из которого сделана матрица, увеличивается из-за нагрева, при помощи чего одинокие частицы углерода прекращают соприкасаться между собой. Сопротивление матрицы возрастает, ток снижается. Через 5 минут температура, и ток становятся стабильными.

Приведенное к одному метру сопротивление матрицы, обычно, равно 100-500 Ом, в результате чего у нагревательных саморегулирующихся лент возникают новые единственные в своем роде свойства:

- их возможно применять для подключений на полные напряжения разными длинами (от десятков сантиметров до предельно допустимых) без проведения специальных расчетов. Это свойство ценно, когда длина трубопровода, который должен быть обогрет, неизвестна заранее;

- могут локально менять выделение тепла (при повышении в какой-либо зоне температуры саморегулирующаяся лента дает меньшее тепловыделение). Из-за этого свойства безопасность обогревательной системы является высокой, а монтаж саморегулирующихся лент упрощен (ленты могут пересекаться друг с другом). [14]

Зависимость тепловыделения от такого параметра, как температура, диктует правила измерения и нормирования тепловых мощностей, которыми обладают саморегулирующиеся ленты. Нормирование данного параметра осуществляется при следующих условиях. Отрезок ленты, подлежащей измерению, устанавливается на трубе из металла (диаметр – от 50 миллиметров) таким образом, чтобы возник качественный тепловой контакт. Далее по трубе подается охлаждающая жидкость, чья температура находится в диапазоне $10 \pm 0,5^\circ\text{C}$ (в некоторых случаях возможны измерения при температуре 5°C). Труба и ленты закрываются изоляцией (толщина – не менее 20 миллиметров). Приведенная в каталогах номинальная мощность, которой обладают саморегулирующиеся ленты – мощность, которая была измерена в стандартных условиях. Чтобы понять, какова зависимость мощности от параметра температуры для конкретной ленты, нужно задать для трубы нужную температуру и поддерживать ее.

Снятие зависимости, описанной выше, осуществляется как минимум при трех величинах температуры трубы. На рисунке 1.5.1 продемонстрирована зависимость мощности саморегулирующегося кабеля, произведенного компанией Tuso-Raychem (марка ВТV-СТ) от температуры в трубе. При иных

условиях (например, тогда, когда с обогреваемыми объектами установлен плохой контакт), мощность, которая выделяется саморегулирующимся кабелем, не соответствует справочным кривым. При подвешивании саморегулирующихся лент в воздухе из-за ухудшенных условий тепловой отдачи мощность будет приблизительно на 30% меньше, чем нормируемое значение. [19]

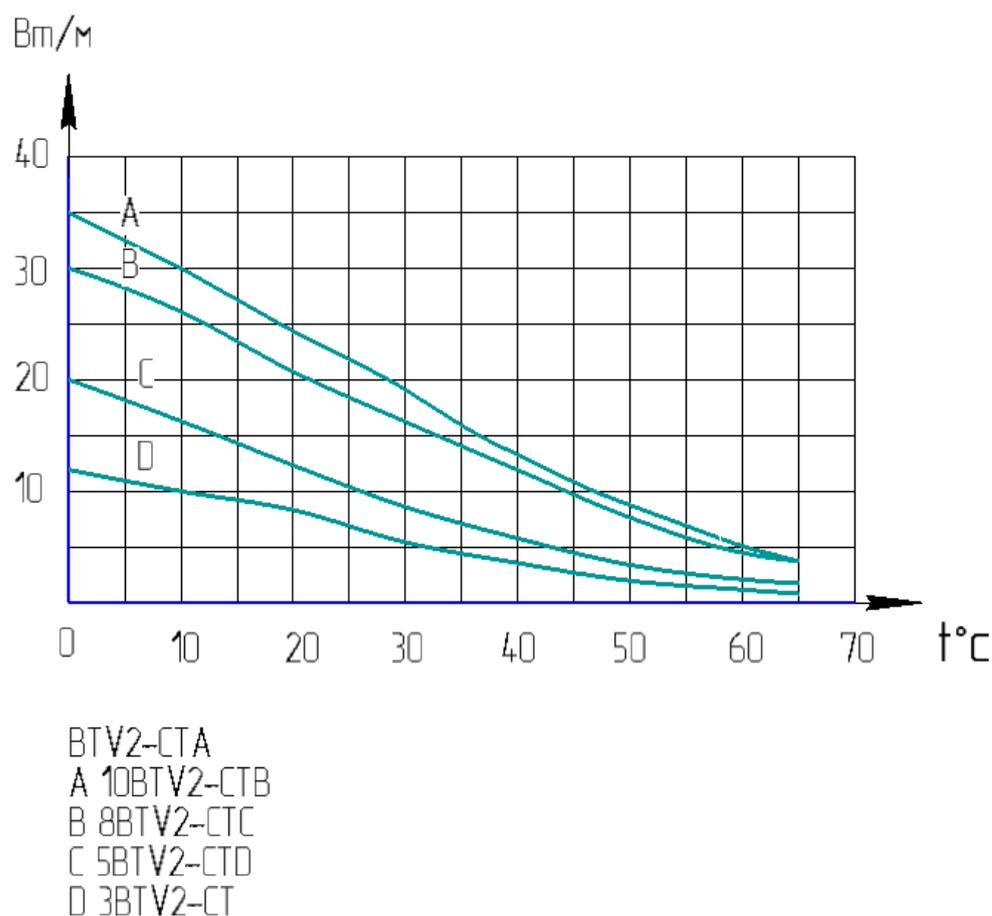


Рисунок 1.5.2 – Типичные зависимости мощности в саморегулируемых кабелях от температуры в трубах

2. Проектирование индукционно-резистивной системы электрообогрева

2.1 Общие указания

1. Проект разработан в соответствии с действующими в России строительными нормами и правилами, санитарными нормами, требованиями пожарной и электробезопасности.

2. Проект разработан на основании Технического задания на разработку электрической системы обогрева "BARTEC" для трубопроводов (001-ДВ-200-К, 001-ВП-2032, 001-ВП-2023) и предоставленных чертежей.

3. В соответствии с Техническим заданием система электрического обогрева "BARTEC" предусматривает электрообогрев трубопроводов для их нормального функционирования.

4. Система электрического обогрева "BARTEC" предназначена для поддержания на трубопроводах заданных в ТЗ температур путем компенсации тепловых потерь с целью предотвращения охлаждения продуктов транспортировки.

6. Система спроектирована в соответствии с требованиями ПУЭ для взрывоопасных зон.

7. Шкафы управления электрообогревом размещены в помещениях подключения питания (см. технические условия), навесного исполнения.

8. Каждая подсистема состоит из секций нагрева (одна или три), датчиков для регулирования/ограничения мощности нагрева, шкафа управления и силовой коммутации, кабельных линий (силовых 380В и слаботочных 24В).

9. Нагревательные секции подключены к шкафу, управление нагревом осуществляется дискретными сигналами от терморегулятора DPC front Komfort по показаниям измерительной системы Си-Сенс, в соответствии с установленными параметрами регулирования.

10. Для обеспечения регулирования компенсации теплотерь предусмотрена установка датчиков температуры на стороне участка трубопровода по выходу рабочей среды. На измерительных линиях длиной свыше 300 метров предусмотрена установка дополнительной аппаратуры измерительной системы СИ-СЕНС (НПП Сенсор) – измерительный преобразователь температуры.

В ходе рабочего проектирования, определен типовой подход к компоновке измерительной системы электрообогрева. Датчики терморегуляторов DPC front Komfort установленные на «выходе» трубопровода подключены через систему СИ-СЕНС, датчики защиты от перегрева подключены напрямую к ограничителю нагрева DTL III Ex. Это позволяет разделить функции управления и безопасности, обеспечивая дублирование защиты от перегрева. [27]

2.2 Теплотехнический расчёт

Общие сведения:

1. Объект: Нефтепровод.

Технические характеристики системы:

1. Абсолютно минимальная температура воздуха -43°C ;
2. Абсолютно Максимальная температура воздуха $+39^{\circ}\text{C}$;
3. Минимальная температура включения -36°C ;
4. Температурный класс взрывоопасной зоны T2.

Таблица 2.2.1 – Теплотехнический расчёт

Наименование тр-а	001-НМ-200-К	001-НЕ-2023	001-НЕ-2032
Диаметр трубопровода, мм	219	219	219
Длина трубопровода, м	13205	1245	1490
Материал теплоизоляции	Мин. вата	Мин. вата	Мин. вата

Продолжение таблицы 2.2.1

Коэфф. теплопроводности Вт/мС	0,035	0,035	0,035
Задвижка, шт	13	3	3
Опора, шт	1600	175	190
Требуемая температура, °С	29	29	29
Температура окр. среды мин, °С	-43	-43	-43
Температура окр. среды макс, °С	39	39	39
Температура макс. технологическая	35	35	35
Напряжение нагрев. секции, В	3770	3770	3770
Номинальный ток в нагрев. секции, А	183	41,2	45
Общая мощность, Вт	244446	22977	23377
Удельная мощность, Вт/м	18,51	18,45	15,68
Толщина теплоизоляции, мм	100	100	100

Теплотехнический расчёт произведен в программе «Тепломаг».

Выбор марки и толщины тепловой изоляции соответствует СП 61.13330.2012.

Трубы диаметров более 100 мм рассчитываются на температуру наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Трубы диаметров менее 100 мм рассчитываются на абсолютную минимальную температуру.

Климатические параметры принимаются согласно СП 131.13.330.2012 (СНиП 21-01-99).

Расчёт проводится при условии полной теплоизоляции трубопровода, его опор и прочих фитингов (при их наличии). [29]

2.3 Схема электрообогрева

Описание конструкции ИРСН системы

Индукционно – резистивная система обогрева состоит из основных элементов в соответствии с рисунком 2.3.1:

- трубчатый индукционно – резистивный нагреватель (ИРН) – закрепляется на обогреваемом трубопроводе;
- индукционно – резистивный проводник ИРП – располагается внутри ИРН;
- индукционно-резистивная питающая коробка (ИРСК) – предназначена для присоединения ИРП к ИРН к цепи электропитания;
- индукционно – резистивные соединительные коробки (ИРСК) – предназначены для соединения отдельных частей ИРП к ИРН, а так же для протяжки ИРП в ИРН; закрепляются на обогреваемом трубопроводе;
- индукционно – резистивная концевая коробка (ИРКК) – предназначена для присоединения ИРП к ИРН; устанавливается в конце линии обогрева;
- комплектное распределительное устройство (КРУ) – предназначено для подачи питания к ИРСН, управления обогревом и обеспечения электрической и тепловой защиты;
- силовая сеть и сеть управления.

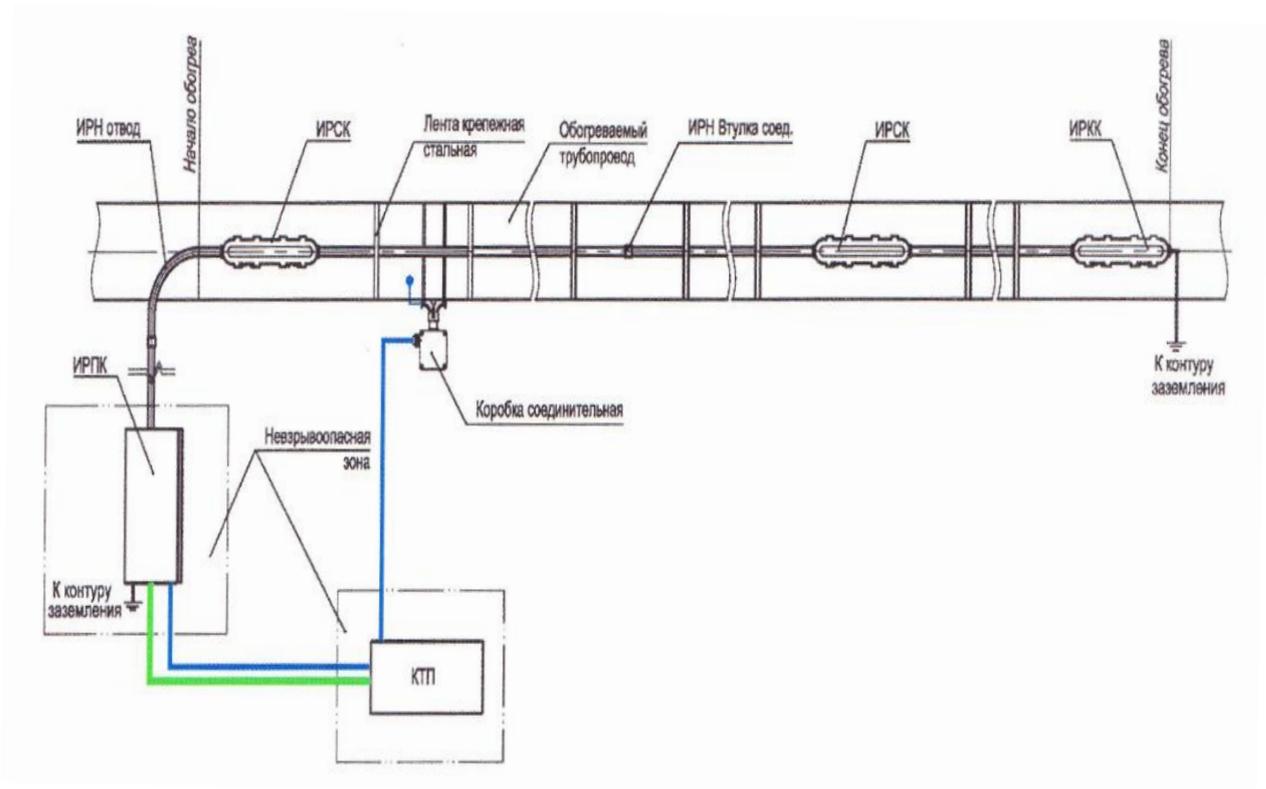


Рисунок 2.3.1 – Структурная схема индуктивно-резистивной системы электрообогрева

Обогреваемый трубопровод состоит из транзитного участка по которому продукт транспортируется с места добычи, и разветвленной части трубопровода, ведущей к емкостям хранения продуктов соответствии с рисунком 2.3.1. В момент перехода транзитного трубопровода в разветвлённую часть, скорость продвижения продукта может различаться в соседних трубопроводах. Из-за разницы в скорости продвижения продукта, температура их может отличаться, там где продукт движется медленно, нагреваться он будет интенсивнее чем в соседнем трубопроводе. Для этого вводится система контроля температуры во всех частях трубопровода:

1. Монтаж трубок ИРН производится параллельно осям обогреваемых трубопроводов, их закрепление происходит согласно монтажным чертежам проектов и инструкциям для монтажа. Как правило, ИРН является трубкой из стали с диаметром от 30 до 40 миллиметров, толщина стенки при этом

составляет 3 миллиметра или более. Для производства трубки берется сталь марок 10 или 20 (ГОСТ 8731 – 74).

Исходные трубки сортируются по своим электромагнитным характеристикам, затем их наружные и внутренние поверхности обрабатываются. Также они проходят антикоррозионную и иную обработку.

Производство и поставки стальных трубок производится в длинах от 10 до 12 метров. Чтобы обеспечить полноценное функционирование обогревательной скин-системы, нужно гарантировать электрическую непрерывность в проводнике ИРН. Для того, чтобы максимально точно воспроизвести конфигурацию трубопровода, которые должен быть обогрет, поставка комплектующих для ИРН производится в виде криволинейных и прямолинейных элементов, при монтаже надежно соединяемых посредством сварки и соединительными втулками. Трубки ИРН должны быть надежно заземлены. [5]



Рисунок 2.3.2 – Закрепленные на трубе трубки ИРН

При использовании транспортные труб, обладающих изоляцией, обработанные предварительно трубки ИРН закреплены на транспортных трубах перед тем, как на них наносится изоляция в соответствии с рисунком 2.3.2.

Обязательным условием является соблюдение соосности, при этом не допускается расположение трубок ИРН с продольными швами транспортных труб.

2. ИРП – высоковольтный специальный проводник, который обладает устойчивой к нагреву изоляцией, а также немагнитной жилой с расчетным сечением $S_{np} = 8-20 \text{ мм}^2$ (в некоторых случаях значение этого параметра может достигать до 50 мм^2). Должно быть обеспечено соответствие толщины электрической изоляции в проводниках и размера питающего напряжения (оно, как правило, ограничено рамками 1-4 кВ).

Как было продемонстрировано ранее, при прохождении тока в ИРСН тепло выделяется в обоих проводниках. Если система построена согласно правилам, то от 60 до 80% тепла оказывается в ИРН. В результате этого тепловой режим работы ИРП, который находится внутри ИРН, не позволяет значительно перегреваться, с помощью чего создается большая надежность системы.

3. Сращивание отдельных отрезков ИРП осуществляется посредством ИР-соединителей, которые находятся в составе соединительных коробок ИРСК. Соединитель ИРС-Т применяется с целью сращивания кабелей при теплостойкости до 80 градусов Цельсия, при необходимости сращивания кабелей с теплостойкостью до 180°C используется оборудование типа ИРС-Л.

4. Установление соединительных коробок ИРСК происходит в разрывах ИРН на основе имеющейся величины ИРП, а также возможности протянуть ИРП в ИРН. Чтобы протяжка ИРП была более удобной, применяются протяжные коробки, которые отличаются от ИРСК по назначению, но обладающие идентичной с ними конструкцией.

5. Питание к ИРН от КТП осуществляется посредством питающей коробки ИРПК, которая находится вне взрывоопасных зон в непосредственной близости от трубопроводов. Такие питающие коробки находятся в начале обогреваемых участков. Осуществляется присоединение корпусов питающих

коробок к контурам заземления. При необходимости питающая коробка может быть взрывозащищенной.

