

ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВ  
ТРУБОПРОВОДОВ,  
РЕЗЕРВУАРОВ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ  
В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



**Фонарев 3. И.** Электроподогрев трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования в нефтяной промышленности. — Л.: Недра, 1984. — 148 с.

В книге рассмотрены различные виды электронагревательного оборудования, предназначенного для применения на предприятиях нефтяной промышленности. Основное внимание уделено созданным в СКВ «Транснефтеавтоматика» гибким и погружным нагревателям, которые нашли широкое применение в системе транспорта и хранения нефтепродуктов. Освещены вопросы электроотопления, электроподогрева воды и воздуха.

Для широкого круга специалистов нефтяной промышленности, нефтеобес- (Печения и других отраслей, связанных с транспортированием вязких и застывающих продуктов.

Табл. 32, ил. 62, список лит. 24 назв.

Сложной задачей для предприятий нефтяной промышленности, а также для других отраслей, является подогрев и транспортирование вязких и застывающих нефтепродуктов, особенно мазутов, битумов, гудронов и т. д. Большие трудности в этом испытывают многочисленные распределительные нефтебазы и нефтесклады системы Госкомнефтепродукта СССР, проводящие операции по приему, хранению и реализации широкого диапазона вязких и застывающих нефтепродуктов.

В настоящее время для разогрева трубопроводов и технологического оборудования (насосов, счетчиков, запорной арматуры и т. д.) используются главным образом пар и перегретая вода. Для подогрева чаще пользуются паром из-за сравнительной несложности получения. Пар, как теплоноситель, характеризуется большим теплосодержанием, возможностью транспортирования по трубопроводам. Несмотря на указанные преимущества, паровой подогрев имеет ряд недостатков. С помощью пара очень трудно, а порой и невозможно обогреть оборудование сложной конфигурации, например насосы, запорную арматуру и т. д. Температура подогрева продукта с помощью пара обычно не превышает  $150^{\circ}\text{C}$ , при этом температурный режим трудно поддается регулированию.

Из-за опасности замерзания конденсата при подогреве трубопроводов и технологического оборудования, расположенного на открытом воздухе, пар приходится подавать безостановочно, что приводит к значительному перерасходу пара и определяет низкую экономическую эффективность его применения. Даже при сравнительно небольшой потребности в теплоносителе, что в основном относится к распределительным нефтебазам, необходимо соорудить специальные здания котельных, склады топлива, систему паропроводов и пароподогревателей.

При использовании перегретой воды регулирование температуры нагрева трубопроводов возможно только путем снижения ее расхода, что чрезвычайно сложно. Регулирование в холодные периоды года при эксплуатации на открытом воздухе становится вообще невозможным, так как при снижении расхода горячая вода быстро остывает и замерзает в трубопроводе, что приводит к аварии. Сложность эксплуатации теплоспутников является причиной того, что замерзание теплоносителя в трубопроводах — довольно частое явление. Чаще всего это происходит при пуске и освоении производства, при отрицательных температурах окружающего воздуха и влечет за собой прекращение перекачки и остановку производства.

Применение электронагревателей для подогрева технологического оборудования и трубопроводов выявило их значительные преимущества по сравнению с водо- и пароспутниками во многих

технологических процессах. Электроподогрев особенно выгоден при периодической потребности в подогреве, при необходимости регулирования температурного режима, а также при подогреве протяженных трубопроводов и сложного по форме технологического оборудования. Электроподогрев можно в любое время включать и выключать. Процессы электроподогрева легко могут быть автоматизированы. Поэтому в этих случаях, несмотря на более высокую стоимость электроэнергии по сравнению с паром и горячей водой, электроподогрев более экономичен и способствует улучшению условий труда и повышению производительности.

Несмотря на отмеченные преимущества, широкому распространению электроподогрева до последнего времени препятствовало отсутствие надежных и экономичных электронагревателей, предназначенных для подогрева резервуаров, трубопроводов и технологического оборудования. Восполнению этого пробела в определенной степени способствовала работа по созданию электронагревателей, проводившаяся в течение ряда лет в СКВ «Транснефтеавтоматика» по заданию Госкомнефтепродукта СССР.

Результаты этой работы подробно изложены в предлагаемой книге. В ней дано описание разработанных поверхностных и погружных нагревателей для подогрева трубопроводов, насосов, сливо-наливных устройств, резервуаров и железнодорожных цистерн. Особое внимание уделено принципиально новым по конструкции гибким ленточным нагревателям. Специальная глава посвящена вопросам электроподогрева трубопроводов во взрывоопасных средах. Показаны примеры комплексного применения средств электроподогрева на нефтебазах.

В разделе по экономическому обоснованию электроподогрева приведены результаты обработки материалов по обследованию применяемых систем электроподогрева. Экономическая эффективность электроподогрева подтверждается опытом эксплуатации.

Системы комплексного электроподогрева, включающие ленточные и погружные нагреватели, используются более чем на 150 нефтебазах системы Госкомнефтепродукта СССР. Ленточные нагреватели эксплуатируются на нефтеперерабатывающих заводах, на многих предприятиях газовой и химической промышленности, в системах централизованной смазки.

Положительная оценка работниками нефтяной промышленности результатов эксплуатации описанных электронагревателей, а также подтвердившаяся на практике их эффективность послужили основанием для организации заводского изготовления. В настоящее время налажено производство гибких ленточных и кабельных нагревателей, погружных резервуарных и железнодорожных электрогрелок. Готовятся к передаче в массовое производство панельные и кабельные нагреватели для систем электроотопления. Таким образом, заложена реальная база для широкого внедрения электронагревателей в систему нефтеснабжения, нефтяную и другие отрасли промышленности.

## I. СИСТЕМЫ ПОДОГРЕВА ТРУБОПРОВОДОВ И НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ КАБЕЛИ

В СССР и за рубежом разработаны и эксплуатируются системы электроподогрева трубопроводов, которые можно разделить на две основные группы. 1. Системы косвенного обогрева, в которых трубопровод нагревается теплотой от нагревателя-спутника, проложенного параллельно или спирально намотанного на трубопровод. К этой группе относятся системы подогрева с использованием нагревательных кабелей, нагревательных лент, на основе поверхностного эффекта. 2. Системы прямого обогрева, в которых ток пропускается непосредственно через обогреваемый трубопровод.

К наиболее распространенным системам косвенного подогрева следует отнести системы подогрева с помощью нагревательных кабелей круглого поперечного сечения и плоских нагревательных лент. Основные преимущества нагревательных кабелей — сравнительная несложность изготовления и возможность монтажа на оборудовании различной формы. Достоинством нагревательных лент является плотное прилегание к обогреваемому объекту, что обеспечивает эффективную теплопередачу.

Из систем прямого подогрева наибольшее распространение получил прямой электроподогрев трубопроводов, иначе называемый импедансным [19]. При этом способе переменное напряжение подключается к концам обогреваемого участка трубы. Обозначение «импедансный» объясняется тем, что теплота, выделяемая в стальных трубопроводах при прохождении по ним электрического тока, зависит как от электрических, так и от магнитных свойств стали. При этом нагрев вызывается и определяется активными, гистерезисными и вихревыми потерями, т. е. некоторым эквивалентным суммарным или импедансным сопротивлением трубопровода переменному току.

При импедансном подогреве переменный ток большой силы и низкого напряжения протекает непосредственно по подогреваемому трубопроводу, играющему роль проводника электрического тока, и нагревает его стенки, от которых равномерно подогревается находящийся в трубопроводе продукт.

При надземной прокладке необходима электроизоляция между опорами и трубопроводом. Электробезопасность при эксплуатации прямой системы подогрева обеспечивается обычно тем, что

подаваемое через понижающие трансформаторы напряжение не превышает 50—60 В. Поскольку сам трубопровод является нагревателем, то исключается возможность выхода из строя системы подогрева, что случается при косвенном подогреве из-за перегорания применяемых нагревательных элементов. Другое преимущество системы прямого подогрева — простота обслуживания. Система прямого подогрева может быть применена и на новых, и на действующих трубопроводах, так как не требуется снимать тепловую изоляцию.

Значительным недостатком прямого подогрева является необходимость снижать напряжение питающего тока до 50—60 В. Это усложняет систему, так как требует установки громоздких и дорогостоящих трансформаторов. Кроме того, обогреваемый трубопровод должен быть электроизолирован — от соседних — участков трубопровода и другого оборудования, что удорожает монтаж. Недостатком способа является также сложность обогрева отводов, запорной арматуры, труб разных диаметров. Видимо, эти причины определяют сравнительно небольшое число эксплуатируемых систем прямого подогрева.

#### **Система подогрева на основе поверхностного эффекта**

Для подогрева протяженных трубопроводов длиной до 10 км и более и диаметром до 500—700 мм может быть использован поверхностный эффект, возникающий при коаксиальном расположении проводников тока в трубопроводе. Основой системы подогрева в этом случае являются вспомогательные нагревательные трубопроводы-спутники, привариваемые по всей длине нагреваемого трубопровода. В нагревательных трубопроводах прокладывается токоведущий кабель. Питающий ток проходит по кабелю и возвращается к источнику напряжения через нагревательный трубопровод, концентрируется во внутреннем слое этого трубопровода, одновременно разогревая его (рис. 1). Благодаря поверхностному эффекту, как называется это явление, наружная поверхность нагревательного трубопровода получается электрически нейтральной. Разогрев нагревательного трубопровода (а от него и основного) происходит за счет теплопроводности. Электрические и магнитные проявления при поверхностном подогреве являются достаточно сложными.

В работе [9], посвященной изучению путей практического использования поверхностного эффекта, подробно исследованы связанные с ним явления намагничивания и разогрева стальных труб переменным электромагнитным полем. В результате получены выражения для определения характеристик поля в ферромагнитных материалах с учетом явления гистерезиса, предложена методика расчета и определена комплексная магнитная проницаемость для ряда широко распространенных конструкционных сталей, используемых для изготовления нефтепроводных труб. Пока-

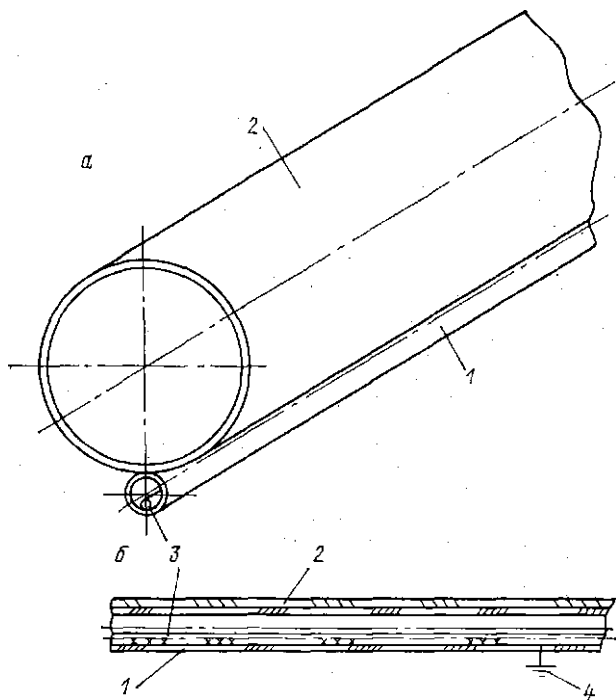


Рис. 1. Схема обогрева трубопровода на основе поверхностного эффекта.

а — общий вид; б — сечение по вспомогательному трубопроводу.  
 1 — вспомогательный (греющий) трубопровод; 2 — обогреваемый трубопровод; 3 — токоведущий (термостойкий) кабель; 4 — заземление.

зана перспективность применения стальных нагревательных труб-спутников для реализации возникающего поверхностного эффекта.

Нагревательная труба-спутник представляет собой стальную трубу диаметром от 15 до 40 мм, внутри которой проложен токоведущий кабель с теплостойкой изоляцией. Один конец кабеля соединяется с нагревательной трубой, к другому концу кабеля и трубе подключается источник питания. Нагревательная труба устанавливается с помощью сварки и заключается в общую с ним тепловую изоляцию. Переменный ток при протекании по нагревательной трубе распределяется по сечению неравномерно. Наибольшая плотность тока будет на внутренней поверхности, наименьшая — на наружной. Если толщина стенки нагревательной трубы превышает длину электромагнитной волны в стали при частоте тока 50 Гц, то напряжение на наружной поверхности практически должно отсутствовать. Такие нагреватели, возможно, будут электробезопасными, что позволит выполнить и безопасный обогрев трубопроводов.

