

ООО «ССТЭнергомонтаж»

РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРООБОГРЕВА НА ОСНОВЕ САМОРЕГУЛИРУЮЩИХСЯ
НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЛЕНТ
(Ред. 2)

г.Мытищи.
2016

Оглавление

1.	Область применения	7
2.	Нормативные ссылки	7
3.	Основные термины и определения	9
4.	Исходные данные.....	11
5.	Теплотехнический расчет	12
5.1.	Расчет тепловых потерь трубопровода	12
5.2.	Выбор типа и марки саморегулирующейся нагревательной ленты	16
5.3.	Определение длины нагревательной ленты	21
5.4.	Электрический расчет.....	23
6.	Системы электрического обогрева трубопроводов	26
6.1.	Нагревательные секции, их раскладка и крепление на трубопроводах.....	26
6.2.	Соединительные коробки для питания нагревательных секций, их типы, крепление, способы ввода нагревательных секций.....	30
6.3.	Размещение соединительных коробок и нагревательных секций при различных способах управления системой электрообогрева.....	35
7.	Системы электрического обогрева резервуаров.....	45
7.1.	Резервуары вертикальные и горизонтальные диаметром до 2 метров	45
7.2.	Резервуар горизонтальный диаметром более 2 метров	48
7.3.	Резервуар вертикальный диаметром более 2 метров.....	50
7.4.	Сеть силового электропитания и управления	53
7.5.	Разработка монтажной части проекта системы электрического обогрева на примере горизонтального резервуара диаметром более 2 метров	54
8.	Система управления электрообогревом	59
8.1.	Основные типы датчиков температуры.....	59
8.2.	Основные типы регуляторов температуры	66
8.3.	Классификация систем управления	69
8.4.	Совместимость оборудования и рекомендации по выбору системы управления	70
9.	Шкафы управления	73
9.2.	Основные типы шкафов	73
9.3.	Особенности проектирования шкафов.....	73
10.	П1. Аналитический расчет тепловых потерь трубопроводов.....	75
10.1.	Исходные данные для расчета тепловых потерь трубопроводов	75
10.2.	Определение тепловых потерь трубопроводов при надземном расположении.....	75
10.3.	Определение тепловых потерь трубопроводов при прокладке в грунте	77
10.4.	Определение тепловых потерь трубопроводов при подводном расположении.....	78
11.	П2. Аналитический расчет тепловых потерь резервуаров	80
11.1.	Исходные данные для расчета тепловых потерь резервуаров	80
11.2.	Определение тепловых потерь резервуаров при надземном расположении.....	80
12.	П3. Коэффициент запаса.....	82

Введение

В настоящем документе описываются общие методы проектирования систем электрообогрева (промышленного обогрева) и приводится последовательный алгоритм выполнения проекта, начиная с получения исходных данных и заканчивая его утверждением.

Системы электрообогрева проектируются таким образом, чтобы в полной мере обеспечить требования Заказчика, требования по электробезопасности и безопасное функционирование обогреваемого объекта при всех возможных изменениях технологического процесса и условий окружающей среды.

Системы промышленного электрообогрева используются на месторождениях для:

- обогрева межкустовых, межплощадочных и межпромысловых трубопроводов воды, нефти и газа;
- обогрева выкидных линий к центральным пунктам сбора нефти (ЦПС);
- обогрева нефтесборных коллекторов на дожимной насосной станции (ДНС);
- обогрева пожарных, канализационных и технологических трубопроводов на территории установок подготовки нефти и газа (УКПН, УКПГ) и вахтовых поселков;
- обогрева нефтяных, водяных и газовых резервуаров и сепараторов.

Системы электрообогрева используются для обогрева измерительного оборудования на трубопроводах (манометров, счетчиков, импульсных линий), а также шкафов управления и КИП.

На перерабатывающих предприятиях системы электробогрева используются для:

- обогрева технологических трубопроводов;
- обогрева внутрицеховых и межцеховых технологических трубопроводов;
- обогрева импульсных измерительных линий;
- обогрева пожарных, канализационных трубопроводов и водоводов;
- обогрева промежуточных и накопительных резервуаров;
- обогрева измерительного оборудования и шкафов КИП.

Системы промышленного электрообогрева состоят из: подсистемы обогрева, подсистемы подачи питания, подсистемы крепления и подсистемы управления и диспетчеризации.

Подсистема обогрева состоит из нагревательных элементов в виде кабельных нагревательных секций.

Подсистема подачи питания состоит из источников питания, силовых питающих кабелей, соединительных коробок, силовых шкафов.

Подсистема управления и диспетчеризации состоит из шкафов управления, терmostатов, терморегуляторов, датчиков температуры, а также контрольных кабелей и кабелей передачи данных.

Подсистема крепления состоит из крепежных лент, хомутов, кронштейнов и других элементов, предназначенных для крепления нагревательных элементов и соединительных коробок.

Процесс проектирования систем электрообогрева происходит в несколько этапов.

Сбор исходных данных

Исходными данными для проектирования системы электрообогрева являются полученные от Заказчика опросные листы, технические требования к системе электрообогрева, чертежи обогреваемого(ых) объекта(ов), утвержденное Заказчиком техническое задание (ТЗ).

Подготовка к проектированию

На этом этапе происходит разработка ТЗ (в случае отсутствия его в предыдущем этапе), его утверждение и согласование с Заказчиком, анализ полноты имеющихся исходных данных и, при необходимости, их уточнение и дополнение. На основе полученной информации производится теплотехнический расчет, который определяет тип системы электрообогрева, марки нагревательных элементов, их параметры и количество на погонный метр трубы (для трубопроводов) или общее количество на обогреваемый объект (для резервуаров и оборудования), другие параметры системы.

Проектирование

Проектирование системы электрообогрева включает в себя следующие стадии:

- проектирование теплотехнической части: на основе анализа исходных данных, требований ТЗ и результатов теплотехнических расчетов производится определение основных параметров системы электрообогрева, в том числе, выбор оптимальной системы управления и количества подсистем. После этого выполняется раскладка нагревательных элементов на обогреваемом объекте, расстановка распределительных и питающих коробок, расстановка датчиков температуры;
- проектирование электротехнической части: на основе анализа исходных данных, требований ТЗ, результатов теплотехнических расчетов и результатов разработки теплотехнической части проекта составляется структурная схема сети электропитания и управления; производится расчет электрических нагрузок, выбор типов силового и контрольного кабелей, разработка принципиальных электрических схем шкафов управления и схем подключения нагревательных секций, подбор электрооборудования для комплектации шкафов управления и датчиков температуры;
- планы прокладки электрических сетей, кабельнотрубный (кабельный) журнал и т.д. (по требованию Заказчика)
- проектирование теплоизоляции: разработка конструкции теплоизоляции различных элементов объекта и техноМонтажной ведомости (по требованию Заказчика);
- составление спецификации проекта.

В состав выпускаемой документации по электрообогреву входят:

- монтажные чертежи (планы расположения электрооборудования) с указанием мест размещения элементов подсистемы обогрева (нагревательные секции, соединительные коробки подсистем питания и управления);
 - схемы соединения для всех соединительных коробок электрообогрева;
 - планы прокладки электрических сетей, кабельнотрубный (кабельный) журнал (по требованию Заказчика);
 - чертежи шкафов управления и силовых шкафов;
 - схемы установки и соединений коробок подсистемы управления с датчиками;

- схемы соединений для всей регулирующей аппаратуры;
- графики нагрузок цепей питания;
- документация по креплению нагревательных лент, датчиков температуры, монтажу соединительных коробок и шкафов управления;
- документация тепловой изоляции оборудования и трубопроводов (по требованию Заказчика);
- спецификация материалов и комплектующих, необходимых для монтажа и пуска системы обогрева.

Проектирование включает в себя также выпуск документации по порядку монтажа и пуско-наладки системы электрообогрева и задание на подключение.

1. Область применения

Настоящий документ следует применять при проектировании систем электрообогрева (промышленного обогрева) с использованием саморегулирующихся нагревательных лент теплоизолированных трубопроводов с положительными и отрицательными температурами при их расположении на открытом воздухе, в помещении, подземно и подводно, а также резервуаров с положительными и отрицательными температурами при их расположении на открытом воздухе и в помещении.

2. Нормативные ссылки

Перечень нормативных документов, на которые есть ссылки в тексте:

СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий;

СНиП 3.05.06.85 Электротехнические устройства;

СП 131.13330.2012 Строительная климатология (актуализированная редакция СНиП 23-01-99 Строительная климатология);

СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов (актуализированная редакция СНиП 41-03-2003 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов);

СП41-103-2000 Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов;

ГОСТ 2.004-88 ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ;

ГОСТ 2.105-95 Общие требования к текстовым документам;

ГОСТ 2.301-68 ЕСКД. Форматы;

ГОСТ 17314-81 Устройства для крепления тепловой изоляции стальных сосудов и аппаратов;

ГОСТ 21.110-13 СПДС Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов;

ГОСТ 21.405-93 Правила выполнения рабочей документации тепловой изоляции оборудования и трубопровод;

ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды;

ГОСТ 23216-78 Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита, упаковка. Общие требования и методы испытаний;

ГОСТ Р 21.1101-2013 Система проектной документации для строительства (СПДС). Основные требования к проектной и рабочей документации;

ГОСТ Р 50571.3-2009 Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током;

ГОСТ Р 50571.5.54-2011 Заземляющие устройства и защитные проводники;

ГОСТ IEC 60079-30-2-2011. Взрывоопасные среды. Электронагреватель резистивный распределенный. Часть 30-2. Руководство по проектированию, установке и техническому обслуживанию;

ПТБ – Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей

ПТЭЭП – Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей

ПУЭ «Правила устройства электроустановок.Издание7»

Постановление правительства РФ от 16.02.2008г. №87. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию

IEEE Std 844-2000 (Revision of IEEE Std 844-1991) IEEE Recommended Practice for Electrical Impedance, Induction, and Skin Effect Heating of Pipelines and Vessels

3. Основные термины и определения

Система электрического обогрева «Тепломаг» – система электрического обогрева (СЭО) трубопроводов (резервуаров) на основе резистивных или саморегулирующихся электронагревателей, комплектуемых необходимыми аксессуарами, устройствами управления и регулирования.

Саморегулирующийся электрический нагревательный кабель (лента) – изолированный кабель (лента) с двумя параллельными медными токопроводящими жилами, между которыми по всей длине расположена греющая часть из температурно-зависимого полупроводникового проводящего слоя, изменяющего выделение тепловой энергии в зависимости от окружающей температуры.

Секция нагревательная кабельная – элемент электрического обогрева, представляющий собой изделие, состоящее из нагревательного кабеля, установочного(ых) провода(ов), соединительных и концевых заделок (муфт).

Секция нагревательная кабельная заводского изготовления – нагревательная кабельная секция, полностью собранная и испытанная в заводских условиях.

Секция нагревательная кабельная, собранная в полевых условиях – кабельная секция, поставляемая в виде комплектующих, собранная и испытанная на месте установки.

Установочный провод – электрически изолированное кабельное изделие, предназначенное для соединения электронагревательного элемента с сетью электрического тока и выполненное таким образом, что оно не является источником нагрева.

Экранны – элемент конструкции кабеля, выполненный из металлических проволок, металлических или металлизированных лент, или их комбинации, который окружает нагревательный элемент и предназначен для заземления нагревательной секции и защиты от электромагнитных полей.

Соединительная заделка (муфта) – элемент нагревательной секции, предназначенный для электрического и механического соединения кусков нагревательного кабеля между собой с герметизацией и механической защитой места соединения.

Концевая заделка (муфта) – элемент секции нагревательной кабельной, предназначенный для электрического и механического соединения жил нагревательного кабеля и установочных проводов с герметизацией и механической защитой места соединения или только для герметизации и защиты конца секции, к которому не присоединены установочные провода.

Коробка соединительная – устройство системы электрического обогрева, необходимое для соединения силового кабеля с секцией нагревательной кабельной и подачи электропитания на секцию нагревательную кабельную.

Датчик температуры (термочувствительный элемент) – устройство, предназначенное для реакции на температуру в виде электрического сигнала или механического срабатывания.

Температура поверхности кабеля (ленты) – температура, устанавливающаяся на поверхности нагревательного кабеля (ленты) при действующем рабочем напряжении, заданной линейной тепловой мощности и конкретных условиях теплообмена.

Требуемая температура объекта (трубопровода, резервуара и пр.) – минимальная требуемая температура на поверхности обогреваемого объекта, необходимая для обеспечения требуемого технологического режима.

Расчетная минимальная температура окружающей среды – самая низкая температура окружающей среды, принимаемая в качестве расчетной при определении тепловых потерь. Если нагреватели заключены в теплоизоляцию, то температурой окружающей среды считают температуру с внешней стороны теплоизоляции.

Абсолютная минимальная и абсолютная максимальная температуры воздуха характеризуют наименьшие и наибольшие пределы температуры воздуха, которых достигла температура воздуха в пределах периода наблюдений; обеспеченность этих показателей близка к единице.

Температура воздуха наиболее холодной пятидневки – значение, соответствующее обеспеченности 0.92 из ранжированного ряда температуры воздуха наиболее холодных пятидневок и соответствующих им обеспеченностей за период с 1925 по 1980 гг.

Теплоизоляция – материал (совокупность материалов), предназначенный для использования в качестве покрытия, задерживающего утечку тепла, как правило, имеющий воздушные и газовые поры, карманы, пустоты, а также теплоотражающие поверхности.

Коэффициент теплопроводности теплоизоляции – показатель теплопроводности теплоизоляционного материала в эксплуатационных условиях с учетом его температуры, влажности, монтажного уплотнения и наличия швов в теплоизоляционной конструкции.

Коэффициент теплопроводности трубопровода – показатель, характеризующий способность материала трубопровода проводить тепло (зависит от химического состава и физического строения материала).

Защитный слой (кожух) - элемент конструкции, устанавливаемый по наружной поверхности теплоизоляции для защиты от механических повреждений и воздействия окружающей среды.

Коэффициент теплоотдачи с поверхности – показатель, характеризующий возможную интенсивность теплового потока от данной поверхности в конкретных условиях окружающей среды.

4. Исходные данные

Исходными данными для проектирования системы электрообогрева являются утвержденное и согласованное Заказчиком «Задание на проектирование системы электрообогрева», утвержденный теплотехнический расчет и чертежи обогреваемых объектов. В сумме данные документы должны содержать полную информацию по обогреваемым объектам, а именно:

1. Полное представление о конфигурации, размерах, количестве арматуры, опор и компенсаторов обогреваемых трубопроводов. На чертежах должны быть четко определены границы электрообогрева (отмечены точки начала и конца обогрева). Желательно представить чертежи опор, арматуры и компенсаторов.
2. Параметры теплоизоляции (конструкция, толщина, коэффициент теплопроводности).
3. Технологический режим работы объекта (направление движения продукта, расход, возможность режима останова прокачки, сезонность работы объекта).
4. Генплан с расположением помещений, в которых будут размещены шкафы управления системой электрообогрева.
5. План расположения шкафов управления в отведенных помещениях.
6. План и конструкция кабельных эстакад (в масштабе или с указанием длины эстакад) с сечениями и указанием полок, зарезервированных под кабели системы электрического обогрева, для разработки планов прокладки электрических сетей (от шкафа управления до обогреваемого (ых) объекта (ов)), кабельнотрубного (кабельного) журнала.
7. Дополнительные требования к системе электрообогрева (предварительный разогрев за определенное время, раздельное управление для определенных труб, участков труб и резервуаров, определенная последовательность или комбинация работы обогрева, ступенчатое включение, дистанционное управление, вывод информации на компьютер по интерфейсу RS485 протоколу MODBUS, пр.).

5. Теплотехнический расчет

Для того чтобы правильно выбрать марку и расход нагревательной ленты, необходимо провести теплотехнический расчет. Расчет проводится для каждого трубопровода индивидуально.

Начальным этапом проектирования системы электрообогрева является проведение теплотехнического расчета, включающего в себя следующие этапы:



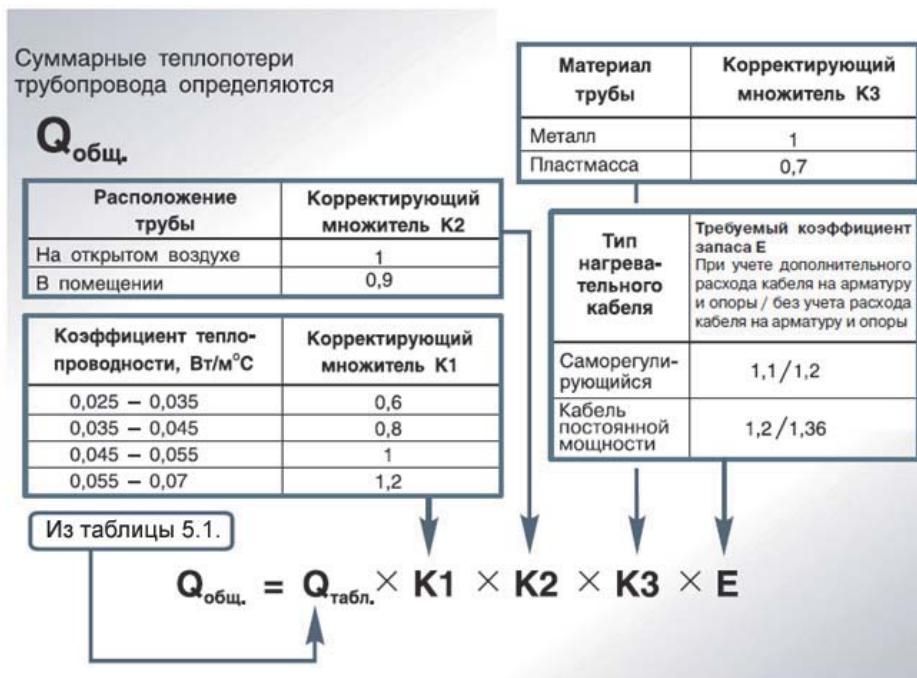
Выполнить теплотехнический расчет трубопровода или резервуара и определить необходимую длину нагревательной ленты возможно несколькими способами:

- ❖ упрощенным, с использованием таблицы типовых тепловых потерь трубопроводов,
- ❖ аналитически с использованием формул для определения теплового потока (*Приложение 1-2*),
- ❖ в специализированных расчетных программах TeploMagPro и TeploMagR,
- ❖ и полным моделированием в программном комплексе ELCUT.

5.1. Расчет тепловых потерь трубопровода

Расчет может быть выполнен по приведенной ниже методике с использованием таблицы расчета теплопотерь. В данной таблице приведены типовые расчетные теплопотери трубопроводов в зависимости от их диаметра, разности температур трубопровода и окружающей среды, а также от толщины теплоизоляции.

Расчет в таблице произведен для следующих условий: с применением теплоизоляции, коэффициент теплопроводности которой равен 0,05 Вт/(м·°C). При изменении условий, необходимо ввести следующую корректировку:



В результате проведения такого расчета получаем тепловые потери трубопровода при поддержании требуемой температуры для дальнейшего выбора типа и марки нагревательной ленты.

Пример:

стальной трубопровод Dn 159 мм на открытом воздухе

теплоизоляция – минеральная вата 50 мм

температура поддержания +10 °C

минимальная температура окружающего воздуха минус 20 °C

Получаем: разница между температурой трубопровода и окружающего воздуха $\Delta T=10-(-20)=30$ °C.

По таблице 1 находим: теплопотери трубопровода $Q_{табл}=18,82$ Вт/м

Суммарные теплопотери трубопровода:

$$Q_{общ.}=Q_{табл}\times K1\times K2\times K3\times E=18,82\times 1\times 1\times 1,2=22,58 \text{ Вт/м}$$

5.2. Выбор типа и марки саморегулирующейся нагревательной ленты

В системе промышленного обогрева «Тепломаг» в качестве тепловыделяющих элементов наиболее часто применяются саморегулирующиеся электрические нагревательные ленты – *HTM, HTA, HTP, BTC и BTX*.

Саморегулирующаяся электрическая нагревательная лента для защиты от замерзания или поддержания заданной температуры трубопроводов небольшой длины (до 300-500 м), резервуаров и другого технологического оборудования, в том числе во взрывоопасных зонах.