б. В состав обогревающей СКИН-системы, как было указано ранее, входит подсистема питания. [17]

2.4 Управляющая подсистема

Установление мощности обогревающей системы производится на основе минимальных температур, которые возможны в окружающей среде. При этом в календарном году температуры среды (что особенно заметно на примере температуры воздуха) могут меняться в очень широком диапазоне. В российских регионах, где обогревающие трубопроводы системы являются востребованными, температура воздуха в течение года, как правило, меняется в диапазоне $-45 - +30$ °С. Также следует учитывать режим, в котором функционирует трубопровод. Когда он используется для транспортировки жидкости, температурный режим в трубопроводе определяется величиной температуры жидкости на входе трубы. Когда жидкость перестает течь, а обогревающая система продолжает работать, жидкость способна разогреваться, причем в этом случае максимально допустимый порог может быть превышен.

На рисунке 2.4.1 продемонстрирована зависимость обогревательной мощности от температуры воздуха. [30]

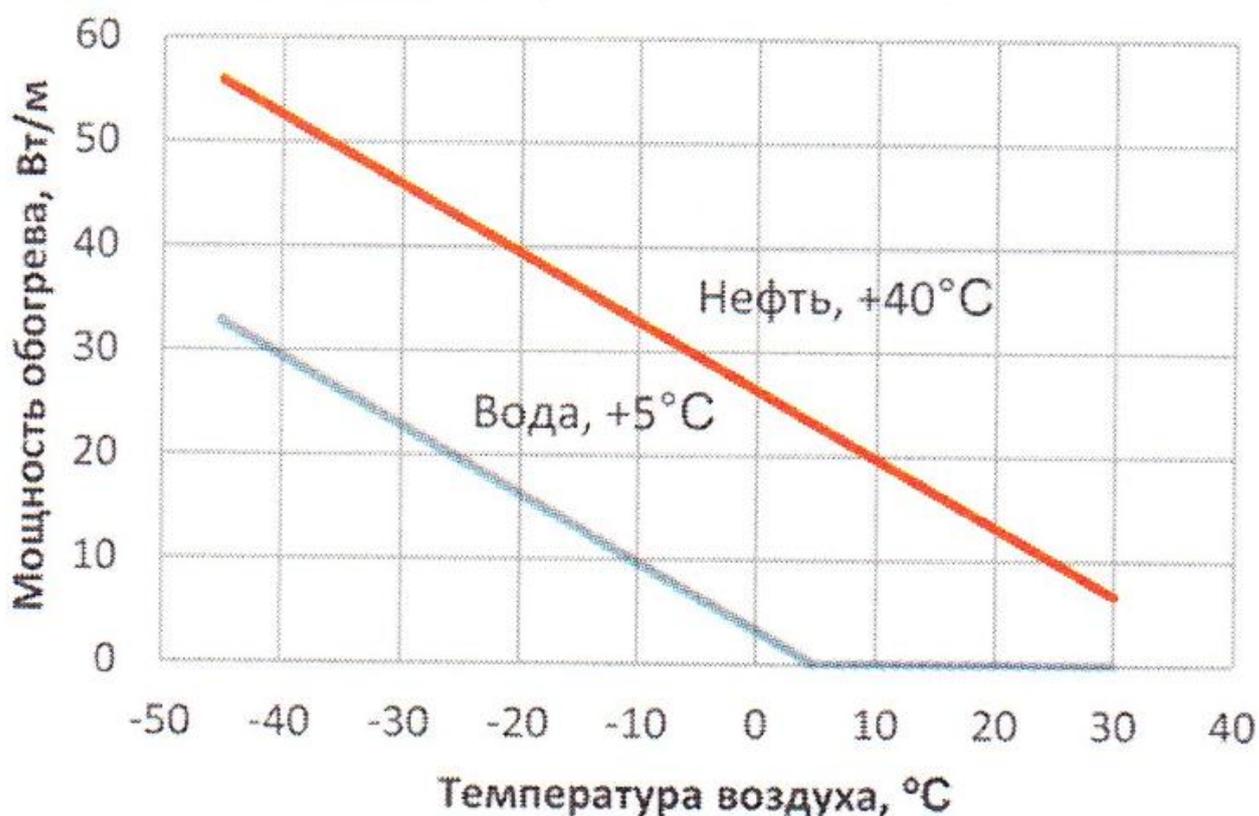


Рисунок 2.4.1 – Зависимость обогревательной мощности от температуры воздуха

На графике видно, что мощность обогревающей системы способна приобретать различные значения в очень широком диапазоне. Задачей управляющей подсистемы является обеспечение подачи такой мощности, которая соответствует реальным потерям тепла, температуре в окружающей среде.

Если в трубопроводе, который используется для транспортировки нефти, требуется поддерживать температуру как минимум +40°C, то его нужно обогревать вне зависимости от того, какова температура воздуха в окружающей среде. Управляющие подсистемы оснащаются температурными датчиками, которые контролируют нагрев воздуха и трубопровода. При переходе температуры трубопровода ниже отметки +40°C и дальнейшем ее движении вниз управляющая подсистема сигнализирует о необходимости включить

обогревающую подсистему. При этом установление уровня мощность происходит на основе температуры воздуха.

График, представленный на рисунке 2.4.1, демонстрирует, что существует возможность отключения обогревающей системы в водяных трубопроводах при переходе температуры воздуха через отметку $+5^{\circ}\text{C}$ и дальнейшем ее движении вверх. Таким образом, управление обогревом является достаточным даже в том случае, если оно ведется только по температуре нагрева воздуха.

Если реализовано адаптивное управление обогревом либо обогревающая система полностью отключена, то достигается существенная экономия электрической энергии.

Системы промышленного электрического обогрева – системы, в которых главной составляющей является нагревательный кабель (как саморегулирующийся, так и резистивный). Он должен обладать исключительными греющими качествами, а также быть очень надежным. Тем не менее, даже если использовать нагревательный саморегулирующийся кабель, то это не дает гарантии того, что обогреваемый продукт не перегреется.

В связи с тем, что технологическая температура должна поддерживаться в рамках определенного диапазона, управляющая подсистема является одной из важных частей в системе электрообогрева. [18]

Учитывая то, что управляющая подсистема обладает сложностью со структурной точки зрения (в ее состав также входят подсистемы), далее она будет называться системой управления либо управляющей системой.

Задачи, решаемые при помощи системы, управляющей электрическим обогревом:

- измерение температуры объекта, который обогревается;
- поддержание температуры посредством выключения либо включения электрического обогрева, либо изменения его мощности;
- сигнализация о режиме функционирования системы;

– выдача предупреждений о проблемах, которые возникают при функционировании электрообогревательной системы (например, отсутствие питания, перегрев либо недогрев объекта);

– сигнализация о ситуациях аварийного характера при функционировании системы (повреждения в изоляции, короткие замыкания).

На рисунке 2.4.2 приведена структурная схема системы, управляющей электрическим обогревом.



Рисунок 2.4.2 – Структурная схема управляющей электрическим обогревом системы

Подсистема информационного сбора в рамках структуры системы, управляющей электрическим обогревом, находится в рамках нижнего уровня. Ее назначение – измерять температуру, которой обладает обогреваемый объект. В состав подсистемы входят различные температурные датчики, которые находятся на измеряемых объектах.

Подсистема информационной передачи расположена на центральной позиции в структуре управляющей системы. Она предназначена для того, чтобы передавать сведения о температуре объекта, который нагревается, к подсистеме сигнализации и управления. В состав подсистемы информационной

передачи входят контрольные коробки, в которых подключены идущие от температурных датчиков кабели, преобразующие данные элементы (устройства, которые преобразуют поступающие с датчиков сопротивления сигналы в унифицированные токовые сигналы (4...20 мА)). Линиями связи от коробок до шкафов управления, как правило, являются контрольные кабели.

Подсистема сигнализации и управления находится в структуре системы, управляющей обогревом, на верхней позиции. Ее назначение – анализ сведений о нагреве объекта, решение о выключении либо включении электрического обогрева, сигнализация о функционировании системы.

Структурные схемы электрообогрева трубопроводов 001-НМ-200-К, 001-НЕ-2023, 001-НЕ-2032 показаны на рисунках 2.4.3, 2.4.4, 2.4.5 соответственно. В состав системы электрообогрева входит светозвуковая сигнализация о перегреве нагревателя, которая устанавливается в щит управления А1. На каждом участке трубопровода устанавливается по два датчика температуры ТТ и ТЕ. Датчик температуры ТТ отвечает за регулирование температурного режима и подключается непосредственно к цифровому регулятору ТРС. Датчик температуры ТЕ измеряет температуру нагревателя и подключается к цифровому ограничителю. При необходимости аварийного отключения системы цифровой ограничитель даёт команду стоп, и включает светозвуковую сигнализацию. Сам нагреватель подключается к силовой коробке В1. [10]

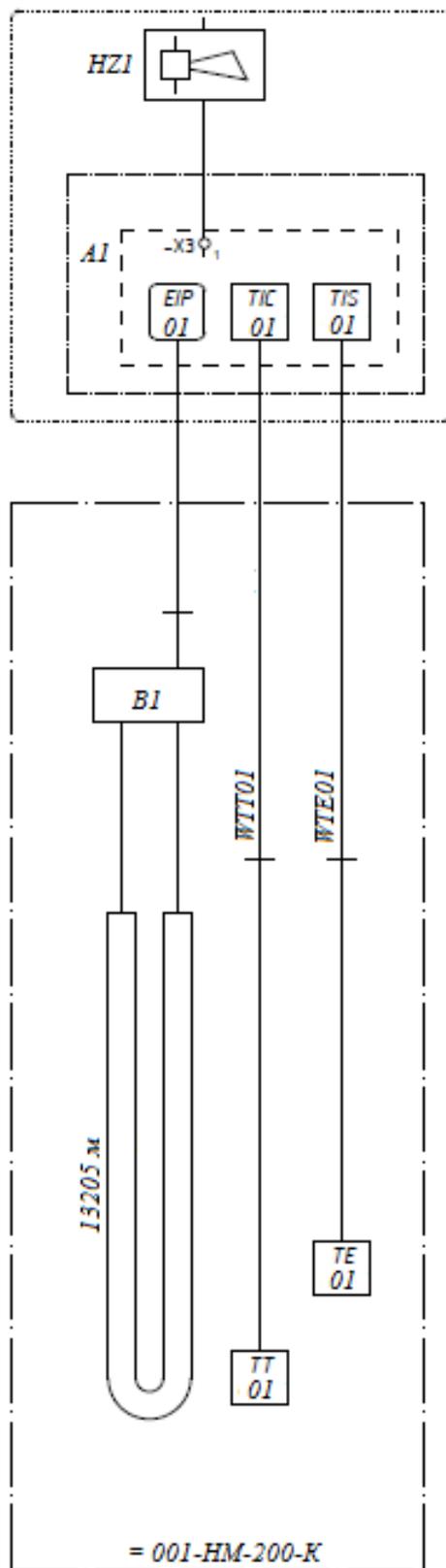


Рисунок 2.4.3 – Структурная схема электрообогрева трубопровода 001-НМ-200-К

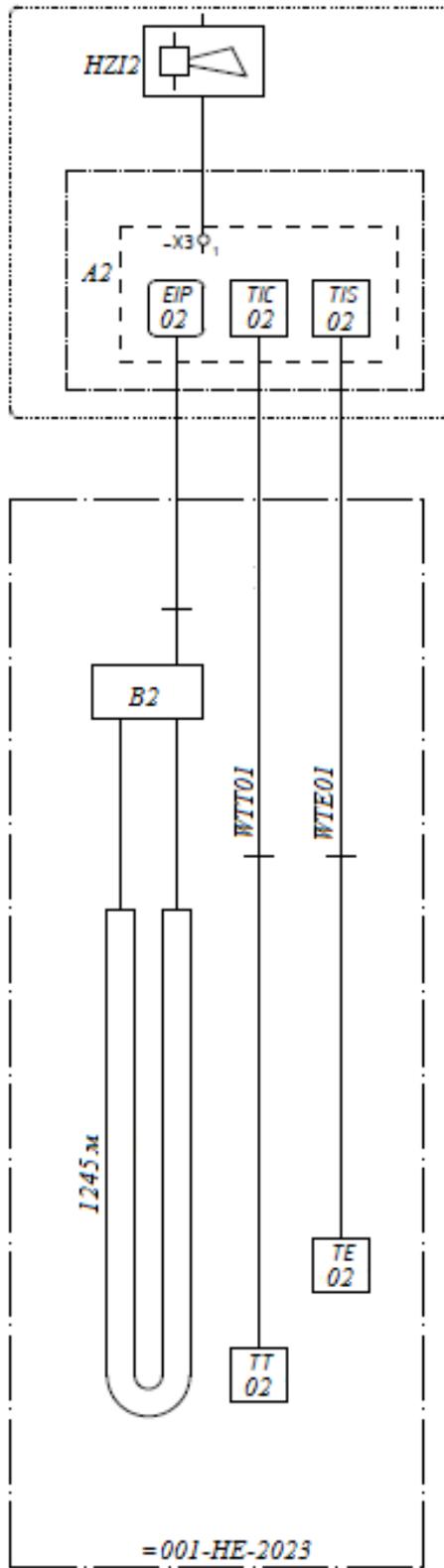


Рисунок 2.4.4 – Структурная схема электрообогрева трубопровода 001-HE-2023

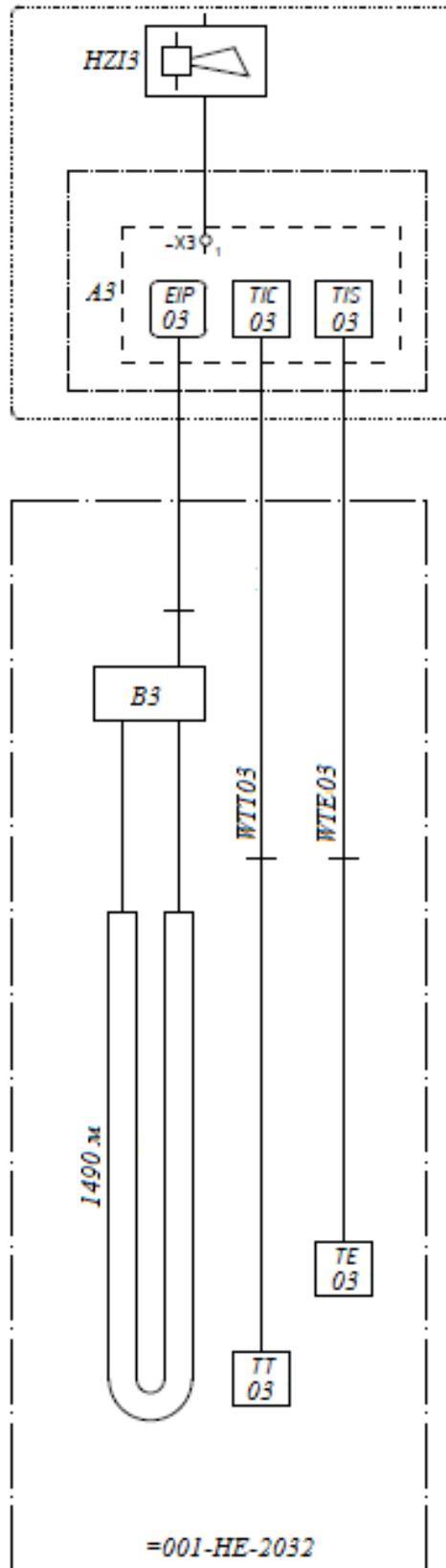


Рисунок 2.4.5 – Структурная схема электрообогрева трубопровода
001-HE-2023

На рисунке 2.4.6 изображена функциональная схема автоматизации. Продукт поступает по магистральному трубопроводу 001-НМ-200-К. Далее магистральный трубопровод разделяется на два местных трубопровода, 001-НН-2032 и 001-НН-2033, которые направляют продукт в резервуары для хранения продукта. Размеры диаметра и толщина изоляции всех трубопроводов равны. Но из-за разности скорости потока продукта во всех трубопроводах, температура продукта может отличаться, поэтому необходимо создание нового алгоритма для автоматического регулирования температуры продукта на каждом участке трубопровода. Цифровой регулятор имеет 4 канала измерения, имеет возможность контролировать три нитки обогрева. [11]

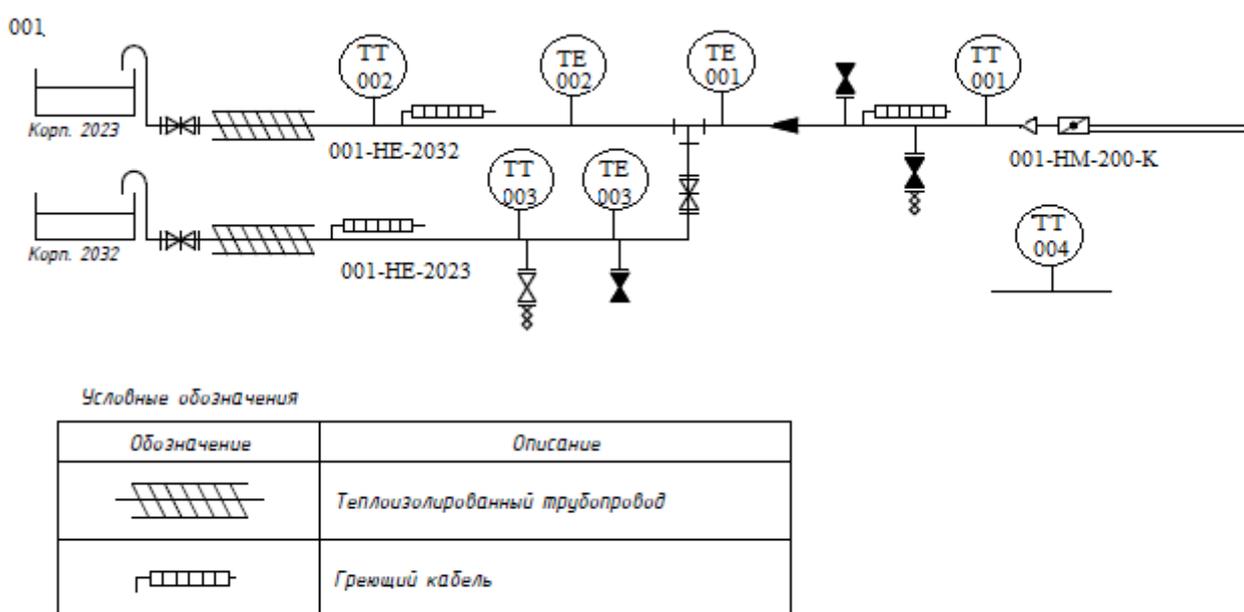


Рисунок 2.4.6 – Функциональная схема автоматизации системы электрообогрева

Регулятор приемлемо обеспечивает процесс поддержания заданной температуры. Каждый канал независимо от других осуществляет регулирование в соответствии с температурой, измеренной на входе регулятора. Для этого применяется двухпозиционный метод. Температура

поддержания назначается двумя величинами температурой включения T_{on} и температурой выключения T_{off} . Если текущая измеренная температура меньше температуры T_{on} соответствующий релейный канал включается. При температуре, превышающей T_{off} , соответствующий релейный канал выключается. При поломке датчика температуры соответствующий релейный канал отключается.