На основе выполненных исследований получена методика электротехнического расчета стальных нагревательных труб-спут-

ников. Расчет нагревательных труб проводят для определения требуемой удельной мощности, которая складывается из мощностей, выделяющихся в стальной нагревательной трубе (85—90%) и токоведущем кабеле (10—15%). При использовании нескольких нагревательных труб  $n$  мощность  $P_m$ , выделяющаяся в одной трубе при общей мощности  $P$ , составляет, Вт/м,

$$Y_T = (0,85 - 0,9) Y/\text{я}. \quad (1)$$

Удельная мощность единицы поверхности нагревательной трубы при  $\alpha = 90^\circ \text{C}$  рассчитывается по диаметру и рабочей температуре. Для этого определяется напряжение магнитного поля на внутренней поверхности нагревательной трубы, а затем модуль и аргумент комплексной магнитной проницаемости. Напряжение на единицу длины нагревательной трубы, В/м, определяется по формуле

$$U_H = I z_n, \quad (2)$$

где  $z_n$  — полное удельное сопротивление на единицу длины нагревательной трубы, включая кабель. Важным показателем является напряжение на наружной поверхности нагревательной трубы  $U_T$ , характеризующее электробезопасность. По экспериментальным данным,  $U_T$  составляет 5—30 мВ/м при мощности 30—150 Вт/м и толщине стенки нагревательной трубы 2—3,5 мм.

Тепловой расчет нагревательных труб проводится для выбора класса нагревостойкости электроизоляционного материала токоведущего кабеля. При обогреве трубопроводов известны температура транспортируемого продукта  $t_n$  и мощность  $P$ , Вт/м. Методика теплового расчета нагревателей разработана исходя из  $P$  и  $t_n$ .

При обогреве нагревательными трубами-спутниками температура по периметру обогреваемого трубопровода распределяется неравномерно. По линии приварки нагревательной трубы температура наибольшая и по мере удаления от этой линии снижается. Этот температурный перепад  $\Delta A$  может достигать больших значений и вызывать механические напряжения в материале труб. Предельное значение перепада не должно превышать 7—12°C. Для этого при обогреве трубопроводов больших диаметров необходимо применять несколько нагревательных труб, число которых определяется по заданному значению температурного перепада. Установлено, что одну нагревательную трубу монтируют для обогрева трубопроводов диаметром до 245 мм, две трубы — до 426 мм, три трубы — до 630 мм и т. д.

Передача теплоты от токоведущего кабеля к нагревательной трубе осуществляется через тонкую воздушную прослойку. Согласно работе [9] при мощности 30—150 Вт/м температура кабеля обычно на 5—17°C выше температуры нагревательной трубы.

В результате проведенных исследований установлен диапазон классов нагревостойкости электроизоляционных материалов для токоведущих кабелей в зависимости от температуры транспорта-

руемого продукта. Если температура продукта  $t = 50-60^\circ\text{C}$ , то изоляция кабеля может быть класса А ( $t_{\text{к}}=150^\circ\text{C}$ ); при  $t = 70-80^\circ\text{C}$  — класса В ( $t_{\text{к}}=130^\circ\text{C}$ ); при  $t = 90-100^\circ\text{C}$  — класса F ( $t_{\text{к}}=155^\circ\text{C}$ ); при  $t = 110-120^\circ\text{C}$  — класса H ( $t_{\text{к}}=180^\circ\text{C}$ ).

В работе доказывается, что отсутствие потенциала или очень небольшое его значение на поверхности нагревательных труб и нагреваемого трубопровода дает возможность для нагрева непосредственно подключать напряжение до 10 кВ. Это может обеспечить питание от одной точки участка трубопровода длиной в несколько километров, естественно, при применении, высоковольтных питающих кабелей. В качестве источников питания систем обогрева рекомендуется использовать одно- и трехфазные силовые трансформаторы. Конструкция их должна предусматривать возможность регулирования напряжения при изменении тепловых потерь или условий разогрева.

Способ сварки при установке нагревательных труб должен быть таким, чтобы обеспечить надежный тепловой контакт. Сварочный шов можно выполнять прерывным с шагом 100—150 мм и шириной просвета 50—100 мм.

Основным защитным мероприятием от поражения обслуживающего персонала электрическим током является многократное заземление обогреваемого трубопровода. Расстояние между точками заземления должно выбираться таким, чтобы возможное напряжение на поверхности трубопровода не превышало допустимых значений по нормам техники безопасности. Кроме того, необходимо учитывать и требования пожаровзрывобезопасности. В общем случае расстояние между точками заземления должно находиться в пределах 100—300 м.

Расчеты экономической эффективности от применения поверхностного эффекта для обогрева протяженных трубопроводов по сравнению с транспортировкой по «горячему» мазутопроводу с огневым подогревом показали, что при стоимости нагревательного кабеля на напряжение 6000 В, равной 3500 руб./км, экономия капитальных затрат на сооружение электрообогреваемого трубопровода составляет примерно 1090 тыс. руб. Экономия эксплуатационных расходов превышает 80 тыс. руб./год при длине трубопровода 120 км.

Анализируя преимущества и недостатки систем подогрева протяженных трубопроводов на основе поверхностного эффекта, следует сказать, что использование повышенного напряжения связано с необходимостью применения высоковольтного и теплостойкого кабеля. Известно, что высоковольтные кабели допускают незначительные перегрузки из-за недопустимости повышения температуры изоляции. Возникающие при нагреве тепловые потоки от проводящих жил в окружающую среду снижают электрическую прочность высоковольтной изоляции до аварийного уровня. Поэтому применение высоковольтных кабелей в качестве питающих для нагревательных труб связано с очень большими сложностями. Значительные трудности, как представляется, должны

возникнуть при протаскивании в трубы питающих кабелей большой длины, при соединении этих кабелей между собой, особенно при напряжениях от 500 В и выше, а тем более 3000 или 5000 В.

Однако, несмотря на определенные недостатки, эти системы являются наиболее предпочтительными для подогрева протяженных трубопроводов и поэтому получают применение в трубопроводной практике.

В качестве примера использования поверхностного эффекта для электроподогрева трубопроводов, можно указать на введенный в эксплуатацию подводный трубопровод с подогревом, который соединяет нефтеперерабатывающий завод со швартовочным причалом [22]. Диаметр трубопровода 600 мм, протяженность 3,8 км, толщина стенки 12,7 мм. Сооружение трубопровода с подогревом было вызвано необходимостью перекачки высоковязкой нефти, доставляемой в танкерах. Трубопровод состоит из подводного участка протяженностью 3,6 км, проложенного на дне на глубине 2—14 м, наземного участка протяженностью 0,15 км, сооруженного на территории нефтеперерабатывающего завода, и участка длиной 0,05 км, используемого в качестве стояка причала.

Теплоизоляция нефтепровода состоит из нескольких слоев вспененного полиуретана толщиной 50 мм и водонепроницаемого слоя эластомерной мастики на битумной основе толщиной 3 мм. Поверх мастики нанесено полиэтиленовое покрытие толщиной 3 мм. Кроме того, на каждом конце трубы имеются специальные приспособления, выполненные из полиуретановых эластомеров.

Система подогрева состоит из четырех нагревательных труб диаметром 33 мм с толщиной стенки 3,5 мм, приваренных по всей длине к трубопроводу. Одна из труб резервная. Токоведущий кабель вводится в нагревательные трубы через соединительные коробки. Мощность нагрева принята из расчета 100 Вт на 1 м нагревательной трубы, напряжение питающей сети 1500 В. Питание системы осуществляется от общего источника, расположенного на берегу. Оптимальная температура подогрева, обеспечивающая минимальные эксплуатационные затраты, определена в 70° С. Бесперебойное функционирование системы гарантируется в течение 20 лет.

Система подогрева обеспечивает увеличение "продолжительности срока службы токоведущего кабеля благодаря относительно низким рабочим температурам. Система подогрева полностью автоматизирована, имеется возможность контроля за температурой перекачки, автоматического и ручного регулирования температуры предварительного подогрева.

### **Нагревательные кабели**

Нагревательные кабели в настоящее время начинают все более широко применяться для подогрева трубопроводов и технологического оборудования. Ряд научно-исследовательских институ-

тов страны, в том числе ПромстройНИИпроект (г. Красноярск), Институт мерзлотоведения СО АН СССР проводят исследования по применению кабелей для подогрева инженерных коммуникаций в условиях низких температур. Кабели уже используются для предотвращения замерзания водопроводных и канализационных сетей при подземной прокладке в зоне сезонного промерзания или в мерзлых грунтах. Опыт применения кабелей в Якутии [2>] указывает на эффективность и экономичность обогрева различных трубопроводов и при надземной прокладке.

В связи с ограниченным пока выпуском в стране специальных нагревательных кабелей ПромстройНИИпроект разработан и внедрен метод прокладки водопроводных сетей в зоне сезонного промерзания грунтов с использованием для подогрева силовых и специальных кабелей марок КОБД, КТО, КТП, ТГВШ и др. Следует отметить, что проблема кабельного подогрева может быть полностью решена только при организации промышленного выпуска широкого диапазона специальных нагревательных кабелей.

В настоящее время за рубежом выпускаются нагревательные кабели различных модификаций, разворачивается их производство на ряде предприятий нашей страны, в том числе по разработкам ВНИИ КП и СКВ «Транснефтеавтоматика».

В зависимости от требуемой рабочей температуры нагрева и назначения нагревательные кабели имеют оболочки из металла, поливинилхлорида, фторопласта или кремнийорганической резины, а нагревательную жилу — из меди или сплавов сопротивления. Наибольшее распространение в зарубежной практике получили кабели с минеральной изоляцией и металлической оболочкой, так называемые кабели МИ. Кабели МИ предназначены для работы при температуре до  $800^{\circ}\text{C}$  и напряжении до 600 В. В зависимости от требуемой мощности и исполнения выпускается несколько типоразмеров кабелей МИ.

- Спрессованная окись магнезия, наиболее часто используемая в кабелях МИ в качестве электрической изоляции, имеет высокий коэффициент теплопроводности, значительно превышающий теплопроводность других изоляционных материалов, применяемых в кабельной промышленности. Материал для оболочки кабелей МИ выбирается в зависимости от рабочей температуры. При температуре не более  $200^{\circ}\text{C}$  применяется медь, при большей температуре — алюминий (до  $300^{\circ}\text{C}$ ), углеродистая сталь (до  $400^{\circ}\text{C}$ ) и нержавеющая сталь (до  $800^{\circ}\text{C}$ ).

В СССР выпускаются нагревательные кабели типа МИ в медной и стальной оболочках (КМЖ, КНМС). Для электроподогрева эти кабели широкого применения не нашли вследствие высокой стоимости и ограниченного объема производства.

При низких рабочих температурах в качестве греющего кабеля может служить геофизический провод марки ПСМШ (ГОСТ 6021—77) с теплопроводостойкой резиновой изоляцией. Таким проводом выполнена система электронагрева водопровода на Крайнем Севере [3].

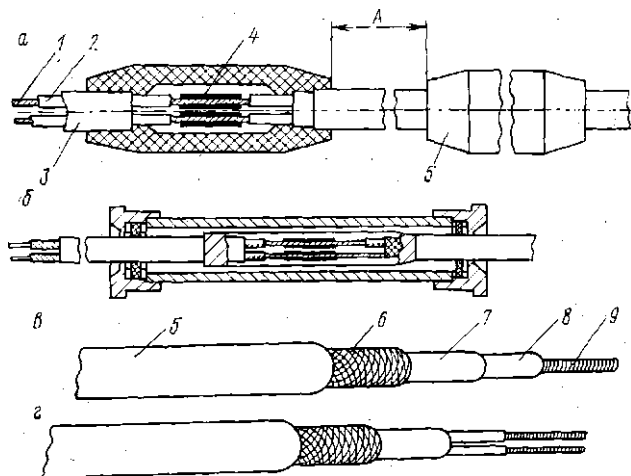


Рис. 2. Устройство нагревательного кабеля.

а — кабель в сборе с опрессовкой мест соединения кабельным пластиком; б — соединительная муфта; в — одножильный кабель (активная часть); г — двухжильный кабель (активная часть).  
 1 — медная жила; 2 — оболочка; 3 — низкотемпературный вывод; 4 — соединение горячей и холодной жилы; 5 — наружная оболочка; 6 — металлический экран; 7 — внутренняя оболочка; 8 — изоляционная оболочка; 9 — нагревательная жила; А — активная часть кабеля.

В СКВ «Транснефтеавтоматика» разработано две модификации нагревательных кабелей, которым присвоен общий индекс — ЭНГК (элемент нагревательный гибкий кабельный). ЭНГК представляет собой комплектное нагревательное устройство, подготовленное для непосредственного включения в питающую сеть. Кабели ЭНГК различаются по теплостойкости или рабочей температуре: ЭНГК-85 имеет теплостойкость 85° С, ЭНГК-180 — 180° С.