Применение в системе обогрева саморегулирующихся нагревательных лент имеет следующие преимущества:

- секции автоматически регулируют тепловыделение в ответ на изменение температуры трубопровода/резервуара (уменьшают тепловыделение при повышении температуры), что позволяет снизить количество потребляемой электроэнергии;
- секции могут иметь любую длину: от минимальной (~ 0,2 м) до предельно максимальной, без ущерба для ее технических характеристик, точно, в соответствии с длиной обогреваемого объекта без каких-либо конструктивных сложностей, что существенно упрощает процесс монтажа;
- характеристики саморегулирующихся лент являются основой безопасности и надежности системы, поскольку мощность их тепловыделения адаптивно изменяется с изменением температуры объекта; секции не перегреваются и не перегорают даже при пересечении соседних ниток друг с другом.

Тип, марка и требуемый расход нагревательной ленты выбирается в соответствии с расчетными величинами тепловых потерь с учетом максимальной температуры применения нагревательной ленты, максимальной температуры поддержания для данной марки ленты, ее тепловыделения при поддерживаемой температуре, а также вероятности воздействия на нагревательную ленту химически активных веществ.

Таблица 5.2.

Марка ленты	Максимальная температура применения под нагрузкой, °C	Максимальная температура применения без нагрузки (1000 часов суммарно), °C	Максимальная температура поддержания, °C
HTM	65	85	до 25
HTA	65	85	до 25
HTP	65	85	до 25
BTC	120	190	до 80
BTX	190	250	до 150

Каждая саморегулирующаяся нагревательная лента характеризуется своей температурной характеристикой мощности тепловыделения от температуры трубы. Номинальное тепловыделение в нормированных условиях для саморегулирующихся нагревательных лент с рабочим напряжением 230 В.

Таблица 5.3.(начало)

Тип ленты	ТЕМПЕРАТУРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА																
10HTM 15HTM	<p>Линейная мощность, Вт/м</p> <p>The graph shows two downward-sloping curves representing the linear power characteristics of 10HTM and 15HTM heating tapes. The x-axis is 'Temperatura трубы, °C' ranging from -20 to 50. The y-axis is 'Линейная мощность, Вт/м' ranging from 0 to 26. The 15HTM curve is steeper than the 10HTM curve. Both curves start at approximately 25 Vt/m at -20°C and decrease to about 1 Vt/m at 50°C.</p> <table border="1"> <caption>Data points estimated from the 10HTM and 15HTM graph</caption> <thead> <tr> <th>Температура трубы, °C</th> <th>Линейная мощность 10HTM, Вт/м</th> <th>Линейная мощность 15HTM, Вт/м</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>-20</td><td>25</td><td>25</td></tr> <tr><td>0</td><td>12</td><td>20</td></tr> <tr><td>50</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Температура трубы, °C	Линейная мощность 10HTM, Вт/м	Линейная мощность 15HTM, Вт/м	-20	25	25	0	12	20	50	1	1				
Температура трубы, °C	Линейная мощность 10HTM, Вт/м	Линейная мощность 15HTM, Вт/м															
-20	25	25															
0	12	20															
50	1	1															
15 HTA 20 HTA 25 HTA	<p>Линейная мощность, Вт/м</p> <p>The graph shows three downward-sloping curves representing the linear power characteristics of 15HTA, 20HTA, and 25HTA heating tapes. The x-axis is 'Temperatura трубы, °C' ranging from -20 to 50. The y-axis is 'Линейная мощность, Вт/м' ranging from 0 to 40. All three curves are nearly parallel, starting at approximately 35 Vt/m at -20°C and decreasing to about 5 Vt/m at 50°C.</p> <table border="1"> <caption>Data points estimated from the 15HTA, 20HTA, and 25HTA graph</caption> <thead> <tr> <th>Температура трубы, °C</th> <th>Линейная мощность 15HTA, Вт/м</th> <th>Линейная мощность 20HTA, Вт/м</th> <th>Линейная мощность 25HTA, Вт/м</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>-20</td><td>35</td><td>35</td><td>35</td></tr> <tr><td>0</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td></tr> <tr><td>50</td><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr> </tbody> </table>	Температура трубы, °C	Линейная мощность 15HTA, Вт/м	Линейная мощность 20HTA, Вт/м	Линейная мощность 25HTA, Вт/м	-20	35	35	35	0	25	25	25	50	5	5	5
Температура трубы, °C	Линейная мощность 15HTA, Вт/м	Линейная мощность 20HTA, Вт/м	Линейная мощность 25HTA, Вт/м														
-20	35	35	35														
0	25	25	25														
50	5	5	5														

Таблица 5.3. (продолжение)

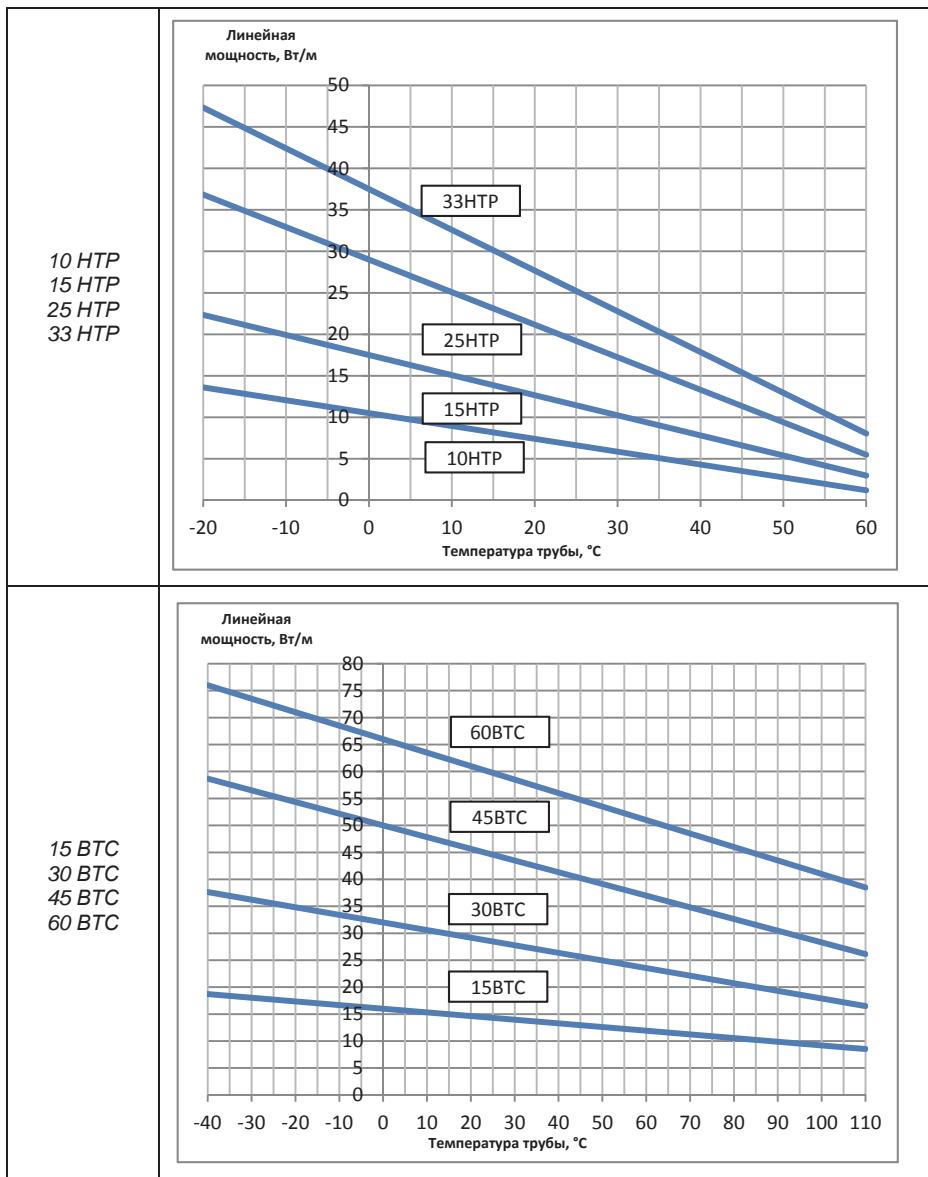
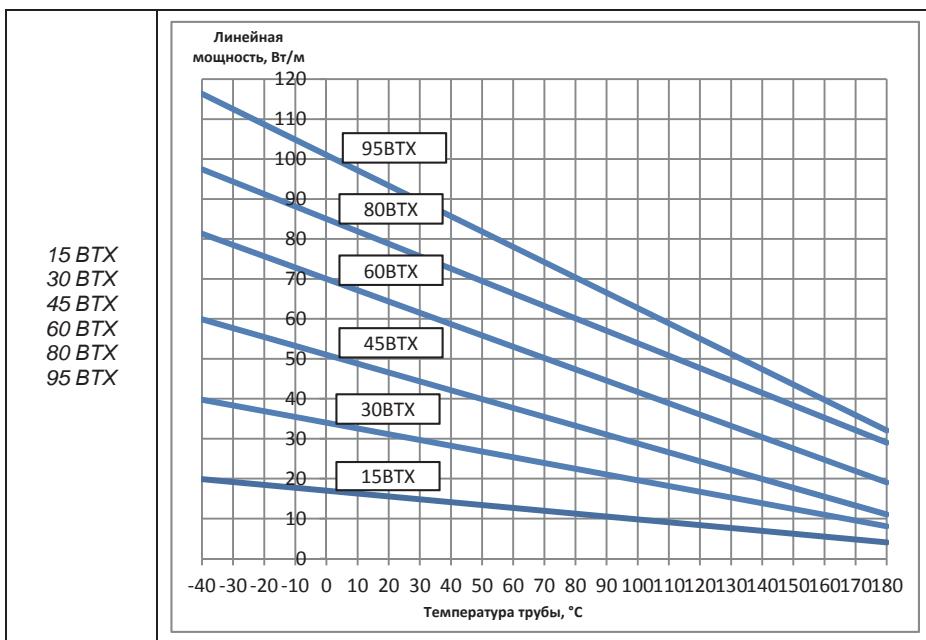


Таблица 5.3. (окончание)



Саморегулирующиеся нагревательные ленты выпускаются в нескольких вариантах исполнения в зависимости от химической стойкости к различным веществам.

Таблица 5.4.

Марка ленты	Вариант исполнения	Наименование продукта
HTM HTA HTP	BT	Вода, очистные стоки, канализация, газ сырой, газ факельный, метан, пропан, метиловый спирт и пр.
	BP	Нефть, бензин, керосин, дизельное топливо, мазут, газовый конденсат, машинное масло, щелочи, кислоты и пр.
BTC	BP	
BTX		

Нагревательная лента может быть смонтирована на обогреваемом трубопроводе прямолинейно (в одну или несколько ниток) или спирально. Максимальный навив нагревательной ленты может быть 1,5 м/м. Для соблюдения минимального радиуса изгиба навив нагревательной ленты возможен для трубопроводов диаметром не менее 57 мм.

Примечание: Минимальный радиус изгиба нагревательной ленты (R_{\min}) указывается в технических характеристиках, приведенных в каталоге «Тепломаг».

Пример:

трубопровод Dn 159 мм

температура поддержания +10 °C

максимальная температура пропарки +150 °C

теплопотери трубопровода 37,63 Вт/м

Выбираем подходящий тип нагревательной ленты – BTC

Затем выбираем для компенсации теплопотерь трубопровода марку нагревательной ленты, характеристика тепловыделения которой проходит выше точки пересечения линий, проведенных от требуемой температуры поддержания и полученного значения теплопотерь – 45 BTC2-BP

Внимание! Температурные характеристики саморегулирующихся нагревательных лент приведены для напряжения питания 230 В. При напряжении 220 В необходимо мощность тепловыделения ленты, принятую по графику умножить на 0.95.

Для расчета тепловых потерь трубопроводов и резервуаров при поддержании требуемой температуры рекомендуется использовать программные средства, разработанные в ГК «ССТ»:

TepломагPro

TepломагR

Программа *TepломагPro* предназначена для:

- расчета тепловых потерь с поверхности трубопровода при надземном, подземном и подводном расположении;
- выбора марки саморегулирующейся нагревательной ленты для компенсации тепловых потерь;
- выбора комплектующих системы электрообогрева.

Расчет мощности тепловых потерь, производимых программой, соответствует нормативным документам ГОСТ IEC 60079-30-2-2011, СП 41-103-2000, IEEE 844-2000.

Программа автоматически выбирает наиболее подходящую марку ленты исходя из:

- максимально допустимой температуры применения нагревательной ленты;
- минимизации разницы между мощностью обогрева и расчетными теплопотерями.

Программа *TepломагR* предназначена для:

- расчета тепловых потерь с поверхности резервуара при надземном расположении;
- выбора марки саморегулирующейся нагревательной ленты для компенсации тепловых потерь резервуара;
- выбора комплектующих системы электрообогрева.

Расчет мощности тепловых потерь резервуаров, производимых программой, соответствует нормативным документам ГОСТ IEC 60079-30-2-2011, СП 41-103-2000, IEEE 844-2000.

Программа автоматически выбирает наиболее подходящую марку ленты исходя из:

- максимально допустимой температуры применения нагревательной ленты;
- заданной высоты обогрева и шага укладки нагревательной ленты;
- минимизации разницы между мощностью обогрева и расчетными теплопотерями.

Подробное руководство по применению программ TeploMagPro и TeploMagR интегрировано в интерфейс самой программы.

Более сложные теплотехнические расчеты проводятся с применением комплекса структурного математического моделирования **ELCUT**, разработанного ООО «TOP». Для решения поставленной задачи применяется метод конечных элементов, реализованный в профессиональной версии программного комплекса. Суть метода заключается в замене непрерывной области определения и значений обогреваемого объекта на дискретную. ELCUT - это инженерная система моделирования двумерных тепловых полей. При расчете любой задачи в ELCUT строится расчетная геометрически подобная модель обогреваемого объекта, задаются все необходимые граничные условия и характеристики всех блоков (слоев), участвующих в теплобмене. ELCUT позволяет решать задачи теплопередачи в линейной и нелинейной постановках.

5.3. Определение длины нагревательной ленты

Длина нагревательной ленты определяется для каждого трубопровода индивидуально. Расчет длины нагревательной ленты представляет собой сумму длин, необходимых для каждого компонента трубопроводной системы.

При расчете длины нагревательной секции для обогрева участка трубопровода необходимо предусмотреть запас нагревательной ленты для компенсации теплопотерь элементов арматуры, фланцевых соединений, опор трубопровода (в случае, если они имеют контакт с поверхностью трубопровода).

Тип, мощность и требуемый расход нагревательной ленты, укладываемой на конкретный трубопровод, определяется теплотехническим расчетом. Возможны следующие варианты раскладки нагревательных секций на трубопроводах: в одну нитку нагревательной ленты, в две и более ниток, а также спирально с коэффициентом до 1,5 м/м (из расчета 1,5 м нагревательной ленты на 1 м трубопровода). Максимальный коэффициент спиральности нагревательной ленты зависит от диаметра трубопровода и приведен в таблице 5.6.

Также, укладку нагревательных секций с большим коэффициентом спиральности применять не следует, т.к. витки нагревательной ленты будут расположены близко друг к другу и могут перегревать сами себя, вследствие чего мощность нагревательной ленты может снижаться.

Таблица 5.5. Добавочная длина нагревательной ленты для различных элементов дополнительных теплопотерь

Наружный диаметр трубы, мм	Фланцы, м	Задвижки, сетчатые фильтры, м	Насосы, м	Фильтры и прочее, м	Опоры неопределенной конструкции, м
25	0,3	0,3	0,7	0,3	-
32	0,3	0,4	0,8	0,4	-
57	0,4	0,8	1,5	0,7	0,7
76	0,4	0,9	1,8	0,7	
89	0,5	1,1	2,2	0,9	
108	0,6	1,4	2,9	1,1	
159	0,6	2,1	4,2	1,7	0,8
219	1	2,8	5,5	2,3	
273	1	3,4	6,9	2,7	
325	1,3	4,1	8,1	3,3	
377	1,3	4,5	8,9	3,6	1,2
426	1,3	5,1	10,2	4,1	
530	1,5	6,4	12,8	5,1	
630	1,5	7,7	15,3	6,2	
830	2,2	10,0	20,0	8,1	2
1020	2,7	12,3	24,6	9,9	2,5
1220	3,1	14,7	29,4	11,8	3

Примечание: приведенную добавочную длину необходимо умножить на коэффициент расхода нагревательной ленты указанный в теплотехническом расчете.

Таблица 5.6.

Диаметр трубопровода, мм	Максимальный коэффициент спиральности нагревательной ленты, м/м
<57	1
≥57	1,1
≥89	1,3
≥108	1,5

Пример: трубопровод Dn 159 мм

длина 28 м

опоры – 6 шт, задвижки – 1 шт, фланцы – 2 шт

длина нагревательной ленты: $28 \text{ м} + 0,8 \times 6 + 2,1 \times 1 + 0,6 \times 2 = 36,1 \text{ м}$

строительный запас 5%: $36,1 \times 1,05 = 38 \text{ м}$

5.4. Электрический расчет

Номинал электрической защиты должен определяться при минимальной температуре включения, так как мощность саморегулирующихся нагревательных лент зависит от температуры.

Минимальная температура включения – самая низкая температура, при которой может быть включена система электрообогрева во всех периодах ее работы (ввод в эксплуатацию, включение после ремонта и т.д.).

В таблицах 5.7-5.11 приведены максимальные длины нагревательных секций (или суммарных длин секций одной марки, подключаемых параллельно) в зависимости от типа автоматического выключателя питания.

Таблица 5.7.

Тип	Температура включения, °C	Максимальная длина нагревательной секции, м	
		230 В, 10 А	
10HTM	10	100	
	0	95	
	-20	77	
15HTM	10	72	
	0	66	
	-20	52	

Таблица 5.8.

Тип	Температура включения, °C	Максимальная длина нагревательной секции, м	
		230 В, 10 А	230 В, 16 А
15HTA	10	104	136
	-15	69	89
	-20	58	78
20HTA	10	79	110
	-15	49	71
	-20	42	58
25HTA	10	60	83
	-15	39	56
	-20	32	47

Таблица 5.9.

Тип	Температура включения, °C	Максимальная длина нагревательной секции, м			
		230 В, 16 А	230 В, 20 А	230 В, 32 А	230 В, 40 А
10НTP	10	205	-	-	-
	-15	140	186	195	-
	-20	123	165	195	-
15НTP	10	145	162	-	-
	-15	93	125	160	-
	-20	82	111	160	-
25НTP	10	88	117	126	-
	-15	60	75	117	125
	-20	50	70	105	125
33НTP	10	70	90	108	-
	-15	50	65	95	105
	-20	45	58	85	105

Таблица 5.10.

Тип	Температура включения, °C	Максимальная длина нагревательной секции, м		
		230 В, 16 А	230 В, 20 А	230 В, 32 А
15BTC	10	165	189	-
	-25	117	152	189
30BTC	10	85	114	-
	-25	69	92	114
45BTC	10	70	82	-
	-25	49	66	82
60BTC	10	50	64	-
	-25	38	52	64

Таблица 5.11.

Тип	Температура включения, °C	Максимальная длина нагревательной секции, м		
		230 В, 16 А	230 В, 20 А	230 В, 32 А
15BTX	10	110	146	165
	-20	99	131	165
	-40	88	117	165
30BTX	10	73	98	110
	-20	70	93	110
	-40	69	91	110
45BTX	10	49	64	82
	-20	43	56	82
	-40	37	49	73
60BTX	10	35	46	70
	-20	34	44	67
	-40	32	43	64
80BTX	10	27	37	52
	-20	24	30	49
	-40	24	30	49
95BTX	10	24	30	43
	-20	21	27	43
	-40	21	27	43

Для использования с типом С автоматических выключателей по стандарту ГОСТ Р 50345-2010 (МЭК 60898-1:2003)

Примечание: В момент включения нагревательной секции происходит скачок тока (стартовый ток). В течение 5 минут после включения величина тока стабилизируется. Максимальная величина стартового тока может в 5-6 раз превышать номинальное значение тока, на которое рассчитан автоматический выключатель питания.

Пример:

тип нагревательной ленты 45 BTC2-BP
 минимальная температура включения – минус 25 °C
 длина ленты 38 м

Следовательно, автомат на 16 А тип С, максимальная длина ленты 49 м.

6. Системы электрического обогрева трубопроводов

6.1. Нагревательные секции, их раскладка и крепление на трубопроводах

Обогрев трубопроводов осуществляется специальными нагревательными секциями на основе саморегулирующейся нагревательной ленты. Марка нагревательной ленты определяется теплотехническим расчетом (см. раздел 5). Нагревательные секции, как правило, формируются при монтаже из саморегулирующейся нагревательной ленты и комплекта заделок TKL, TKR или TKW (Рис. 6.1.)