В регуляторе реализован аналоговый выход для возможности подключения регулятора мощности (например, теристорного регулятора) для пропорционального регулирования процессом обогрева. Управление аналоговыми выходами регулятор осуществляет по второму измерительному каналу.

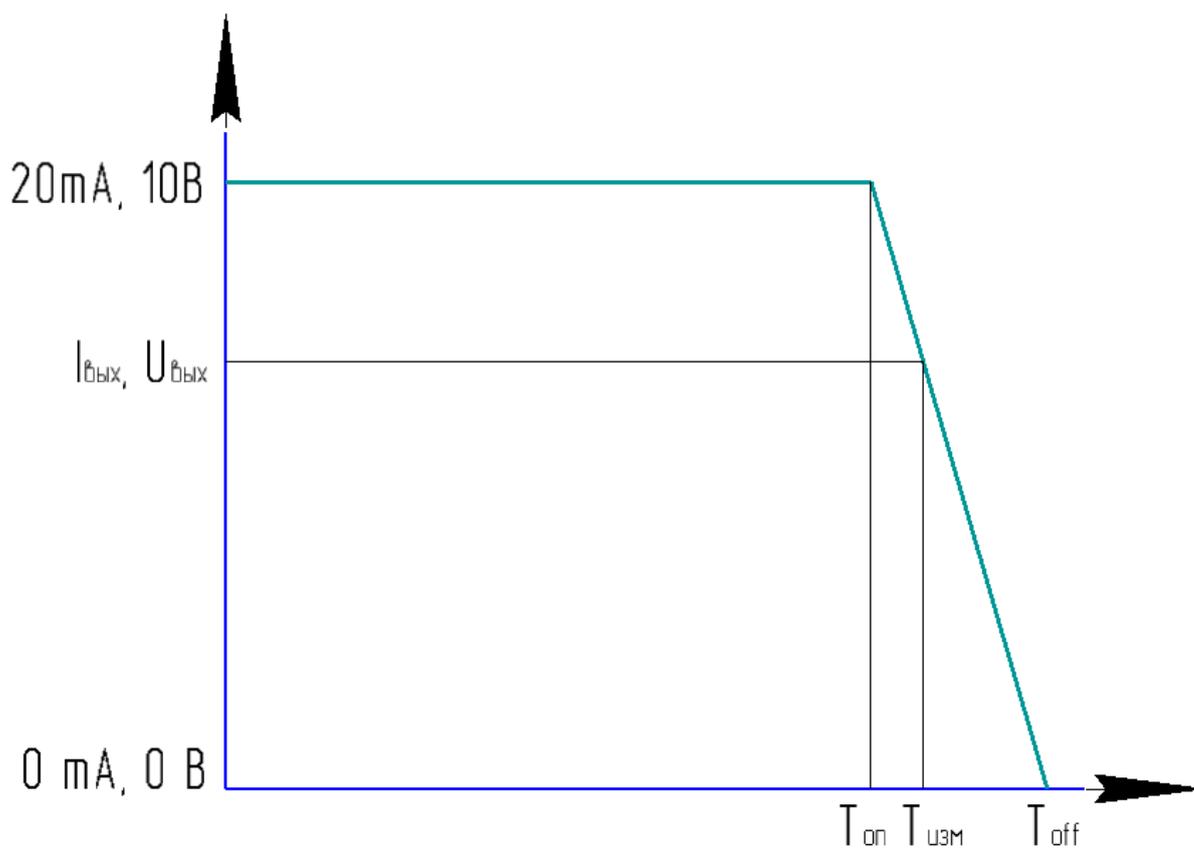


Рисунок 2.4.7 – Изменение уровня управляемого сигнала в регуляторе РТ400.

Уровень сигнала 0...10В и 4...20mA пропорционально соответствует текущей измеренной температуре. Если измеренная температура меньше установленной температуры включения T_{on} уровень аналогового сигнала соответствует 100%.

При текущей измеренной температуре, превышающей температуру отключения T_{off} уровень аналогового сигнала соответствует 0%. При текущей измеренной температуре, находящейся в диапазоне температур от T_{on} до T_{off} уровень выходного аналогового сигнала пропорционально изменяется от 100% до 0% согласно соотношению.

$$\frac{T_{изм} - T_{off}}{T_{on} - T_{off}} 100 \quad (1)$$

Данный алгоритм используется в регуляторе РТ400. Графически изменение уровня аналогового сигнала показано на рисунке 2.4.7.

На рисунках 2.4.8, 2.4.9, 2.4.10 изображены схемы автоматического контроля и управления каждого из трёх трубопроводов. Контроль перегрева нагревателя осуществляется датчиком ТЕ, который подключается к соединительной коробке WTE. От соединительной коробки WTE отходит кабель связи до шкафа электрообогрева. Кабель связи, отходящий от датчика ТЕ подключается к реле, которое в случае аварии включает сигнализацию о перегреве нагревателя, и отключает питание. Датчик ТТ осуществляет регулирование температуры трубопровода с помощью сигнала 4...20 mA. Датчик ТТ подключается к соединительной коробке ВТ, от которой отходит кабель связи и подключается уже к терморегулятору в шкафу электрообогрева. При штатной работе системы электрообогрева на дверке шкафа электрообогрева, горит индикатор «Норма». [12]

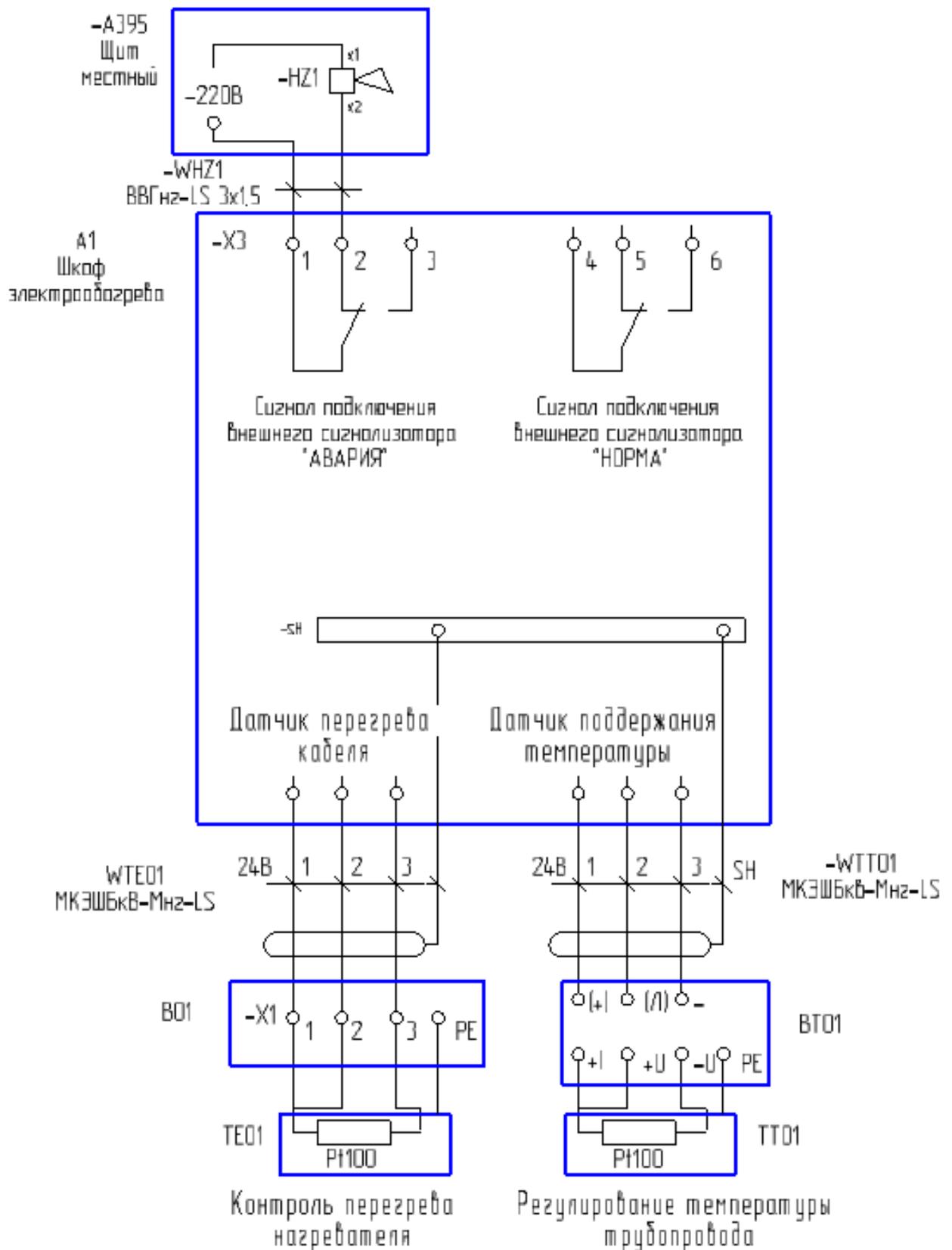


Рисунок 2.4.8 – Схема автоматического контроля и управления трубопровода 001-НМ-200-К

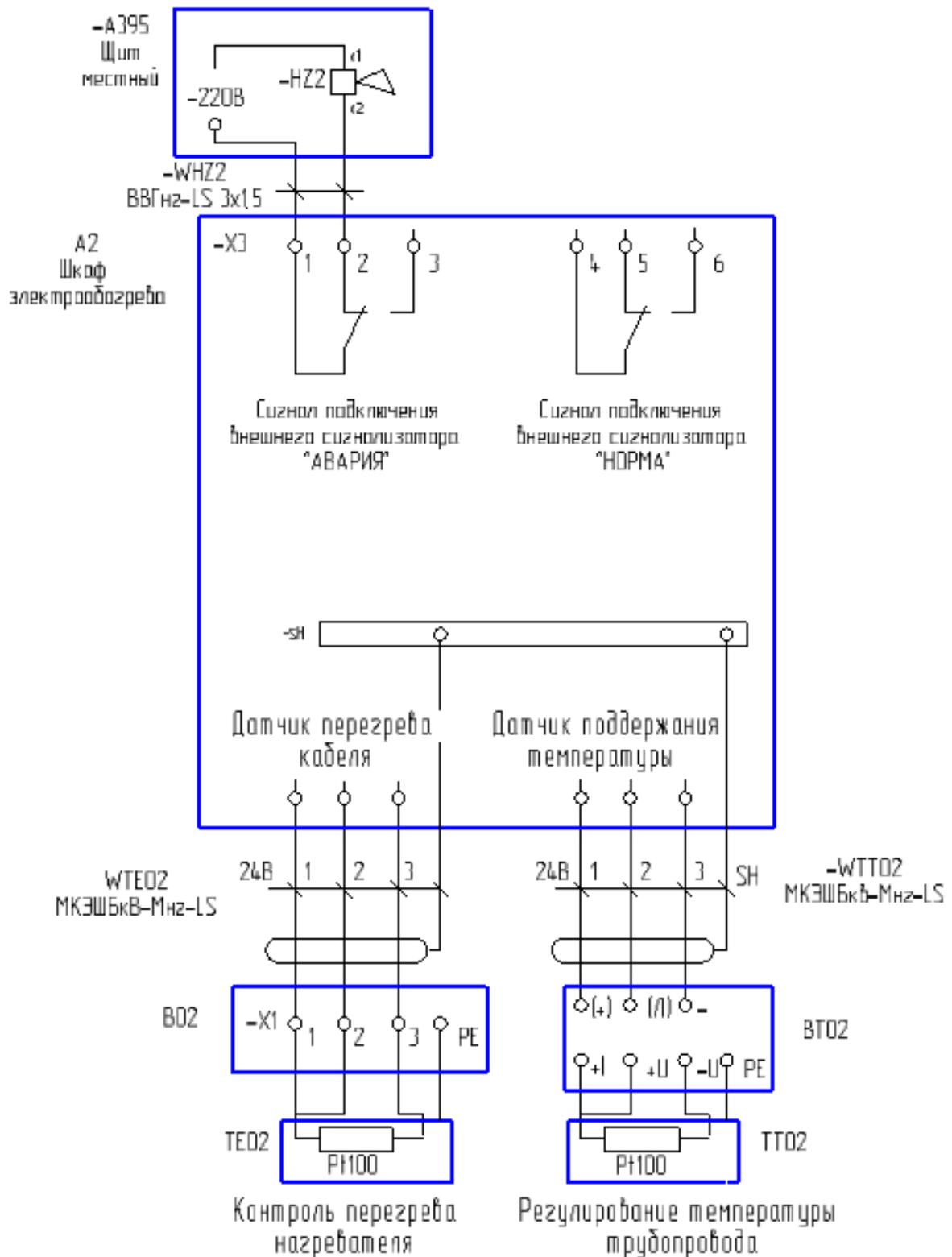


Рисунок 2.4.9 – Схема автоматического контроля и управления трубопровода 001-HE-2023

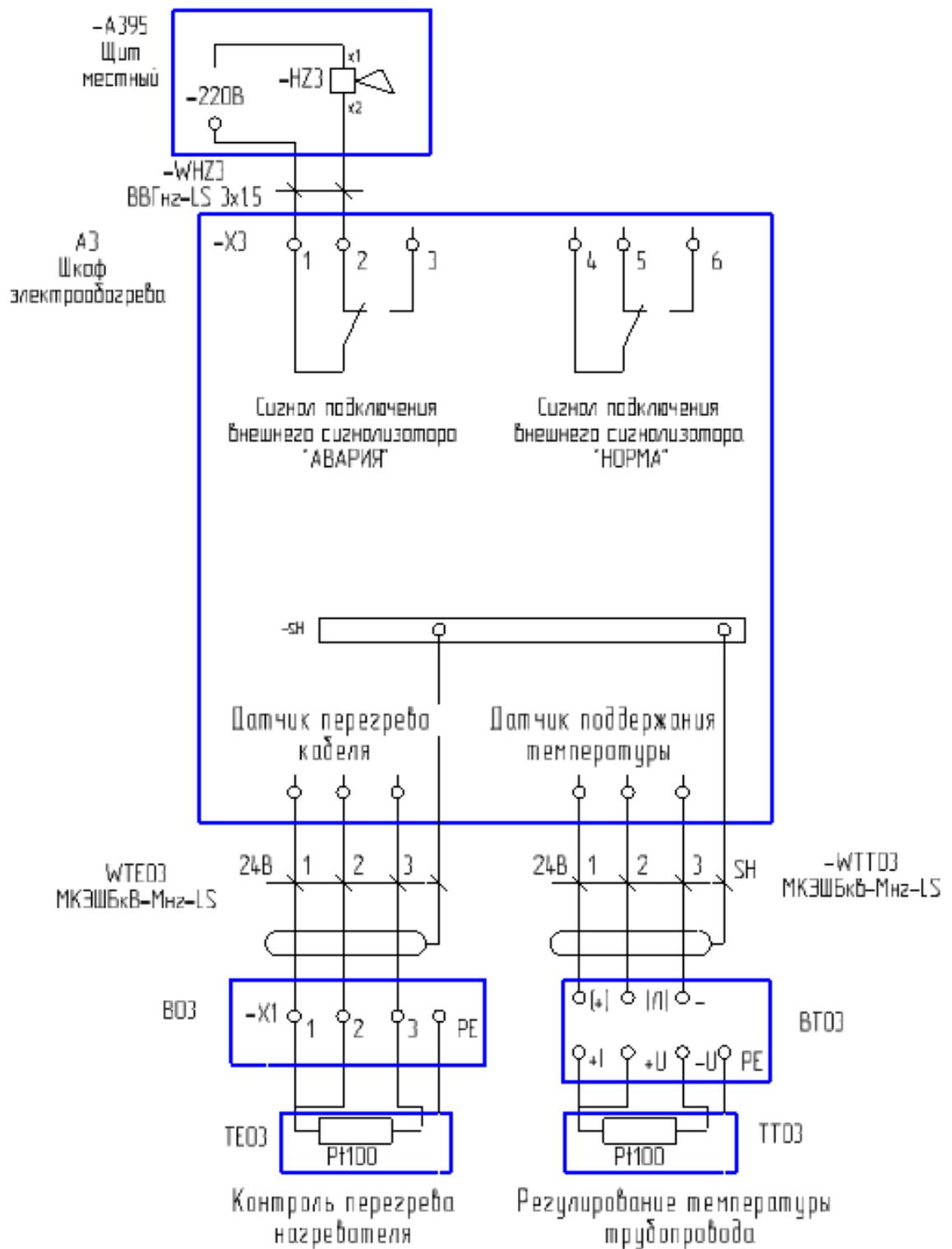


Рисунок 2.4.10 – Схема автоматического контроля и управления трубопровода 001-HE-2023

2.5 Терморегулирующая аппаратура

В состав проектируемой системе электрообогрева входит терморегулятор РТ400 в соответствии с рисунком 2.5.1, он предназначен для измерения температур по 4 каналам и управления процессом поддержания заданной температуры по двум каналам. Регулятор обеспечивает возможность измерения температуры с помощью набора измерительных датчиков. Область применения – для промышленного обогрева трубопроводов, резервуаров, всевозможных емкостей и т. д. Условия эксплуатации – окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях разрушающих металл и изоляцию. Монтаж регулятора должен выполняться при температуре среды не ниже +5°C.