Нагревательный кабель ЭНГК-85, как и ЭНГК-180 (рис. 2), состоит из трех частей: активной (греющей) части, коммутационных соединений и низкотемпературных выводов. Активная часть представляет собой одно- или многопроволочную нагревательную жилу с наложенными поверх изоляционными слоями. Непосредственно на жиле находится слой кремнийорганической резины, затем слой технологической оплетки из стеклонити, поверх которой нанесена оболочка из поливинилхлорида, затем экранирующая оплетка из медных проволок и защитная оболочка из кабельного пластика. Активная часть кабеля соединяется с низкотемпературными выводами путем опрессовки, пайки или сварки с последующей изоляцией теплостойкой изоляционной лентой. Места соединений защищаются снаружи герметичной пластиковой опрессовкой или стальной муфтой с сальниковыми уплотнениями или же герметизирующим компаундом.

Основными техническими характеристиками кабеля ЭНГК-85 являются питающее напряжение, равное 220 В (по требованию

заказчика кабели могут быть изготовлены на другое напряжение, но не выше 380 В), и удельная мощность. Диапазон удельных мощностей, т. е. мощностей, приходящихся на 1 м активной длины кабеля, находится в пределах от 10 до 45 Вт/м. Длина нагревательных кабелей может быть от 25 до 140 м. Технические характеристики нагревательного кабеля отражаются в условном обозначении, включающем марку, число нагревательных жил, мощность, рабочее напряжение, исполнение по разделке концевых частей, длину активной (нагревательной) части.

Варианты исполнения по разделке концевых частей нагревательного кабеля маркируются двумя буквами, при этом первая буква обозначает вид разделки с одного конца кабеля, а вторая — вид разделки с другого конца кабеля: Н — наконечник, М — муфта, С — опрессовка, К — ответвительная коробка, Г — глущая разделка.

В качестве примера приведем обозначение для нагревательного двужильного кабеля мощностью 1,97 кВт на напряжение 220 В, длина активной части 98,4 м, соединение нагревательных жил и экранирующей оплетки с низкотемпературными выводами с обоих концов нагревателя с помощью соединительных муфт: ЭНГК-85-2-1,97/220ММ 98,4 ТА2.983.559 ТУ.

Нагревательный кабель ЭНГК-180 имеет на нагревательной жиле оплетку из стеклонити и оболочку из кремнийорганической резины. Кабели ЭНГК-180 могут иметь общую длину от 26 до 56 м с удельной мощностью от 10 до 70 Вт/м. Основные технические характеристики кабелей ЭНГК-180 приведены в табл. 1. В настоящее время организовано серийное производство кабелей ЭНГК-85. Кабели ЭНГК-180 готовятся в серийное производство.

Таблица 1

Основные технические характеристики нагревательных кабелей ЭНГК-180

Условное обозначение	Сопротивление		Длина, • м	Мощность	
	удельное, Ом/м	общее, Ом		удельная, Вт/м	общая, кВт
ЭНГК-180-1-1.704/220С 56,8	0,5	28,4	56,8	30	1,704
ЭНГК-180-1-1,968/220С 49,2	0,5	24,6	49,2	40	1,968
ЭНГК-180-1 -2,20/220С 44	0,5	22	44	50	2,200
ЭНГК-180-1 -2,41/220С 40,2	0,5	20,1	40,2	60	2,41
ЭНГК-180-1-2,603/220С 37,2	0,5	18,6	37,2	70	2,603
ЭНГК-180-1-1.205/220С 40,2	1,0	40,2	40,2	30	1,205
ЭНГК-180-1-1, 391/220С 34,8	1,0	34,8	34,8	40	1,391
ЭНГК-180-1-1,556/220С 31,1	1,0	31,1	31,1	50	1,556
ЭНГК-180-1-1.704/220С 28,4	1,0	28,4	28,4	60	1,704
ЭНГК-180-1-1,841/220С 26,3	1,0	26,3	2&3	70	1,841

## **Особенности монтажа нагревательных кабелей при подогреве технологического оборудования**

Прокладка греющих кабелей может быть внутренней и наружной. В первом случае греющий кабель прокладывается внутри трубопровода, во втором — линейно по поверхности трубопровода сверху, снизу или под любым требуемым углом или же спирально. При наружной прокладке греющие кабели крепятся к трубопроводу бандажными из стали или алюминия (рис. 3). Кабели покрываются полосами и затем тепловой изоляцией, поверх которой накладывается защитный кожух. Холодные выводы кабелей выводятся через теплоизоляцию и подключаются к клеммным коробкам.

Более сложным является обогрев кабелями сложного по форме технологического оборудования, такого, как счетчики, запорная арматура и т. д. На рис. 4 показан монтаж и крепление кабелей к корпусам вентиля, к фланцам на коленах. В этом случае для крепления применяются стальные бандажные, хомуты и металлорукава при обходе острых выступов. Расположение кабелей (линейное или спиральное) на трубопроводе с точки зрения передачи теплоты практически не имеет большого значения, так как теплопроводность металла трубопровода в десятки раз больше теплопроводности контактной зоны и теплоизоляции.

Однако в случае перекачки продуктов, допускающих нагрев в узком диапазоне температур, и при повышенных требованиях к температурному режиму кабель располагается на трубе с учетом распределения температур по периметру трубы. В этом случае учитывается возникающая разность температур между нагревательным кабелем и обогреваемым трубопроводом, которая зависит от способа крепления кабеля, качества и площади теплового контакта, теплопроводности изоляции самого кабеля.

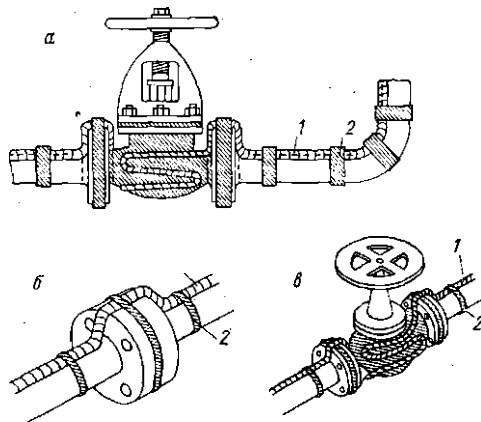
При ухудшении теплового контакта, например при попадании теплоизоляции между трубой и нагревательным кабелем, разность температур может достигнуть опасного значения, что приводит даже к перегреву, повреждению или выходу из строя нагревательного кабеля. Во избежание перегрева рекомендуется иметь гарантийный тепловой контакт, например крепление с использованием теплопроводящего цемента.

При внутренней прокладке кабель находится внутри продукта, что делает этот способ монтажа наиболее эффективным с точки зрения теплопередачи. Внутренняя прокладка греющих кабелей обычно применяется для подземных трубопроводов с высоковязкими топливами. Концы кабеля выводятся, через сальниковое уплотнение, через фланцы тройников или штуцеров. Соединение концов осуществляется с помощью соединительной коробки, монтируемой на обогреваемом трубопроводе.

Однако технические трудности выполнения вводов нагревательных кабелей в трубопровод, прокладка их внутри трубопро-

**Рис. 3. Наружная прокладка нагревательных кабелей.**

а — общий вид; б — сечение трубопровода.  
 1 — нагревательный кабель; 2 — корпус терморегулятора; 3 — алюминиевые бандажи; 4 — защитная алюминиевая полоса; 5 — заделка вывода; 6 — бандажи на холодных выводах; 7 — термобаллон терморегулятора.



**Рис. 4. Монтаж нагревательных кабелей на арматуре и фланцах.**

а — схема обогрева задвижки; б — обход фланца; в — схема интенсивного обогрева за\*  
 движки.  
 1 — нагревательный кабель; 2 — бандаж.

водов и защита от движущегося продукта в значительной степени ограничивают применение внутреннего подогрева. В высоконапорных трубопроводах при транспорте абразивосодержащих и агрессивных продуктов внутренний подогрев вообще невозможен.

Несмотря на то, что наружная прокладка нагревательных кабелей применяется в подавляющем числе случаев, следует указать на некоторые недостатки этого способа монтажа. При повреждении нагревательных кабелей возникает необходимость в полном демонтаже теплоизоляционных покрытий, что приводит к полному или частичному выходу последних из строя. Естественно, что тепловые потери при наружной прокладке выше, чем при внутренней.

## II. ГИБКИЕ ЛЕНТОЧНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ

Стремление увеличить площадь теплопередачи от электронагревателя к поверхности обогреваемого оборудования и повысить эффективность электронагрева привело к созданию гибких ленточных нагревателей. Гибкость лент в сочетании с плоской поверхностью позволяет легко наматывать их на трубопровод, задвижки, различное сложное по форме оборудование с одновременным обеспечением повышенной теплоотдачи. Накладываемая поверх теплоизоляция прижимает ленту к обогреваемому оборудованию и тем самым увеличивает контакт между ними.

Одной из основных конструкций гибких ленточных нагревателей являются многопроводные ленты, образуемые из нескольких нагревательных жил, собираемых в полосы. Соединение в полосы может выполняться различными способами: сшиванием на швейных машинах, методом ткачества, лентоплетением или методом экструзии на кабельных прессах. Преимуществом многопроводной сборки является возможность параллельного или последовательно-параллельного соединения отдельных проводов для получения ленточных нагревателей с различной мощностью на метр длины.

Изоляция нагревателей выполняется из резины, пластмасс или текстильных материалов. Однако наибольшее распространение получила изоляция из высокотемпературных текстильных материалов (обычно из стеклонити). Текстильная изоляция предохраняет нагревательные провода от механических повреждений, служит дополнительной или основной электрической изоляцией нагревательных жил, способствует выравниванию температур ленты.

Положительные качества гибких ленточных нагревателей определили направление работ СКБ «Транснефтеавтоматика» по созданию этого типа нагревателей. Разработано несколько модификаций гибких ленточных нагревателей, отличающихся техническими данными, конструкцией и областями применения. Основ-

ным параметром, характеризующим гибкие нагреватели, является максимальная рабочая температура. Разработанные нагреватели ЭНГЛ-180, ЭНГЛВ-180 и ЭНГЛ-180 ХЛ2 имеют рабочую температуру до 180° С, нагреватели НТЛ-400 — до 400° С, нагреватели НТЛ-600 — до 600° С.

Нагреватели типа ЭНГЛ-180 и НТЛ могут эксплуатироваться в помещениях или наружных установках, классифицируемых в соответствии с ПУЭ (Правила устройства электроустановок) как пожароопасные классов П-I, П-II и П-III. Нагреватели ЭНГЛВ-180 в комплекте с соответствующей аппаратурой управления допускается применять во взрывоопасных зонах классов В-Iа, В-1б, В-1г. Нагреватели типа ЭНГЛ-180 ХЛ2 предназначены для эксплуатации в районах Крайнего Севера.

### Гибкие нагреватели типа ЭНГЛ-180

Гибкий нагреватель ЭНГЛ-180 (элемент нагревательный гибкий ленточный) состоит (рис. 5) из стеклоплетеной основы, в которой параллельно проложены нихромовые жилы 1. Поверх плетеной основы наложена герметизирующая оболочка из кремнийорганической резины 5. Герметизирующая оболочка имеет приливы с пазами, в которых могут закрепляться монтажные скобки 6 для фиксации токоведущих проводов 4. Нагревательные жилы и токоведущие провода коммутируются между собой путем механического обжатия или пайки. Использование различных схем коммутации нагревательных жил и токоведущих проводов

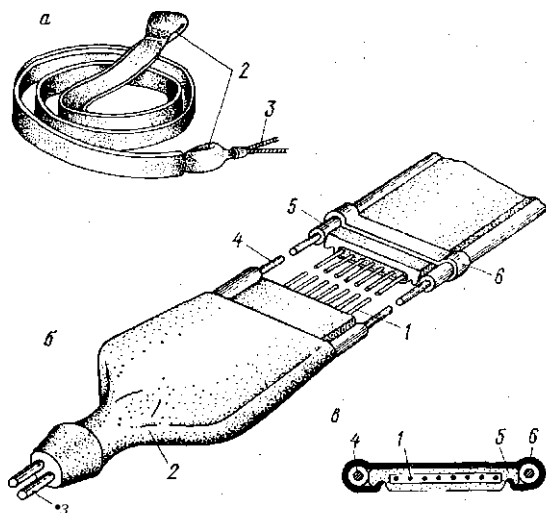


Рис. 5. Гибкий нагреватель ЭНГЛ-180.

*а* — общий вид; *б* — увеличенный вид со стороны концевой заделки; *в* — сечение.  
 1 — нагревательные нихромовые жилы; 2 — концевые заделки; 3 — низкотемпературные выводы; 4 — токоведущие провода; 5 — герметизирующее покрытие из кремнийорганической резины; 6 — скобка.

позволяет получить нагреватели, отличающиеся широким диапазоном мощностей и длин.