Нагревательная секция размещается на трубопроводе, при этом сторона секции, оснащенная проходной заделкой, вводится в соединительную коробку, а сторона секции с концевой заделкой размещается на трубопроводе. При необходимости применения «холодного» установочного провода проходная заделка секции, соединяющая установочный провод и нагревательную ленту, формируется с использованием комплекта TKT/M или комплекта CP-7 (в зависимости от типа нагревательной ленты и температуры трубопровода). В случае, если температура трубопровода может превышать 190 °C, необходимо предусмотреть укладку под концевую заделку нагревательной секции специальной изолирующей прокладки из паронита.

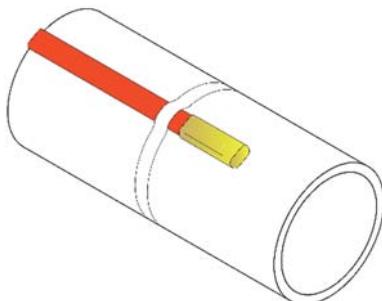


Рис.6.1.

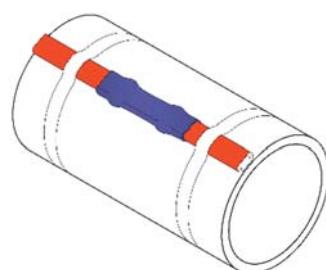


Рис.6.2.

Внешний вид установленного комплекта для электрических нагревательных лент TKR, TKL, TKW

Внешний вид установленного комплекта для электрических нагревательных лент CP-6, CP-7

Соответствие комплектов заделок типам нагревательной ленты (начало)

Комплект	Максимальная температура воздействия, °C	Тип саморегулирующейся нагревательной ленты
TKL	125	BTC, HTB
TKR	125	HTP, HTM, HTA
TKW	190	BTX, BTC

(окончание)

Комплект	Максимальная температура воздействия, °C	Тип саморегулирующейся нагревательной ленты
CP-6	125	HTM, HTA, HTP, BTC
CP-7	190	BTC, BTX

При раскладке на трубопроводе в одну/две нитки нагревательная лента должна размещаться в нижней его части согласно рис.6.3.

Монтаж нагревательной секции на трубопроводе

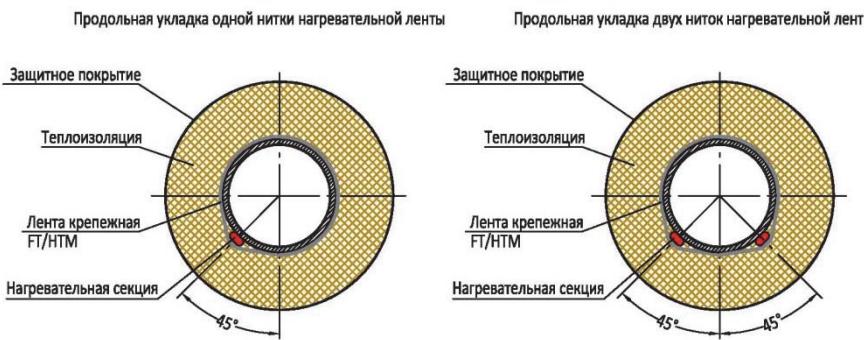


Рис.6.3.

Размещение нагревательной ленты по нижней образующей трубопровода нецелесообразно, т.к. в нижней части трубопровода вероятно скопление различного вида осадков, грязи и т.п., которые могут препятствовать нормальной теплопередаче от нагревательной ленты к продукту, прокачиваемому в трубопроводе.

На рис.6.4-6.6 показаны схемы укладки нагревательной секции на типовых элементах дополнительных тепловых потерь.

Типовой узел монтажа нагревательной секции на фланце



Рис.6.4.

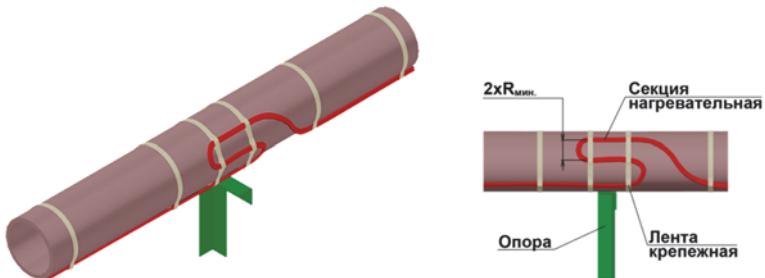
Типовой узел монтажа нагревательной секции на опоре

Рис.6.5.

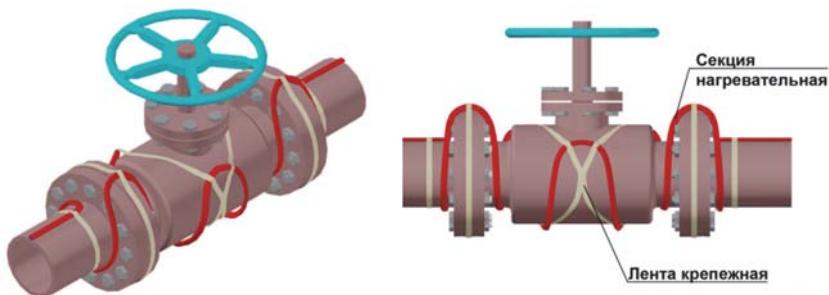
Типовой узел монтажа нагревательной секции на задвижке

Рис.6.6.

Обогрев спускников и воздушников (при длине до 1 м) целесообразно осуществлять петлей нагревательной ленты секции, которой осуществляется обогрев основного трубопровода. В случае разворота нагревательной секции на спускниках, воздушниках, трубах малого (57 мм и менее) диаметра следует применять жесткую вставку ВЖ60x12 для обеспечения минимального радиуса изгиба нагревательной ленты (см. рис.6.7).

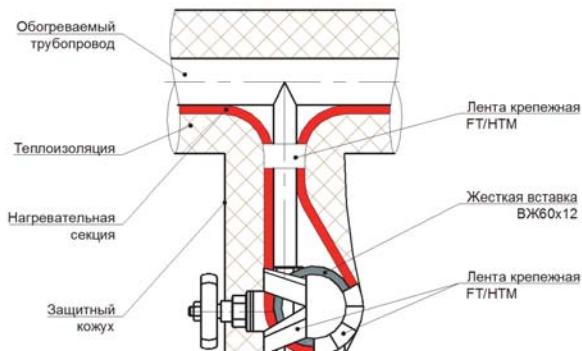
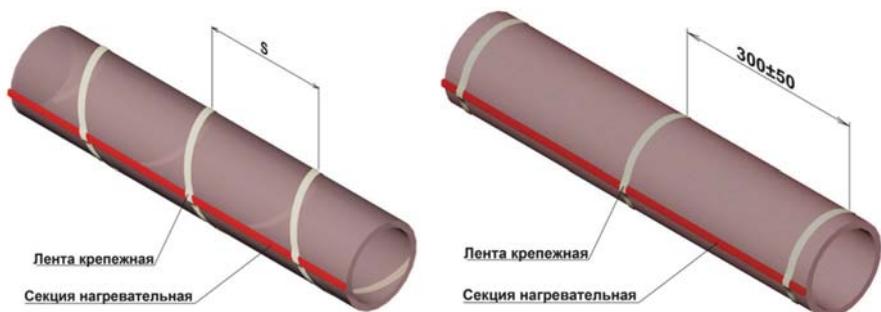


Рис.6.7.

Крепление нагревательных секций на трубопроводе осуществляется при помощи специальной крепежной ленты FT/HTM. В общем случае крепление должно осуществляться 2-3 витками ленты с шагом 300 мм. Допустимо крепление нагревательной ленты спиральной намоткой крепежной ленты с шагом намотки 100...150 мм и фиксацией в начале намотки и через каждые 2 м (способ применим для трубопроводов внешним диаметром не более 100 мм) (см. рис.6.8).



Где S- шаг спиральной намотки, равный 100...150мм.

Рис.6.8.

При большой разветвленности трубопровода, количество ниток нагревательной ленты более одной расход крепежной ленты должен быть увеличен. Кроме того, необходимо предусмотреть запас крепежной ленты для фиксации нагревательной ленты на элементах арматуры, фланцевых соединениях, опорах, спускниках и воздушниках.

При обогреве пластмассовых трубопроводов выполняется теплотехнический расчет, учитывающий материал трубопровода. При раскладке нагревательных секций следует предусмотреть проклейку нагревательной секции по всей длине алюминиевой самоклеящейся лентой для лучшего распределения тепла по поверхности трубопровода.

6.2. Соединительные коробки для питания нагревательных секций, их типы, крепление, способы ввода нагревательных секций

Соединительные коробки типов PTB401, PTB601, PTB402, PTB602 служат для подключения нагревательных секций к сети электропитания. Коробки данных типов позволяют подключение силовых кабелей сечением от 1,5 до 6 мм². Маркировка взрывозащиты – 2Exell.

Пример обозначения соединительной коробки:

PTB601 1Б/1П, где

PTB601 – тип соединительной коробки. Описание типов коробок см. ниже;

1Б (1П) – тип кабельного ввода (Б или П) и количество вводов данного типа, установленных на соединительной коробке;

Б – металлический кабельный ввод для бронированного силового кабеля;

П – пластиковый кабельный ввод для небронированного силового кабеля или нагревательной секции.

Тип коробки	Описание/комплектация
	<p>PTB401</p> <p>Подключение одной/двух нагревательных секций с использованием устройства УВК 0100, которое позволяет установить коробку на трубу и безопасно ввести нагревательные секции, обеспечив их защиту от механических повреждений.</p> <p><i>PTB401-1П/0 PTB401-1Б/0</i></p>
	<p>PTB402</p> <p>Подключение одной/двух нагревательных секций. Коробка крепится на стене, на металлоконструкциях или на специальном кронштейне.</p> <p><i>PTB402-1П/1П PTB402-1П/2П PTB402-1Б/1П PTB402-1Б/2П PTB402-2Б/1П</i></p>

	PTB601 Подключение от 1 ^й до 4 ^х нагревательных секций с использованием устройства УВК 0100, которое позволяет установить коробку на трубу и безопасно ввести нагревательные секции, обеспечив их защиту от механических повреждений. <i>PTB601-1Б/0 PTB601-1Б/1Б PTB601-1Б/1П PTB601-1Б/2Б PTB601-1Б/2П PTB601-1П/1П PTB601-1П/2П PTB601-2Б/1П</i>
	PTB602 Подключение от 1 ^й до 4 ^х нагревательных секций. Коробка крепится на стене, на металлоконструкциях или на специальном кронштейне. <i>PTB602-1П/1П PTB602-1П/2П PTB602-1П/3П PTB602-2П/3П PTB602-1Б/1П PTB602-1Б/2П PTB602-1Б/3П PTB602-2Б/1П PTB602-2Б/2П PTB602-2Б/3П</i>

Коробки типов PTB401, PTB601 позволяют установку непосредственно на трубопровод с помощью специального устройства ввода УВК0100 – «ноги». Нагревательная секция вводится на обогреваемый трубопровод также через устройство ввода УВК 0100. Коробка типа PTB401 позволяет подключить от одной до двух (при применении коробки для разветвления нагревательных секций - до трех) нагревательных секций (см. рис.6.9).

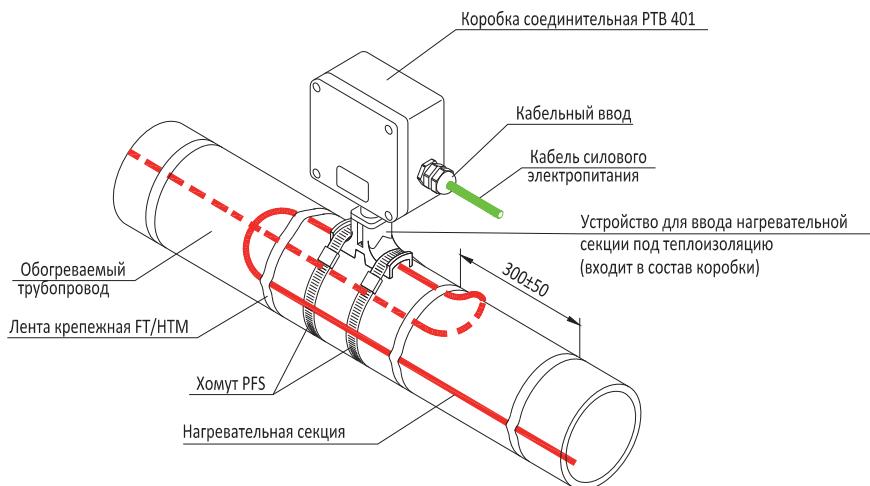


Рис.6.9.

Коробка PTB601 позволяет подключить от одной до трех (в некоторых случаях до четырех) нагревательных секций (в зависимости от подтипа), при этом третья (четвертая) нагревательные секции должны вводиться в соединительную коробку через пластиковый кабельный ввод (см. рис.6.10).

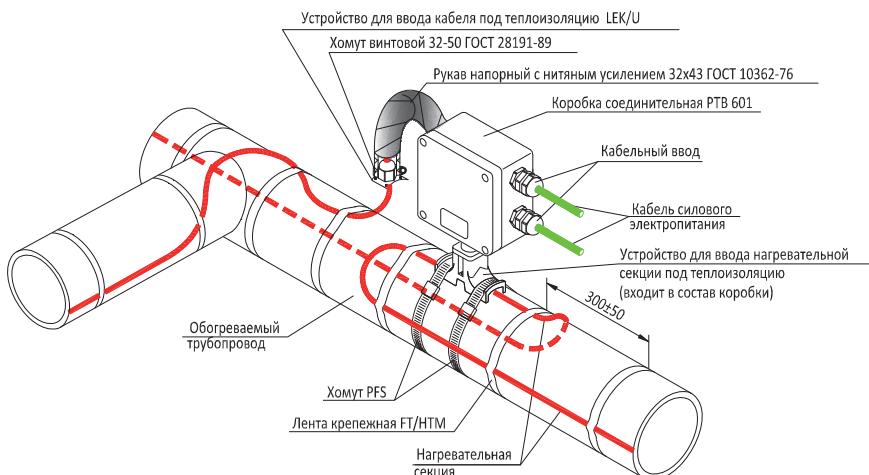


Рис.6.10.

Крепление соединительных коробок указанных типов к трубопроводам следует осуществлять при помощи стальных хомутов типа PFS.

	<p>Хомуты для крепления кронштейнов соединительных коробок к трубе</p> <p><i>PFS/3 (L=3 м) PFS/30 (L=30 м)</i></p> <p><i>Для хомута PFS/30 используются крепежные элементы.</i></p>
---	--

Коробки типа PTB401, PTB601 могут устанавливаться на трубопроводы наружным диаметром не менее 57 мм (не менее 32 мм с применением переходных кронштейнов КП 102, КП 102-01, подкладываемых под «ногу» коробки).

Коробки типа PTB402, PTB602 устанавливаются на металлоконструкции или стены, находящиеся в непосредственной близости от обогреваемого трубопровода с применением стального Z-профиля. Соединительная коробка типа PTB402 позволяет подключить от одной до двух нагревательных секций в зависимости от количества пластиковых кабельных вводов, устанавливаемых в стенках коробки (см. рис.6.11).

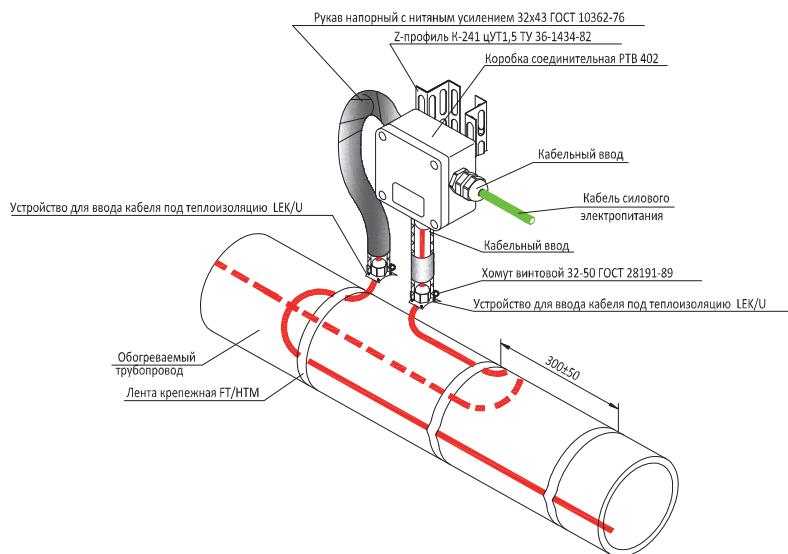


Рис.6.11.

Соединительная коробка типа PTB602 позволяет подключить от одной до трех нагревательных секций в зависимости от количества пластиковых кабельных вводов (см. рис.6.12).

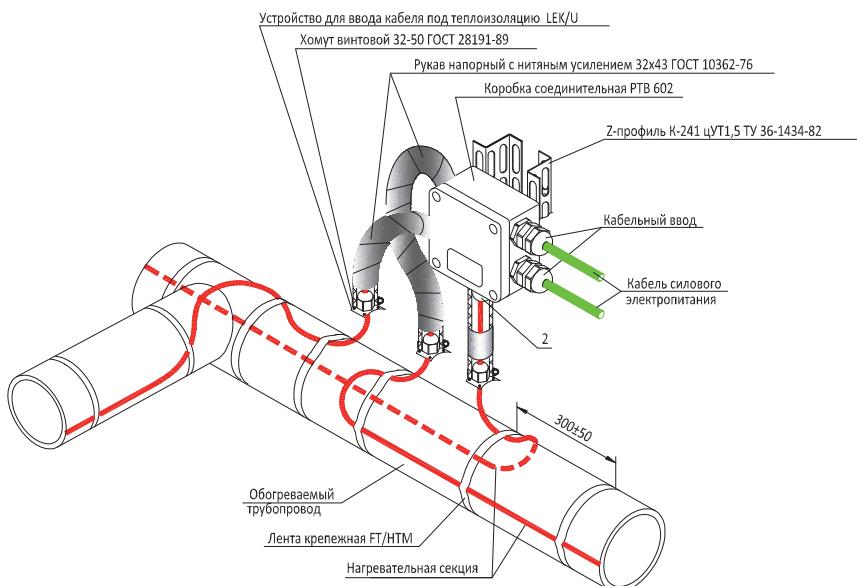


Рис.6.12.

Ввод нагревательных секций в коробки РТВ402, РТВ602 осуществляется при помощи пластиковых кабельных вводов, устанавливаемых в стенках коробок. Для герметизации прохода нагревательных секций сквозь теплоизоляцию следует применять устройства ввода кабеля под теплоизоляцию LEK/U (при использовании в качестве защитного кожуха стального или алюминиевого листа) или резиновые пластины типа УВ (при использовании в качестве защитного кожуха теплоизоляции полимерных материалов, стеклоткани, фольматки и пр.). При применении устройства LEK/U на участке между соединительной коробкой и вводом под теплоизоляцию нагревательную секцию следует вести в резиновом рукаве с нитяным усилением. Крепление рукава к кабельному вводу коробки и устройству LEK/U должно осуществляться при помощи стальных хомутов. При применении резиновой пластины УВ на участке между соединительной коробкой и вводом в теплоизоляцию нагревательную секцию следует вести в гофрированной полипропиленовой трубе. Крепление трубы к кабельному вводу коробки следует осуществлять при помощи термоусаживаемой трубы.

6.3. Размещение соединительных коробок и нагревательных секций при различных способах управления системой электрообогрева

6.3.1. Соединительные коробки для подключения датчиков управления

Соединительные коробки типов PTB403, PTB404 служат для подключения датчиков температуры к сети управления. Коробки данных типов позволяют подключение контрольных кабелей сечением от 0,5 до 2,5 мм². Маркировка взрывозащиты – 2Exell.