Рисунок 2.5.1 – Регулятор РТ 400

Состав регулятора:

- Блок измерения входных сигналов с количеством каналов равным – 4;
- Контроллер управления регулятором;
- Блок питания;
- Интерфейс связи RS-485;
- Блок выходных сигналов – 4 реле;
- Блок индикации и органов управления;

Таблица 2.5.1 - Основные технические характеристики регулятора РТ 400

Диапазон регулирования	Температуры от -60°C до +500°C
Точность измерения температуры	0,5%
Точность индикации температуры	0,1°C
Количество каналов измерения	4 канала
Количество каналов управления	4 канала
Аналоговый выход	0-10В, 4-20 мА
Типы датчиков температуры (устанавливаются в меню настроек, отдельно от каждого канала) W_{100}^*	Тип 0 – Pt100, $W_{100}=1,3850$; Тип 1 – Cu100, $W_{100}=1,4260$; Тип 2 – Cu100, $W_{100}=1,4280$; Тип 3 – Cu50, $W_{100}=1,4260$; Тип 4 – Cu50, $W_{100}=1,4280$; Тип 5 – Pt50, $W_{100}=1,3850$; Тип 6 – Pt100, $W_{100}=1,3910$; Тип 7 – Pt50, $W_{100}=1,3910$;
Максимальный ток реле управления	6А, 220В
Интерфейс, протокол связи	RS485, 9600 бит/с, MOD_BUS/RTU
Температура эксплуатации	От 0° до +40°C
Относительная влажность воздуха при $T=35°C$	не более 90%
Степень защиты корпуса	IP20
Напряжение питания	220В±10-15%, 50 Гц

Продолжение таблицы 2.5.1

Потребляемая мощность	не более 5 ВА
Тип крепления в шкаф	DIN рейка, 6 модулей
Габаритные размеры	105x90x66 мм
Масса	450 г.

Термопреобразователь температуры

Датчик измерения температуры необходим для контроля данного параметра среды и преобразования его в цифровой формат, требуемый для цифрового терморегулятора.

Данный датчик состоит из термопреобразователя сопротивления (ТС) выполненного в соответствии нормативными документами - рисунок 2.5.2 и аналого-цифрового блока.



Рисунок 2.5.2 – Термопреобразователь сопротивления

Термопреобразователь изготавливается в металлическом круглом корпусе с вводом под кабель. Корпус закрывается завинчиваемой крышкой, под

которой расположено уплотнение. Внутри располагаются электронные составляющие и набор клемм для подключения. [15]

С чувствительного элемента ТС передается аналоговый электрический сигнал на аналогово-цифровой преобразователь, который передает его далее по сигнальным линиям к цифровому регулятору. Коммутация производится по двух-, трех- или четырехпроводной схеме.

Технические характеристики датчика:

- Напряжение питания, В: 5 ... 15 (напряжение линии);
- Потребляемый ток, не более, мА: 5;
- Диапазон температур окружающей среды, °С: -50...+60;
- Маркировка взрывозащиты: 1ExdIIВТ4;
- Степень защиты от воды и пыли по ГОСТ 14254: IP66;
- Длина линии связи-питания СИ СЕНС, м, не более: 1500;
- Климатическое исполнение по ГОСТ 15150: УХЛ1, М;
- Выходной сигнал 4...20 Ма.

Датчик температуры Pt100

Данный датчик необходим для контроля перегрева нагревателя в соответствии с рисунком 2.5.3. Датчик подключается к защитному реле, и при перегреве нагревателя, защитное реле отключает питание нагревателя.



Рисунок 2.5.3 – Датчик температуры Pt100

Датчик оснащен защитой IP65 и позволяет измерять температуру в диапазоне от -50° до $+250^{\circ}\text{C}$.

2.6 Схемы управления в системе электрообогрева

Далее приведены главные схемы управления, приоритет которым отдается исходя из типа обогреваемого объекта (одиночные конструкции, трубопроводы, сеть разветвленных трубопроводов) характера теплопередачи или поддержания заданного термического режима. Система электрообогрева путем программирования имеет возможность работать по разным алгоритмам. Алгоритм 2.6.1 является новизной данной магистерской работы

2.6.1 Поддержание температуры до +60°C при жестком ограничении максимальной технологической температуры, разветвленная сеть труб

В приведенном алгоритме управление обогревом осуществляется при непосредственном контроле температурных показателей на каждом из обогреваемых участков трубопровода. Даже когда обогреваемые трубопроводы характеризуются одинаковым наружным диаметром, на них укладывается однотипная теплоизоляция, чтобы температура поддержания оставалась одинаковой для различных трубопроводов. Управлять данной системой обогрева, руководствуясь только показаниями одного датчика температуры, запрещено. Это объясняется тем, что расчетные данные температур с фактическими значениями могут не совпадать, в результате чего образуется недогрев или перегрев определенных участков обслуживаемых трубопроводов. В каких-либо сетях нефтепродукт может двигаться, но на некоторых участках может образовываться застой. Если установить температурный датчик обогреваемого трубопровода на трубопровод, где происходит сейчас движение продукта, то система обогрева после запуска не отключится, но на застойных участках нефтепродукт перегреется. И, наоборот, когда температурный датчик установлен на застойных участках, то при нагреве максимального значения уставки регулятора, обогрева не будет во всем трубопроводе, исходя из показателей этого датчика. Недогрев будет наблюдаться на участках, где в данный момент потребуются обогрев. [19]

В качестве рекомендуемых регуляторов для таких обогреваемых систем выступают изделия с датчиком, фиксирующим температуру окружающей среды.

В случае необходимости, когда требуется максимально ограничить степень превышения технологической температуры, можно установить на каждый технологический участок обогреваемой сети трубопроводов дополнительный регулятор (либо канал регулятора – для регулятора многоканального типа), чтобы контролировать перегрев трубопровода. В

качестве дополнительной меры защиты от перегрева допускается монтаж аварийной системы оповещения, как местной, так и дистанционной.

2.6.2 Защита от замерзания (поддержание $+5^{\circ}\text{C}$), одиночная труба или несколько одиночных труб

В данной системе требуется осуществлять обогрев в тесном контроле с температурой отдельного обогреваемого трубопровода в соответствии с рисунком 2.6.1. В исключительных случаях допускается управление обогревом только по температуре окружающей среды (обогрев отключается, если температура окружающей среды выше термического режима транспортируемого продукта, в частности на трубопроводе с водой, температура которой составляет $+5^{\circ}\text{C}$, обогрев отключится при окружающей температуре в $+5^{\circ}\text{C}$ (либо в диапазоне от $+5$ до $+10^{\circ}\text{C}$)). Тем не менее, для любого из трубопроводов требуется контролировать показатель снижения температуры меньше допустимого значения с использованием системы аварийного оповещения местного или дистанционного типа. Например, данное требование обязательно для водоводов. [4]

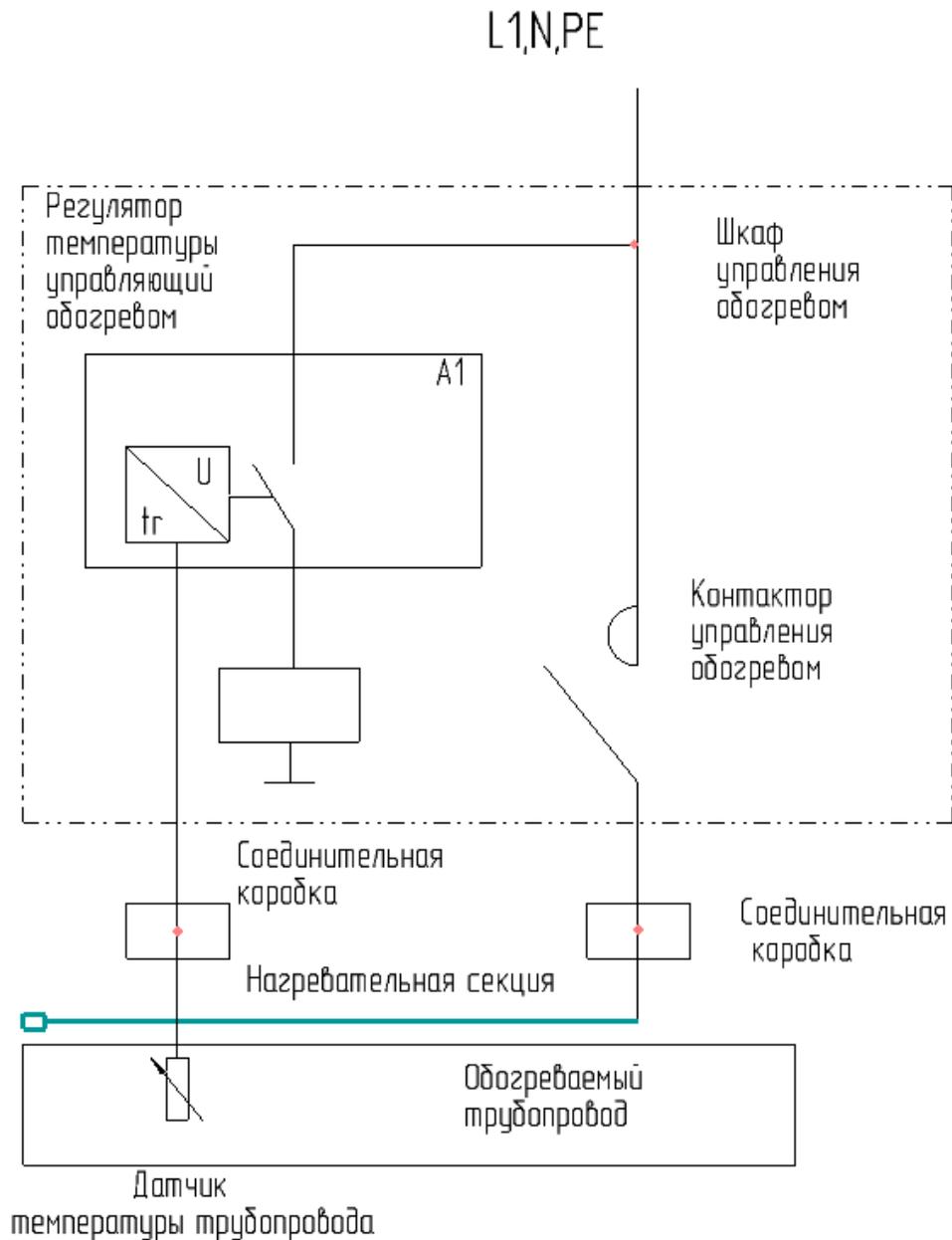


Рисунок 2.6.1 – Схема управления электрообогрева по температуре трубопровода

Иногда устанавливаются жесткие ограничения по показателю превышения максимальной технологической температуры. В таких случаях может потребоваться монтаж на каждом обогреваемом трубопроводе дополнительного регулирующего устройства (или канала для многоканальных изделий), чтобы контролировать степень перегрева поверхности трубопровода.

В качестве дополнительной защиты от перегрева служит система аварийной сигнализации как местная, так и дистанционная.

Возможно, осуществлять обогрев водовода без монтажа системы управления, однако выбор этого отопительного варианта экономически нецелесообразно, поскольку подразумевает больший расход электроэнергии. Помимо этого, в теплое время года водоводы в такой обогревающей системе могут перегреваться выше максимально допустимого значения, особенно когда своевременно вручную не выключается система обогрева.

2.6.3. Защита от замерзания (поддержание +5°C), разветвленная сеть труб

В рассматриваемой системе целесообразно осуществлять управление обогревом при помощи контроля температуры исключительно окружающей среды, поскольку не всегда можно выбрать точку для монтажа датчика температуры на поверхности трубопровода. В ряде случаев выполнить его установку невозможно, так как на разных частях могут наблюдаться различные температурные показатели. На определенных линиях продукт может транспортироваться, а где-то он может застаиваться. В результате, когда температурный датчик монтируется на трубопровод, где в конкретный момент времени продукт транспортируется, то обогревающая система (при условии, что объемы расход достаточно большие и терморегим продукта меньше минимального значения уставки регулятора: к примеру, минимальная уставка регулирующего устройства +5°C, температура транспортируемой среды +4°C), не отключится, а на застойных участках продукт перегреется. Обратная ситуация наблюдается, когда температурный датчик монтируется на застойный участок. При нагреве участка застоя до максимальной температуры, выставленной на регуляторе, то согласно показателям датчика обогреваться не будут все участки трубопровода, включая требующие обогрева. Среди наиболее

подходящих регуляторов для такой сети трубопроводов отметим аналоги с датчиками термического режима транспортируемой среды. [7]

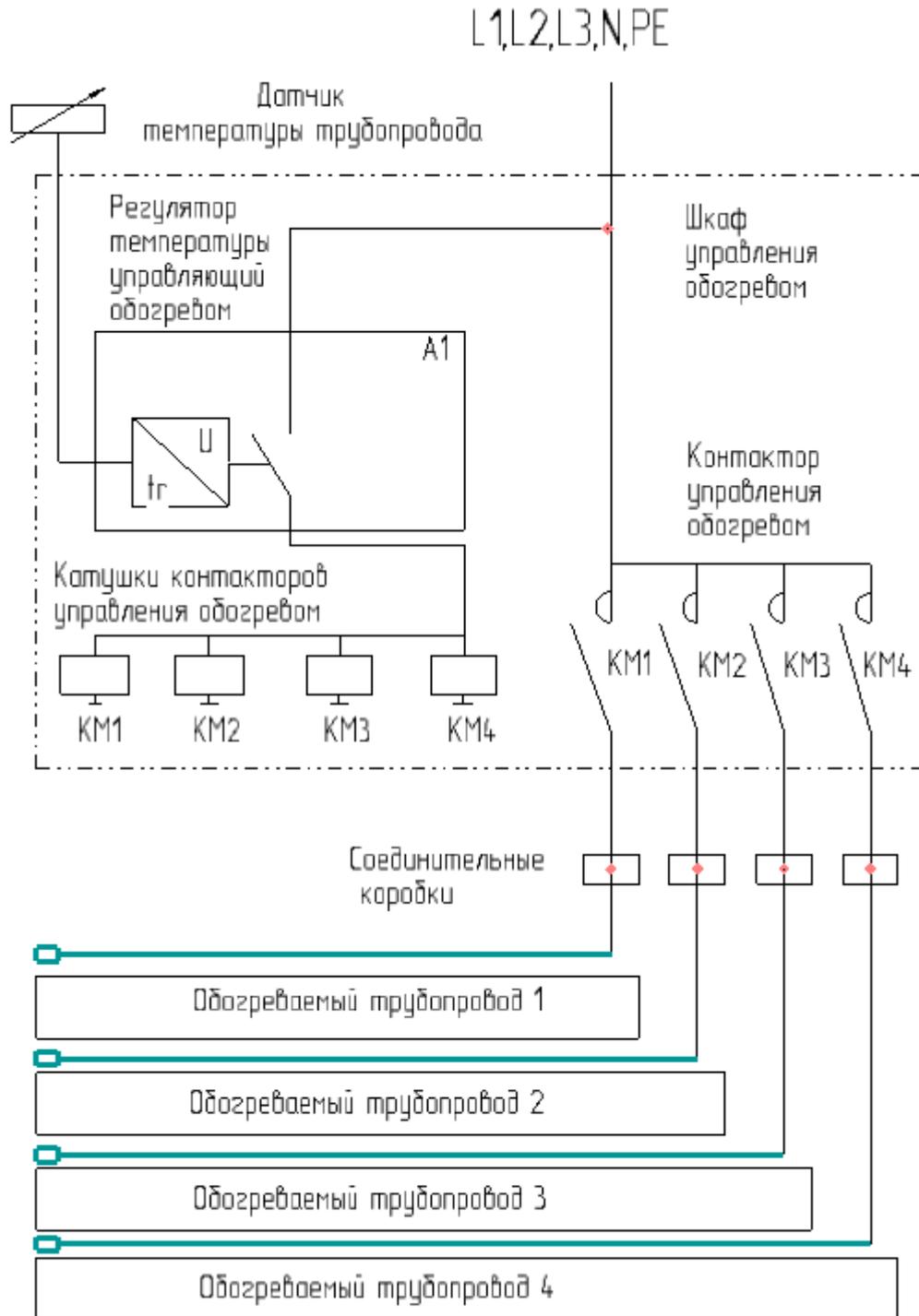


Рисунок 2.6.2 – Схема управления обогревом нескольких труб по температуре воздуха

Если требуется жестко ограничить показатель превышения максимальной технологической температуры, можно выполнить монтаж на определенных технологических линиях дополнительного регулирующего датчика (либо канала регулятора – для устройств многоканального типа). Контроль перегрева поверхностей сети трубопроводов рекомендуется оснастить местной или дистанционной аварийной сигнализацией в соответствии с рисунком 2.6.2.