Наличие токоведущих проводов обеспечивает возможность последовательного соединения нескольких нагревателей в общую нагревательную цепь мощностью до 5,5 кВт, длиной до 130 м. Техническая характеристика нагревателей следующая: удельная мощность 30—100 Вт/м; номинальная мощность 0,17—2,1 кВт; длина от 2,55 до 33,12 м; ширина 30 мм; толщина 3 мм; напряжение питающей сети 220 или 380 В.

Основные технические показатели нагревателей отражаются в условном обозначении, которое включает марку, мощность, номинальное напряжение, длину активной (нагревательной) части, исполнение по способу подключения к источнику питания.

ЭНГЛ-180 \_X / X X X

Лдлина активной части, м  
вариант исполнения по способу  
подключения к источнику питания  
(И или П)  
номинальное напряжение, В  
номинальная мощность, кВт  
—марка нагревателя

В качестве примера приведем запись условного обозначения нагревателя марки ЭНГЛ-180 мощностью 1,63 кВт с номинальным напряжением 220 В, исполнения П и длиной активной части 27,12 м: ЭНГЛ-180-1,63/220П27,12.

В настоящее время промышленностью освоено массовое производство нагревателей ЭНГЛ-180. Типоразмеры изготавливаемых нагревателей приведены в табл. 2. Нагреватели исполнения П с токоведущими проводами предназначены для последовательного соединения в нагревательную цепь, исполнения И без токоведущих проводов — для индивидуального присоединения к источнику питания.

Технические требования, предъявляемые к нагревателям ЭНГЛ-180

Отклонения габаритных размеров активной части нагревателей должны быть в следующих пределах:

длина, %	±0,5
ширина по герметизирующей оболочке, мм	±0,25
ширина по приливам, мм	±0,5
толщина, мм	±0,15

Поверхность активной части нагревателей и коммутационных коробок не должна иметь порезов, трещин и включений, ухудшающих электрические характеристики. Электрическая изоляция нагревателей должна выдерживать испытания напряжением 1500 В по категории ЭИ-1 ГОСТ 16807—71. Сопротивление электрической изоляции в холодном состоянии должно быть не менее

1 МОм. Нагреватели должны выдерживать не менее четырех изгибов на угол 180° С вокруг цилиндра радиусом, равным пятикратной толщине активной части.

Каждый нагреватель должен иметь маркировку со следующими данными:  
а) товарный знак или название завода-изготовителя; б) условное обозначение;  
в) заводской номер; г) дата изготовления.

Таблица 2  
Типоразмеры нагревателей ЭНГЛ-180

Исполнение по способу подключения к источнику питания	Удельная мощность, Вт/м	Номинальная мощность, кВт	Длина активной части, м	Сопротивление, Ом	Масса, кг
И	40	0,17	4,07	297	0,90
		0,33	8,22	146	1,45
		0,66	16,52	73	2,78
		1,33	33,12	36	6,86
	60	0,20	3,32	237	0,68
		0,41	6,72	118	1,22
		0,82	13,52	59	2,29
		1,63	27,12	29	5,56
	80	0,23	2,86	206	0,50
		0,47	5,80	102	1,06
		0,94	11,67	51,5	2,00
		1,88	23,44	26	4,94
	100	0,26	2,55	183	0,54
		0,53	5,18	92	0,95
		1,05	10,44	46	1,80
		2,10	20,96	23	4,37
1					
П	40	1,33	33,12	36	8,26
	60	1,63	27,12	29	6,66
	80	1,88	23,44	26	6,84
	100	2,10	20,96	23	5,22

### Гибкие нагреватели типа НТЛ

Нагреватели теплостойкие ленточные типа НТЛ предназначены для эксплуатации на трубопроводах и оборудовании, требующих нагрева в диапазоне от 400 до 600° С. Эксплуатация нагревателей предусматривается в условиях фиксированного монтажа под слоем теплоизоляции при температуре на нагревателе до 400 и 600° С в помещениях с относительной влажностью соответственно до 90 и 60%. Разработано два типа гибких нагревателей НТЛ: НТЛ-400 — теплостойкий ленточный, предназначен-

Рис. 6. Нагреватель теплостойкий НТЛ.

1 — выводной провод; 2 — изоляция; 3 — металлорукав; 4 — гайка; 5 — корпус; 6 — нагревательная жила; 7 — электроизоляционное заполнение; 8 — нихромовая проволока; 9 — стеклоплетка, пропитанная органосиликатным материалом; 10 — концевая заделка.

ный для работы при температурах до 400° С; НТЛ-600 — теплостойкий ленточный, предназначенный для работы при температурах до 600° С.

Нагреватели НТЛ-400 и НТЛ-600 (рис. 6) имеют одинаковую конструкцию и состоят из плетеной стеклоленты, пропитанной органосиликатным материалом, включающим в себя кремнийорганические и силикатные составляющие. В основе плетеной стеклоленты уложены нагревательные провода 6, представляющие собой нихромовые жилы, оплетенные и окруженные стеклонитью с пропиткой органосиликатным материалом. Соединение нагревательных проводов между собой и с низкотемпературными выводами 1 осуществляется пайкой твердыми припоями в концевых заделках 10. Нагреватели НТЛ-400 изготавливаются с применением алюмоборосиликатных стеклонитей, а нагреватели НТЛ-600 — из специальных стеклонитей, сохраняющих высокие диэлектрические показатели при температурах до 600° С. Низкотемпературные выводы нагревателей должны изготавливаться из никелевой многопроволочной жилы, дважды обмотанной стеклонитью и покрытой кремнийорганической резиной для НТЛ-400, а для НТЛ-600 с пропиткой органосиликатным материалом.

*Технические данные нагревателей типа НТЛ*

Номинальное напряжение, В	220/380
Удельная мощность, Вт/м	150—360
Номинальная мощность, кВт	1.02—5.45
Длина, м	4.3—23.4
Ширина, мм	22
Толщина, мм	3,5
Масса, кг	0,84—2,1

Электрическое сопротивление изоляции, МОм, не менее:

в холодном состоянии . . . . .	1,0
в рабочем состоянии . . . . .	0,5

Нагревателям типа НТЛ по аналогии с нагревателями типар ЭНГЛ-180 присвоено условное обозначение, содержащее следующие основные технические характеристики:

НТЛ-400                      X — X — X

длина активной части, м  
номинальное напряжение, В  
\_\_\_\_\_ удельная мощность, Вт/м  
марка

В качестве примера приведем условное обозначение нагревателя марки НТЛ-400 с номинальным напряжением 220 В, удельной мощностью 150 Вт/м, длиной активной части 13,52 м, НТЛ-400-220-150-13,52.

Технические требования, предъявляемые к нагревателям типа НТЛ

Отклонения габаритных размеров активной части нагревателей должны быть в следующих пределах:

длина, % . . . . .	±0,5
ширина, мм _____	±1
толщина, мм . . . . .	±0,15

Поверхность активной части нагревателей должна иметь равномерную пропитку жаростойким органосиликатным материалом без местных наплывов и подтеков.

Отклонение электрического сопротивления нагревательных проводов постоянному току должно быть в пределах  $\pm 3\%$ . Сопротивление изоляции нагревателей НТЛ-400 должно быть не менее 1 МОм в холодном (при температуре окружающей среды  $25 \pm 10^\circ\text{C}$  и относительной влажности до 90%) и горячем состоянии (при температуре  $400 \pm 10^\circ\text{C}$ ). Сопротивление изоляции нагревателей НТЛ-600 должно быть не менее 1 МОм в холодном (при температуре окружающей среды  $25 \pm 10^\circ\text{C}$  и относительной влажности до 60%) и горячем состоянии (при температуре  $600 \pm 10^\circ\text{C}$ ).

Нагреватели должны выдерживать испытательное напряжение 1500 В переменного тока частотой 50 Гц в течение 3 мин. Изоляция активной части нагревателей должна выдерживать не менее четырех изгибов па угол  $180^\circ$  вокруг цилиндра радиусом, равным десятикратной толщине активной части. Изоляция не должна иметь повреждений (трещины до проволоки, отслаивания, разрывов отдельных нитей). Пропитывающий материал не должен осыпаться.

Нагреватели должны быть устойчивы к воздействию пониженных температур до  $-60^\circ\text{C}$ .

### Основные технические характеристики' гибких нагревателей

Качество гибкого нагревателя, его работоспособность и долговечность зависят от таких технических характеристик, как нагревостойкость, морозостойкость, влагостойкость и т. д. Вследствие

Электрическое сопротивление изоляции, МОм, не менее:

в холодном состоянии . . . . .	1,0
в рабочем состоянии . . . . .	0,5

Нагревателям типа НТЛ по аналогии с нагревателями типар ЭНГЛ-180 присвоено условное обозначение, содержащее следующие основные технические характеристики:

НТЛ-400                      X — X — X

длина активной части, м  
номинальное напряжение, В  
\_\_\_\_\_ удельная мощность, Вт/м  
марка

В качестве примера приведем условное обозначение нагревателя марки НТЛ-400 с номинальным напряжением 220 В, удельной мощностью 150 Вт/м, длиной активной части 13,52 м; НТЛ-400-220-150-13,52.

Технические требования, предъявляемые к нагревателям типа НТЛ

Отклонения габаритных размеров активной части нагревателей должны быть в следующих пределах:

длина, % . . . . .	±0,5
ширина, мм _____	±1
толщина, мм . . . . .	±0,15

Поверхность активной части нагревателей должна иметь равномерную пропитку жаростойким органосиликатным материалом без местных наплывов и подтеков.

Отклонение электрического сопротивления нагревательных проводов постоянному току должно быть в пределах  $\pm 3\%$ . Сопротивление изоляции нагревателей НТЛ-400 должно быть не менее 1 МОм в холодном (при температуре окружающей среды  $25 \pm 10^\circ\text{C}$  и относительной влажности до 90%) и горячем состоянии (при температуре  $400 \pm 10^\circ\text{C}$ ). Сопротивление изоляции нагревателей НТЛ-600 должно быть не менее 1 МОм в холодном (при температуре окружающей среды  $25 \pm 10^\circ\text{C}$  и относительной влажности до 60%) и горячем состоянии (при температуре  $600 \pm 10^\circ\text{C}$ ).

Нагреватели должны выдерживать испытательное напряжение 1500 В переменного тока частотой 50 Гц в течение 3 мин. Изоляция активной части нагревателей должна выдерживать не менее четырех изгибов па угол  $180^\circ$  вокруг цилиндра радиусом, равным десятикратной толщине активной части. Изоляция не должна иметь повреждений (трещины до проволоки, отслаивания, разрывов отдельных нитей). Пропитывающий материал не должен осыпаться.

Нагреватели должны быть устойчивы к воздействию пониженных температур до  $-60^\circ\text{C}$ .

### Основные технические характеристики гибких нагревателей

Качество гибкого нагревателя, его работоспособность и долговечность зависят от таких технических характеристик, как жаростойкость, морозостойкость, влагостойкость и т. д. Вследствие

сохранять работоспособность при воздействии влаги. Количественно влагостойкость может быть оценена временем допустимой эксплуатации во влажной среде. Влагостойкость гибких нагревателей достигается применением наружных оболочек, не снижающих свои характеристики при воздействии влаги и не пропускающих влагу к нагревательным жилам, а также герметизацией коммутационных заделок и выводов.

В процессе эксплуатации гибкие нагреватели могут подвергаться воздействию различных химических реагентов. К ним относятся бензин, керосин, минеральные масла, кислоты, щелочи и различные агрессивные среды. Во многих случаях это воздействие приводит к снижению электрических и механических характеристик. Соприкосновение с бензином, маслом и другими средами может вызвать набухание и разложение изоляционных и защитных покрытий.

Под стойкостью гибких нагревателей к агрессивным средам (химической стойкостью) понимают свойство сохранять работоспособность при воздействии бензина, керосина, масла и других агрессивных сред. Важной технической характеристикой в этом случае является маслобензостойкость.

Способность подвергаться изгибам при монтаже и эксплуатации без потери основных технических параметров характеризуется гибкостью нагревателя, которая оценивается усилием, необходимым для изгиба на определенный радиус. Чем меньше это усилие, тем легче изогнуть нагреватель и больше, следовательно, его гибкость. Величина, обратная гибкости, называется жесткостью.

Гибкие нагреватели в большинстве случаев предназначаются для эксплуатации в неподвижных условиях. Гибкость необходима в первую очередь в процессе сборки, монтажа, а также при демонтаже и перестановке на другое оборудование. Гибкость нагревателей достигается применением эластичных изоляционных и защитных материалов (резиновых или пластмассовых оболочек), многопроволочных токопроводящих и нагревательных жил, нескольких однопроволочных жил, заплетаемых в плоскую ленту.