Тип коробки	Описание/комплектация
 PTB403	<p>Подключение от одного до трех датчиков температуры с использованием устройства УВК 0100, которое позволяет установить коробку на трубу и безопасно ввести датчики, обеспечив их защиту от механических повреждений.</p> <p><i>PTB403-1П/0 PTB403-2П/0 PTB403-1Б/0 PTB403-1Б/1Б</i></p>
 PTB404	<p>Подключение от одного до трех датчиков температуры. Коробка крепится на стене, на металлоконструкциях или на специальном кронштейне.</p> <p><i>PTB404-1Б/0 PTB404-1Б/1П PTB404-1Б/2П PTB404-2Б/1П PTB402-1П/0 PTB402-1П/2П</i></p>

6.3.2. Размещение соединительных коробок и нагревательных секций при управлении системой электрического обогрева трубопроводов, расположенных на открытом воздухе, по температуре окружающего воздуха

Управление по температуре окружающего воздуха, как правило, применяется для водоводов, трубопроводов канализации, иногда трубопроводов с другими продуктами, в случае если задачей электрообогрева является защита от замерзания (температура поддержания $+5\dots+15^{\circ}\text{C}$).

В общем случае при управлении системой по температуре окружающего воздуха соединительные коробки для подключения нагревательных секций должны размещаться на минимально возможном расстоянии от шкафа управления (ШУ), так чтобы минимизировать длину и сечение силовых кабелей от ШУ до соединительных коробок. Соединительные коробки следует по возможности размещать на тройниках, крестовинах трубопроводов для подключения максимального количества нагревательных секций в одну коробку. При выполнении раскладки нагревательных секций на прямолинейных участках трубопроводов следует стремиться к применению нагревательных секций с максимальной длиной (по теплотехническому расчету) для минимизации количества соединительных коробок.

6.3.3. Размещение соединительных коробок и нагревательных секций при управлении системой электрического обогрева трубопроводов, расположенных в необогреваемых помещениях, по температуре воздуха в помещении

В ряде случаев существует необходимость обогрева трубопроводов в необогреваемых помещениях, например, в необогреваемых складах. В силу значительной инерционности изменения температуры в помещениях большого объема относительно наружной температуры, управление системой электрообогрева трубопроводов в таких помещениях следует осуществлять отдельно от наружных трубопроводов. В случае если задачей электрообогрева является защита от замерзания (температура поддержания $+5\dots+15^{\circ}\text{C}$), целесообразно осуществлять управление такой системой по температуре воздуха внутри помещения, где находятся обогреваемые трубопроводы.

Нагревательная лента для раскладки на трубопроводах должна быть выбрана по теплотехническому расчету, выполненному с учетом минимальной температуры воздуха внутри помещения.

Нагревательные секции, управляемые по температуре воздуха внутри помещения, следует раскладывать только на тех участках трубопроводов, которые расположены в этом помещении. Остальные принципы размещения соединительных коробок и нагревательных секций в помещениях те же, что и в п.6.1 и 6.3.1.

6.3.4. Размещение соединительных коробок и нагревательных секций при управлении системой электрического обогрева трубопроводов, расположенных на открытом воздухе, по температуре трубопровода

Управление по температуре трубопровода применяется, если задачей электрообогрева является поддержание технологической температуры (как правило, более 10...15 °C) и/или максимальная допустимая температура незначительно превышает температуру поддержания.

При управлении обогревом трубопровода по температуре его стенки, как правило, должна контролироваться температура каждого неразветвленного участка трубопровода. Кроме того, температура участков трубопроводов различных диаметров также должна контролироваться раздельно, т.к. трубопроводы различных диаметров имеют различные тепловые потери.

Таким образом, на каждый неразветвленный участок трубопровода достаточной длины должен устанавливаться свой датчик температуры и этот участок трубопровода должен быть обогрет отдельной нагревательной секцией (или секциями). При этом соединительные коробки для подключения нагревательных секций целесообразно устанавливать на тройниках или крестовинах трубопроводов. Максимальное количество нагревательных секций, подключаемых в одну соединительную коробку, следует ограничить тремя с тем, чтобы подключить данные нагревательные секции на отдельные фазы.

6.3.5. Пример разработки монтажной части проекта системы электрического обогрева трубопроводов

Одна из задач стоящая перед проектировщиком, разрабатывающим систему электрического обогрева на основе саморегулирующихся нагревательных лент, это задача выполнения монтажного чертежа, а именно расстановка соединительных коробок, раскладка нагревательных секций, т.е. перевод теплотехнических расчетов (ТТР) в графический вид.

Во всех случаях отталкиваться надо от теплотехнического расчёта в котором указана вся необходимая информация для выполнения раскладки нагревательных секций.

Рассмотрим порядок выполнения монтажного чертежа.

1. В основу монтажного чертежа положим чертеж переданный заказчиком на обогреваемый трубопровод (рис.6.13. Обогреваемый трубопровод В1). Важно чтобы на чертеже были отметки по высотности прохождения обогреваемого трубопровода или были в наличии чертеж профиля обогреваемого трубопровода (рис.6.14). Переводим все изображенное на чертеже Заказчика в слой, назовем его «Подложка». Всем отображённым в этом слое элементам присвоим серый цвет, а трубопроводу черный (рис.6.15). Таким образом, мы выделим на чертеже объект проектирования. Трубопровод приобретет явно выраженную конфигурацию, что облегчает чтение и понимание чертежа.

Выкопировка из чертежа предоставленного Заказчиком.

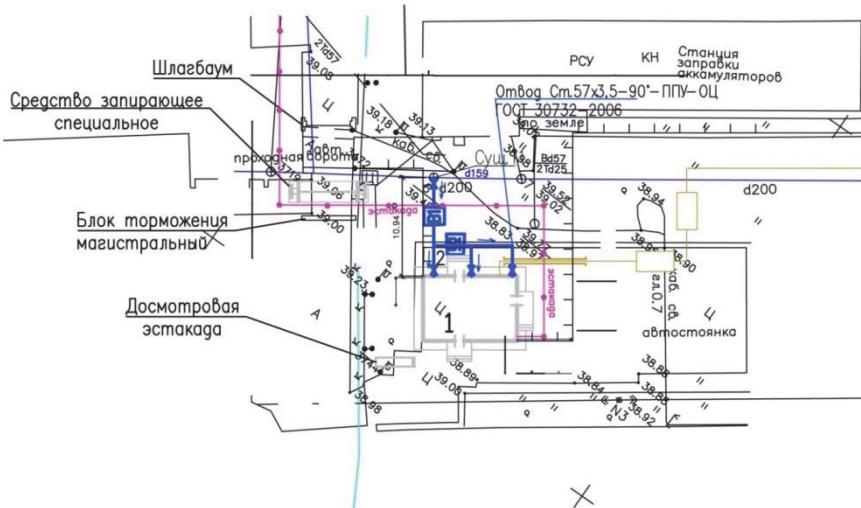


Рис. 6.13.

Чертеж профиля обогреваемого трубопровода.

В1

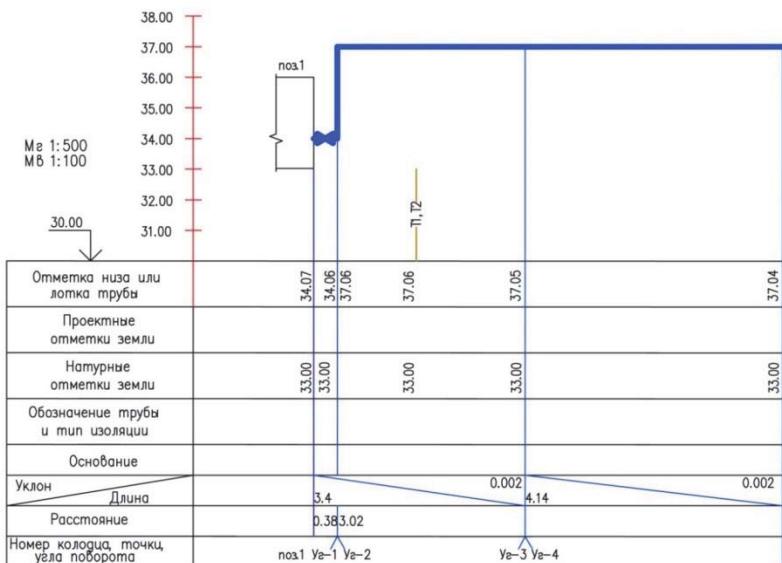


Рис.6.14.

2. После операций по подготовке чертежа к раскладке нагревательных секций и расстановки соединительных коробок, необходимо определится с масштабом выполняемого чертежа. Следует учитывать, что расчет длины секции будет основан на данных измерений, произведенных на чертеже (рис.6.16). Также, это даст возможность проконтролировать данные (длину, диаметр) заявленные Заказчиком в опросном листе. В процессе определения масштаба выполняемого чертежа необходимо определится с форматом листа выполняемого чертежа. Рекомендуется использовать размеры листов из основных форматов по ГОСТ 2.301-68.

Подготовленный для проектирования чертеж.

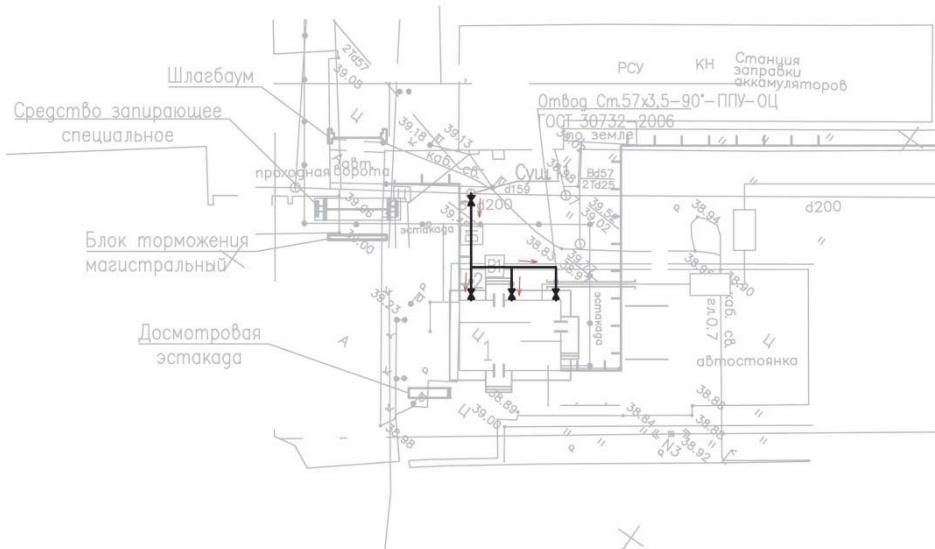


Рис. 6.15.

3. Следующий шаг, который выполняют при проектировании это расстановка соединительных коробок. Данное действие является совокупностью анализа:

- конфигурации обогреваемого трубопровода;
- мест расположения трубной арматуры (в основном задвижек и вентилей которые влияют на процесс перекачки продукта по трубопроводам);
- технологических процессов, заложенных инженерами технологами (в основном направление движения перекачиваемого продукта, наличие врезок для спуска воздуха и продукта и т.д.).

Так же следует учитывать результаты теплотехнического расчета на основании, которого определяются с системой управления (см. раздел 8.3 «Классификация систем управления»).

3.1. В случае, когда управление электрическим обогревом выполняется по датчику температуры окружающей среды или без управления (включение и отключение электрическим обогревом осуществляется обслуживающим персоналом), места установки соединительных коробок выбираются в основном исходя из оптимизации количества кабелей силового электропитания, т.е. близость расположения соединительных коробок к кабельным эстакадам (рис. 6.17).

Фрагмент чертежа, подготовленного к проектированию с выполненным подбором формата и масштаба.

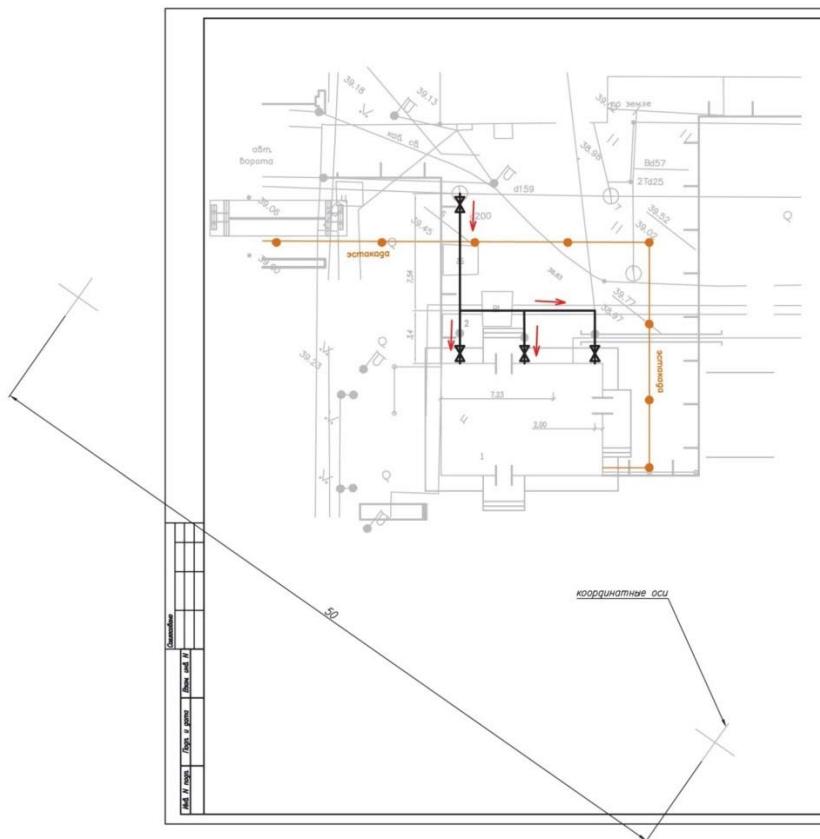


Рис. 6.16.

Расстановка соединительных коробок в случае управления обогревом по датчику температуры окружающей среды.

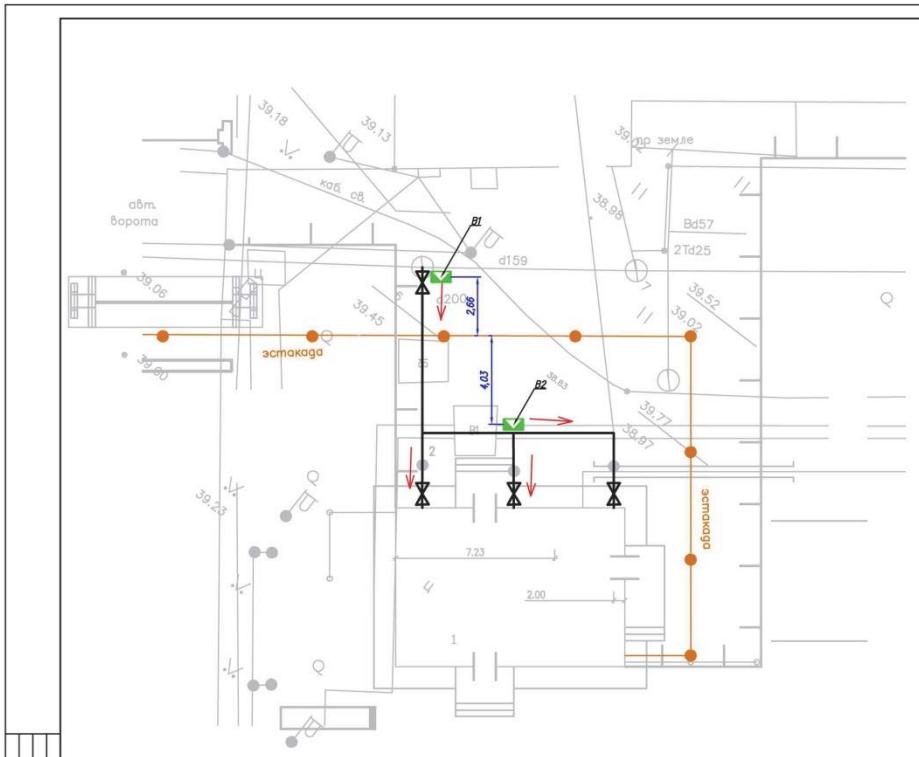


Рис. 6.17.

3.2. В случае, когда управление осуществляется по датчику температуры обогреваемого трубопровода, соединительные коробки следует расставлять в зависимости от технологии прокачки продукта, учитывая вентили и задвижки, т.е. таким образом, чтобы нагревательная секция, подключаемая к соединительной коробке, обогревала участок трубопровода с одинаковым технологическим процессом (прокачка или останов). Определяем участки обогрева (рис.6.18). Такие участки трубопровода управляются одним датчиком температуры. (рис.6.19).

Определение участков трубопровода с одинаковым технологическим режимом прокачки продукта.

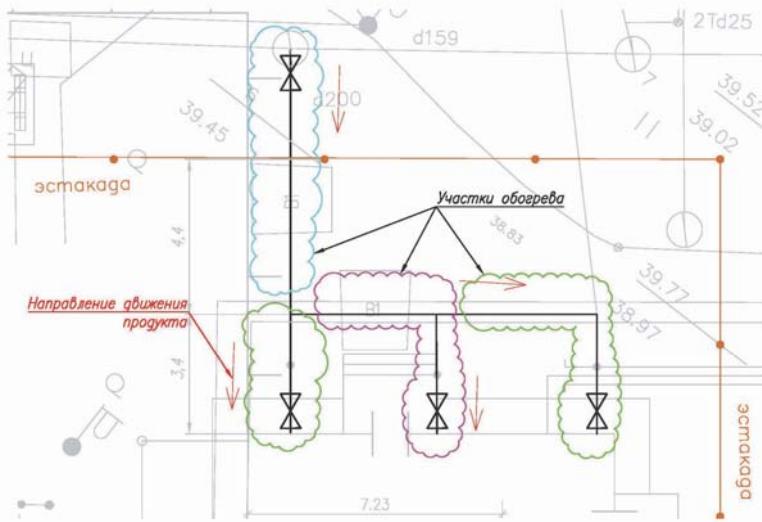


Рис. 6.18.

Расстановка соединительных коробок в случае управления обогревом по датчикам температуры обогреваемого трубопровода.

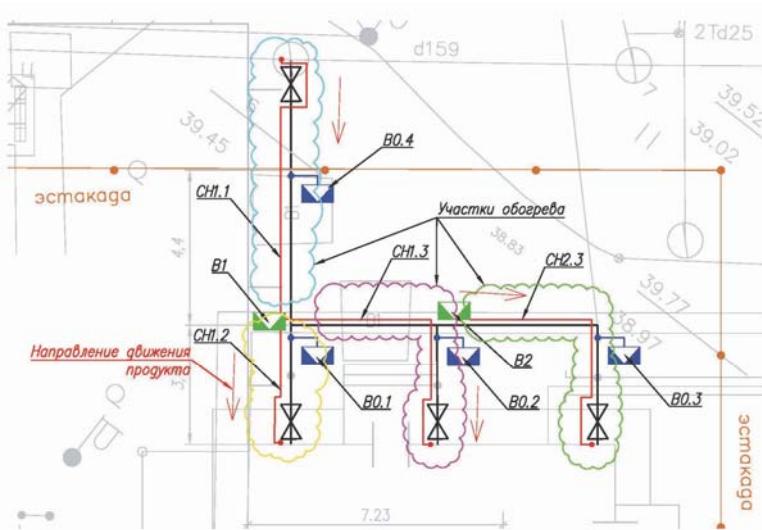


Рис. 6.19.

После размещения соединительных коробок на чертеж наносят нагревательные секции. Нагревательная секция должна начинаться от соединительной коробки и заканчиваться концевой заделкой, которая также условно отображается на чертеже (рис. 6.20, 6.21).

Фрагмент чертежа с выполненной раскладкой нагревательных секций при управлении электрообогревом по датчикам температуры обогреваемого трубопровода.

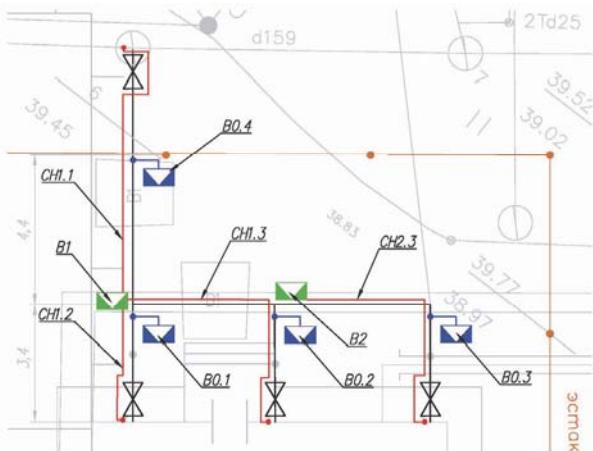


Рис.6.20.