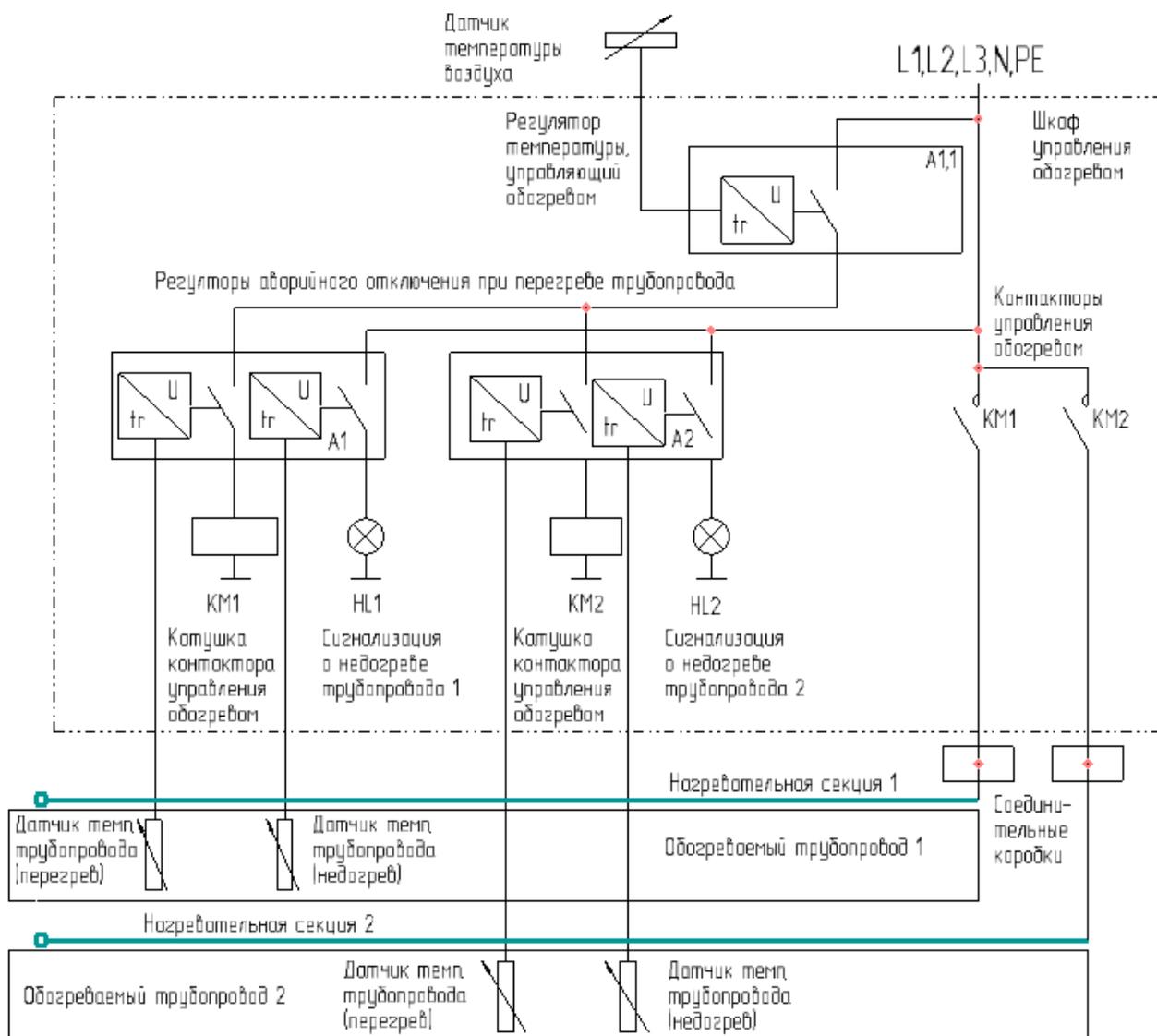
Вместе с тем, допускается выполнить обогревающую систему без системы управления, однако это может повлечь огромные энергопотери. В теплое время года при данной обогревательной системе водоводы, вероятнее всего, приобретают термический режим намного выше максимально допустимого значения, в частности, когда система обогрева не будет выключена своевременно.

2.6.4. Поддержание терморежима до +60°C при необходимости жесткого ограничения максимального значения технологической температуры, при наличии одиночной трубы или нескольких одиночных труб

Управление системой обогрева целесообразно осуществлять при непосредственном контроле температурных показателей каждого обогреваемого трубопровода. Вместе с тем, для каждого отдельного трубопровода рекомендуется контролировать показатель снижения температуры ниже допустимого значения, а саму систему оснастить аварийной сигнализацией местного или дистанционного типа.

Также потребуются контролировать показатель превышения максимальной технологической температуры, что осуществляется посредством монтажа на требуемый обогреваемый трубопровод регулирующего устройства (или канала для многоканального аналога). Это позволит осуществлять контроль степени перегрева поверхности трубопровода, а изведать о

превышении допустимых значений будет сигнализация местного или дистанционного типа в соответствии с рисунком 2.6.3



Р

Рисунок 2.6.3 – Схема управления обогревом при необходимости жесткого ограничения максимальных значений технологической температуры

Задействованные в данной системе регуляторы должны характеризоваться высокой точностью измерений, особенно когда согласно требованиям технического задания при создании проекта системы электрообогрева, предельные показатели температуры должны отличаться от поддерживаемого режима в пределах 3-5°C. [9]

2.6.5 Соблюдение термического режима +60°C при наличии жесткого ограничения максимального значения технологической температуры, при одиночной трубе или нескольких одиночных трубах

В данной системе целесообразно осуществлять управление аналогичным образом, изложенным в пункте 2.6.4. Отдельное внимание необходимо уделить выбору температурного датчика, который обязан измерять термический режим, исходя из технического задания на проектирование. К примеру, когда требуется выполнить измерение термического режима с максимальным значением 250°C, то с этой задачей не справится медный терморезистор с максимальной температурой измерений +150°C. Для этого объекта рекомендуется задействовать температурный датчик с верхним пределом не ниже +300°C. Для таких задач идеально подходит платиновый терморезистор. [32]

2.7 Схема электроснабжения для СКИН-системы с применением однофазного источника

Данная схема наиболее простая и дешевая для электроснабжения СКИН-системы. Применение такой схемы рекомендовано стандартом IEEE Std 844-2000 (США). Схема электроснабжения показана на рисунке 2.7.1.

При однофазной схеме электроснабжение нагрузки скин-нагревателя осуществляется от трансформатора, имеющего схему соединения обмоток 1/1-0 (одна обмотка со стороны ввода питания и одна обмотка со стороны подключения нагрузки). При всём достоинстве данной схемы, есть и недостаток это перекос токов на стороне ввода питания при подключении нагрузки большой мощности (до нескольких сотен киловатт) между двумя фазами в трехфазной сети.

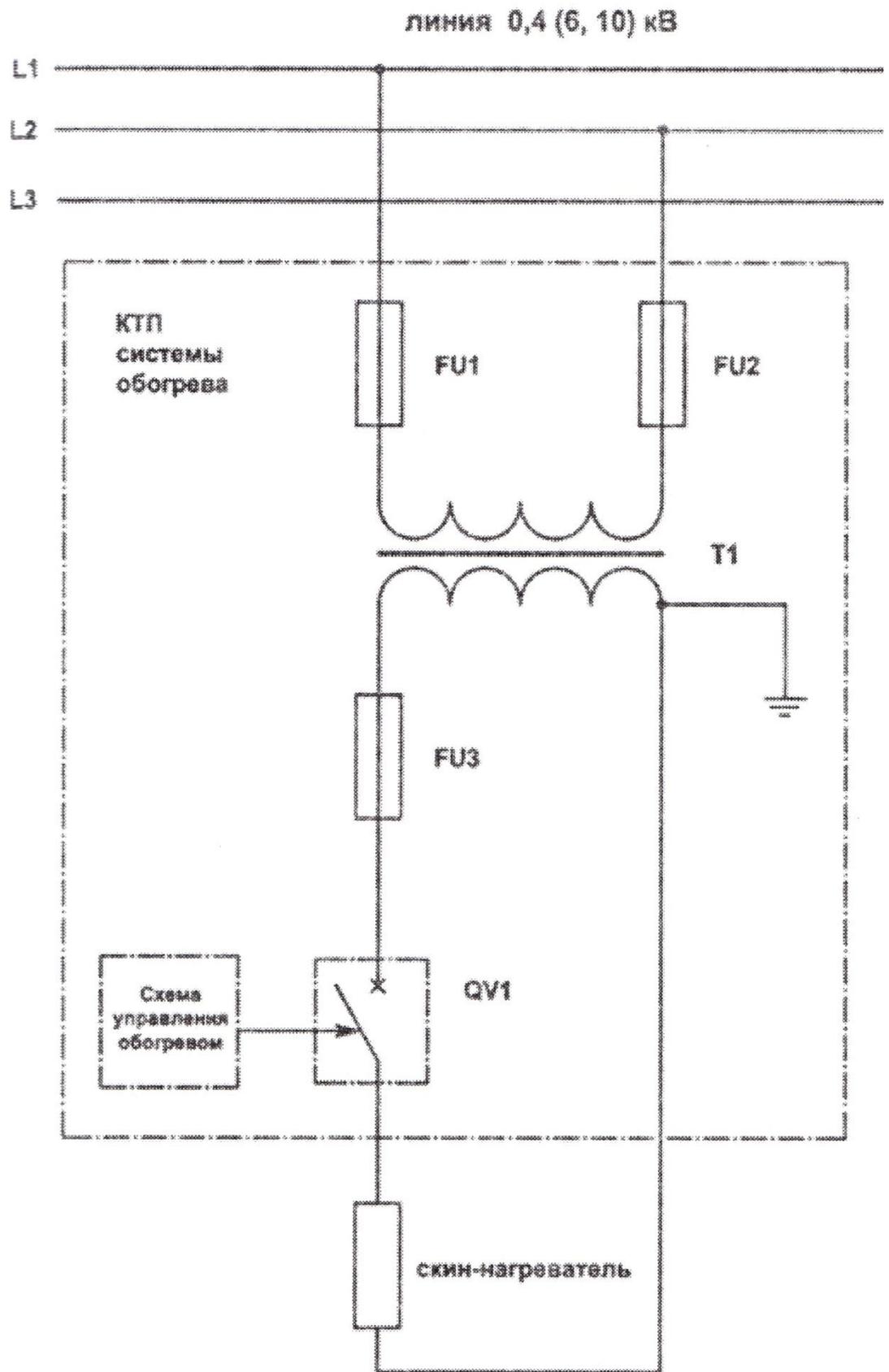


Рисунок 2.7.1 – Схема электроснабжения системы электрообогрева

3. Монтаж, пуско-наладка и эксплуатация систем электрообогрева

3.1 Общие положения правила монтажа систем электрообогрева

Общие положения

Монтаж электрических обогревающих систем ведется на основе проектно-сметной и рабочей документации на эти системы, разработанных и утвержденных ППР (планов производства работ), нормативной документации, а также инструкций по безопасной реализации монтажных работ.

Отступления от ППР и положений рабочей документации не могут быть осуществлены без предварительного согласования этого с организациями, которые разрабатывали и утверждали эти документы.

Условия, в которых изделия хранятся до монтажа, должны быть соответствующими проектным требованиям, а также нормативно-технической и конструкторской документации, составленной на входящие в систему изделия. Хранение должно осуществляться таким образом, чтобы изделия могли быть осмотрены, составляющие систем не могли соприкасаться с нефтехимическими и химическими продуктами, а попадание пыли и влаги в оборудование и материалы является недопустимым. [10]

Когда осуществляется разгрузка, погрузка, подъем, установка монтируемого оборудования, должна обеспечиваться его сохранность.

Все направляющие, опоры, а также теплоизоляционные системы (при наличии на то технической возможности) должны быть завершены до того, как начнется монтаж прикрепляемых к резервуару либо трубопроводу составляющих обогревательной системы. Испытания трубопроводов, которые будут обогреваться, очистка внутренних поверхностей таких трубопроводов, а также иные нужные для проверки целостности системы испытания должны быть завершены до того момента, как начнет монтироваться обогревающая система.

При проведении работ монтажного характера, связанных с установкой нагревательных секций, нужно обеспечить предусмотренную проектом температуру.

Испытанием и монтажом электрообогревательных систем должен заниматься обученный и квалифицированный персонал, прошедший инструктирование по технике безопасности и особенностям проведения монтажа. На протяжении всей работы за ней должны наблюдать обученные эксперты.

Подготовительный этап.

Перед стартом монтажа проверяется комплектность оборудования и материалов, которые были поставлены (для этого используется спецификация из документации по проекту). Деформированные, загрязненные изделия, а также изделия, чьи обработанные поверхности деформированы, не подлежат монтажу.

Требуется проверить бумаги, которые подтверждают качество входящих в систему комплектующих, а также разрешения, сертификаты и иные документы, которыми подтверждается возможность использовать обогревающую систему в рамках конкретного объекта.

Монтажная организация при осуществлении подготовительных работ по монтажу должна:

- утвердить ППР на монтажные работы;
- осуществить подготовку транспортных и грузоподъемных средств, передвижных электрических установок, приспособлений и устройств для испытаний и монтажа изделий;
- осуществить подготовку производственной базы для реализации работ вспомогательного характера;
- осуществить координацию работ по монтажу тепловой изоляции так, чтобы на них было потрачено наименьшее количество времени, и они были проведены сразу после монтажа электрообогревательной системы (это позволит

уменьшить риск механических повреждений составляющих электрообогревательной системы);

– осуществить мероприятия по обеспечению противопожарной безопасности, охране окружающей среды и труда, предусматриваемые правилами и нормами.

Перечень операций по проверке контроля качества составляющих электрообогревательной системы:

- проверка наличия комплекта документов на обогревательные системы;
- внешний осмотр;
- измерение контрольных и силовых кабелей, нагревательных секций и элементов;
- составление протокола по результатам измерений и осмотра. [2]

Проверка готовности объекта, подлежащего обогреву, к реализации монтажных работ осуществляется следующим образом. Сначала сравниваются фактические высота, длина, внешний диаметр, а также конфигурации обогреваемых резервуаров и труб на объекте со значениями, которые приведены в проектной документации. Если обнаружено несоответствие каких-либо параметров либо найдены узлы, которые не отражены в проекте, монтажная организация составляет протокол при участии заказчика. Далее информация о выявленных несоответствиях передается проектной организации. После того, как проектная организация вносит изменения в проект электрообогревательной системы и выдает разрешение на ведение работ, деятельность по монтажу электрообогревательной системы может быть продолжена.

Далее осуществляется осмотр поверхностей резервуаров и трубопроводов в тех местах, где они соприкасаются с нагревательными элементами. На поверхностях не должно быть ржавчины и грязи, капель сварки, ребер, цемента, а также иных веществ, способных повреждать оболочки нагревателей. Кроме

того, поверхности должны быть подготовлены для монтажа электрообогревательной системы.

Затем осуществляется окончательный монтаж трубопроводов и их установка на опоры со строгим соблюдением положений, заложенных в проектную документацию. Обогреваемые объекты после завершения монтажа подвергаться воздействию (например, изгибу, сварке или перемещению) не могут.

Следующий этап – проверка результатов испытания резервуара либо трубопровода давлением. Нужно удостовериться в том, что лакокрасочное либо иное покрытие (при его наличии) высохло, а резервуар либо трубопровод не был поврежден. Также нужно обратить внимание на нагревательные секции – недопустимо, чтобы они контактировали с горючими материалами. Проверяется и наличие в зоне монтажа резервуара либо трубопровода посторонних конструкций или предметов, которые могут помешать работам по монтажу.

Завершающий этап – приемка под монтаж электрообогревательных систем по «Акту готовности строительной части сооружений и помещений к производству электромонтажных работ». При проведении монтажа нужно осуществлять входной контроль количества и качества изделий и материалов, которые указаны в спецификации из документации по проекту, на соответствие устанавливаемым чертежами и ПД требованиям. [6]

3.2 Монтаж датчиков и нагревающих элементов на трубопроводах.

Подготовительный этап.

Местоположения всех температурных датчиков и соединительных коробок отмечается на трубопроводе и фиксируется. При этом нужно обращать внимание на внешние устройства, потенциально способных изменить показания температурных датчиков.

При необходимости закрепить нагревательный элемент на трубопроводе нужно использовать только те крепления, которые предусмотрены ПД. Если используются другие фиксаторы, то производитель освобождается от взятых на себя обязательств по гарантии. [33]

Если осуществляется транспортировка барабанов, где есть кабельные изделия, нужно не допустить захвата выступающими частями барабана одежды. Скобы, щепки, гвозди и другие части, выступающие из барабана, нужно удалить. Когда осуществляется размотка с барабана контрольных и силовых кабелей, нужно не допустить перекручивания, заземления, а также соскакивания кабельных витков с барабана. Также необходимо предпринимать предупреждающие меры против повреждения нагревательных кабелей при их размотке.

Сматывание кабелей через щеки барабанов является недопустимым.

Перед тем, как начать прокладывать кабель, нужно проверить сопротивление изоляции и целостность токопроводящих жил. Для этого следует зачистить все концы намотанного на барабане либо свернутого в бухту кабеля.

– Если у кабеля одна жила, то на одном кабельном конце она должна быть закорочена на экран, с другого конца проверяется наличие цепи посредством мультиметра.

– При наличии в кабеле двух жил, они должны быть с одного конца закорочены между собой, а с другого посредством мультиметра нужно проверить, есть ли цепь. Также можно проверять целостность жил, поочередно подключая их к экрану.

– При наличии в кабеле трех жил и более нужно проверять их целостность посредством поочередного закорачивания на экран.