Монтаж гибких нагревателей часто сопряжен с протаскиванием через различные монтажные отверстия и приспособления. При этом поверхность нагревателей подвергается воздействию истирающих нагрузок. Истиранию подвергаются оболочки гибких нагревателей при микродвижениях в процессе нагрева и остывания, при намотке на трубопроводы и другие виды оборудования. Таким образом, стойкость к истиранию является важной эксплуатационной характеристикой гибких нагревателей.

### **Технология изготовления гибких ленточных нагревателей**

При изготовлении нагревателей выполняется ряд технологических операций с нагревательными жилами и стеклонитью, характерных для кабельного производства. Это скрутка нагреватель-

ных жил для изготовления кабельных нагревателей, обмотка стеклонитями нагревательных жил, оплетка, наложение герметизирующей оболочки.

Скрутка нагревательных проволок в многопроволочную жилу необходима для обеспечения гибкости и стойкости нагревательного кабеля при перегибах. Существуют две системы скрутки токопроводящих проволочных жил — *правильная* (повивная) и *шнуровая* (пучковая). При правильной системе скрутки поверх одной или нескольких центровых проволок, скрученных вместе, накладывается еще один или несколько повивов. При шнуровой скрутке все проволоки скручиваются вместе в одну сторону.

При выборе конструкции жилы большое значение имеет коэффициент заполнения, т. е. отношение суммы сечений всех проволок, входящих в жилу, к площади круга, описанного вокруг скрученной жилы. В скрученной жиле все проволоки располагаются по винтовой линии. Расстояние, соответствующее одному полному обороту проволоки вокруг оси жилы, называется шагом скрутки. Для одной и той же конструкции жилы шаг характеризует степень крутизны, с которой производится скрутка. Шаг скрутки определяется по формуле

$$L_c = 7\Gamma/3_{cp} \operatorname{tg} a_c = m_c D_{cp}, \quad (3)$$

где  $h_c$  — шаг скрутки;  $D_{cp}$  — средний диаметр наружного повива жилы;  $a_c$  — угол скрутки. Коэффициент  $t_c = \pi \operatorname{tg} a_c$  называют коэффициентом скрутки или кратностью.

Электрическая изоляция металлических жил гибких нагревателей выполняется путем спиральной обмотки стеклонитями. Спиральная обмотка может производиться встык, с перекрытием и с зазором.

Оплетка, как и обмотка, является одной из основных операций при изготовлении гибких нагревателей. Оплетка представляет собой оболочку из стекловолокнистых материалов или проволок, образованную двумя группами прядей, нитей или проволок, накладываемых в разных направлениях и переплетаемых между собой в определенном порядке. Оплетка из проволок применяется в качестве защитного экрана, присоединяемого к системе заземления при монтаже нагревателей.

На основе перечисленных операций, а также специфичных для гибких нагревателей процессов в СКВ «Транснефтеавтоматика» разработана технология изготовления ленточных нагревателей типа ЭНГЛ и НТЛ, которая освоена в промышленном производстве заводом-изготовителем.

Технология изготовления нагревателей типа ЭНГЛ-180 складывается из следующих основных технологических операций: лентоплетение; нанесение герметизирующей оболочки; установка наконечников; проверка и испытание готовых нагревателей. Нагреватели типа НТЛ изготавливаются по аналогичной технологии, но

вместо нанесения герметизирующей оболочки производится пропитка органосиликатным составом.

Лентоплетение состоит из подготовительных операций и собственно лентоплетения. Цель подготовительных операций — намотка стеклонити и нагревательной проволоки на катушки. Плетение осуществляется на специальных лентоплетельных станках, типа ЛП-53 и ЛП-21. Нагревательные жилы для нагревателей: типа ЭНГЛВ-180 и НТЛ предварительно обматываются стеклонитью. Причем для нагревателей НТЛ нагревательная жила покрывается, а слои обмотки пропитываются органосиликатным составом.

Для придания влагостойкости и улучшения электрической изоляции плетеная заготовка покрывается герметизирующей оболочкой. В качестве герметизирующей оболочки используются кремнийорганические резиновые смеси, которые наносятся на заготовку способом экструзии. На линии по нанесению кремнийорганической смеси плетеная заготовка подвергается следующим операциям: а) предварительному обжигу ( $t = 360^{\circ}\text{C}$ ); б) прессованию (нанесению герметизирующей оболочки); в) термообработке герметизированной ленты в вулканизационных печах; г) водяному охлаждению; д) тальковке к наматыванию на приемное устройство.

Скорость протяжки ленты на линии до 0,15 м/с. Заключительная операция — термообработка герметизированной заготовки в печи при  $120^{\circ}\text{C}$  в течение 8 ч.

Герметизированную заготовку подвергают визуальному осмотру с целью выбраковки участков, не подлежащих ремонту. Если общая площадь повреждения герметизирующего покрытия не превышает  $15\text{ см}^2$  на 10 м заготовки, повреждения подлежат ремонту заливкой компаундом КЛТ-30 в два-три слоя. Далее измеряют и нарезают необходимые длины заготовки. Развальцованную кремнийорганическую смесь толщиной 5—6 мм заготавливают по двум шаблонам (по две штуки каждого размера), нарезают заготовки медной трубки и заготовки изоляционной ленты. Нарезают две заготовки выводного низкотемпературного провода. Производят коммутацию и окрутку нагревательных жил с низкотемпературными выводами.

В прессформы закладывают разделанные концы герметизированной заготовки и заготовки кремнийорганической смеси. Прессформы закрывают, ставят в пресс, производят вулканизацию по технологическому режиму. Снимают прессформы, вынимают нагреватель и зачищают облой. Проверка внешнего вида осуществляется визуальным осмотром качества наконечников и целостности резинового покрытия.

Проверка геометрических размеров осуществляется универсальными измерительными инструментами (рулеткой, линейкой, толщиномером) по общеизвестной методике. Омическое сопротивление проверяется мостом постоянного тока не ниже I класса точности. Защищенные выводы нагревательного элемента подос-

единяются к клеммам моста, после чего плечи моста уравниваются и производится отсчет показаний. Отсчет производится с точностью до десятых долей ома.

Сопротивление электрической изоляции нагревателя контролируется мегомметром с испытательным напряжением 1000 В. Сопротивление электрической изоляции нагревателя ЭНГЛ-180 при нормальных атмосферных условиях должно быть не менее 1 МОм. Измерение выполняется между закороченными выводами нагревателя и металлическим цилиндром диаметром не менее 500 мм, на который виток к витку плотно намотан нагревательный элемент.

Испытание электрической прочности нагревательного элемента проводится напряжением 1000 В от источника переменного тока с частотой 50 Гц, мощностью не менее 0,5 кВт. Электрическая изоляция нагревателя должна выдерживать в течение 1 мин воздействие напряжением 1000 В переменного тока с частотой 50 Гц.

Герметизирующее покрытие должно обеспечить герметичность нагревателя при нормальных атмосферных условиях.

Проверка осуществляется измерением сопротивления изоляции после пребывания электронагревателя в течение 24 ч в металлическом сосуде с 3%-ным раствором поваренной соли. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм.

### **Монтаж гибких ленточных нагревателей**

Для монтажа нагревателей не требуется каких-либо конструктивных изменений и переделок трубопроводов и обогреваемого оборудования. Перед началом монтажа необходимо выполнить следующие подготовительные работы: тщательно изучить схему расположения, нагревателей, указания по способу прокладки и инструкцию по монтажу; проверить исправность нагревателей; проверить исправность кабелей, коммутационной, пусковой и терморегулирующей аппаратуры; осмотреть трубопровод, очистить его от грязи и ржавчины, опилить наплывы сварки, острые кромки и нанести термостойкое антикоррозионное покрытие, рабочая температура которого должна быть на 20—40° С выше рабочей температуры активной части нагревателя.

Основные способы установки гибких нагревателей приведены на рис. 7 и 8. Следует учесть, что спиральный способ обеспечивает более плотное прилегание нагревателя к поверхности трубопровода и используется на вертикальных участках трубопроводов, на трубопроводах диаметром менее 38 мм, на коротких трубопроводах, на которых требуется создание больших удельных мощностей подогрева. Спиральный способ установки не рекомендуется применять для монтажа гибких нагревателей с токоведущими проводами. При установке одна из концевых заделок гибкого нагревателя закрепляется на трубопроводе стеклотентой, после чего укладывается сам нагреватель с легким натяжением.

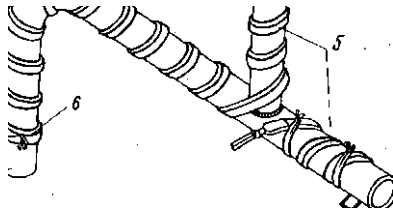


Рис. 7. Схема монтажа гибких нагревателей ЭНГЛ-180 на оборудовании сложной формы.

а — отпусной коллектор; б — задвижка «Лудло»; а — установка на колене в отводе.  
 1 — отпусной кран; 2 — теплоизоляция; 3 — задвижка; 4 — резервуар; 5 — нагреватель ЭНГЛ-180; 6 — крепежная стеклолента.

При линейной установке нагреватели подвязываются к трубопроводу с шагом не меньше 0,5 м. Особое внимание и аккуратность необходимо проявлять при монтаже нагревателей на фланцах, тройниках, запорно-регулирующей арматуре и т. д., где возможны выступы и острые кромки. Во избежание повреждения герметизирующего покрытия и местных перегревов на фланцах и других выступающих частях под нагреватель необходимо подложить алюминиевую ленту толщиной 0,2—1,0 мм и шириной 40—80 мм (например, лента АД-0,25х50 ГОСТ 13726—78). У фланцев на расстоянии не более 40 мм нагреватель подвязывается стеклолентой. Важно, чтобы гибкие нагреватели по всей длине, включая и концевые заделки, были плотно прижаты к обогреваемой трубе.

При монтаже нагревателей не допускается:

- продольная скрутка активной части;
- укладка нагревателей внахлест или с пересечением;
- перегибы активной части на 180° С.

После установки проверяют электрическое сопротивление изоляции нагревателей относительно трубопровода. Сопротивление должно быть не менее 1 МОм.

Соединение гибких нагревателей между собой и присоединение к питающей сети должно выполняться в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок». Прокладка

**Рис. 8. Схема установки гибких нагревателей ЭНГЛ-180 и приборов управления на трубопроводах.**

*а* — нагревательная цепь, включающая ЭНГЛ-180, клеммную коробку и терморегулятор; *б* — спиральная намотка со стыковкой двух ЭНГЛ-180; *в* — линейная прокладка; *г* — обход фланца.  
*/* — клеммная коробка; *2* — терморегулятор; *3* — термобаллон термодатчика; *4* — металлорукав; *5* — ввод электропитания; *6* — крепежная стеклотента; *7* — теплоизоляция; *8* — подкладка из мягкого алюминия.

низкотемпературных выводов нагревателей и питающих кабелей к коммутационным коробкам предпочтительна в металлорукавах или металлических трубах, что обеспечивает надежную механическую защиту. По окончании монтажа пускорегулирующей аппаратуры и подвода электрического питания производят пробное включение нагревателей и при положительных результатах начинают монтаж тепловой изоляции.

### **Расчет нагревательных жил и гибких нагревателей**

Нагревательные жилы являются основными элементами гибких нагревателей. Расчет мощности гибкого нагревателя — это, в сущности, расчет нагревательных жил с учетом их размеров, удельного сопротивления, схемы соединений и питающего напряжения. К нагревательным жилам предъявляется ряд специфических требований, степень удовлетворения которых влияет на надежность и долговечность гибкого нагревателя.

Основными требованиями являются:

- 1) жаростойкость — устойчивость к окислению при высоких температурах (окисление ведет к уменьшению поперечного сечения, увеличению сопротивления и постепенному разрушению);
- 2) жаропрочность — способность выдерживать механические нагрузки при высоких температурах;
- 3) постоянство электрических свойств (удельного электрического сопротивления);
- 4) постоянство размеров (некоторые сплавы с течением времени «растут», линейные размеры изменяются на 30—40%, что приводит к изменению мощности).

В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют так называемые двойные и тройные нихромы. Двойные нихромы содержат около 20% хрома и 80% никеля (X20H80H, X20H80T) и являются наиболее высококачественными, но и наиболее дорогими сплавами для нагревательных сопротивлений. Тройные сплавы содержат 13—15% хрома, около 60% никеля, остальное — железо (X15H60H). Помимо двойных и тройных сплавов применяются нихромы с пониженным содержанием дефицитного никеля и добавкой алюминия (например, X15H60Ю3А), обладающие высокой жаростойкостью. Взамен нихромов могут использоваться железохромоалюминиевые сплавы, среди которых имеется фехраль (X13Ю4), содержащий 13% хрома, 83% железа и 4% алюминия.