Фрагмент чертежа с выполненной раскладкой нагревательных секций при управлении обогревом по датчику температуры окружающей среды.

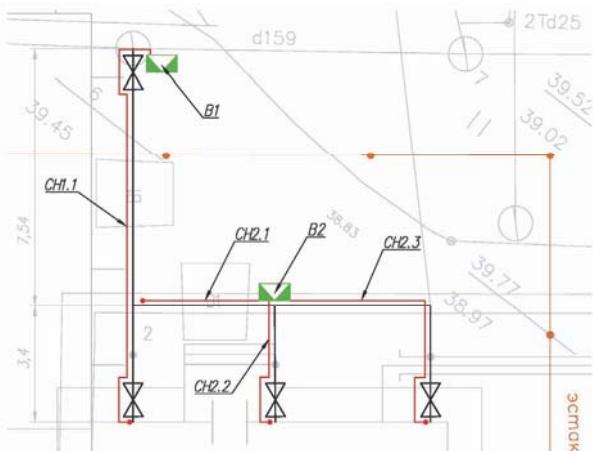


Рис.6.21.

Основной параметр, который необходимо учитывать при раскладке нагревательных секций это максимальная допустимая длина нагревательной ленты, указанная в ТТР. Максимальную допустимую длину нагревательной ленты необходимо сравнить с длиной нагревательной секции, которая получается на чертеже. Длину нагревательной секции вычисляем по следующей формуле:

$$L_{\text{секции}} = (L_{\text{тр}} + \Phi \times k_{\text{фл}} + 3 \times k_3 + N \times k_h + \Phi \times k_\phi + 0 \times k_o) \times k_p$$

где:

$L_{\text{секции}}$ – длина нагревательной секции

$L_{\text{тр}}$ – длина участка трубы, на который раскладывается секция, (сумма длин вертикальных и горизонтальных частей с учетом длин отводов и пр.);

Φ – количество фланцевых соединений, расположенных на длине раскладываемой секции;

$k_{\text{фл}}$ – добавочная длина нагревательной ленты на фланцы;

З – количество задвижек или вентилей, расположенных на длине раскладываемой секции;

k_3 – добавочная длина нагревательной ленты на задвижки;

N – количество насосов входящих в участок обогрева данной секции;

k_h – добавочная длина нагревательной ленты на насосы;

Φ – количество фильтров находящихся на участке обогрева данной секции;

k_ϕ – добавочная длина нагревательной ленты на фильтр;

O – количество трубных опор расположенных на участке обогрева данной секции;

k_o – добавочная длина нагревательной ленты на опоры;

k_p – коэффициент расхода нагревательной ленты на один погонный метр трубы, принимается из ТТР.

Количество фланцев, задвижек (вентилей), фильтров, насосов определяем из чертежа. Добавочную длину нагревательной ленты определяем из руководства по проектированию систем электрического обогрева, таблица 5.5. «Добавочная длина нагревательной ленты для различных элементов дополнительных тепловых потерь».

Сравнивая максимальную допустимую длину нагревательной ленты с рассчитанной длиной нагревательной секции, понимаем необходимость увеличения или уменьшения длины обогреваемого участка трубопровода.

Стоит отметить, что на такие элементы как насосы, фильтры, а иногда и задвижки целесообразно выполнять самостоятельный теплотехнический расчет.

Параллельно с выполнением монтажного чертежа следует выполнять схему сети силового электропитания и управления см. раздел 7.4 «Сеть силового электропитания и управления».

7. Системы электрического обогрева резервуаров

По типу расположения резервуары принято делить на надземные и подземные, вертикальные и горизонтальные. Также резервуары могут быть двустенными и многокамерными, то есть состоящими из двух и более камер, а также различных геометрических форм: шаровые, прямоугольные, конусные и т.д.

Все цилиндрические вертикальные стальные резервуары, как технические сооружения, состоят из конструктивных частей, соединенных в единое целое на сварке, а также комплекта оборудования и комплектующих конструкций. Последние в совокупности предназначаются для обеспечения надежности, удобных и безопасных условий эксплуатации резервуаров. Конкретный их перечень зависит от вида и физико-химических свойств хранимого продукта, района сооружения и эксплуатации, генерального конструктивного решения резервуара и других факторов.

При выполнении проекта системы электрообогрева следует разделять резервуары на вертикальные и горизонтальные, и на резервуары диаметром до 2 м и более 2 м.

Любое проектирование следует начинать с анализа исходных данных (ИД) и технического задания (ТЗ), в котором изложены требования и задачи, а также поставлена цель, которая должна быть достигнута по окончании проектирования.

На основании ИД и ТЗ выполняется теплотехнический расчет (ТТР). На ряду с ИД и ТЗ, теплотехнический расчет является одной из отправных точек на которой базируются проектные решения.

При построении системы управления электрообогревом резервуара, следует понимать, что для контроля работы системы электрообогрева любого резервуара, а также для управления работой системы необходимо применять не менее одного датчика температуры (ДТ), и построение системы управления электрообогрева по датчику температуры окружающей среды недопустимо из-за большой тепловой инерционности резервуара.

7.1. Резервуары вертикальные и горизонтальные диаметром до 2 метров

На рис.7.1 показан пример электрообогрева горизонтального резервуара диаметром до 2 м.

На такие резервуары раскладку нагревательной секции (СН) выполняют методом спиральной укладки (навивки), т.е. обогрев осуществляется по всей площади резервуара за исключением торцевых частей. Крепление нагревательной секции следует выполнять с помощью самоклеящейся адгезионной крепежной ленты FT/HTM, выдерживая шаг крепления, как и для трубопроводов 300 ± 50 мм.

Такого рода резервуары можно рассматривать как трубопровод только большого диаметра.

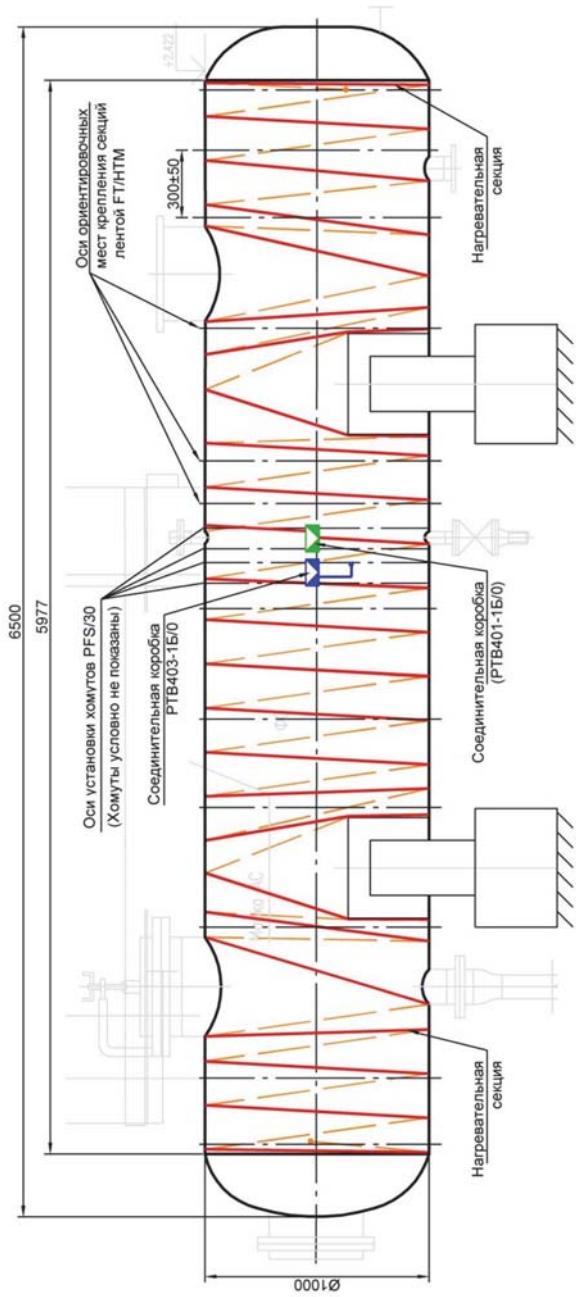


Рис. 7.1. Горизонтальный резервуар диаметром до 2 метров.

На вертикальном резервуаре (рис.7.2.) для крепления нагревательной секции используют стальную монтажную ленту шириной 25мм (монтажная лента 25). Монтажную ленту прокладывают вертикально по всему периметру резервуара, параллельно оси, с шагом ~500 мм и крепят к резервуару хомутами PFS. Монтажная лента позволит устраниć возможность провисания нагревательной секции. Высота зоны обогрева определяется при проведении теплотехнических расчетов и зависит от ряда факторов, например, таких как уровень заполнения продуктом.

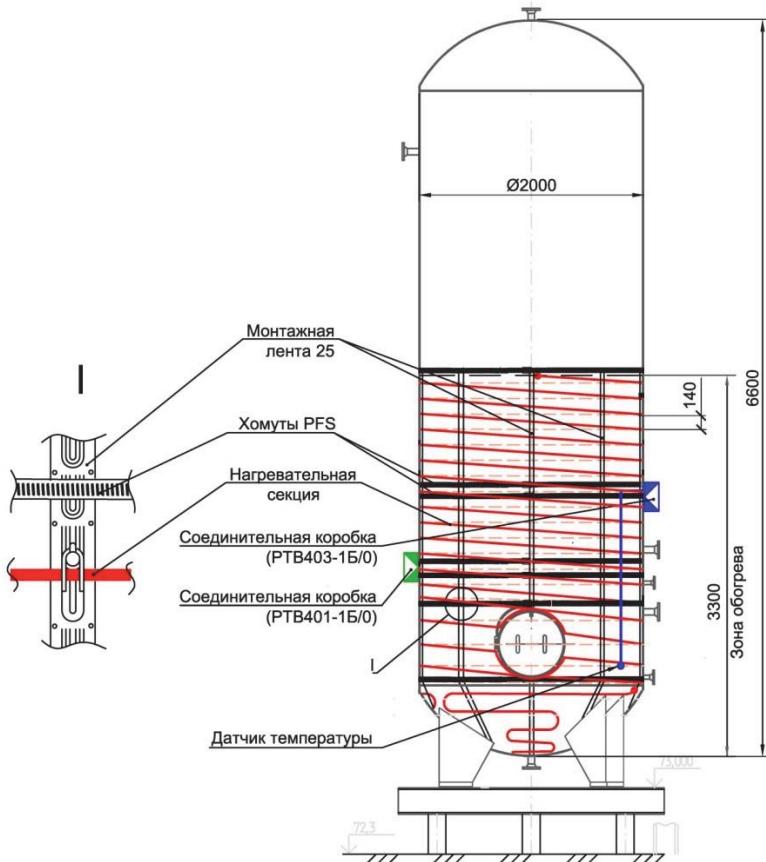


Рис.7.2.Резервуар вертикальный диаметром до 2 метров.

Так же с помощью хомутов PFS на горизонтальном или вертикальном резервуаре крепят соединительные коробки типа РТВ 401, РТВ 601 и РТВ 403. Первые два типа коробок используют для подключения нагревательных секций к кабелям силового электропитания, а коробку типа РТВ403 применяют для подключения датчика температуры. Все выше перечисленные соединительные коробки комплектуются устройством ввода нагревательной секции под теплоизоляцию (ТИ), так называемом

«нога», которая выполняет роль не только приспособления для ввода СН под ТИ, но и роль кронштейна который позволяет крепить соединительную коробку с помощью хомутов PFS на обогреваемом объекте, в данном случае резервуаре.

7.2. Резервуар горизонтальный диаметром более 2 метров

На данного вида резервуарах нагревательные секции располагают, как правило, в нижней части резервуара, фиксацию нагревательной секции осуществляют с помощью монтажной ленты и зажимов ЗМ100 (рис.7.3). Зажимы ЗМ100 разработаны в ГК «ССТ» специально для крепления нагревательных секций на резервуарах такого типа (рис.7.4).

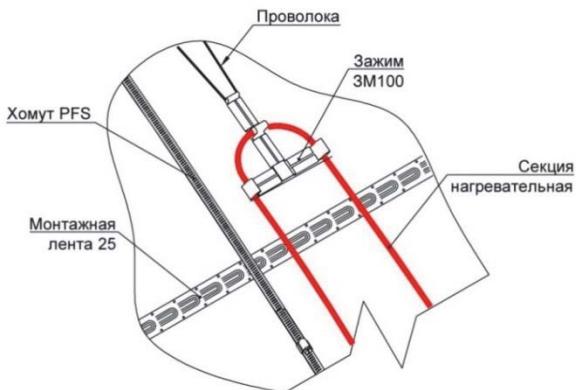


Рис. 7.3. Монтаж нагревательной секции на резервуаре диаметром более 2 метров

Размещение и крепеж монтажной ленты допустим таким же, как и для горизонтальных резервуаров до 2 м или с помощью кронштейнов, которые должны быть присоединены к резервуару с помощью сварки. В случае использования кронштейнов для установки монтажной ленты на резервуаре, сварочные работы следует согласовывать с соответствующими организациями и выполнять до проведения работ по монтажу системы электрообогрева и опрессовки резервуара.

Зажимы ЗМ100 (рис.7.3) позволяют выполнить фиксацию нагревательной секции. Сами зажимы фиксируются на резервуаре с помощью проволоки (растяжки). Проволока, проходя через верхнюю образующую резервуара, соединяет два зажима ЗМ100, размещенных с разных сторон резервуара, между собой.

Таким образом, осуществляется поддержка нагревательной секции, размещенной в нижней части резервуара.

Соединительные коробки на резервуарах такого типа применяют такие же, что и для резервуаров диаметром до 2 м. Метод крепления тот же, с помощью хомутов PFS.

Построение системы управления электрообогревом резервуара такого типа не отличается от описанного выше.

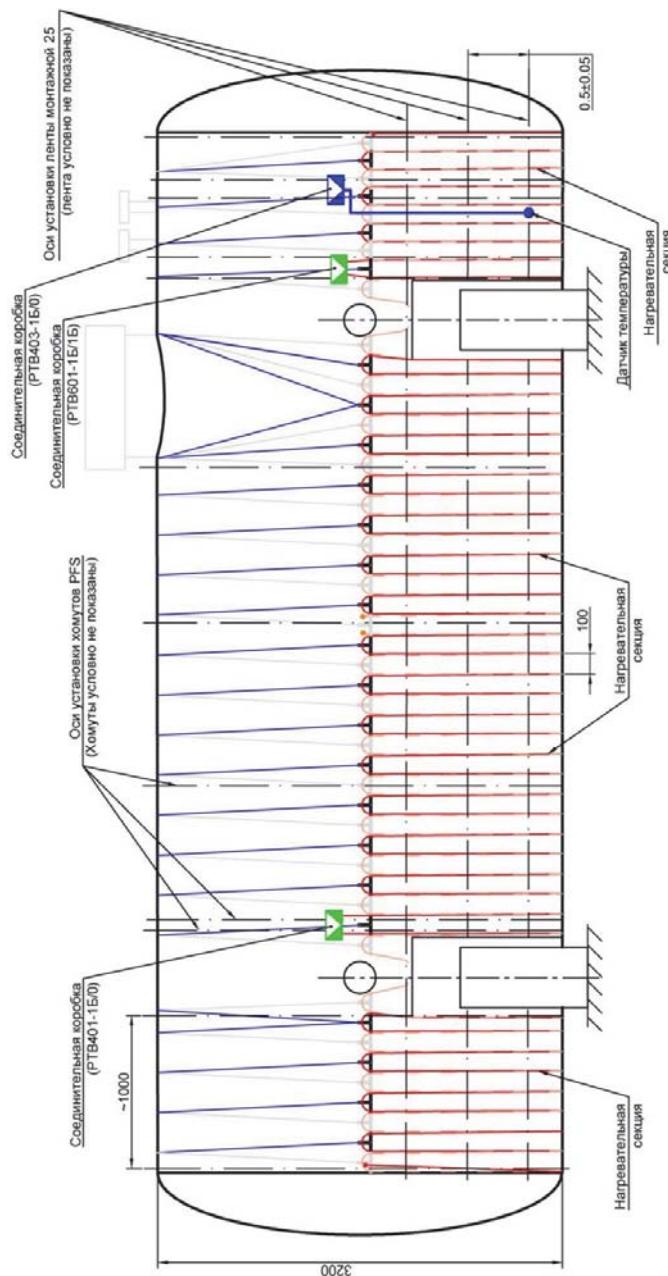


Рис.7.4. Горизонтальный резервуар диаметром свыше 2 метров

7.3. Резервуар вертикальный диаметром более 2 метров

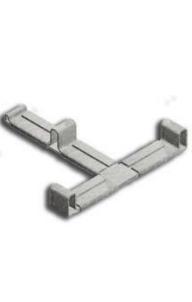
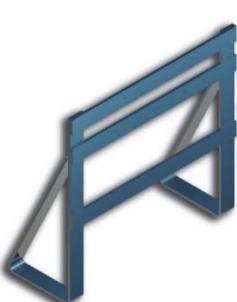
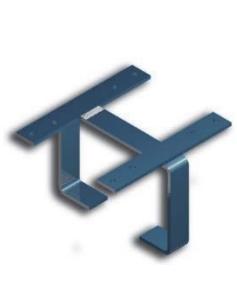
Крепление нагревательных секций на вертикальных резервуарах диаметром более 2 метров возможно выполнить двумя способами.

7.3.1. Крепление нагревательных секций с помощью монтажных лент 25

При использовании для крепления нагревательных секций на резервуарах, лент монтажных 25 необходимо закрепить сами ленты, выполнить это возможно с помощью кронштейнов. Такой кронштейн (КР101 см. рис.7.5, табл. 7.3.1.) разработан ГК «ССТ». Кронштейны необходимо закрепить на резервуаре с помощью сварки по всему периметру с шагом ~500 мм в несколько рядов. Нижний ряд кронштейнов крепят возле основания резервуара, а верхний, на высоте, согласно теплотехнического расчета. В теплотехническом расчете указывается высота обогрева резервуара.

Если высота обогрева более 1 м, то необходимо выполнить крепеж дополнительных рядов кронштейнов с шагом по вертикали ~1000 мм. После размещения необходимого количества кронштейнов на резервуаре, между нижним и верхним кронштейнами натягивается монтажная лента 25. Ленту натягивают таким образом, чтобы она проходила под кронштейнами средних рядов, эти кронштейны устраниют возможность отвисания нагревательной секции, закрепленной в монтажной ленте 25, в сторону от стенки резервуара.

Таблица 7.3.1.

				
3M100	Фиксация нагревательной секции на горизонтальном резервуаре	Крепление соединительной коробки на резервуаре	Крепление соединительной коробки на резервуаре	Крепление монтажной ленты 25 на резервуаре

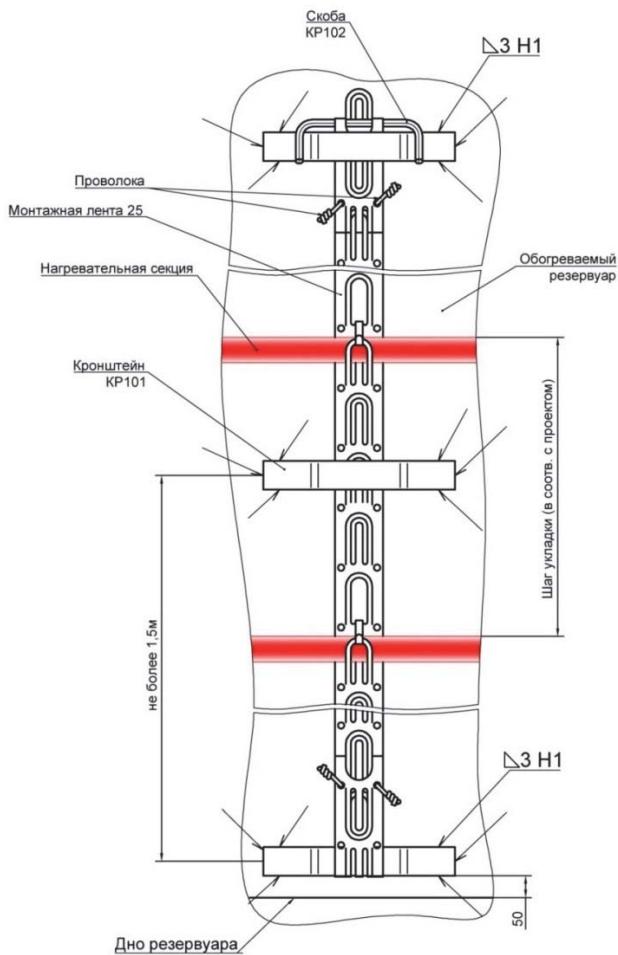


Рис. 7.5. Узел монтажа нагревательной секции на вертикальном резервуаре

Соединительные коробки, как правило, типа РТВ 402, РТВ 602 и РТВ 404, устанавливают на резервуаре с помощью другого вида кронштейнов. Кронштейн KP1 и KP3 разработаны ГК «ССТ» специально для этих целей.