При проверке целостности жил в контрольных кабелях нужно измерить значения омического сопротивления в них. Результаты проверки сопротивления жил и их целостности заносятся в протокол. Сопротивление, которое измерено, должно быть соответствующим ПД.

Для измерения изоляционного сопротивления применяется мегомметр при условии указанного в ПД испытательного напряжения между:

- экраном в нагревательном элементе и жилами, проводящими ток;
- обогреваемой поверхностью и экраном.

Если обогреваются пластмассовые поверхности, то изоляционное сопротивление проверяется между экраном и ближайшей к нему конструкцией из металла либо между контуром заземления и экраном.

Измеренное изоляционное сопротивление должно быть соответствующим ПД (как правило, менее 10^3 МОм.м).

Результаты проверки заносятся в протокол.

Как только изоляционное сопротивление и целостность жил проверены, можно устанавливать концевые заделки (муфты) и соединители.

Установка соединителей и заделок осуществляется при условии полного соблюдения инструкций по монтажу. [8]

После завершения монтажа концевых заделок получают заготовки секций нагревания, чье окончательное формирование завершится после того, как они будут смонтированы на обогреваемые трубопроводы. Далее нужно проверить изоляционное сопротивление заготовки секции нагревания, используя положения документации по проекту.

Результаты проверки изоляционного сопротивления, которым обладает секция нагревания, заносятся в протокол. Измеренное значение должно быть соответствующим ПД (как правило, не менее 10^3 Мом.м).

Если секции нагревания долго остаются открытыми, то они должны быть защищены от повреждений, влаги либо иных воздействий. [20]

В тех местах, где нагревательная секция вводится под изоляцию, нужно осуществить установку на трубопровод устройства ввода под тепловую изоляцию, предусматриваемое ПД. В такое устройство должна быть заведена нагревательная секция, а само оно закрепляется на трубопроводе способом,

указанным в ПД. Соединительная коробка устанавливается и закрепляется на устройстве ввода под тепловую изоляцию.

Требования и указания, приведенные в документации по проекту, являются обязательными при работах, связанных с прокладкой и креплением нагревательных элементов.

Как показано на рисунке 3.2.1, монтаж нагревательного элемента может быть произведен на обогреваемых трубах в несколько нитей либо прямолинейно. При монтаже нужно придерживаться требований, указанных в документации по проекту. В частности, в ней должны быть зафиксированы расстояния от одного нагревательного элемента до другого, а также схема укладки.

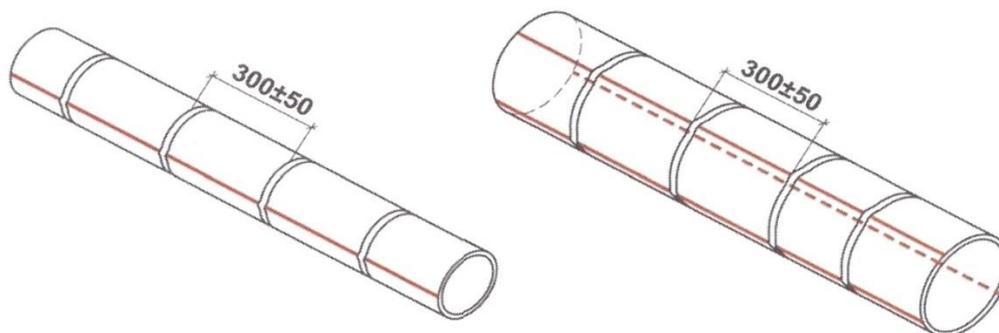


Рисунок 3.2.1 – Укладки нагревательных элементов на трубопроводе

Монтаж нагревательного элемента производится в соответствии с проектной документацией с удалением от сочленений трубопровода и нижних частей фланцев, пропускающих жидкости в нагревающую работающую секцию. На рисунке 3.2.2 показано, что прохождение нагревательного элемента допускается только на внешнем радиусе изгиба трубы.

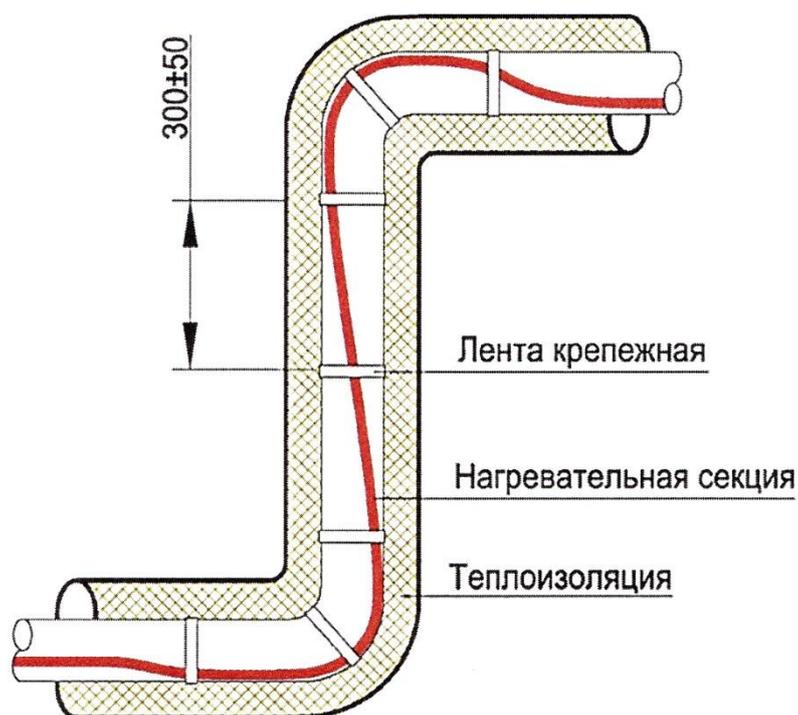


Рисунок 3.2.2 – Укладка нагревательного элемента на трубном изгибе

Начиная от вводной точки, для теплоизоляции нагревательная секция крепится посредством крепежной ленты к поверхности, которая будет обогреваться. Чтобы система обогрева достигла максимальной эффективности, требуется хороший контакт между нагревательным элементом с поверхностью, которая обогревается, по всей ее длине. При формировании воздушного зазора между обогреваемой поверхностью и нагревательной секцией используется теплопроводная паста либо самоклеящейся алюминиевый скотч.[34]

Когда нагревательный элемент монтируется на обогреваемые поверхности, он должен укладываться наружу маркированной стороной

При обогреве элементов, которыми обусловлены дополнительные потери, укладка нагревательных элементов должна быть основана на следующем правиле. Для всех элементов, из-за которых возникают дополнительные потери (например, регулирующая арматура, опоры трубопроводов, фланцы) нужно предусматривать петлю, которая является дополнительной длиной

нагревательного элемента. На рисунке 3.2.3 продемонстрированы типовые способы укладки нагревательного элемента в опорной зоне.

В таблице 3.1 приведена информация по длине дополнительных участков элементов, нагревающих фитинги, в зависимости от трубопроводного диаметра.

Таблица 3.2.1 – Добавочные длины нагревательных элементов, обогревающих элементы, которыми обуславливаются дополнительные потери

Труба Ду, мм	Фланцы, м	Задвижки, м	Насосы, м	Фильтры и прочее, м	Опоры, м
8	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1
10	0,2	0,2	0,4	0,2	0,1
25	0,3	0,4	0,8	0,4	0,2
40	0,4	0,6	1,2	0,6	0,2
50	0,4	0,8	1,5	0,7	0,2
80	0,5	1,1	2,2	0,9	0,3
100	0,6	1,4	2,9	1,1	0,3
150	0,6	2,1	4,2	1,7	0,3
200	1	2,8	5,5	2,3	0,3
300	1,3	4,1	8,1	3,3	0,5
500	1,5	6,4	12,8	5,1	0,7

Требуются дополнительные петли и при осуществлении ремонта на обогреваемых составляющих трубопровода. Вследствие этого нагревательные секции должны укладываться на них таким образом, чтобы затем был возможен частичный демонтаж либо отвод в сторону нагревающей секции на размер дополнительной петли.



Рисунок 3.2.3 – Монтаж нагревательной секции на опоре

- Внутренняя полость в опоре должна заполняться теплоизоляцией;
- Поверхность опоры должна покрываться кожухом, теплоизоляцией;
- Кожух трубопроводной теплоизоляции должен прилегать к опоре плотно, также требуется герметизация мест стыков;
- Формула для расчёта дополнительной длины нагревающего элемента при необходимости обогреть опору известной длины: $L_{оп} = (\text{длина опоры} + 0,25 \text{ м}) * 2$.

Когда укладываются дополнительные петли, нужно следить за минимально допусаемым радиусом изгиба нагревающего элемента. Он указывается в ПД, при этом требуется увеличение значения параметра при условии выполнении монтажа в отрицательных температурах.

Правила укладки нагревательных элементов на вертикальном компенсаторе. Когда нагревательный элемент укладывается на нагревательном компенсаторе, нужно учитывать, что требуется обогреваться не только вентиль для выпуска продукта перекачки и транспортную трубу. Но и выпускной воздушный вентиль, отводную воздушную трубу. Во всех случаях укладка нагревающей ленты определяется отдельно, что учитывается в документации по проекту. На рисунке 3.2.4 приведены различные примеры способов укладки нагревательных лент. Если выпускные трубки в длину составляют 1 метр или более, они должны обогреваться посредством отдельных нагревательных секций. [22]

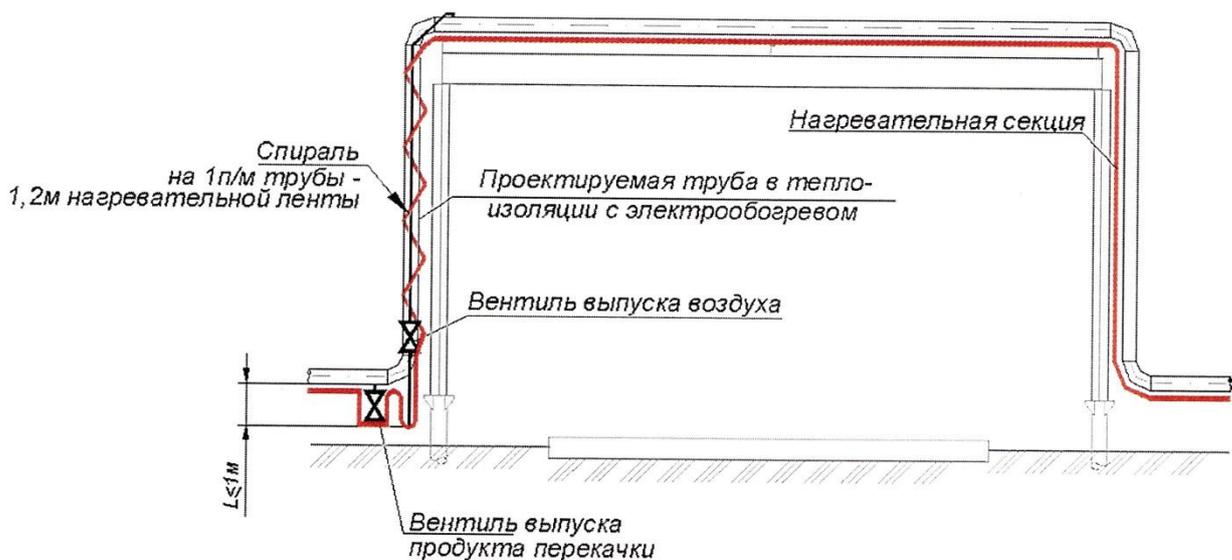


Рисунок 3.2.4 – Обогрев вертикального компенсатора посредством одной нагревательной секции

Длины выпускной воздушной трубы и вентиля для выпуска продукта не может быть больше одного метра.

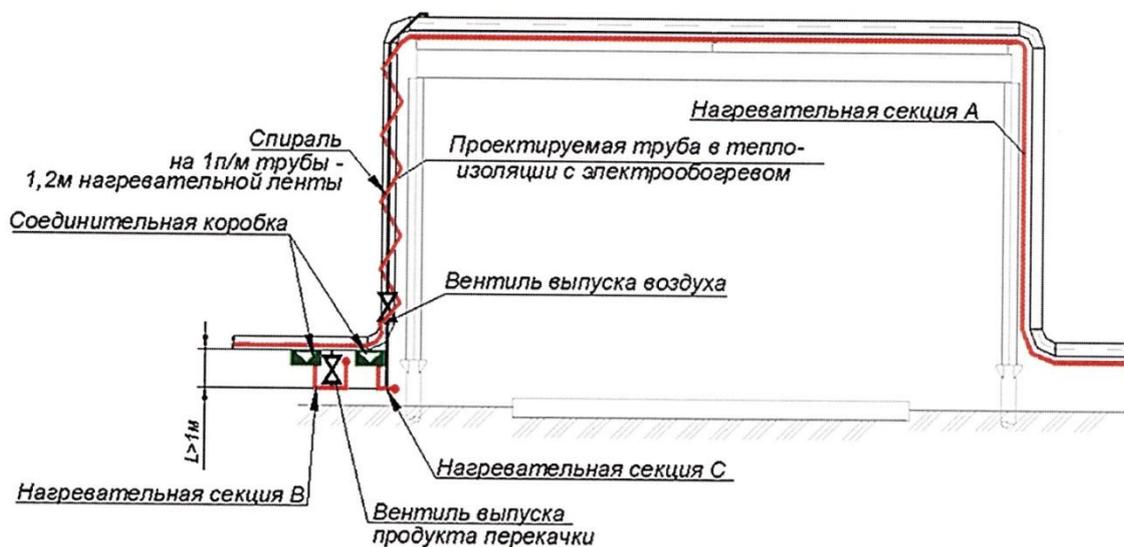


Рисунок 3.2.5 – Обогрев вертикальных компенсаторов посредством трёх нагревательных секций

В этом случае длины воздушной выпускной трубы и вентиля для выпуска продукта составляет более одного метра. Применяется раздельное выполнение теплоизоляций на вентиле для выпуска продукта, выпускной трубе и обогреваемой трубе.

При монтаже нагревающих элементов на тройнике возникает Т-образное трубное разветвление. Монтаж нагревательных секций на тройниках должен выполняться согласно документации по проекту. На рисунке 3.2.6 показано применение устройства ввода под тепловую изоляцию на три направления, позволяющее упростить монтаж. Чтобы избежать возможного повреждения нагревательной секции при монтаже покровного изоляционного слоя (кожуха, произведённого из стального оцинкованного листа), нужно, чтобы нагревательная секция проходила тройник по образующей в соответствии с рисунками 3.2.6 и 3.2.7.

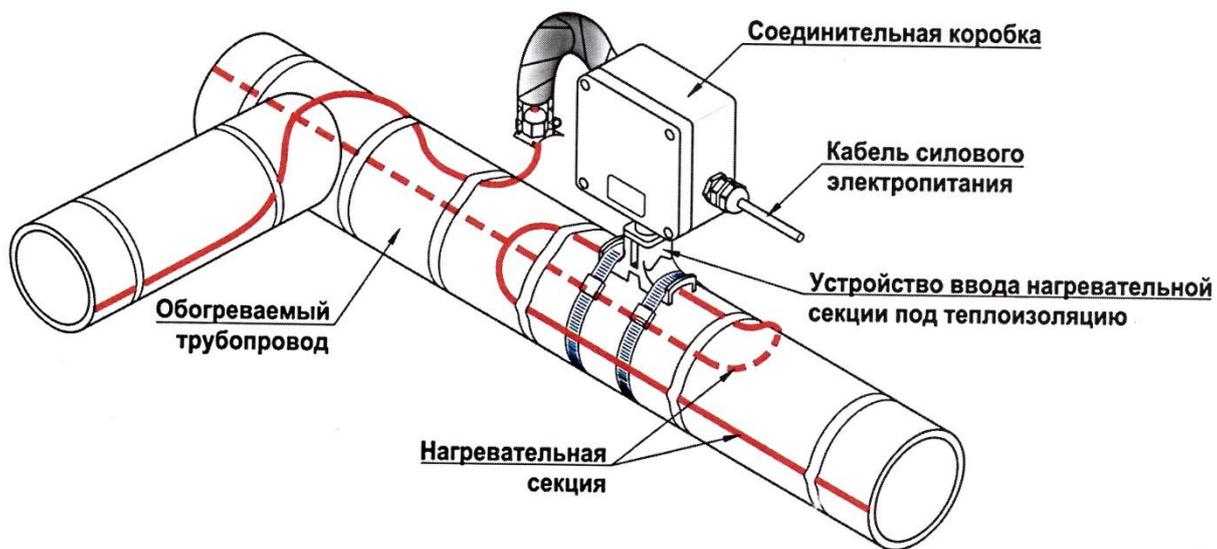


Рисунок 3.2.6 – Монтаж нагревательной секции на Т-образных разветвлениях с применением вводного теплоизоляционного устройства на три секции

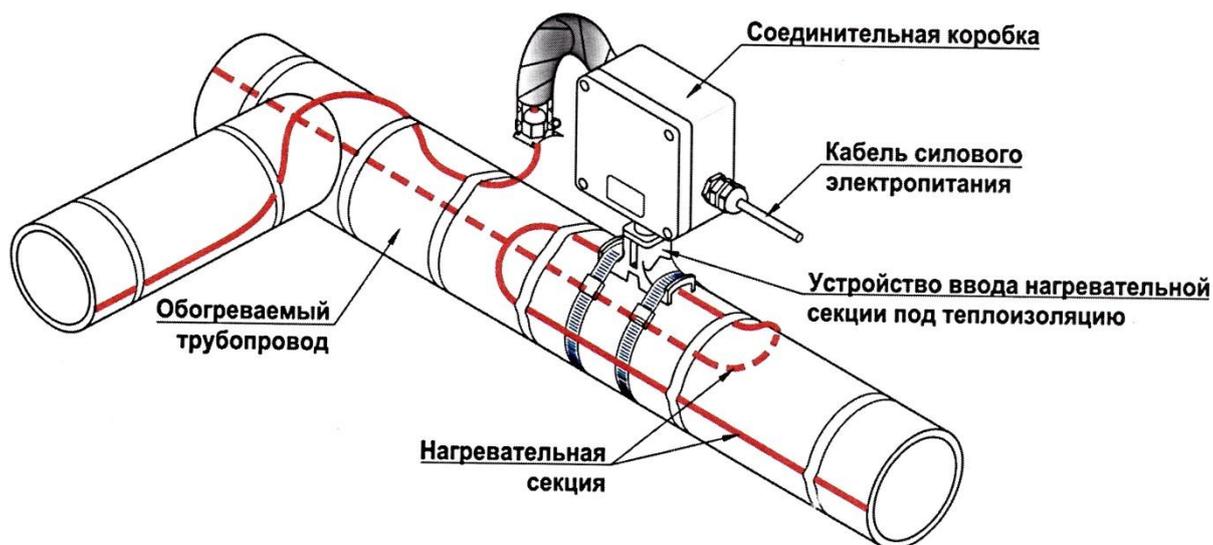


Рисунок 3.2.7 – Монтаж нагревательной секции на Т-образных разветвлениях с применением защищающего кожуха

Возможно также выполнение обогрева прямолинейной длины тройника посредством одной нагревательной секции, при этом для ответвления требуется отдельная и подключаемая с помощью дополнительной коробки секция.