Нихромы обладают высокой жаростойкостью, которая обеспечивается поверхностной пленкой окиси хрома, имеющей более высокую жаростойкость, чем основной материал, и препятствующей окислению и разрушению глубинных слоев материала. Удельное электрическое сопротивление нихромов высокое  $[(1-1,2) \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}]$ , а температурный коэффициент сопротивления низок — в десятки раз меньше, чем у сталей.

Срок службы нагревательных жил зависит главным образом от рабочей температуры жил и общего времени эксплуатации. Старение и выход из строя нагревательных жил происходят в результате окисления поверхности и уменьшения их поперечного сечения. Интенсивность окисления возрастает с ростом рабочей температуры. Максимально допустимой температурой для нагревательных жил является такая, начиная с которой резко возрастают процессы окисления и разрушения поверхности жилы. Нагревательные жилы окисляются неравномерно. Наибольшая степень окисления наблюдается в местах инородных включений, механических повреждений, микротрещин. Местное увеличение сопротивления приводит к увеличению выделения теплоты и повышению температуры, что в свою очередь способствует дальнейшему разрушению металла окислением. Местные перегревы могут возникать в местах с ухудшенной теплоотдачей, например в креплениях. Срок службы по окислению при неизменной температуре прямо пропорционален сечению нагревательных жил.

Под сроком службы нагревательной жилы по окислению при заданной температуре понимается время работы (в часах), в те-

чение которого сечение жилы уменьшается на заданное значение. Срок службы жилы  $t_{ж}$ , ч, при данной температуре определяется по формуле

$$= 3ок/\delta_{ок} \quad (4)$$

где  $\delta_{ок}$  — толщина окисленного слоя в конце срока службы, мм;  $V_{ок}$  — средняя скорость окисления проволоки из сплава, мм/ч. На рис. 9 приведены зависимости скорости окисления от температуры для ряда сплавов сопротивления [12]. Скорости окисления приняты постоянными во времени.

Нихромовые жилы в гибких нагревателях при работе нагреваются не выше  $600^{\circ}\text{C}$ . Как видно из графиков, скорость окисления при этих температурах приближается к нулю, что гарантирует практически неограниченную долговечность, даже при использовании нагревательных жил диаметром до 0,1 мм.

При расчете мощности следует учесть, что основными источниками теплоты в гибком нагревателе являются активные тепловые потери при прохождении переменного тока по нагревательным жилам. Дополнительные потери вследствие поверхностного эффекта и эффекта близости при прохождении переменного тока по жилам вызывают также выделение некоторого количества теплоты. Удельная мощность активных потерь на 1 м длины гибкого многожильного нагревателя, Вт/м,

$$P_{ТА} = mJ^2R_b \quad (5)$$

где  $t_r$  — число жил, шт.;  $I$  — сила тока, А;  $R_t$  — активное электрическое сопротивление токопроводящей жилы, Ом/м. Это сопротивление при  $t$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , определяется по формуле

$$\#_t = \#_{20} [1 + \alpha(t - 20)], \quad (6)$$

где  $\#_{20}$  — активное сопротивление 1 м токопроводящей жилы при  $20^{\circ}\text{C}$ ;  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления (ТКС).

Дополнительные потери при прохождении переменного тока в токопроводящих жилах определяются умножением активного

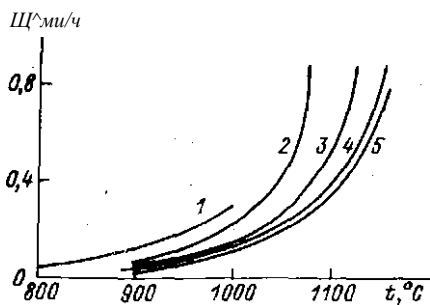


Рис. 9. Средняя скорость окисления проволоки из сплавов сопротивления в зависимости от температуры (в воздушной среде).

Сплавы: 1 — X1560; 2 — X23N18 (ЭН-417); 3 — X20N8073A; 4 — X20N80T; 5 — X20N80.

сопротивления на коэффициент с. Измерения показывают, что при обычной частоте 50 Гц коэффициент  $\alpha_i$  достигает 1,01 лишь для жил с сечением не менее  $185 \text{ мм}^2$ . Поэтому в расчетах для обычных нагревателей дополнительными потерями вследствие поверхностного эффекта и эффекта близости пренебрегают и принимают во внимание только активное омическое сопротивление.

Мощность гибкого нагревателя, имеющего несколько нагревательных жил, в соответствии с законом Ома для электрической цепи зависит от длины гибкого нагревателя, его сечения, удельного омического сопротивления, каждой жилы, схемы соединения нагревательных жил и напряжения питающей сети. Для определения этих параметров находят сначала соотношения и величины для нагревательных жил круглого сечения, а затем и для самого гибкого нагревателя.

Сопротивление 1 м жилы, Ом, определяется по формуле.

$$r_{\text{ж}} = \rho / S_{\text{ж}}, \quad (7)$$

где  $\rho$  — удельное электрическое сопротивление, Ом • м/мм<sup>2</sup>;  $S_{\text{ж}}$  — площадь поперечного сечения жилы, мм<sup>2</sup>.

Для нихромов, чаще всего используемых в гибких нагревателях, при площади поперечного сечения круглой жилы, равной  $\pi d^2/4$  (где  $d$  — диаметр жилы, мм), сопротивление  $r_{\text{ж}}$  находится приблизительно по формуле

$$r_{\text{ж}} = \rho \cdot 4 / (\pi d^2) \sim 1,1 \cdot 10^4 / (3,14 \cdot d^2) \text{ Ом}. \quad (8)$$

Сопротивление жилы длиной  $l$

$$r = r_{\text{ж}} \cdot l. \quad (9)$$

Мощность жилы, Вт, длиной  $l$  определяется по формуле

(Ю)

где  $U$  — напряжение питающей сети, В.

Исходя из соотношений, принятых для нагревательных жил, формула для сопротивления гибкого ленточного нагревателя, в котором нагревательные жилы расположены параллельно в одной плоскости, будет иметь следующий вид:

$$R = N r_{\text{ж}} / n,$$

где  $N$  — число групп жил, соединенных последовательно;  $n$  — число нагревательных жил в группе, соединенных параллельно.

Сопротивление нагревателя длиной  $l$ , Ом,

$$R = R_{\text{ж}} \cdot l / n. \quad (11)$$

Мощность нагревателя, имеющего сопротивление  $R$ , Вт,

$$P = I^2 R. \quad (12)$$

Так как

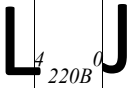
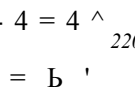

$$r_{\text{ж}} = \rho \cdot 4 / (\pi d^2) \sim 1,1 \cdot 10^4 / d^2,$$

то

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{U^2 \cdot n}{R_{\text{ж}} \cdot l} = \frac{U^2 \cdot n \cdot \pi d^2}{4 \rho \cdot l}. \quad (13)$$

Таблица 10

Расчет мощностей ленточных нагревателей

Схема соединения нагревательных жил			$d$ , мм	« $l_m$ , Ом/м	' $n$ , м	$Y$ , Ом	$P$ , Вт	$P_{bl}$ - Вт/м
I. $N = 1$ ; $n = 8$		8	0,4	1,1	20	22	2200	110
					25	27,5	1760	70,4
					30	33	1465	48,8
					35	38,4	1260	36
II. $N = 2$ ; $n = 4$		4	0,4	4,4	12	52,7	917	76,4
					14	61,5	787	56,2
					16	70,5	685	42,8
					18	79,1	611	34
III. $N = 4$ ; $n = 2$		2	0,4	8,8	5	88,0	551	110,2
					6	105,6	460	76,6
					8	140,8	344	4,3
					10	176	275	27,5

Для  $U = 220$  В  $P = 34600 \cdot U^2 / (Nl_m)$ . Удельная мощность на 1 м ленточного нагревателя  $P_{bl} = P/l_n$ .

На основе выведенных соотношений сделана примерная расчетная табл. 3 и определены мощности для ленточного нагревателя, имеющего восемь параллельно расположенных нихромовых нагревательных жил диаметром 0,4 мм. Расчет сделан для трех схем соединения нагревательных жил. Сечение жил (при диаметре 0,4 мм)  $S = 0,125$  мм<sup>2</sup>, удельное сопротивление  $\gamma_{ш} = 8,8$  Ом/м.

Для упрощения и ускорения расчета зависимости мощности ленточного нагревателя от его длины для различных диаметров нагревательных жил и схем соединений может служить график, построенный на логарифмической сетке. На рис. 10 дан такой график для напряжения 220 В. По вертикальной оси графика отложены длина ленточного нагревателя в метрах и сопротивление в омах, по горизонтальной — мощность в ваттах. Ряд наклонных прямых — линии удельных мощностей, перпендикулярно к которым проложены линии для четырех схем соединений и двух диаметров нагревательных жил ( $d = 0,4$  и 0,45 мм).

Пользуясь графиком, можно для любого заданного параметра ленточного нагревателя найти остальные параметры, подобрать

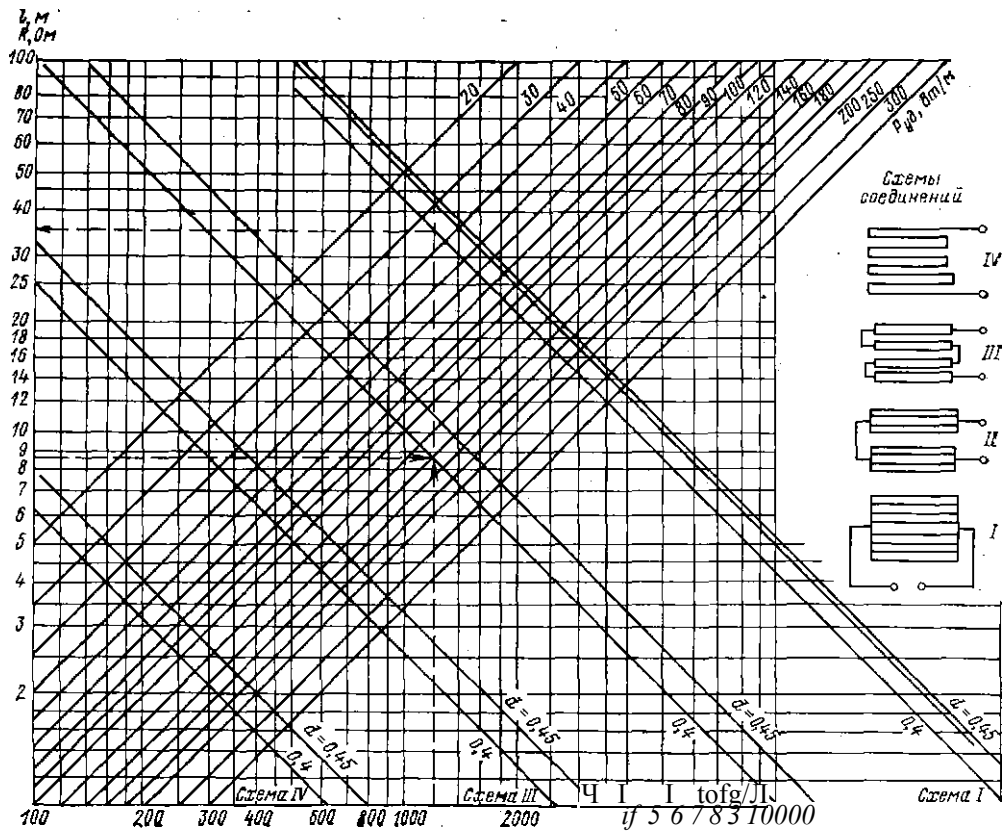


Рис. 10. Номограмма для определения основных параметров гибких ленточных нагревателей ( $\xi/-220 \text{ В}$ ).

нагреватели с несколькими желательными параметрами. Например, требуется нагреватель с мощностью 1200 Вт. Проводя вертикаль от значения 1200 Вт, можно подобрать ленточные нагреватели с различной длиной и схемами соединений. Если требуется длина около 8—9 м, то подходящую длину (8,7 м) получим при диаметре нагревательных проводов 0,4 мм и II схеме соединений. По графику видно, что удельная мощность искомого нагревателя будет 140 Вт/м. Общее омическое сопротивление нагревателя можно найти, проведя вертикальную линию от 1200 Вт до пересечения с линией сопротивления, а затем горизонтальную линию от точки пересечения до оси ординат. Найденное значение — 35 Ом.

### **III. ПОДОГРЕВ РЕЗЕРВУАРОВ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН**

Подогрев нефтепродуктов в резервуарах осуществляется поверхностными или погружными нагревателями. Поверхностные нагреватели прикрепляются к наружной поверхности обогреваемого резервуара. Погружные нагреватели погружаются в нагреваемый жидкий продукт.