Кронштейны KP1 и KP3 крепятся к стенке резервуара также, как и KP101 с помощью сварки см. Таблицу 7.3.1.

При выборе мест размещения кронштейнов KP1 и KP3 следует учитывать необходимость проведения сервисного обслуживания соединительных коробок и располагать их на оптимальной для этой цели высоте.

При использовании кронштейна KP1, помимо коробок РТВ 402, РТВ 602 и РТВ 404, допустимо применять соединительные коробки РТВ401, РТВ601 и РТВ 403.

Кронштейн КР3 разработан специально для размещения на резервуаре соединительной коробки РТВ 602 в случае, когда из неё необходимо вывести 3 нагревательные секции и два силовых кабеля. Соединительные коробки на кронштейне КР1 располагаются перпендикулярно к стенке резервуара, а на КР3 параллельно.

Решения по управлению системой электрообогрева точно такие, как и для всех предыдущих случаев.

7.3.2. Крепление нагревательных секций с помощью сетки

В случаях, когда невозможно проведение сварочных работ, крепление нагревательных секций на резервуарах осуществляется с помощью сетки. Для этих целей в ГК «ССТ» было разработано устройство для натяжки сетки КН1500. Это устройство позволяет натягивать вдоль стенки резервуара сетку, на которой выполняется раскладка нагревательной секции.

Сетка, как правило, используется сварная с ячейками 100x100мм.

Крепление нагревательной секции к сварной сетке выполняют с помощью провода ПВ1 1.5.

Устройство для натяжки сетки возможно использовать не более чем в два яруса, т.е. максимальная высота обогрева с использованием сетки может составлять не более 3 м (рис.7.6)

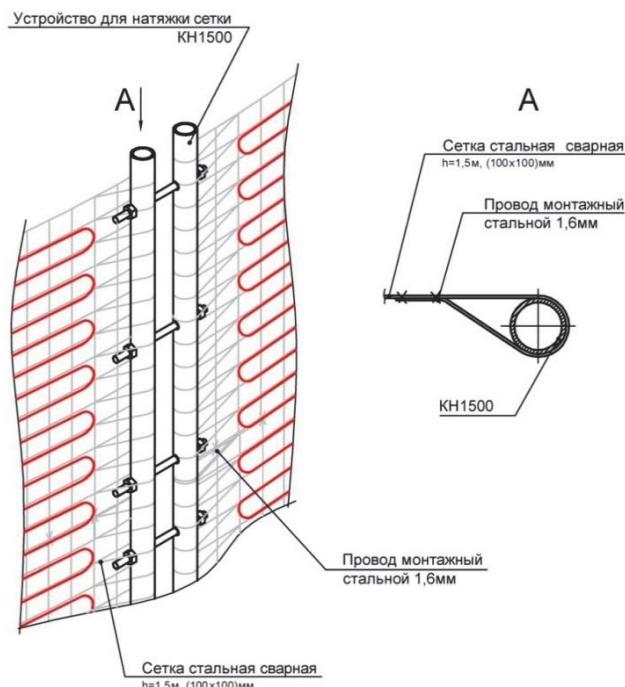


Рис.7.6. Устройство электрообогрева резервуаров с помощью сетки.

Соединительные коробки используют PTB 401, PTB 601 и PTB 403. Их возможно установить непосредственно на устройство для натяжки сетки и закрепить с помощью хомутов PFS.

7.4. Сеть силового электропитания и управления

Сеть силового электропитания и управления разрабатывается для наглядного понимания взаимодействия элементов системы электрического обогрева. Построение сети силового электропитания и управления следует выполнять параллельно с выполнением монтажных чертежей. При выполнении чертежей сети силового электропитания и управления, следует учитывать возможность подачи электропитания шлейфом, и по минимально коротким маршрутам, ориентируясь на места расположения соединительных коробок, шкафов управления и кабельных эстакад. После разработки чертежа сети силового электропитания (рис.7.7) разрабатывают шкафы управления и кабельные трассы.

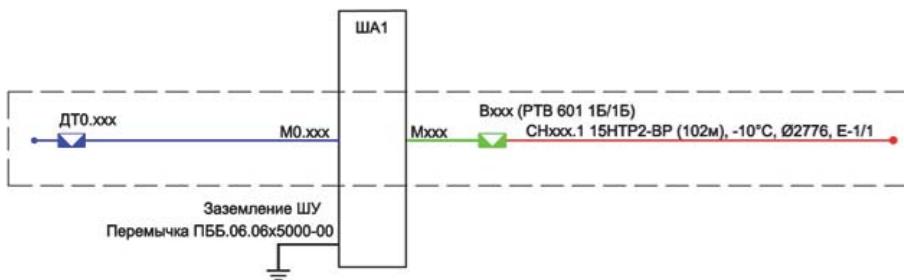


Рис.7.7. Сеть силового электропитания и управления.

7.5. Разработка монтажной части проекта системы электрического обогрева на примере горизонтального резервуара диаметром более 2 метров

Разберем пошагово действия, которые необходимо выполнить при разработке монтажной части проекта электрообогрева резервуаров на примере электрообогрева горизонтального резервуара диаметром более двух метров.

На рис.7.8 показан исходный чертеж резервуара, подлежащего обогреву.

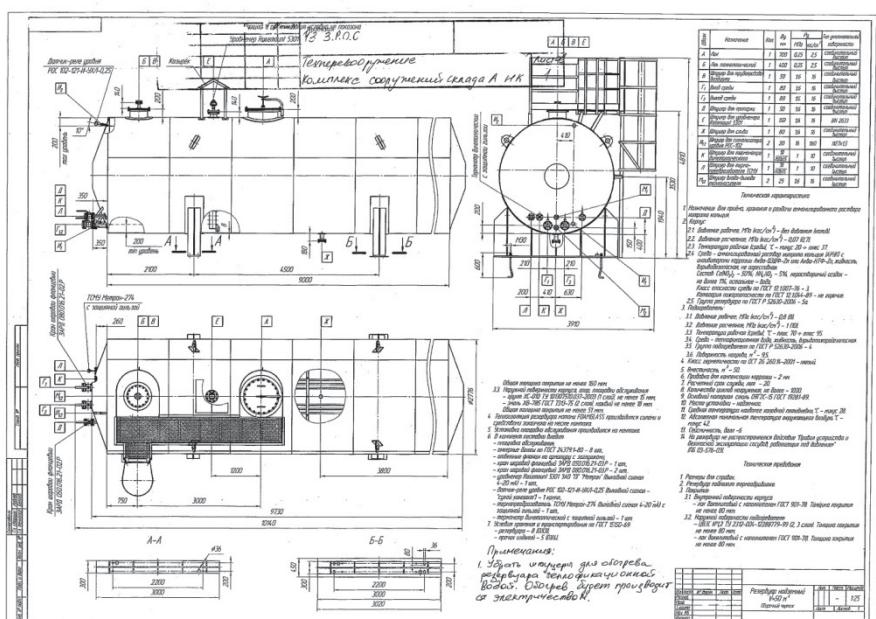


Рис.7.8. Чертеж резервуара, подлежащего обогреву.

Из чертежа рис.7.8. выбираем вид, который максимально раскроет решения по электрообогреву данного резервуара.

На рис.7.9. показан подготовленный для использования в проектной документации вид резервуара.

Согласно теплотехническому расчету рис.7.12 высота обогрева составляет 0,48 от высоты резервуара, т.е. нагревательные ленты должны располагаться на нижней половине резервуара, шаг укладки лент должен составлять 300 мм, нагревательную ленту необходимо использовать марки 15НТР2-ВР с суммарной длиной 101 м.

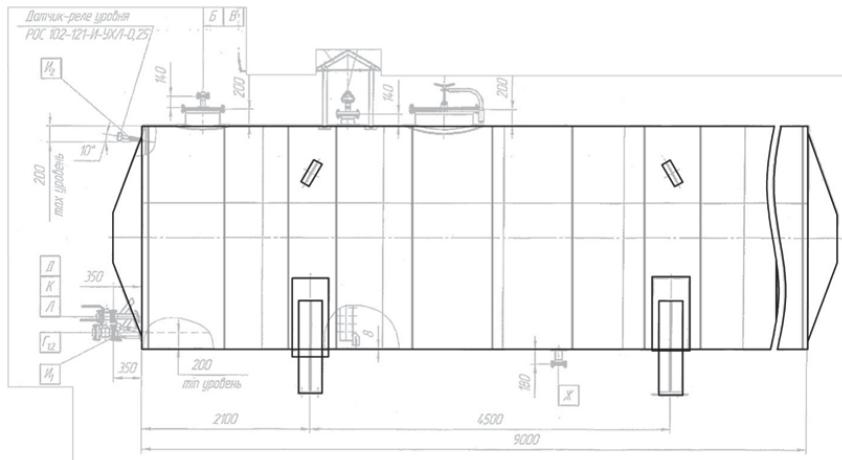


Рис.7.9. Подготовленный чертеж для использования в проектной документации.

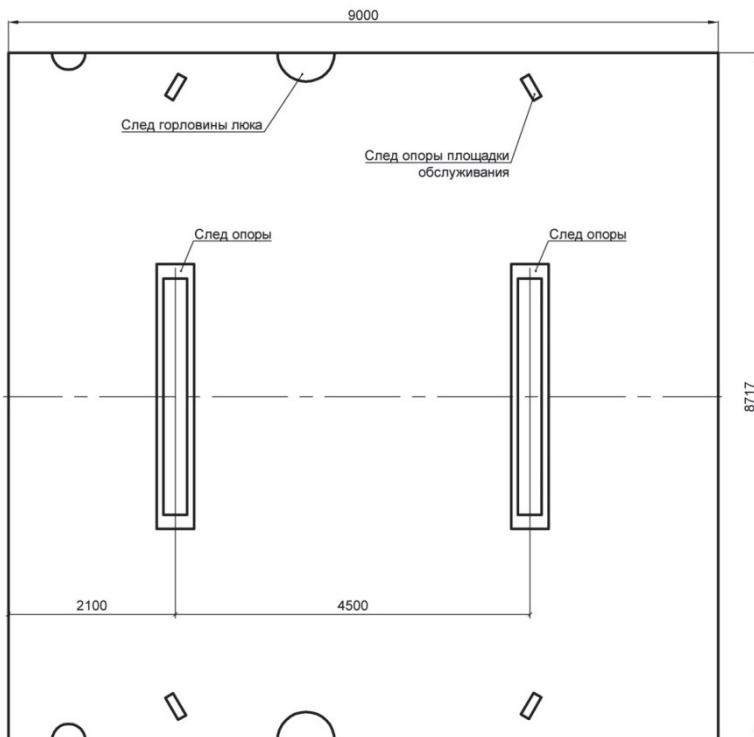


Рис.7.10. Развертка резервуара, подготовленная для раскладки нагревательной секции.

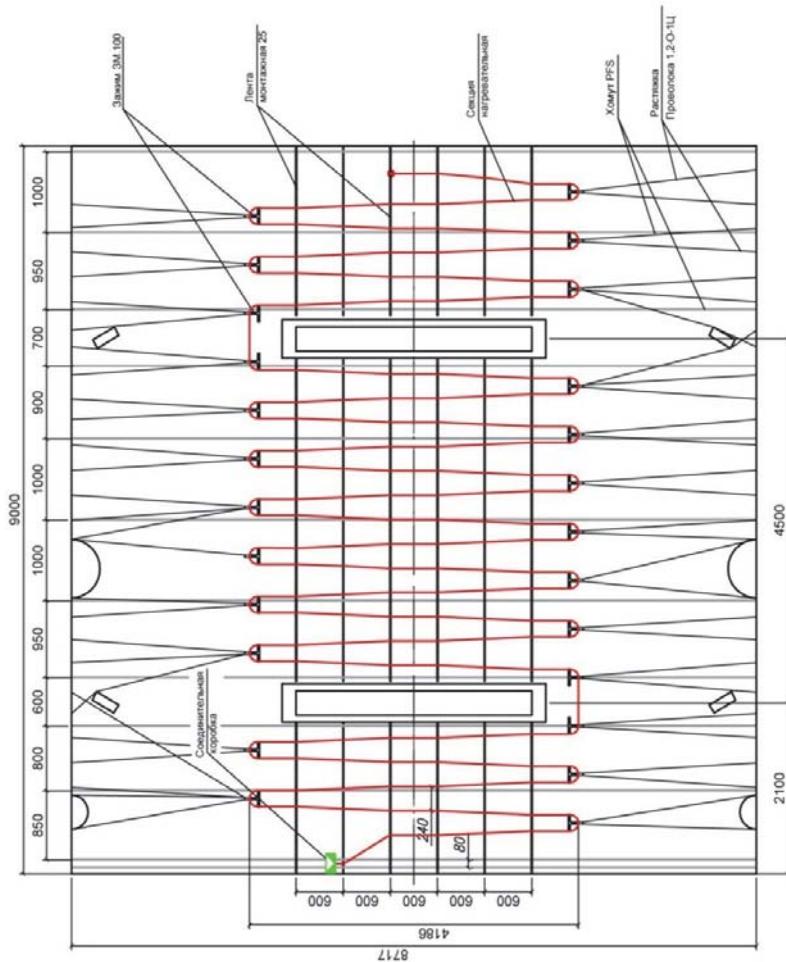


Рис. 7.11. Раскладка нагревательной секции на развертке резервуара.

Для обеспечения выше указанных требований и для точного определения раскладки нагревательной ленты на резервуаре необходимо отобразить нагревательную секцию на развертке резервуара. На развертке необходимо отразить все элементы, расположенные на резервуаре, которые могут повлиять на раскладку нагревательной ленты, например, такие, как опоры, горловины, люки и пр. Развертка резервуара показана на рис.7.10.

На рис.7.11 показана выполненная раскладка нагревательной секции с изображением всех крепежных элементов на развертке резервуара.

Для лучшего понимания проектного решения, также выполняется раскладка нагревательной секции на ранее подготовленном виде обогреваемого резервуара.

На рис.7.13 представлен чертеж обогреваемого резервуара с раскладкой нагревательной секции, расстановкой соединительных коробок и расположением крепежных элементов.

№№	Наименование резервуара	Диаметр/ Ширина, мм	Длина цилиндрической части резервуара, мм	Высота крышки, мм	Материал теплоизоляции	Толщина теплоизоляции боковой стенки, мм	Толщина теплоизоляции дна, мм	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	Температурные параметры, °C						
									Продукта		Окружающая среда		Макс. воздействия	Мин. включение	
									Требуемая	Макс. доп.	Мин.	Макс.			
1	Резервуар V=50 м ²	2776	9000	365	Минеральная вата	100	100	0,05	1,2	-2	37	-28	37	37	-20

Расчет проводится при условии полной теплоизоляции резервуара, его опор и прочих фитингов (при их наличии).

При выполнении проектирования и уточнении исходных данных, расчет должен быть откорректирован.

Корректировка расчета может привести к изменению марки и количества нагревательной пенты, а также параметров системы электрообогрева.

№№	Наименование резервуара	Диаметр/ Ширина, мм	Длина цилиндрической части резервуара, мм	Высота цилиндрической части резервуара, мм	Высота крышки, мм	Высота обогрева, мм	Шаг укладки ленты, мм	Температурные параметры, °C		Расчетные теплотехнические параметры, Вт	Нагревательная лента		Общая длина ленты, м	Мощность обогрева, Вт/м	Макс. длина ленты, м	Кол. лент обогрева, шт	Стартовый ток, А/м	Макс. температура, °C	
								Требуемая	Окр. среды воздействия		Марка	Мощность, Вт/м							
								Мин.	Макс.		Мин.	Макс.							
1	Резервуар V=50 м ²	2776	9000	-	365	0,48	300	-2	-28	37	1539,62	15НТР2-ВР	17,08	101	1725,08	160	1	0,181	59

Рабочая мощность 1,73 кВт

Рабочий ток 7,84 А

Стартовая мощность 4,02 кВт

Стартовый ток 18,28 А

Расчет проводится при условии полной теплоизоляции резервуара, его опор и прочих фитингов (при их наличии).

При выполнении проектирования и уточнении исходных данных, расчет должен быть откорректирован.

Корректировка расчета может привести к изменению марки и количества нагревательной ленты, а также параметров системы электрообогрева.

Рис.7.12. Пример отчета выполненного теплотехнического расчета.

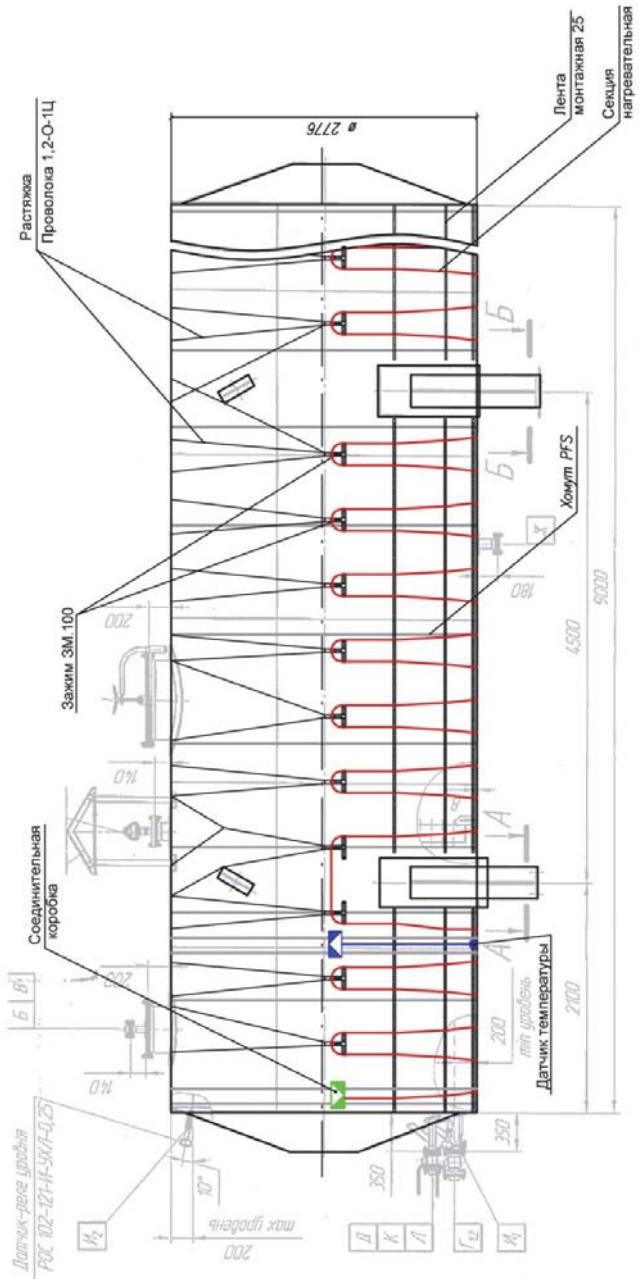


Рис. 7.13. Окончательный вид монтажного чертежа системы электрического обогрева горизонтального резервуара.

8. Система управления электрообогревом

Система управления электрообогревом предназначена для автоматического поддержания заданной температуры обогреваемых объектов, а также сигнализации о возникновении аварийных ситуаций таких как перегрев, короткое замыкание, повреждение изоляции, обрыв датчиков температуры и пр.

В состав системы управления входят:

- датчики температуры для измерения температуры обогреваемых объектов
- регуляторы температуры для управления системами электрообогрева
- автоматизированные системы управления (АСУ) для управления системами электрообогрева

8.1. Основные типы датчиков температуры

Датчики температуры, применяемые в системах промышленного электрообогрева подразделяются:

1. Термометры сопротивления
2. Термопреобразователи с унифицированным сигналом тока
3. Термопреобразователи универсальные с протоколом Modbus RTU

8.1.1. Термометры сопротивления

Термометры сопротивления (датчики температуры) предназначены для непрерывного измерения температуры обогреваемых объектов

Область применения – измерение температуры на расстояниях до 100 м от шкафа управления на основе как регуляторов температуры, так и АСУ.