Если мощность, которой обладает нагревательная секция, равна 33 Вт/с или больше этого значения, то возможно, что нитки, которые близко сходятся в вводном устройстве под теплоизоляцию, друг друга перегревают. Поэтому необходимо строгое следование требованиям, описанным в документации по проекту. На рисунке 3.2.7 продемонстрировано решение, которое может использоваться в кабелях повышенной мощности. [25]

Монтаж и расположение температурных датчиков на трубопроводах. Температурные датчики должны быть размещены на трубопроводе с соблюдением положений ПД на поверхности, которая обогревается (при этом должно выдерживаться расстояние в 100 мм или более от нагревательных секций для труб диаметром 200 мм или более, при этом должен соблюдаться угол в 60° от нагревательных секций, если в проектной документации не указано иное). На рисунке 3.2.8 показано применение крепежей, используемых для крепления температурных датчиков на трубопровод. Температурные

датчики должны устанавливаться так, чтобы вероятность попадания я теплоизоляционного материалу между трубопроводом и датчиком была минимальной.

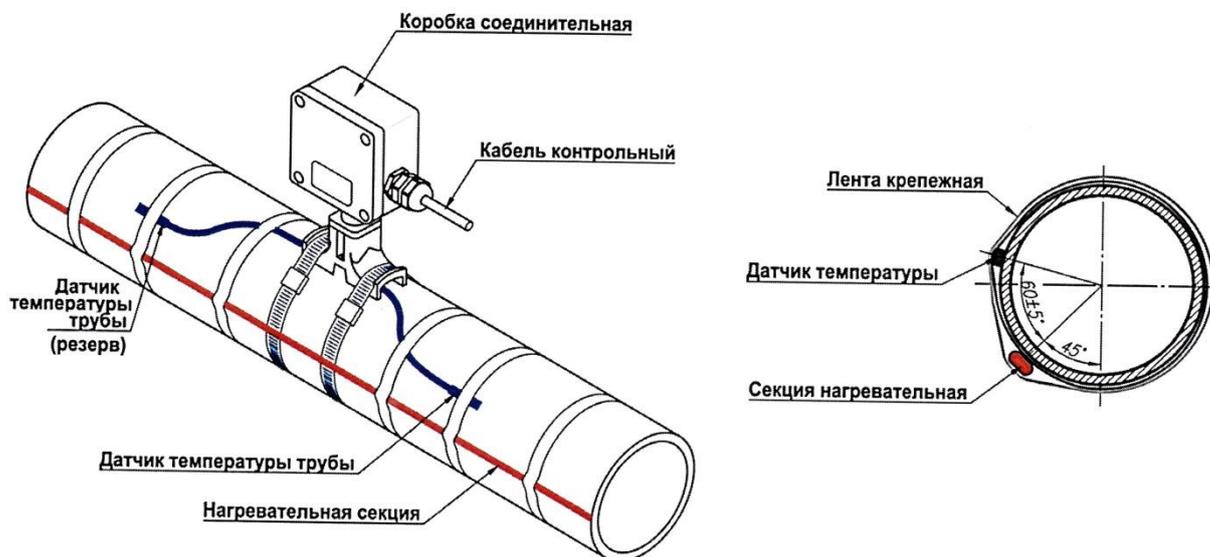


Рисунок 3.2.8 – Установка основного, резервного температурных датчиков на трубопроводе

Установка температурного датчика на трубопроводе должна осуществляться как можно ближе к ШУ. При этом он должен быть от любых источников, способных вносить искажения в показания прибора.

Температурные датчики устанавливаются в соединительных коробках, после чего выполняется их подключение. Монтаж соединительной коробки производится на улице в том месте, где на неё не попадают прямые солнечный лучи, также она должна быть защищена экраном от солнца. Позиция для установки соединительной коробки уточняется при ведении монтажа на месте.

После того, как работы, связанные с укладкой нагревательной ленты, установкой температурных датчиков, соединительных коробок должен быть оформлен акт по установленному образцу. [26]



Рисунок 3.2.9 – Коробка, оборудованная датчиком, измеряющим температуру воздуха

3.3 Монтаж теплоизоляции

Перед тем, как начинать монтаж теплоизоляции, нужно проверить, насколько правильно проведён монтаж нагревательных секций, есть ли повреждения. Также должны быть сравнены фактические характеристики теплоизоляции с данными, отраженными в документации по проекту.

Когда монтаж соединительных коробок, датчиков, нагревательных элементов завершается, с обогревательной системой начинает работать компания, выполняющая теплоизоляцию. Чтобы обеспечить сохранность нагреваемых элементов, нужно накладывать тепловую изоляцию сразу после того, как смонтирована обогревающая система. При отсутствии возможности установить тепловую изоляцию на нагревательные элементы в течение суток после завершения их монтажа нужно защитить их от повреждений.

Как только завершается монтаж теплоизоляции, проводится проверка сопротивления у нагревающих секций. Она осуществляется совместно подрядчиком, заказчиком и компанией, монтировавшей теплоизоляцию. Результаты проверки заносятся в протокол. [35]

Чтобы соблюсти требования, устанавливаемые ПУЭ, следует после завершения работ по монтажу наносить на поверхностный теплоизоляционный кожух маркировки «ЭЛЕКТРООБОГРЕВ» через 3,5 метра друг от друга.

3.4 Монтаж кабелей управления, силовых кабелей

Реализация электрических соединений.

Открытая прокладка кабелей управления, силовых кабелей.

В случае наличия в документации по проекту указания на прокладку кабелей открытым способом, нужно соблюдать следующие требования:

– Открытая прокладка кабелей управления, силовых кабелей на территории взрывоопасных зон должна осуществляться по кабельным эстакадам, лоткам, колоннам, стенам, а также иным конструкциям строительного характера (ВСН 332-74);

– На территориях взрывоопасных зон вне зависимости от их класса нельзя устанавливать ответвительные и соединительные кабельные муфты. Стандарт, который был принят в 2011 году, допускает, что если избежать соединения невозможно, то сращивание должно производиться посредством соединителя, соответствующего эксплуатационным условиям. Соединение помещается в оболочку, обладающей взрывозащитой того вида, который является соответствующим для конкретной среды;

– В силовых сетях во взрывоопасных зонах 1 класса (В-I, В-Ia, В-Ir, В-II) при ведении открытой прокладки используются лишь бронированные кабели. Нетренированные кабели могут применяться во взрывоопасных зонах 2 класса (В-Iб, В-IIa);

– Кабели, которые могут быть механически повреждены (например, из-за транспортировки грузов, механизмов), а также находящиеся в зонах, куда может быть допущен персонал, не проходивший обучение, должны находиться на минимальной высоте в 2 метра от уровня земли либо пола.

Монтаж проводов, изолированных кабелей в условиях стальных труб.

При наличии в документации по проекту указания на прокладку кабелей в условиях металлических труб, нужно соблюдать следующие требования:

– На территориях взрывоопасных зон для трубопроводов, по которым проходят электросети, нужно использовать стальные лёгкие либо обыкновенные газопроводные трубы, а также соединительные части для них;

– Чтобы соединять трубы между собой, с патрубками в коробках, с взводными устройствами, с аппаратурой, нужно использовать только трубную цилиндрическую резьбу;

– Использовать сварку для соединения запрещено.

– Могут использоваться исключительно разъемные трубопроводные присоединения к аппаратам (это даст возможность менять аппараты, не демонтируя трубы);

– В тех местах, где электрическая проводка в трубах входит во взрывоопасные зоны либо выходит из них, нужно устанавливать уплотнительные трубные устройства (они предотвращают утечки жидкостей и газов в неопасные зоны из взрывоопасных);

– Трубопроводы, проложенные по взрывоопасным зонам, должны быть закреплены хомутами, скобами и подобными им элементами;

– При прокладывании трубопровода в коррозионных средах материал, из которого они произведены, должен быть устойчивым к коррозии или соответствующим образом от неё защищён;

– Кабельные муфты, а также кабели, прокладываемые открыто, должны снабжаться бирками. На кабельных бирках в концах линии нужно указывать напряжение, марку, номер, сечение, название линии. На бирках для соединительных муфт указываются номер муфты и дата, когда она была смонтирована. Бирки должны обладать устойчивостью к воздействиям окружающей среды и находиться на кабелях, проложенных открыто, через 50 метров, на трассовых поворотах, а также в тех местах, где кабель переходит через огнестойкие перекрытия и перегородки;

– Электрические соединения и подключения осуществляются в соединительных коробках и шкафах, для чего необходим полный монтаж кабелей управляющих систем и силовых коробок;

– Когда работы, связанные с монтажом и прокладкой силовых управляющих кабелей, завершаются, нужно составить акт по установленной форме и внести запись в кабельный журнал по прокладке кабелей.

3.5 Монтаж шкафов управления, КТП, коробок управляющей системы, силовых коробок

Общие положения

До начала монтажа хранение шкафов управления в сухих помещениях является обязательным. При транспортировке шкафов к месту, где они будут установлены, нужно исключить падения и удары, а также проявлять осторожность. Управляющие шкафы и коробки должны быть установлены и закреплены в местах, которые специально для этого отведены и удобны для размещения и обслуживания. ШУ при монтаже должны быть вертикальными. Разность между уровнями в несущих поверхностях ШУ не может быть больше, чем 1 мм/ 1 м поверхности. При этом по всей длине несущей поверхности она должна быть не больше, чем 5 мм. [23]

Окончательное подключение

Монтаж управляющих и силовых кабелей завершается у соединительных коробок ШУ без окончательных подключений. Перед тем, как будут осуществлены подключения, нужно осуществить проверку кабелей на сопротивление изоляции и обрыв в силовых панелях, коробках и ШУ. Начало окончательного подключения возможно только тогда, когда проверка полностью завершена, а записи оформлены в протоколе. При подключении требуется обеспечить надежное прикрепление кабелей в зажимах клемм, а также маркировку кабеля с соблюдением требований, устанавливаемых проектной и нормативной документацией.

Монтаж КТП, шкафа управления

Установка, монтаж и перевозка внутри площадки ШУ и КТП должны осуществляться на основе созданного и утверждённого ППР.

Работы, которые должны быть выполнены в ходе подготовки к осуществлению монтажа КТП:

- работы, подготавливающие площадку для монтажа КТП;
- работы строительного характера, предусматриваемые ППР;
- установка закладных деталей и фундаментных болтов в фундаментах, которые сдаются под монтаж;
- монтажные работы по установке эстакад кабелей управления, силовых кабелей до питающих коробок и управляющих коробок с температурными датчиками от КТП;
- монтаж системы, подводящей питание к КТП;
- подготовка транспортных, грузоподъемных, монтажных средств и устройств;
- мероприятия по обеспечению противопожарной безопасности, охране состояния окружающей среды, охране труда.

Мероприятия, осуществляемые до установки КТП:

- осмотр;
- проверка комплектности документации, предоставленной предприятием-изготовителем (инструкция для эксплуатации, паспорт, техническое описание, электросхемы цепей, документация эксплуатационного характера для комплектующей аппаратуры, ведомость ЗИП).

Вскрывать оборудование, которое поступило от предприятия опломбированным, запрещается.

При ведении монтажа ШУ и КТП нужно обеспечивать их вертикальность. Разность в уровнях в несущей поверхности под КРУ может достигать 1 мм / 1 м поверхности, при этом на всю несущую поверхность она не может быть больше 5 мм.

КТП, которые доставляются заказчиком до места установки или подстанции, должны быть ориентированы на основе рабочих Серёжей относительно фундаментов.

3.6 Заземление

После монтирования системы электрического обогрева исполнить заземление в соответствии с проектными данными и «Правилами устройства электроустановок». [24]

Оборудование и изделия системы электрообогрева, требующие заземления, соединить специальным заземляющим проводником (рис. 3.10) с имеющимся заземляющим устройством (паспорт заземляющего устройства предоставляется эксплуатирующей или Генподрядной организацией). Все соединения обязаны иметь защиту от воздушной коррозии и должны соответствовать местным требованиям к заземлению. Значение сопротивления заземления не может превосходить предельно допустимых значений, установленные в проектной документации. Все незащищенные заземлители должны быть защищены от механических повреждений и помечены.

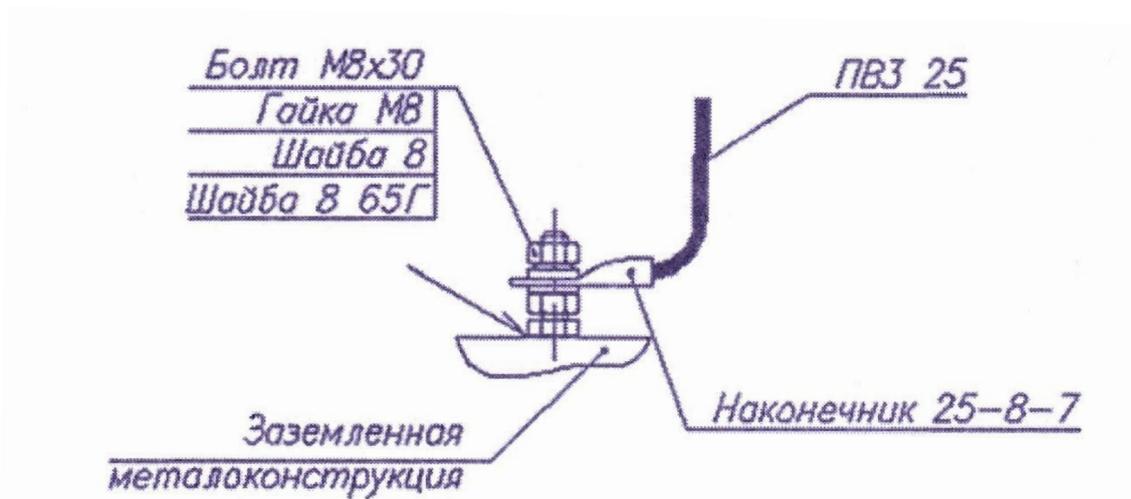


Рисунок 3.6.1 – Присоединение заземляющего проводника

Особенное внимание нужно уделить заземлению металлической оболочки (экрана) кабелей. Если ввода в соединительную коробку или шкаф управления содержит более 7-10 кабелей с броней, следует использовать специальные шины. На шине каждый монтажный конец фиксируется винтом, что даёт возможность дальше вести заземление одним проводом.

Как правило, для того, чтобы заземлить электрические установки, применяются естественные заземлители. Если в этом случае напряжение прикосновения либо сопротивление у заземляющих устройств являются допустимыми, а также на устройстве заземления обеспечивается нормированная величина напряжения, то применение искусственных заземлителей обоснованно лишь в том случае, если нужно снизить плотность тех токов, которые стекают с естественных заземлителей либо протекают по ним.

Чтобы заземлить электрические установки, которые находятся на небольших расстояниях друг от друга, рекомендовано применение одного общего заземляющего устройства.

Те заземляющие устройства, которые применяются, чтобы заземлить электрические установки различных напряжений и назначений, должны отвечать предъявляемых для заземления этих электрических установок требованиям. В частности, должна быть обеспечена защита людей от поражения электротоком при повреждениях в изоляции, также оборудование должно быть защищено от перенапряжений.

Принудительное заземление.

Принудительно заземляются:

- КТП;
- трансформаторы;
- шкафы управления;
- питающие коробки;

- сервисные коробки;
- концевые коробки;
- коробки управления;
- кабельные лотки и трубы, в которых проложены кабели.

По результатам осмотра и тестирования устройства заземления составляются протоколы установленного образца.

Окончание работ по монтажу системы электрообогрева оформляется актом о передаче оборудования системы в пуско-наладку.

3.7 Пуско-наладочные работы

Основная цель испытаний и работ пуско-наладочного характера – проверить исправность элементов системы электрообогрева и подтвердить ее работоспособность в пределах отклонений, которые являются допустимыми и регламентированы документацией нормативно-технического плана на оборудование и установление пригодности его применения в соответствии с назначением. [28]

Перед осуществлением работ пуско-наладочного характера Заказчик:

- осуществляет выдачу для пусконаладочной организации двух комплектов проектной документации (технологической и электротехнической ее частей), также он выдает исполнительную документацию (кабельные журналы, акты, схемы трасс, протоколы), эксплуатационную документацию, полученную от предприятий, выпустивших оборудование в составе электрообогревательной системы, уставки блокировок, защиты и автоматики.