При неэффективности поверхностного или погружного подогрева может быть применен косвенный подогрев. В этом случае нефтепродукт разогревается во вспомогательном малогабаритном резервуаре-подогревателе и перекачивается в основной резервуар или вокруг обогреваемого резервуара создается жидкостная рубашка, обогреваемая погружным методом. Погружные нагреватели оснащаются открытыми нагревательными элементами или нагревательными элементами с металлической защитной оболочкой.

Открытые нагревательные элементы являются наиболее простыми из всех видов нагревательных элементов. Они не имеют защитной оболочки или покрытия, что значительно упрощает конструкцию и одновременно способствует улучшению теплопередачи; от нагревателя к нагреваемой среде. В то же время отсутствие наружного покрытия усложняет их эксплуатацию, так как это требует специальных мер, предотвращающих соприкосновение нагревателя с обогреваемым продуктом или оборудованием. В противном случае может произойти короткое замыкание, ведущее к выходу нагревателя из строя и возникновению пожарной опасности. Открытые нагреватели опасны для обслуживающего персонала из-за возможности поражения током.

Несмотря на все эти недостатки, открытые нагреватели находят применение благодаря своей простоте и низкой стоимости. Материалы, применяемые для изготовления открытых нагревателей, должны обладать достаточной жаростойкостью (т. е. способностью длительно находиться в нагретом состоянии без окисле-

ния), большим удельным электрическим, сопротивлением, позволяющим при включении в сеть напряжением 220 и 380 В получать ограниченные токовые нагрузки, и малым температурным коэффициентом электрического сопротивления, благодаря которому материал будет иметь практически одинаковое сопротивление в холодном и горячем состоянии. Перечисленным требованиям в первую очередь отвечают сплавы на основе никеля и хрома. Материалы из этих сплавов получили наибольшее распространение при изготовлении открытых нагревателей и нагревательных сопротивлений.

К электронагревательным устройствам с открытыми элементами относится гибкая погружная электрогрелка, имеющая трубчатую стойку, к верхней части которой крепится клеммная коробка, а к нижней присоединен нагреватель, собранный из керамических блоков. На блоки спирально намотана нихромовая проволока. Такие погружные нагреватели применяют для подогрева масел в железнодорожных цистернах. Однако из-за указанных недостатков эти нагреватели имеют ограниченное применение и постепенно заменяются более надежными и безопасными.

#### **Нагревательные элементы с металлической защитной оболочкой**

В сравнении с открытыми нагревательные элементы (или нагреватели) с металлической защитной оболочкой имеют следующие преимущества:

- поверхность не находится под электрическим напряжением, в результате чего нагреватель безопасен для обслуживающего персонала;
- элемент сопротивления, заделанный в электроизоляционный материал и находящийся в защитной герметизирующей оболочке, имеет более длительный срок эксплуатации;
- могут надежно работать в условиях вибрации, в транспортных емкостях;
- просты в обслуживании и монтаже;
- безопасны в пожарном отношении.

Независимо от типа, размера или конфигурации эти нагреватели имеют нагревательный элемент сопротивления, отделенный от наружной металлической оболочки теплопроводящим электроизоляционным материалом (например, оксидом магния, слоем миканита и т. д.). При подаче напряжения элемент сопротивления выделяет джоулеву теплоту, которая через оболочку передается во внешнюю среду. Количество выделяемой теплоты при постоянном напряжении из-за малого температурного коэффициента сопротивления можно считать неизменным, поэтому температура нагревателя в основном зависит от условий теплоотдачи. Чем больше теплоотдача, тем ниже температура нагревателя. Например, температура наружной поверхности нагревателя при нагреве воды, когда имеет место интенсивная теплоотдача, не превышает

100—150° С. Наоборот, нагрев на открытом воздухе способствует созданию на оболочке температуры до 300—400° С и выше вследствие плохой теплоотдачи в воздух. Поэтому материал защитной оболочки и мощность на единицу поверхности (удельная поверхностная и общая мощность нагревательного элемента) должны выбираться с учетом условий эксплуатации. Номинальное напряжение определяется условиями эксплуатации и может быть равным 380, 220, 127, 36 В и меньше. Для упрощения эксплуатации предпочтительным является сетевое номинальное напряжение 380 или 220 В.

Нагревательные элементы с защитными оболочками характеризуются номинальным напряжением, общей мощностью, общей и активной поверхностью, удельной поверхностной мощностью. Общей поверхностью элемента является его наружная поверхность, соприкасающаяся с обогреваемой средой. Активная нагревательная поверхность — это часть поверхности нагревательного элемента, находящаяся в соприкосновении (через изолирующую прослойку) с нагревательным сопротивлением. Обычно активная поверхность составляет 90—95% от общей поверхности элемента. На неактивной части поверхности располагаются выводы нагревательных элементов, присоединяемые к питающей сети.

Удельная поверхностная мощность определяется путем деления общей мощности элемента на площадь активной поверхности.

### **Трубчатые электронагреватели**

-Трубчатые электронагреватели (ТЭН) применяются в основном в качестве комплектующих изделий в различных электронагревательных устройствах; могут использоваться для нагрева воздуха, газов и смесей газов, воды, слабых растворов щелочей и кислот, пищевых жиров и минеральных масел, плавления щелочей и селитры, нагрева и плавления легкоплавких металлов и сплавов, нагрева литейных форм и прессформ и т. п. Трубчатые электронагреватели изготавливаются в соответствии с ГОСТ 13268—74. Промышленностью страны освоено серийное производство различных ТЭН длиной до 6 м и диаметрами 10, 13 и 16 мм.

При выборе конкретного типа ТЭН следует руководствоваться соответствующими каталогами, издаваемыми институтом «Информэлектро» (Москва).

Основными достоинствами ТЭН являются: возможность эксплуатации при непосредственном контакте с нагреваемыми средами; надежность при вибрациях и значительных ударных нагрузках; разнообразная конфигурация, работа нагревательного элемента практически без доступа воздуха, что значительно увеличивает его ресурс работы (до  $10^4$  ч); оболочка не находится под напряжением. Возможность эксплуатации ТЭН в определенной среде определяется химической стойкостью оболочек, пре-

Таблица 10

Сведения о нагреваемых средах, характере нагрева, материале оболочки, предельно допустимых удельных мощностях и температурах ТЭН

Удельная мощность, Вт/см <sup>2</sup> , не более	Нагреваемая среда	Характер нагрева	Материал оболочки
7,0; 11,0	Вода, слабый раствор щелочей и кислот	Нагрев или кипячение	Медь и латунь Нержавеющая сталь Углеродистая сталь
	Воздух, газы и смеси прочих газов	Нагрев в спокойной воздушной среде до температуры на оболочке от 450 до 700 °С	Нержавеющая сталь
		Нагрев в спокойной воздушной среде до температуры на оболочке 450° С	Углеродистая сталь
		Нагрев в среде с движущимся со скоростью не менее 6 м/с воздухом (калориферы, воздуходувки и др.) до температуры на оболочке 450°С	Углеродистая сталь
		Нагрев в среде с движущимся со скоростью не менее 6 м/с воздухом до температуры на оболочке от 450 до 600° С	Нержавеющая сталь
	Жиры пищевые, масла минеральные	Нагрев в ваннах и сосудах до температуры на оболочке 300°С	Углеродистая сталь
	Щелочи, селитры	Плавнение и нагрев до температуры на оболочке 600°С	Нержавеющая сталь
	Легкоплавкие металлы (типографский сплав, олово, свинец и др.)	Нагрев и плавление в ваннах до температуры на оболочке 450°С	Углеродистая сталь
	Литейные формы, прессформы	Нагрев до температуры на оболочке 450°С (ТЭН вставлены в отверстия)	Углеродистая сталь

дельно допустимой температурой. Основным параметром, характеризующим работоспособность ТЭН, является удельная мощность, определяемая как отношение номинальной мощности к площади активной части наружной поверхности оболочки.

Сведения о нагреваемых средах, характере нагрева, материале оболочки, предельно допустимых удельных мощностях и температурах приведены в табл. 4. Структура условного обозначения трубчатых электронагревателей следующая: ТЭН-123/456. Здесь: 1—развернутая длина, см; 2 — условное обозначение длины контактных стержней в заделке (согласно выводу, приведенному



Рис. 12. Типовые конструкции уплотнения ТЭН.

Исполнение: а — I, б — II, а — III.

1 — ТЭН; 2 — втулка; 3 — стакан; 4 — кольцо; 5 — сальник; 6 — гайка нажимная; 7 — гайка;  
8 — прокладка.

и т. п., соединённые с оболочкой методом сварки, пайки или опрессовки. Для ТЭН, не имеющих крепежной арматуры, рекомендуется при необходимости применять типовые конструкции уплотнения, показанные на рис. 12. При этом следует отметить, что сальниковая набивка должна размещаться вне активной части нагревателя.

Для выбора ТЭН следует определить количество теплоты, необходимое для нагрева среды с учетом тепловых потерь. Суммарная мощность, Вт, электронагревателей определяется из равенства

$$P_i = kP, \quad (14)$$

где  $P$  — мощность, необходимая для нагрева среды с учетом тепловых потерь;  $k$  — коэффициент запаса мощности. По каталогу подбирают ТЭН, соответствующий требуемым условиям эксплуатации, т. е. с учетом среды, мощности, напряжения, и имеющий наиболее приемлемую форму и размеры; определяют

необходимое число ТЭН. Подобный расчет ТЭН изложен в работе [10].

После выбора ТЭН следует определить температуру на оболочке, которая зависит от удельной мощности и конкретных условий эксплуатации и не должна превышать предельно допустимых значений, указанных в табл. 4. При меньших температурах на оболочке долговечность и надежность ТЭН повышаются.

Хранить ТЭН необходимо в сухом отапливаемом помещении при температуре от 1 до 40° С и относительной влажности воздуха до 68%. Срок хранения ТЭН до эксплуатации — не более 1 г. с момента отгрузки заводом-изготовителем. Указанные требования вызваны тем, что герметик ТЭН является паропроницаемым, в связи с чем хранение ТЭН больше указанного срока или в более жестких климатических условиях ведет к значительному снижению изоляции вплоть до выхода из строя при включении в работу. Антикоррозионную смазку в случае необходимости требуется обновлять. Перед монтажом ТЭН необходимо: удалить с оболочки антикоррозионную смазку; очистить поверхность изоляторов и контактные стержни от пыли и грязи; проверить сопротивление изоляции в холодном состоянии, которое должно быть не менее 1 МОм. Если сопротивление изоляции окажется меньше 1 МОм, но не ниже 0,7 МОм, то нагреватель необходимо просушить при температуре 100—120° С в течение 4—6 ч. Если сопротивление изоляции ниже 0,1 МОм, а после сушки ниже 1 МОм, то ТЭН бракуется и вопрос о пригодности к работе решается после просушки и перегерметизации этого нагревателя по инструкции завода-изготовителя [18]. Допускается сушка нагревателей путем подключения на пониженное напряжение или последовательно (по несколько штук) на рабочее напряжение при условии обеспечения температуры, указанной на оболочке в зоне герметика.

При монтаже и эксплуатации ТЭН следует руководствоваться указаниями, содержащимися в паспорте и инструкции. Крепление ТЭН к нагревательному устройству необходимо осуществлять с помощью крепежной арматуры. При поставке ТЭН без крепежной арматуры монтаж рекомендуется производить с применением типовой конструкции уплотнения. При большой длине нагревателя для придания устойчивости допускается использование механического крепления с помощью цапговых зажимов, хомутов, стяжек, кронштейнов, скоб и т. д., при этом не следует допускать перегрева оболочки в месте крепления. Категорически запрещается крепление нагревателя за контактные стержни. Заземление корпуса ТЭН, защита от механических повреждений, а также от прикосновения к открытым токоведущим частям должны обеспечиваться потребителем в строгом соответствии с «Правилами устройства электроустановок».

При эксплуатации нагревателей необходимо следить за состоянием контактных стержней и токоподводящих проводов, не допуская ослабления соединения. Подтягивать контактные гайки следует осторожно, чтобы не провертывались контактные стержни

в корпусе ТЭН. При эксплуатации ТЭН должен быть обеспечен надежный тепловой контакт оболочки с нагреваемой средой. Особое внимание следует обратить на ТЭН, предназначенные для нагрева твердых тел. Трубчатые электронагреватели должны работать только в той среде, для которой предназначены. В технически обоснованных случаях допускается эксплуатация ТЭН в несвойственной им среде при условии соблюдения данных по удельной мощности, приведенных в табл. 4.