Пример наименования:

Термометр сопротивления ТСПТ- 300-052-Pt100-B4-5-60/300,

где: ТСПТ-300-052- конструктивное исполнение (см рис 8.1)

- Pt100 тип НСХ
- В4-класс допуска
- 5-диаметр (мм) рабочей части корпуса датчиков
- 60- длина (мм) корпуса датчиков
- 300-длина удлинительного провода (300, 1500, 5000 и 10000 мм)



Рис.8.1. Пример конструкции термометра сопротивления типа ТСПТ-300.

Пример схемы управления с использованием термометров сопротивления приведен на рис.8.2.

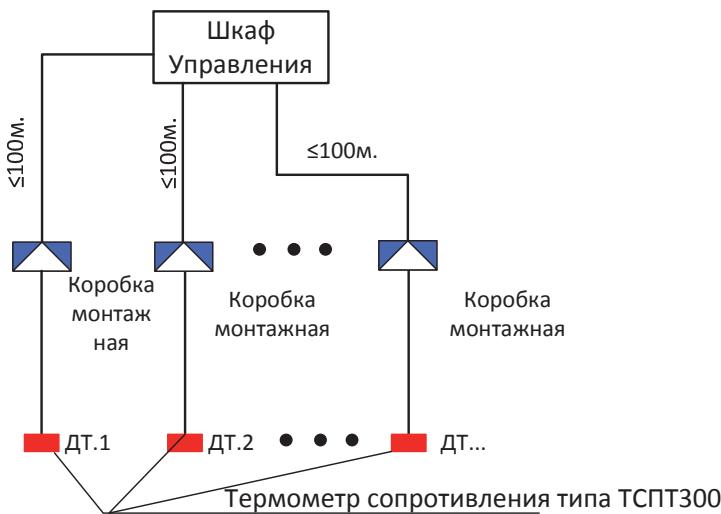


Рис.8.2. Схема управления с использованием термометров сопротивления.

8.1.2. Термопреобразователи с унифицированным сигналом тока

Термопреобразователи (ТП) с унифицированным сигналом тока представляют собой датчики температуры со встроенным нормирующим преобразователем в токовый сигнал и предназначены для непрерывного измерения температуры с преобразованием в унифицированный токовый сигнал 4..20 мА.

Область применения – измерение температуры на расстояниях до 1000м от шкафа управления на основе регуляторов температуры и АСУ.

Пример схемы управления с использованием термопреобразователей приведена на рис.8.3.

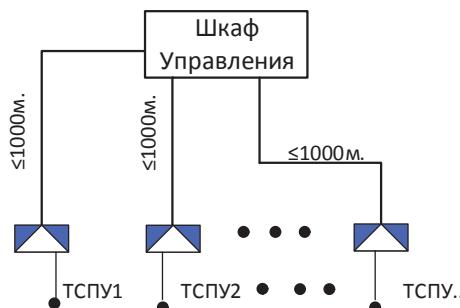


Рис.8.3. Схема управления с использованием термопреобразователей с унифицированным сигналом

Типы термопреобразователей, применяемых в системах электрообогрева (начало)

Обозначение применяемых термопреобразователей	Описание термопреобразователей
 ТСПУ-0104Exd-AГ02Exd/K-13/Pt100 (-50...+200)-кл.В-ГП УВК.0200	Предназначен для измерения температуры обогреваемых объектов с установкой на трубу при помощи устройства ввода под теплоизоляцию УВК.0200 с кабельным вводом под небронированный контрольный кабель диаметром 6..13мм (К13) или бронированный контрольный кабель диаметром 10..17мм (КБ17)

(окончание)

Обозначение применяемых термопреобразователей	Описание термопреобразователей
 ТСПУ-0104Ex/HSK-M-Ex, HSK-M-Ex/TC1388/5-Pt100(-50..+200) 1500мм КММСЭ-кл.В-№3	<p>Предназначен для измерения температуры емкостей и резервуаров с установкой на конструкции, находящиеся рядом с обогреваемым объектом с кабельным вводом под небронированный контрольный кабель (HSK-M-Ex) или бронированный контрольный кабель диаметром 10..17мм (КБ17) и датчиком температуры длинной установленного провода 1500мм(5000, 10000)</p>
 ТСПУ-0104Exd-BP12Exd/K-13/Pt100 (-50... +200)-кл.В-ГП	<p>Предназначен для измерения температуры воздуха с установкой на конструкции, находящиеся рядом с местом измерения температуры воздуха с применением Z-профиля с кабельным вводом под небронированный контрольный кабель диаметром 6..13мм (К13) или бронированный контрольный кабель диаметром 10..17мм (КБ17)</p>

В случае расположения нескольких ТП на небольших расстояниях друг от друга целесообразно подключить контрольные кабели от ТП в одну или несколько соединительных коробок, чтобы минимизировать количество контрольных кабелей до ШУ.

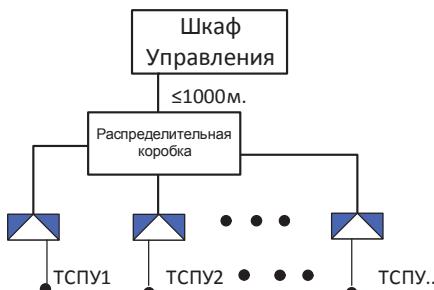


Рис.8.4. Схема управления с использованием термопреобразователей с унифицированы сигналом

8.1.3. Термопреобразователи универсальные с протоколом Modbus RTU

Термопреобразователи универсальные (датчики температуры) предназначены для измерения и непрерывного преобразования температуры обогреваемых объектов в цифровой сигнал на базе интерфейса RS485 с протоколом обмена данными Modbus RTU.

Область применения – измерение температуры на расстояниях до 1200м от шкафа управления на основе программируемых логических контроллеров с протоколом обмена данными Modbus RTU когда датчики температуры удалены друг от друга более чем на 100м (не более 32 датчиков на одной линии).

Типы применяемых универсальных ТП в системах электрообогрева

Обозначение Термопреобразователей универсальных	Описание
 ТПУ-0304Exd/M3-MB-BP11Exd/K-13,K-13/Pt100-(-50..+200)-кл.В-ГП УВК.0200	<p>Предназначен для измерения температуры обогреваемых объектов с установкой на трубопровод при помощи устройства ввода под теплоизоляцию УВК.0200 с кабельным вводом под небронированный контрольный кабель</p>
ТПУ-0304Exd/M3-MB-BP11Exd/КБ17,КБ17/Pt100-(-50..+200)-кл.В-ГП	<p>Предназначен для измерения температуры обогреваемых объектов с установкой на трубопровод при помощи устройства ввода под теплоизоляцию УВК.0200 с кабельным вводом под бронированный контрольный кабель</p>

Применение термопреобразователей универсальных с протоколом Modbus RTU позволяет существенно уменьшить количество контрольного кабеля от шкафа управления до датчиков температуры за счет объединения в шлейф и передачи нескольких сигналов по одному кабелю.

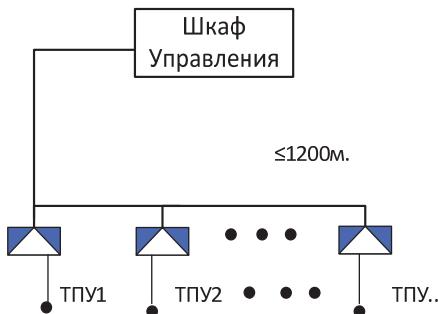


Рис.8.5. Схема управления с использованием термопреобразователей универсальных.

Примечание: возможно объединять в шлейф до 32 датчиков.

8.1.4. Системы удаленного измерения и передачи данных

Системы удаленного измерения и передачи данных (шкафы контрольные) предназначены для измерения и непрерывного преобразования температуры обогреваемого объекта с помощью от 8 до 32 термометров сопротивления и передачи информации на базе интерфейса RS485 с протоколом обмена данными Modbus RTU.

Область применения – измерение температуры на расстояниях до 1200 м от шкафа управления на основе программируемых логических контроллеров с удалением датчиков от контрольного шкафа в радиусе не более 100 м.

Обозначение систем удаленного измерения и передачи данных	Описание
ШК-32-Pt100-21-(-40..+55грС)-100 	шкаф контрольный на 32 датчика типа Pt100 количество каб. вводов 21 шт. диапазон температур эксплуатации -40..+55 °C адрес modbus 100
ШК-8-Pt100-10-(-40..+55грС) -100	шкаф контрольный на 8 датчиков типа Pt100 количество каб. вводов 10 шт диапазон температур эксплуатации -40..+55 °C адрес modbus 100
Блок питания ЕхБП-220/11x1	блок питания для шкафов контрольных

Примечание: конструкция ШК не позволяет ввести более 21 кабеля через кабельные ввода, поэтому для подключения 32 датчиков температуры необходимо объединять часть датчиков на один и тот же контрольный кабель.

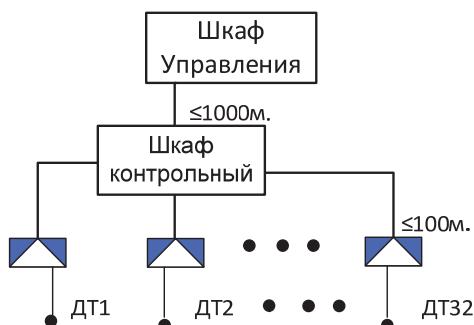
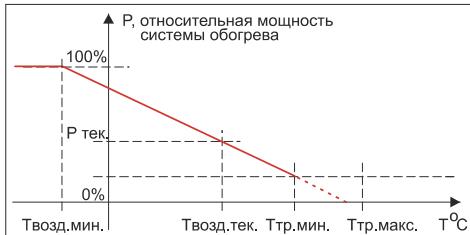


Рис.8.6. Схема управления с использованием системы удаленного измерения и передачи данных

8.2. Основные типы регуляторов температуры

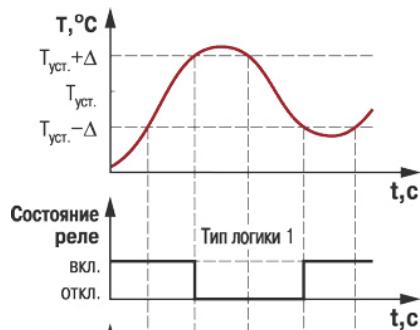
Регулятор температуры PT410



Регулятор температуры электронный PT410 предназначен для измерения температуры и управления процессом поддержания заданной температуры. Область применения – промышленный электрообогрев трубопроводов, резервуаров, всевозможных емкостей и т.д.

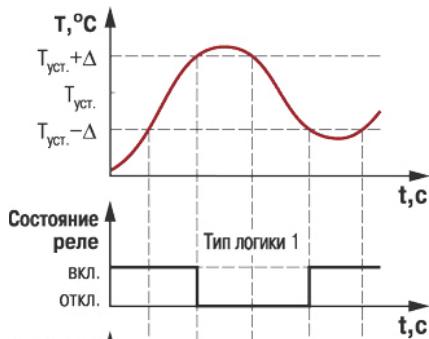
Регулятор обеспечивает возможность одноканального измерения температуры с помощью измерительных датчиков типа термометров сопротивления. Логика работы регулятора заключается в пропорциональном регулировании мощности обогрева в зависимости от измеренных температур поверхности и воздуха, что обеспечивает оптимальный процесс поддержания температуры.

Регулятор температуры PT420



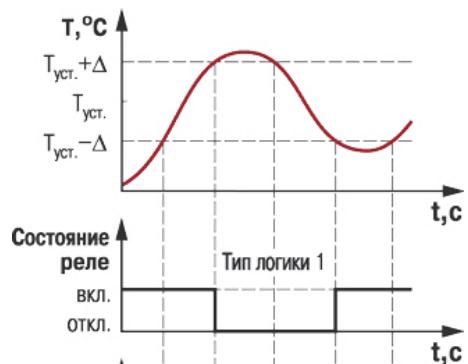
Регулятор температуры электронный PT420 2К предназначен для измерения температуры и управления процессом поддержания заданной температуры по двум каналам. Область применения – промышленный электрообогрев трубопроводов, резервуаров, всевозможных емкостей и т.д.

Регулятор обеспечивает возможность измерения температуры поверхности с помощью датчиков типа термометров сопротивления. Логика работы регулятора двухпозиционное регулирование по заданной температуре.

Регулятор температуры PT400

Регулятор температуры электронный РТ400 предназначен для измерения температуры и управления процессом поддержания заданной температуры по четырем каналам. Область применения – промышленный электрообогрев трубопроводов, резервуаров, всевозможных емкостей и т.д.

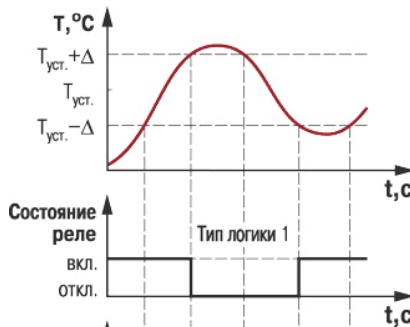
Регулятор обеспечивает возможность измерения температуры поверхности с помощью четырех датчиков типа термометров сопротивления. Логика работы регулятора двухпозиционное регулирование по заданной температуре.

Регулятор температуры 2TPM1

Терморегулятор ОВЕН 2TPM1 предназначен для измерения, регистрации или регулирования температуры по двум каналам.

Область применения – промышленный электрообогрев трубопроводов, резервуаров, всевозможных емкостей и т.д.

Регулятор обеспечивает возможность измерения температуры с помощью датчиков типа термопреобразователей с унифицированным сигналом.

Регулятор температуры TPM138B

Измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ 138 предназначен для измерения, регистрации и регулирования температуры, и одновременного управления несколькими (до 8-ми) исполнительными механизмами, а также для регистрации измеренных параметров на ПК. Регулятор имеет встроенные барьеры искрозащиты и обеспечивает возможность измерения температуры с помощью датчиков типа Термопреобразователи с унифицированным сигналом.

Программируемые логические контроллеры

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) предназначены для построения систем управления для измерения температуры и управления процессом поддержания заданной температуры.

Область применения – промышленный электрообогрев трубопроводов, резервуаров, всевозможных емкостей и т.д. с требованиями по диспетчеризации и передачи информации по протоколу Modbus RTU по интерфейсу связи RS485 или Ethernet.

Использование ПЛК позволяет организовать автоматизированные системы управления (АСУ) электрообогревом по определенному алгоритму в соответствие с пожеланиями заказчика, реализовать визуализацию процесса электрообогрева на жидкокристаллических панелях, а также обеспечить передачу информации на верхний уровень и управление из диспетчерской.

ООО ССТэнергомонтаж использует для проектирования систем АСУ ПЛК ведущих фирм производителей таких как ОВЕН (ПЛК110) и WAGO.

Капиллярный термостат exTHERM-AT

Взрывозащищенные термостаты навесного монтажа предназначены для регулирования и контроля термических процессов. Их можно использовать непосредственно во взрывоопасных зонах (зона 1 и зона 21). Термостаты поставляются в исполнении TW (реле температуры).

Термостат работает по принципу расширения газа или жидкости.

Электрическим переключающим устройством служит микровыключатель, расположенный внутри пластикового корпуса.

8.3. Классификация систем управления

8.3.1. Выбор системы управления

Выбор системы управления осуществляется в зависимости от назначения самой системы электрообогрева (типа технологического процесса).

Существует следующие основные типы процессов:

Защита от замерзания – процесс поддержания температуры продукта выше некоторого минимального значения. Как правило, такой процесс применяется для трубопроводов водоснабжения и канализации с требуемой температурой продукта не ниже +5°C.

Для реализации данного процесса применяются следующие системы управления:

1. Управление по температуре окружающего воздуха с пропорциональным регулированием мощности обогрева в зависимости от температуры окружающего воздуха. (регулятор температуры PT410 с одним датчиком температуры воздуха)
2. Управление по температуре поверхности трубы и температуре окружающего воздуха с пропорциональным регулированием мощности обогрева в зависимости от температуры окружающего воздуха (регулятор температуры PT410 с датчиком температуры воздуха и датчиком температуры трубы или термостат).
3. Управление по температуре поверхности трубы/резервуара (регулятор температуры PT420 с одним датчиком температуры поверхности типа термоопротивление или 2TPM1 с датчиком типа ТСПУ или термостаты).

Поддержание технологической температуры в широком диапазоне – поддержание температуры продукта в требуемом для нормального технологического процесса в диапазоне, который составляет более 10°C.

Для реализации данного процесса применяются система управления температуре поверхности трубы/резервуара (регулятор температуры РТ420 с одним датчиком температуры поверхности типа термосопротивление или 2TPM1 с датчиком типа ТСПУ или терmostаты).

Поддержание технологической температуры в узком диапазоне – поддержание температуры продукта в требуемом для технологического процесса диапазоне, который составляет менее 10°C и выход за который грозит аварийными ситуациями (серы, карбамид и пр.).

Для реализации данного процесса рекомендуется применять систему управления по температуре поверхности трубы/резервуара с дополнительными независимыми каналами контроля перегрева и недогрева. (регулятор температуры РТ420 с одним датчиком температуры поверхности типа термосопротивление или 2TPM1 с датчиком типа ТСПУ + такой же регулятор температуры с аварийным датчиком перегрева).

8.3.2. Управление обогревом подземных трубопроводов

Управление обогревом подземных трубопроводов осуществляется по тем же схемам, что и для надземных трубопроводов с той разницей, что в качестве окружающей среды здесь выступает грунт. Разумеется, что все трубопроводы одной системы управления должны находиться в одинаковых температурных режимах, т.е. все под землей и примерно на одинаковой глубине. Если же некоторые обогреваемые участки трубопроводов выходят на поверхность, то для них необходимо устанавливать отдельную систему управления и отдельные нагревательные секции. Также следует учесть, что температурные параметры грунта в месте установки датчика температуры грунта должны быть аналогичными температурным параметрам грунта в местах укладки трубопроводов (одинаковая глубина, отсутствие вблизи установки датчиков грунта теплых подвалов, колодцев и пр.). Кроме того, для повышения надежности и ремонтопригодности системы необходимо предусмотреть установку резервных датчиков температуры трубопроводов и грунта.

8.3.3. Управление обогревом резервуаров

Управление обогревом резервуаров осуществляется по датчику температуры поверхности т.к. емкости обладают большой инерционностью при нагреве/охлаждении.

8.4. Совместимость оборудования и рекомендации по выбору системы управления

В зависимости от типа обогреваемого объекта, удаленности датчиков температуры от шкафа управления и требований по диспетчеризации работы системы рекомендуются следующие варианты систем управления электрообогревом:

Вариант 1. Площадка с разветвленными трубопроводами и резервуары (не более 100 м от датчиков температуры до ШУ) без передачи данных в диспетчерскую

Тип ДТ регулятор	Термометры сопротивлений Pt100	Термопреобразователи с унифицированным сигналом тока ТСПУ	Термопреобразователи с Modbus RTU ТПУ	Системы удаленного измерения и передачи данных ШК
PT410	X			
PT420	X			
2TPM1	X			
TPM138B	X			
ПЛК				

В случае если датчики температуры удалены на расстояние не более 100 метров от шкафа управления, а также нет требований по передаче информации в диспетчерскую оптимально построение системы управления с использованием регуляторов температуры типа PT410, PT420, 2TPM1, TPM138B и термометров сопротивления

Вариант 2. Площадка с разветвленными трубопроводами и резервуары расстояние от датчиков температуры до ШУ от 100 м до 1000 м без диспетчеризации.

Тип ДТ регулятор	Термометры сопротивлений	Термопреобразователи с унифицированным сигналом тока	Термопреобразователи с Modbus RTU	Системы удаленного измерения и передачи данных
PT410				
PT420				
2TPM1		X		
TPM138B		X		
ПЛК				

В случае если датчики температуры удалены на расстояние более 100 м

от шкафа управления и нет требований по передаче информации в диспетчерскую - оптимально построение системы управления с использованием термопреобразователей с унифицированным токовым сигналом 4..20 мА, и регуляторами температуры типа 2TPM1, TPM138B.

Вариант 3. Площадка с разветвленными трубопроводами, расстояние от датчиков температуры до ШУ от 100 м до 1000 м с диспетчеризацией и удаленностью датчиков более чем на 100 м друг от друга.