- осуществляет подачу напряжения на рабочие места для налаживающего работу системы персонала посредством постоянных либо временных сетей снабжения электричеством;

- осуществляет назначение ответственных представителей, принимающих пусконаладочные работы.

Пусконаладочной организацией замечания к проекту, которые были выявлены при ознакомлении с документацией по проекту, передаются заказчику.

Для испытаний и измерений должны использоваться проверенные измерительные средства. Результаты измерений и проверок заносятся в протоколы.

Общие положения

Измерения и испытания смонтированных систем электрообогрева проводятся перед тем, как они будут приняты в эксплуатацию. Измерения и испытания должны быть осуществлены в сроки, которые определяются производственным графиком. Для проведения измерений и испытаний составляется программа приемосдаточных испытаний, которая устанавливает необходимость провести следующие операции:

- визуальный осмотр документации по проекту на предмет ее соответствия смонтированной системе электрообогрева;
- тестирование нагревательных элементов и секций;
- проверка функционирования электроаппаратов, электрической проводки, вторичных цепей (напряжение электропроводки – до 1000 В);
- измерение заземлителей, заземляющих устройств;
- испытания, проверка управляющих и силовых кабелей;
- проверка функционирования КТП, шкафа управления;
- настройка контролирующих и управляющих систем.

Рекомендации по реализации испытаний и проверок

Приборы.

Для проведения испытаний могут использоваться только те средства испытаний, которые были поверены Росстандартом и обладают соответствующим сертификатом (ГОСТ Р 8.568-97 п.4.5).

Рекомендованы к применению:

- Универсальный стандартный прибор, измеряющий сопротивление в цепи (мультиметр АМ 1097 либо аналогичный ему);
- Прибор, испытывающий изоляционное сопротивление на постоянных напряжениях («Мегомметр» - ЭСО 202/2Г);
- Цифровой LCR-метр ELC-131D или аналогичный;
- Измеритель тока короткого замыкания ЭКО-200;
- Измеритель температуры ИВТМ-7;
- Тепловизер Therma CAM P25;
- Омметр Ф4103;
- Рефлектометр Рейс – 205.

Измерение изоляционного сопротивления в нагревательных секциях

Осуществление измерений начинается после того, как соединители и заделки установлены. Мегомметр ЭСО 202/2Г формирует испытательное напряжение, указываемое в документации по проекту, между:

- токопроводящими, нагревательными жилами и оплеткой (экраном) нагревательного элемента;
- оплеткой (экраном) и поверхностью, которая обогревается. Если обогревается поверхность, выполненная из пластмассы, изоляционное сопротивление проверяется между ближайшей конструкцией из металла и оплеткой либо между контуром заземления и оплеткой.

Результаты измерений заносятся в протокол.

Измерение изоляционного сопротивления в управляющих и силовых кабелях

Измерения проводятся:

- пофазно (между кабельными жилами);
- между землей и кабельными жилами.

Для измерения изоляционного сопротивления применяется мегомметр ЭСО 202/2Г:

- величина испытательного напряжения для управляющих кабелей - 500 В;

– величина испытательного напряжения для силовых кабелей - 2500 В.

3.8 Испытания, настройка

Перед тем, как будет производиться пробное включение электрообогревательной системы, нужно убедиться в том, что в ходе испытаний были получены удовлетворительные результаты, а также отчеты о целостности, правильности электросоединений и значениях изоляционного сопротивления для всех цепей.

– В ходе пробного включения нужно измерить напряжения и пусковые токи у всех секций и всех нагревательных элементов.

– Убедиться в том, что системы контроля и управления функционируют.

– Проверить функционирование аппаратуры, регулирующей температуру, а также автоматики.

– Установить требуемый температурный диапазон для работы системы на основе эксплуатационной инструкции для аппаратуры, регулирующей температуру.

– Измерить рабочие токи и напряжения.

– Осуществить индивидуальное испытание системы в течение 1 суток, комплексное опробование – в течение 3 суток.

– Результаты испытаний пуска и наладки заносятся в протокол, также составляется технический отчет.

Типовая программа и методика испытаний электрической системы обогрева.

При реализации работ пуско-наладочного характера для всех систем разрабатываются методики и программы испытаний, которые основаны на документации по проекту обогревательной системы и на требованиях СНиП 3.05.06-85 – Электротехнические устройства, Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ), главе 3.6 ПТЭ –

«Методические рекомендации по проведению испытаний электрооборудования электроустановок Потребителей».

От того, насколько полным является метрологическое обеспечение при реализации испытаний, зависит эффективность применения электрообогревательной системы.

Проверки до испытаний.

Проверки выполняются с целью убедиться, что все компоненты спроектированы и смонтированы согласно проектной документации. Эти проверки являются важнейшим моментом для успешной приёмо-сдачи и безопасности любой системы электрообогрева. Нагревательные элементы, все кабели и провода, а так же силовые трансформаторы должны пройти проверку сопротивления изоляции. Каждый установленный отвод должен быть проверен на правильность значения выходного напряжения. Следует проверить, что все трубопроводы и резервуары действительно заземлены, и что их точка заземления расположена согласно проекту, и не где-либо ещё. Все привинчиваемые электрические контакты должны быть проверены на надлежащую затяжку болтов. [1]

При проведении пуско-наладочных работ системы обогрева должны быть проверены и испытаны следующие элементы:

- Нагревательные секции и элементы;
- Высоковольтный трансформатор и трансформатор собственных нужд;
- Заземляющие устройства и заземлители;
- Силовые кабели и кабели управления;
- Комплектное распределительное устройство;
- Технические характеристики системы обогрева.

Таблица 3.2 – Типовые программа и методика проведения испытаний при проведении пуско-наладки

№	Пункт программы	Метод испытаний (проверок)	Измеряемые (проверяемые) параметры; используемые приборы	Результиру ющий документ
1	2	3	4	5
1	Проверка комплектации системы и визуальный осмотр	Метод визуального контроля и сравнения с проектом	Номиналы, количество	Протокол
2	Проверка нагревательных элементов	Испытания проводятся в соответствии с требованиями ПД		
2.1	Проверка целостности жил нагревательных секций и нагревательных элементов	Методика измерений согласно паспорта Ба 2.729.008 ПС на прибор Ф4103-М1	Целостность проводников Прибор Ф4103-М1	Протокол
2.2	Измерение сопротивления изоляции нагревательных секций и нагревательных элементов (испытательное напряжение согласно ПД)	Измерение сопротивления изоляции по методике, согласованной с Энергонадзором	Сопротивление изоляции Мегаомметр ЭС0202/2-Г	Протокол

Продолжение таблицы 3.2

3	Высоковольтный трансформатор	Испытания проводятся согласно требований ПУЭ, п.1.8.16 и СНиП 3.05.06-85, раздел 3.195		
3.1	Измерение сопротивления изоляции обмоток (испытательное напряжение 2500В)	Измерение сопротивления изоляции по методике, согласованной с Энергонадзором	Сопротивление изоляции Мегаомметр ЭС0202/2-Г	Протокол
3.2	Измерение омического сопротивления обмоток	Измерение омического сопротивления обмоток силового трансформатора по методике, согласованной с Энергонадзором	Омическое сопротивление Прибор Р333	Протокол
4	Заземляющие устройства	Испытания проводятся согласно требований: ПУЭ, п. 1.8.39 и РД 153-34.0-20.525-00		
4.1	Проверка соединений между заземляющими частями и элементами системы обогрева	Проверка соединений по методике, согласованной с Энергонадзором	Оценка качества заземляющих устройств Прибор Ф4103-М1	Протокол
4.2	Измерение сопротивления заземляющих устройств	Измерение электрических сопротивления заземляющих устройств по методике, согласованной с Энергонадзором	Оценка сопротивления заземляющих устройств Прибор Ф4103-М1	Протокол

Продолжение таблицы 3.2

4.3	Проверка напряжения прикосновения	Измерение напряжения прикосновения согласно методике, рекомендованной Энергонадзором и руководства по эксплуатации на прибор ЭКО-0200	Проверка допустимого напряжения прикосновения Прибор ЭКО-0200	Протокол
4.4	Измерение распределения электрического потенциала на территории пункта питания электрообогрева (ППЭ)	Измерения проводятся согласно методике, согласованной с Энергонадзором, и руководства по эксплуатации на прибор ЭКО-0200	Проверка нормированного значения электрического потенциала Прибор ЭКО-0200	Протокол
4.5	Измерение электрического потенциала	Измерения проводятся согласно методике рекомендованной Энергонадзором и руководства по эксплуатации на прибор ЭКО-0200	Проверка нормированного значения электрического потенциала Прибор ЭКО-0200	Протокол
4.6	Измерение электрического потенциала (вынос потенциала) на конце трубопровода	Измерения проводятся согласно методике, рекомендованной Энергонадзором, и руководства по эксплуатации на прибор ЭКО-0200	Проверка допустимого значения электрического потенциала Прибор ЭКО-0200	Протокол

Продолжение таблицы 3.2

4.7	Измерение полного сопротивления цепи	Измерение полного сопротивления цепи фаза-ноль по методике, согласованной с Энергонадзором	Проверка соответствия Ик.з на соответствие требований ПУЭ, п.1.7.7.79 Прибор MRP200	Протокол
5	Силовые кабели и кабели управления	Испытания проводятся согласно требованиям: ПУЭ, п. 1.8.40 и ПТЭЭП		
5.1	Измерение сопротивления изоляции силовых кабелей, контрольных кабелей (кабелей управления) (испытательное напряжение 2500В)	Измерение сопротивления изоляции по методике, согласованной с Энергонадзором	Сопротивление изоляции Мегаомметр ЭС0202/-Г	Протокол
5.2	Измерение сопротивления заземления силовых бронированных кабелей	Проверка электрических соединений по методике, согласованной с Энергонадзором	Оценка заземляющих устройств Прибор Ф4103-М1	Протокол
6	Комплектное распределительное устройство	Испытания проводятся согласно требованиям: ПУЭ, п.п. 1.8.1, 1.8.17, 1.8.22, 1.8.33, 1.8.37 и СНИП 3.0 5.06-85		
6.1	Измерение сопротивления изоляции (испытательное напряжение для первичных цепей – 2500 В)	Измерение сопротивления изоляции по методике, согласованной с Энергонадзором	Сопротивление изоляции Мегаомметр ЭС0202/2-Г	Протокол

Продолжение таблицы 3.2

6.2	Проверка соответствия маркировки плавких вставок проекту	Проверка целостности плавких вставок согласно инструкции по эксплуатации на прибор Ц4342-М1	Соответствие проекту плавких вставок Прибор Ц4342-М1	Протокол
6.3	Проверка установки защит	Установка защит согласно технической документации проекта	Проверка защит согласно проекту	Протокол
6.4	Проверка шкафа управления нагрузкой	Испытания проводятся согласно технической документации на ШУ	Проверка работоспособности и согласно ПД	Протокол
6.5	Проверка шкафа собственных нужд	Испытания проводятся согласно технической документации на шкаф	Проверка работоспособности и согласно ПД	Протокол
7	Проверка технических характеристик системы обогрева	Испытания проводятся согласно проектной документации		
7.1	Проверка температуры на обогреваемых поверхностях	Метод визуального контроля параметров	Измерительные приборы в РУ	Протокол

Заключение

В магистерской работе была разработана индуктивно-резистивная система электрообогрева. Данная система электрообогрева, состоит из трёх отдельных ниток обогрева: нефтяной магистральный трубопровод, и два местных трубопровода отходящих к резервуарам хранения продукта. В данном разветвленном трубопроводе, не смотря на то что, диаметр труб, и толщина изоляции одинаковая, температура продукта может отличаться, из за разности в скорости потока продукта. Для стабилизации температуры в разветвленном трубопроводе, была спроектирована данная система обогрева, и новый алгоритм работы системы, который контролирует каждый участок трубопровода.

В первой главе магистерской работы проведен анализ существующих видов систем электрообогрева. Описана история развития систем электрообогрева трубопроводов. Основными используемые системы электрообогрева в данной время это: система обогрева на основе резистивных и саморегулирующихся кабелей, и система на основе скин-эффекта. Для магистрального трубопровода лучше всего подходит система электрообогрева на основе скин-эффекта, так как она позволяет обогревать трубопроводы большой протяженности.

Во второй главе магистерской работы был проведен теплотехнический расчёт в программе «Тепломаг», и на основе результата была спроектирована данная система электрообогрева. В данной главе подробно описаны системы питания, автоматического управления. Описан состав терморегулирующей аппаратуры, и принцип работы. Даны структурные схемы системы электрообогрева, схема питания, схемы автоматического контроля и регулирования.

В третьей главе подробно описаны указания к монтажу нагревательных элементов на трубопроводе. Был описан список испытаний системы

электрообогрева и её компонентов, а так же указания по проведению пуско-наладочных работ.

При разработке данного проекта были решены все поставленные задачи. Основным результатом работы является спроектированная система автоматического контроля и управления и алгоритм её работы.

Список используемых источников

1. Струпинский М.Л. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли / М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков. – М.: Инфра-Инженерия, 2015. – 272 с.
2. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование: Справочник: Учебное пособие для вузов / И.И. Алиев. – М.: Высш. шк., 2014. – 1199 с.
3. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики: учебник / Г.Ф. Быстрицкий. – 3-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2013. – 352 с.
4. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника / Г.Н. Алексеев – М.: Высшая школа, 2014 – 552 с.
5. Немцев З.Ф. Теплоэнергетические установки и теплоснабжение / З.Ф. Немцев – М.: Энергоиздат, 2014. – 284 с.
6. Чечет Ю.С. Электрические микромашины автоматических устройств / Ю.С. Чечет. – М.: Энергия, 2013. – 125 с.
7. Салов В.П. Справочник по ремонту, наладке и техническому обслуживанию электрооборудования / В.П. Салов – Л.: Вента-2, 2016. – 187 с.
8. Борисов Ю.М. Электротехника: учебник. 3-е изд. / Ю.М. Борисов. – СПб.: ВHV, 2014. – 592 с.
9. Новожилов О.П. Электротехника и электроника: Учебник для бакалавров / О.П. Новожилов. – М.: Юрайт, 2013. – 192 с.
10. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: Академия, 2015. – 304 с.
11. Рожкова Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 320 с.
12. Мохов А.В. Многоточечные системы контроля и автоматизации (МКСиА) систем электрообогрева ТЕПЛОМАГ / А.В. Мохов – М.: Промышленный электрообогрев и электроотопление, 2015. – 253 с.
13. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеев. – М.: Энергия, 2013. – 320 с.

14. Кувалдин, А.Б. Индукционный нагрев магнитной стали на промышленной частоте / А.Б. Кувалдин. – М.: ВИНТИ, 2014. – 82 с.
15. Струпинский М.Л. Индукционно-резистивная система обогрева трубопровода / М.Л. Струпинский, А.Б. Кувалдин. – М.: Электрика, 2013. – 125 с.
16. Кузьмин А.Е. Техническое обслуживание систем электрообогрева трубопроводов и резервуаров / А.Е. Кузьмин, А.Ф. Тулубаев – М.: Промышленный электрообогрев и электроотопление, 2014. – 76 с.
17. Вагин Г.Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике / Г.Я. Вагин, А.А. Севостьянов – М.: Академия, 2013. – 224 с.
18. Сибикин Ю.Д. Технология электромонтажных работ / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин – М.: Высшая школа, 2014. – 353 с.
19. Холодный С.Д. Технологическая термообработка изоляции кабелей и проводов / С.Д. Холодный – М.: Изд-во МЭИ, 2015. – 160 с.
20. Коршак А.А. Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа / А.А. Коршак, А.М. Нечваль – М.: Стройинформ, 2014. – 440 с.
21. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И. М. Михеева – М.: Энергия, 2016. – 320 с.
22. Руденко В.В. Тепловая изоляция в промышленности и строительстве / В.В. Руденко, А.С. Панин – М.: БСТ, 2014. – 160 с.
23. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях / Е.Ф. Щербаков, А.Л. Дубов – М.: Форум, 2015. – 496 с.
24. Меркулов М.В. Теплотехника и теплоснабжение геологоразведочных работ / М.В. Меркулов – М.: ИнФолио, 2014. – 273 с.
25. Кисаримов Р.А. Ремонт электрооборудования / Р.А. Кисаримов – М.: РадиоСофт, 2014. – 543 с.
26. Карякин Р.Н. Справочник по молниезащите / Р.Н. Карякин – М.: Энергосервис, 2014. – 770 с.
27. Шарапов В.И. Нагрузки систем теплоснабжения / В.И. Шарапов, П.В. Ротов – М.: Новости теплоснабжения, 2007. – 124 с.

28. Бардин В.А. Унификация проектных решений в системах электрообогрева / В.А. Бардин – М.: Промышленный электрообогрев и электроотопление, 2013. – 56 с.
29. Бардин В.А. Основы проектирования систем электрообогрева резервуаров нагревательными кабелями / В.А. Бардин – М.: Промышленный электрообогрев и электроотопление, 2013 – 46 с.
30. Хижняков В.А. Техническое обслуживание систем электрического обогрева / В.А. Хижняков – М.: Промышленный электрообогрев и электроотопление, 2013. – 58 с.
31. Matsch, L. W. Electromagnetic and Electromechanical Machines. – New York Harper & Row, 2014. – 331 с.
32. Chapman, S. J. Electric Machinery. – New York: McGraw Hill, 2015. – 231 с.
33. Slemon, G. R. Electric Machines. – MA Addison Wesley, 2010. – 351 с.
34. Mende J.A. Inductive Beheizung von Rohrleitungen. – Lebensmittell-Ind, 2014. – 134 с.
35. McPherson, G. An Introduction to Electrical Machines and Transformers. – New York John Wiley & Sons, Inc, 2016. – 166 с.