Тип ДТ регулятор	Термометры сопротивлений	Термопреобразователи с унифицированным сигналом тока	Термопреобразователи с Modbus RTU	Системы удаленного измерения и передачи данных
PT410				
PT420				
2TPM1				
TPM138B				
ПЛК		X	X	

В случае если датчики температуры удалены от шкафа управления и друг от друга, на расстояние более 100 метров и есть требования по передаче информации в диспетчерскую на оптимально построение системы управления с использованием ПЛК и термопреобразователей с унифицированным сигналом или с Modbus RTU.

Вариант 4. Площадка с разветвленными трубопроводами (от 100 м до 1000 м от датчиков температуры до ШУ) с диспетчеризацией и удаленностью датчиков не более чем на 100 м друг от друга

Тип ДТ регулятор	Термометры сопротивлений	Термопреобразователи с унифицированным сигналом тока	Термопреобразователи с Modbus RTU	Системы удаленного измерения и передачи данных
PT410				
PT420				
2TPM1				
TPM138B				
ПЛК	X			X

В случае если датчики температуры удалены от шкафа управления более 100 метров, а друг от друга, на расстояние не более 100 метров есть требования по передаче информации оптимально построение системы управления с использованием ПЛК и систем удаленного измерения и передачи данных.

9. Шкафы управления

9.1. Основные типы шкафов

В соответствии с ТУ 3434-601-88851935-2011 ООО «ССТэнергомонтаж» проектирует и изготавливает шкафы следующих типов:

1. Шкафы управления ШУ
2. Шкафы силовые ШС
3. Шкафы автоматики ША

Конструктивно шкафы делятся на:

- шкафы напольные (предназначенные для установки на основание, цоколь, например, типа фирмы ABB типа Triline)
- шкафы навесные (предназначены для крепления на плоскую поверхность или стену, например, типа FW фирмы Hager)

По размещению шкафы делятся на:

- шкаф внутренней установки - шкаф, предназначенный для эксплуатации внутри помещений (например, типа FW фирмы Hager).
- шкаф наружной установки - шкаф, предназначенный для эксплуатации вне помещений (например, фирмы Провенто типа Mes или, фирмы Rittal типа CS).

Проектирование шкафов управления осуществляется на основании:

- технического задания
- Схемы электрической однолинейной
- Опросных листов на шкафы управления

9.2. Особенности проектирования шкафов

9.2.1. Проектирование шкафа управления (ШУ)

При проектировании ШУ необходимо учитывать следующие моменты:

- Место установки оборудования

В сухом отапливаемом помещении- корпус шкафа должен быть навесного или напольного исполнения со степенью защиты не менее IP41 (43) например типа FW фирмы Hager)

На улице вне взрывоопасной зоны корпус шкафа должен быть навесного или напольного исполнения, сертифицированный для эксплуатации в соответствующем диапазоне температур со степенью защиты не менее IP54, теплоизолированный с электрообогревателем внутри и соответствующими кабельными вводами, например, фирмы Провенто типа Mes или, фирмы Rittal типа CS.

На улице во взрывоопасной зоне корпус шкафа должен быть навесного или напольного исполнения, сертифицированный для эксплуатации в соответствующем диапазоне температур с соответствующей маркировкой взрывозащиты, теплоизолированный с электрообогревателем внутри и соответствующими кабельными вводами например фирмы Cortem.

- Фирма производитель электрооборудования

Производитель электрооборудования должен быть в соответствие с пожеланиями от заказчика или в соответствие с возможностями фирмы производителя шкафов. Наиболее предпочтительная фирма производитель электрооборудования –Hager, ABB и SE.



Рис.9.1. Пример шкафа управления ООО «ССТэнергомонтаж».

10. П1. Аналитический расчет тепловых потерь трубопроводов

10.1. Исходные данные для расчета тепловых потерь трубопроводов

При расчете тепловых потерь с поверхности трубопроводов при поддержании требуемой температуры требуются следующие исходные данные:

1. Температурные параметры: требуемая температура трубопровода (температура жидкости или температура внутренней стенки трубы) T_e , °C, расчетная минимальная температура окружающей среды T_h , °C.

2. Условия размещения трубопровода: на открытом воздухе, в помещении, подземно, подводно.

3. Коэффициенты теплопроводности (Вт/м·°C), материала трубопровода λ_{trp} , материала теплоизоляции λ_{uz} , материала кожуха $\lambda_{kож}$.

4. Геометрические параметры трубопровода: наружный диаметр D_h , м, внутренний диаметр D_{bh} , м.

5. Конструкция и толщина слоев теплоизоляции δ_{uz} , м.

6. Конструкция и толщина защитного кожуха $\delta_{kож}$, м.

10.2. Определение тепловых потерь трубопроводов при надземном расположении

Расчет мощности тепловых потерь от обогреваемых трубопроводов при поддержании требуемой температуры выполняется в предположении установившихся тепловых процессов, по алгоритмам для случая стационарной теплопередачи в цилиндрической стенке. Расчет мощности тепловых потерь проводится по формуле (П1):

$$Q_l = \frac{T_e - T_h}{R_{bh}^l + \sum_{i=1}^n R_i + R_h^l} \quad (\text{П1})$$

где: T_e – требуемая температура трубопровода, °C;

T_h – расчетная минимальная температура окружающей среды, °C;

R_{bh}^l – термическое сопротивление теплоотдаче от жидкости к трубопроводу, (м·°C)/Вт;

$\sum_{i=1}^n R_i$ – сумма термических сопротивлений самого трубопровода, теплоизоляционных и защитных слоев, (м·°C)/Вт;

R_h^l – термическое сопротивление теплоотдаче от защитного слоя трубопровода к окружающей среде, (м·°C)/Вт;

В свою очередь термические сопротивления теплоизоляции и термические сопротивления теплоотдаче трубопроводов определяются из соотношений:

$$R_{bh}^l = \frac{1}{\pi \cdot d_{bh} \cdot \alpha_{bh}}, R_i^l = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} \ln \frac{D_h^i}{d_{bh}^i}, R_h^l = \frac{1}{\pi \cdot D_h \cdot \alpha_h} \quad (5.2)$$

где: α_{bh} – коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенке трубопровода, Вт/(м²·°C);

α_h – коэффициент теплоотдачи от поверхности защитного слоя к окружающей среде, Вт/(м²·°C);

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя теплоизоляции, Вт/(м·°C);

$d_{\text{вн}}$, $d^i_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубопровода или i -го слоя, м;

D_h , D^i_h – наружный диаметр защитного кожуха трубопровода или i -го слоя, м.

Значения коэффициента теплоотдачи от поверхности защитного слоя к окружающей среде α_h рекомендованы в СП 41-103-2000 и приведены в Таблице П1.

Таблица П1. Значения коэффициента теплоотдачи α_h , Вт/(м²·°C).

Изолированный объект	В закрытом помещении		На открытом воздухе при скорости ветра***, м/с		
	Покрытия с малым коэффициентом излучения*	Покрытия с высоким коэффициентом излучения**			
			5	10	15
Горизонтальные трубопроводы	7	10	20	26	35
Вертикальные трубопроводы	8	12	26	35	52

* К ним относятся кожухи из оцинкованной стали, листов алюминиевых сплавов и алюминия с оксидной пленкой.

** К ним относятся штукатурки, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные краски (кроме краски с алюминиевой пудрой).

*** При отсутствии сведений о скорости ветра принимают значения, соответствующие скорости 10 м/с.

Коэффициент теплоотдачи α_h может быть определен по следующей формуле (П3)¹:

$$\alpha_h = 11.6 + 7 \cdot \sqrt{V_b} \quad (\text{П3})$$

где: V_b – скорость ветра, м/с.

При надземном расположении трубопровода в качестве расчетной минимальной температуры окружающей среды, при расчете тепловых потерь трубопроводов, принимается температура наиболее холодной пятидневки для района расположения трубопровода с обеспеченностью 0.92. Данный норматив используется при выполнении следующих условий:

При расчете тепловых потерь трубопроводов диаметром 100 мм и более.

При расчете тепловых потерь трубопроводов любых размеров, в случае протекания жидкостей, для которых допустимая степень охлаждения равна или превосходит разность между абсолютной минимальной температурой и температурой наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0.92.

¹-Формула рекомендована в «Тепловая изоляция в промышленности и строительстве», В.В.Руденко, Изд.БСТ, М.:1996 г.

При задании такой величины требуемой температуры трубопровода, что разность между требуемой температурой и минимальной допустимой для данной жидкости температурой равна или превосходит разность между абсолютной минимальной и температурой самой холодной пятидневки.

В других случаях расчет тепловых потерь трубопроводов проводится по абсолютной минимальной температуре, прежде всего для трубопроводов диаметром менее 100 мм.

Климатологические параметры района местоположения трубопровода принимаются по СНиП 23-01-99.

Если заказчик в техническом задании на проектирование системы электрообогрева задает конкретную минимальную температуру, отличающуюся от значений, определяемых по СНиП 23-01-99, то для расчета следует использовать заданную температуру.

При расположении трубопроводов в помещении в качестве минимальной температуры окружающей среды принимается минимальная температура помещения.

10.3. Определение тепловых потерь трубопроводов при прокладке в грунте

Расчет мощности тепловых потерь от поверхности трубопроводов, проложенных в грунте, при поддержании требуемой температуры проводится по формуле (П4):

$$Q_l = \frac{T_e - T_h}{R_{gh}^l + \sum_{i=1}^n R_i + R_{ep} + R_h^l} \quad (\text{П4})$$

где: T_e – требуемая температура трубопровода, $^\circ\text{C}$;

T_h – расчетная минимальная температура окружающей среды над поверхностью грунта, $^\circ\text{C}$;

R_{gh}^l – термическое сопротивление теплоотдаче от жидкости к трубопроводу, $(\text{м}\cdot^\circ\text{C})/\text{Вт}$;

$\sum_{i=1}^n R_i$ – сумма термических сопротивлений самого трубопровода, теплоизоляционных

и защитных слоев, $(\text{м}\cdot^\circ\text{C})/\text{Вт}$;

R_{ep} – термическое сопротивление грунта, $(\text{м}\cdot^\circ\text{C})/\text{Вт}$;

R_h^l – термическое сопротивление теплоотдаче от поверхности грунта к окружающей среде, $(\text{м}\cdot^\circ\text{C})/\text{Вт}$.

Термические сопротивления теплоизоляции трубопроводов и защитных слоев определяется также как при надземной прокладке (П5):

$$R_{gh}^l = \frac{1}{\pi \cdot d_{gh} \cdot \alpha_{gh}}, \quad R_i^l = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} \ln \frac{D_h^i}{d_{gh}^i} \quad (\text{П5})$$

где: α_{gh} – коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенке трубопровода, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$;

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя теплоизоляции, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$;

d_{gh}, d_{gh}^i – внутренний диаметр трубопровода или i -го слоя, м;

D_h, D_h^i – наружный диаметр защитного кожуха трубопровода или i -го слоя, м;

Термические сопротивления теплоотдаче с поверхности грунта и термическое сопротивление собственно грунта, окружающего трубопровод, определяются из следующих соотношений (П6):

$$R_h^l = \frac{1}{\alpha_h}, R_{ep} = \frac{1}{2\pi\lambda_{ep}} \ln \left[\frac{2h}{D_h} + \sqrt{\left(\frac{2h}{D_h} \right)^2 - 1} \right] \quad (\text{П6})$$

где: α_h – коэффициент теплоотдачи от поверхности грунта к окружающей среде, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

h – расстояние от оси трубопровода до поверхности земли;

λ_{ep} – коэффициент теплопроводности грунта.

Значения коэффициента теплоотдачи от поверхности грунта к окружающей среде α_h принимаются по СП II-3-79 таблице 6.

Согласно СП41-103-2000 при расстоянии от поверхности грунта до оболочки трубопровода менее 0.7 м за расчетную минимальную температуру рекомендуется принимать температуру самой холодной пятидневки. При расчете тепловых потерь трубопроводов, расположенных подземно на глубине более 0.7 м, в качестве расчетной температуры окружающей среды следует принимать среднюю температуру наиболее холодного месяца².

Климатологические параметры района местоположения трубопровода принимаются по СП 131.13330.2012.

Если заказчик в техническом задании на проектирование системы электрообогрева задает конкретную среднюю температуру наиболее холодного месяца, отличающуюся от значений, определяемых по СП 131.13330.2012, то для расчета следует использовать заданную температуру.

10.4. Определение тепловых потерь трубопроводов при подводном расположении

Расчет мощности тепловых потерь трубопроводов при их подводном расположении проводится по формуле (П7):

$$Q_l = \frac{T_e - T_h}{R_{bh}^l + \sum_{i=1}^n R_i + R_h^l} \quad (\text{П7})$$

где: T_e – требуемая температура трубопровода, $^\circ\text{C}$;

T_h – минимальная температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$;

R_{bh}^l – термическое сопротивление теплоотдаче от жидкости к трубопроводу, $(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$;

$\sum_{i=1}^n R_i$ – сумма термических сопротивлений самого трубопровода, теплоизоляционных и защитных слоев, $(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$;

²-Н.Н.Хренков. Технологические параметры трубопроводов, проложенных в вечномерзлом грунте. «Трубопроводный транспорт [теория и практика]», 2007, №1, с.062-067.

R_h^l – термическое сопротивление теплоотдаче от защитного слоя трубопровода к окружающей среде, (м·°C)/Вт;

Термические сопротивления теплоизоляции и термические сопротивления теплоотдаче трубопроводов, входящие в формулу (П7) определяются следующим образом:

$$R_{bh}^l = \frac{1}{\pi \cdot d_{bh} \cdot \alpha_{bh}}, \quad R_i^l = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_i} \ln \frac{D_h^i}{d_{bh}^i}, \quad R_h^l = \frac{1}{\pi \cdot D_h \cdot \alpha_h} \quad (\text{П8})$$

где: α_{bh} – коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенке трубопровода, Вт/(м²·°C);

α_h – коэффициент теплоотдачи от поверхности защитного слоя к окружающей среде, Вт/(м²·°C);

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя теплоизоляции, Вт/(м·°C);

d_{bh} , d_h^i – внутренний диаметр трубопровода или i -го слоя, м;

D_h , D_h^i – наружный диаметр защитного слоя трубопровода или i -го слоя, м.

Подводное расположение трубопроводов характеризуется более интенсивным теплообменом с окружающей средой. Значение коэффициента конвективной теплоотдачи с поверхности трубопроводов α_h при подводной прокладке составляет 300-400 Вт/(м²·°C).

При подводном расположении трубопровода в качестве минимальной температуры окружающей среды следует использовать минимальную температуру водоема (обычно 0-1°C).

11. П2. Аналитический расчет тепловых потерь резервуаров

11.1. Исходные данные для расчета тепловых потерь резервуаров

При расчете тепловых потерь с поверхности резервуаров при поддержании требуемой температуры требуются следующие исходные данные:

1. Температурные параметры: требуемая температура резервуара (температура жидкости или температура внутренней стенки резервуара) T_e , °C, расчетная минимальная температура окружающей среды T_h , °C.
2. Условия размещения резервуара: на открытом воздухе, в помещении.
3. Коэффициенты теплопроводности (Вт/м·°C), материала резервуара λ_p , материала теплоизоляции λ_{iz} , материала кожуха $\lambda_{kож}$.
4. Геометрические параметры резервуара: наружный диаметр D_{n-p} , м, длина L , м, высота крышки h_k , м.
5. Конструкция и толщина слоев теплоизоляции δ_{iz} , м.
6. Конструкция и толщина защитного кожуха $\delta_{kож}$, м.

11.2. Определение тепловых потерь резервуаров при надземном расположении

Расчет мощности тепловых потерь от обогреваемых резервуаров при поддержании требуемой температуры выполняется в предположении установившихся тепловых процессов, по алгоритмам для случая стационарной теплопередачи в плоской стенке. Расчет удельной мощности тепловых потерь проводится по формуле (П9).

$$Q_s = \frac{T_e - T_h}{R_{gh}^s + \sum_{i=1}^n R_i^s + R_h^s} \quad (\text{П9})$$

где: Q_s – удельные теплопотери с поверхности резервуара, Вт/м²;

T_e – требуемая температура резервуара, °C;

T_h – расчетная минимальная температура окружающей среды, °C;

R_{gh}^s – термическое сопротивление теплоотдаче от жидкости к резервуару, (м²·°C)/Вт;

$\sum_{i=1}^n R_i^s$ – сумма термических сопротивлений самого резервуара, теплоизоляционных и защитных слоев, (м²·°C)/Вт;

R_h^s – термическое сопротивление теплоотдаче от защитного слоя резервуара к окружающей среде, (м²·°C)/Вт;

В свою очередь термические сопротивления теплоизоляции и термические сопротивления теплоотдаче резервуаров определяются из соотношений:

$$R_{gh}^s = \frac{1}{\alpha_{gh}}, \quad R_i^s = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad R_h^s = \frac{1}{\alpha_h} \quad (\text{П10})$$

где: $\alpha_{\text{шн}}$ – коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенке резервуара, Вт/(м²·°C);

α_h – коэффициент теплоотдачи от поверхности защитного слоя к окружающей среде, Вт/(м²·°C);

λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя теплоизоляции, Вт/(м·°C).

Полные теплопотери резервуара определяются по формуле (П11):

$$Q_{\text{ном}} = Q_s \cdot S_{p.m/uз} \quad (5.11)$$

где: $Q_{\text{ном}}$ – полные теплопотери с поверхности резервуара, Вт;

Q_s – удельные теплопотери с поверхности резервуара, рассчитанные по формуле (9), Вт/м²;

$S_{p.m/uз}$ – полная площадь поверхности резервуара по теплоизоляции (включая крышки/торцы), м².

Значения коэффициента теплоотдачи от поверхности защитного слоя резервуара к окружающей среде α_h рекомендованы в СП 41-103-2000 и приведены в Таблице П2.

Таблица П2. Значения коэффициента теплоотдачи α_h , Вт/(м²·°C).

Изолированный объект	В закрытом помещении		На открытом воздухе при скорости ветра***, м/с		
	Покрытия с малым коэффициентом излучения*	Покрытия с высоким коэффициентом излучения**			
	5	10	15		
Плоская стенка	8	12	26	35	52

* К ним относятся кожухи из оцинкованной стали, листов алюминиевых сплавов и алюминия с оксидной пленкой.

** К ним относятся штукатурки, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные краски (кроме краски с алюминиевой пудрой).

*** При отсутствии сведений о скорости ветра принимают значения, соответствующие скорости 10 м/с.

Коэффициент теплоотдачи α_h может быть определен по приведенной выше формуле (П3).

При надземном расположении резервуара в качестве расчетной минимальной температуры окружающей среды, при расчете тепловых потерь резервуаров, принимается температура наиболее холодной пятидневки для района расположения резервуара с обеспеченностью 0.92.

Климатологические параметры района местоположения резервуара принимаются по СНиП 23-01-99. Если заказчик в техническом задании на проектирование системы электрообогрева задает конкретную минимальную температуру, отличающуюся от значений, определяемых по СНиП 23-01-99, то для расчета следует использовать заданную температуру. При расположении резервуаров в помещении в качестве минимальной температуры окружающей среды принимается минимальная температура помещения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

12. П3. Коэффициент запаса

Согласно рекомендациям ГОСТ IEC 60079-30-2-2011 и СП 41-103-2000 при проведении расчетов тепловых потерь трубопроводов/резервуаров следует применять коэффициент запаса (коэффициент неучтенных потерь, коэффициент безопасности).

Коэффициент запаса принимается с учетом следующих факторов, влияющих на потерю тепла:

- а) разрушение теплоизоляции;
- б) колебаний напряжения питания;
- в) потеря напряжения в цепи питания;
- г) потеря напряжения в электронагревателе;
- д) качества монтажа теплоизоляции и др.

В случае использования саморегулирующихся нагревательных лент коэффициент запаса равен 1.15-1.2 за счет большей динамичности характеристик кабелей данного типа.

Представленные в данном методическом пособие материалы (текст, таблицы, фотографии, картинки, программы) предполагаются верными и должны самостоятельно оцениваться пользователем на пригодность в использование. ООО «ССТэнергомонтаж», равно как и авторы данного методического пособия не дают гарантий по полноте представленной информации и снимают с себя ответственность в связи с ее использованием. ООО «ССТэнергомонтаж» и авторы данного методического пособия, ни при каких обстоятельствах, не несут ответственности за случайный, косвенный или любой возможный ущерб, возникший в результате использования, представленных в данном методическом пособии материалов, методов, оборудования, программ.

ООО «ССТэнергомонтаж» оставляет за собой право вносить изменения в данное методическое пособие.