### Полосовые нагреватели

Полосовые нагреватели в отличие от ТЭН применяются главным образом для поверхностного подогрева. Они имеют плоскую форму, что создает удобство для поверхностного подогрева плоских и криволинейных поверхностей. Теплота от полосовых нагревателей к обогреваемой поверхности передается по плоскости, а не по линии, как в ТЭН. Продольный или поперечный изгиб этих нагревателей обеспечивает плотность контакта с трубопроводом и цилиндрической емкостью. Преимуществом нагревателей является небольшая толщина, ускоряющая разогрев.

Полосовые нагреватели различны по конструкции. Наиболее распространенными являются нагреватели с плоской нагревательной спиралью, намотанной на миканитовую пластину, изолированную снаружи также миканитом и заключенную в герметизированную защитную металлическую оболочку. К источнику питания эти нагреватели присоединяются контактными выводами, для крепления к обогреваемой поверхности снабжаются монтажными отверстиями (рис. 13).

Полосовые нагреватели должны быть плотно прижаты к нагреваемой поверхности. Крепление выполняется с помощью болтов, шпилек или винтов, пропускаемых через монтажные отверстия. В ряде случаев крепление осуществляется с помощью прижимных планок, плотно притягивающих нагреватели к обогреваемой

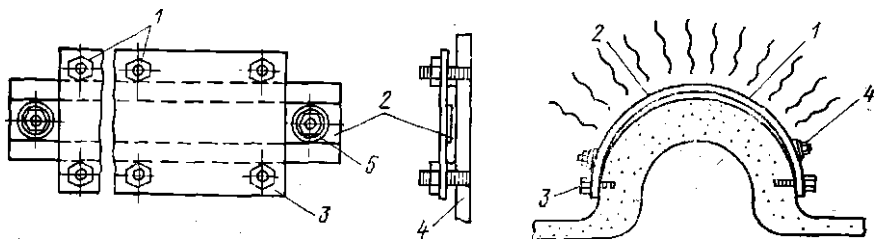


Рис. 13. Схема установки полосового нагревателя.

1 — крепежные болты; 2 — полосовой нагреватель; 3 — прижимная планка; 4 — обогреваемая деталь; 5 — клеммные винты.

Рис. 14. Пример образования воздушной прослойки при неправильной установке полосового нагревателя.

1 — полосовой нагреватель; 2 — воздушный зазор; 3 — крепежные болты; 4 — клеммные винты.

мой поверхности. При слабом креплении или креплении с помощью болтов только на концах элементов в результате нагрева возникает воздушная прослойка между нагревательным элементом и нагреваемой поверхностью (рис. 14). Эта прослойка значительно ухудшает теплопроводность, является причиной перегрева и выхода из строя нагревателей.

### Погружные электронагреватели

Для подогрева нефтепродуктов в емкостях используются различные погружные электронагреватели, изготавливаемые на основе ТЭН. С точки зрения эффективности погружные нагреватели являются наиболее экономичными, так как вся выделяемая нагревателем энергия полностью поглощается разогреваемым продуктом.

Погружные нагреватели обычно собираются из отдельных нагревательных элементов в блоки. Мощность и размеры нагревателей зависят в основном от размеров обогреваемой емкости и требуемой скорости разогрева. Нагреватели могут быть установлены на дне, боковых стенках или в верхней части резервуара. Если монтаж нагревателя через какое-либо отверстие вызывает затруднение, то погружение его в продукт осуществляется путем подвешивания к боковой стенке сосуда. На рис. 15 показана схема установки погружного нагревателя на боковой стенке резервуара.

В случае необходимости максимального разогрева нижней части резервуара используют донные погружные нагреватели,

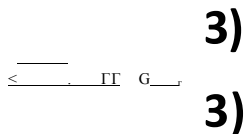
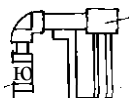


Рис. 15. Установка погружного нагревателя на боковой стенке резервуара.

а — вид сбоку при установке на резервуаре; б — вид с внутренней стороны резервуара. 1 — клеммная коробка; 2 — стенка резервуара; 3 — крепежная планка; 4 — ТЭН; 5 — соединительная коробка; А — активная часть.

Рис. 16. Донный погружной нагреватель.

а — вид изнутри резервуара; б — вид сбоку. 1 — ТЭН; 2 — фланец; 3 — днище резервуара; 4 — гайка; 5 — клеммная коробка.

схематическое устройство которых показано на рис. 16. Нагреватель состоит из двух мощных ТЭН, имеет клеммную соединительную коробку, навинчиванием которой герметизируется донное отверстие.

Подогрев продукта, в который нельзя непосредственно погружать ТЭН (кислоты, щелочи и другие агрессивные жидкости), производится методом «водяной бани». Если требуемая температура подогрева ниже  $100^{\circ}\text{C}$ , то в качестве рабочей жидкости используется вода. При нагреве до более высоких температур применяются минеральные масла или другие жидкости с температурой вспышки и самовоспламенения от  $300^{\circ}\text{C}$  и выше. Резервуар оснащается указателями уровня рабочей жидкости и при необходимости расширительными бачками.

Для внерезервуарного подогрева применяются специальные водомаслонагреватели, выпускаемые в нашей стране и за рубежом. Водомаслонагреватели предназначены для подогрева воды, а также широкого диапазона масел и топочных мазутов. Корпус нагревателей цилиндрической формы сваривается из легированной стали и изолируется слоем тепловой изоляции. В качестве нагревательных элементов используются ТЭН. На рис. 17 показаны различные схемы установки водомаслонагревателей на полу, стене или потолке. На рис. 18 приведена схема присоединения водомаслонагревателя к резервуару с водой. При этом циркуляция воды может быть естественная или принудительная.

С использованием ТЭН разработаны и нашли широкое применение на нефтебазах и нефтескладах погружные резервуарные нагреватели типа БЭР (блок электронагревателей резервуарный), предназначенные для подогрева вязких и застывающих продуктов в стационарных резервуарах. Нагреватели БЭР выпускаются в основном мощностью 12 кВт и предназначены для подключения

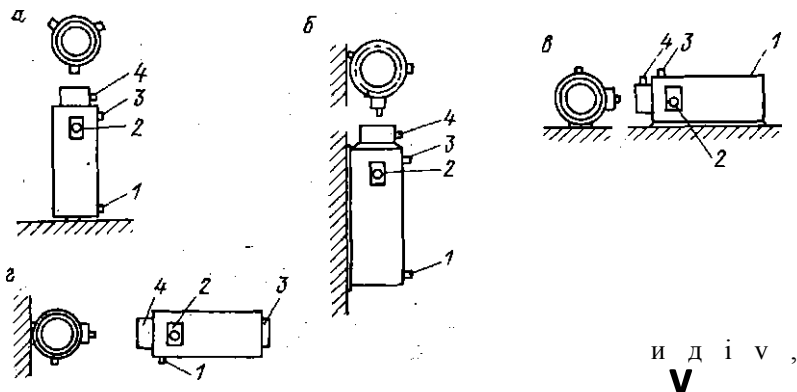


Рис. 17. Схемы установки водомаслонагревателей.

*а* и *в* — на полу вертикально и горизонтально; *б* и *г* — на стене вертикально и горизонтально; *8* — на потолке,  
 / — вход нагреваемой жидкости; 2 — терморегулятор; 3 — нагретая жидкость; 4 — клеммная коробка.

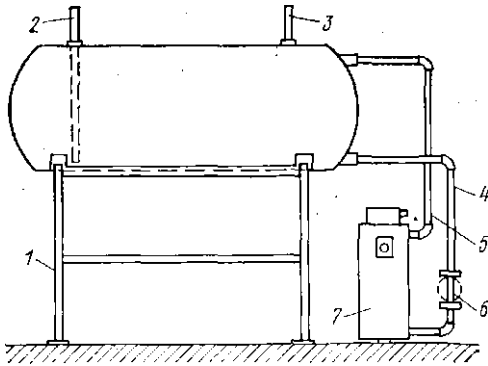


Рис. 18. Схема присоединения водомаслонагревателя к обогреваемому резервуару.

1—опоры; 2—подача холодного продукта; 3—выход разогретого продукта; 4—вход в водомаслонагреватель; 5—выход из водомаслонагревателя; 6—насос; 7—водомаслонагреватель.

к питающей сети напряжением 380/220 В. Нагреватель БЭР (рис. 19) состоит из блока ТЭН, блокировочного устройства, корпуса, выводной трубы и клеммной коробки. Блок ТЭН собран в единый узел посредством диска, на котором с помощью приварных втулок укреплен ТЭН. Блок ТЭН крепится к корпусу шпильками, что упрощает демонтаж при ремонте, замене или профилактическом осмотре. Для обеспечения герметичности между диском и корпусом установлена прокладка из маслобензостойкой резины.

Блокировочное устройство (рис. 20) служит для предотвращения обнажения ТЭН и перегрева нагреваемого продукта. Оно состоит из корпуса, к которому припаян сильфон со скобой и гер-

CL

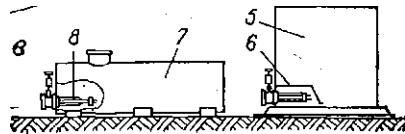
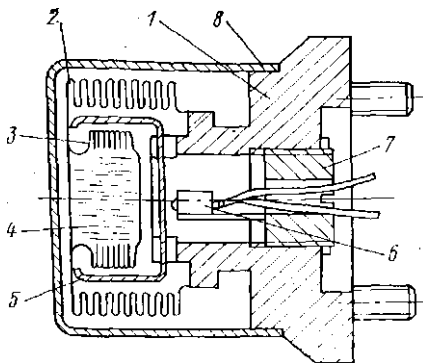


Рис. 19. Нагреватель резервуарный БЭР.

а — общий вид; б — схема монтажа БЭР-П в подземных резервуарах; в — схема монтажа БЭР в наземных резервуарах.  
1 — клеммная коробка; 2 — корпус БЭР; 3 — ТЭН; 4 — блокировочное устройство; 5 — вертикальный резервуар; 6 — камера местного подогрева; 7 — горизонтальный резервуар; Я — БЭР.

Рис. 20. Блокировочное устройство.

1 — фланец; 2 — сиффон; 3 — термостат;  
4 — легкокипящая жидкость; 5 — скоба;  
6 — микропереключатель; 7 — регулировочный винт; 8 — защитный стакан с про-  
резами.



метичным сиффоном, внутри которого находится легкокипящая жидкость. Блокировочное устройство контролирует наличие продукта над ТЭН. При достижении минимального уровня продукта в емкости блокировочное устройство отключает БЭР от питающей сети. Таким образом исключается возможность обнажения ТЭН при включенном нагревателе. Отключение происходит и при нагреве продукта до заданной температуры.

Блокировочное устройство работает следующим образом. При погружении сиффон 2 сжимается от давления столба продукта, скобой включает микропереключатель 6 и замыкает цепь, включающую БЭР. При уменьшении столба продукта сиффон разжимается и размыкает микропереключатель — нагреватель БЭР отключается. При нагреве продукта до заданной температуры легкокипящая жидкость 4 в термостате 3 расширяется, разжимает сиффон 2 и оттягивает скобу 5, размыкая микропереключатель. Таким образом БЭР отключается от сети.

Эффективность применения нагревателей БЭР в основном зависит от правильного выбора способа подогрева, метода установки нагревателя в резервуаре и выбора оптимальной температуры подогрева нефтепродукта.

Нагреватели БЭР изготавливаются в двух вариантах: БЭР-1 — для наземных резервуаров (монтаж производится путем врезки в нижнюю часть стенки резервуара с последующей приваркой корпуса нагревателя); БЭР-П — для заглубленных резервуаров с установкой через люк-лаз. Для установки электронагревателя БЭР-1 необходимо: а) подготовить резервуар к проведению сварочных работ; б) в нижней части резервуара вырезать отверстие, достаточное для прохода корпуса нагревателя; в) установить нагреватель в резервуар и приварить усилительное кольцо корпуса к стенке резервуара. Для установки нагревателя БЭР-П через люк-лаз необходимо: а) подготовить отрезок трубы, достаточный для установки нагревателя на дно резервуара и соединения с клеммной коробкой; б) прорезать отверстие диаметром 60 мм в крышке горловины резервуара для приварки втулки; в) надеть на трубу шайбу и приварить; г) трубу с корпусом нагревателя

соединить посредством муфты и контргайки; д) перед погружением в резервуар проверить герметичность нагревателя.

При монтаже нагревателя БЭР-I в наземных резервуарах с нагревательными камерами особое внимание следует обращать на раздаточный патрубок, который должен быть расположен с наименьшим удалением от верхней плоскости нагревательной камеры. Тогда при отпуске нагретый продукт, находящийся в камере, будет вытесняться холодным, проходящим через нижнюю часть камеры, и в отпусковой трубопровод будет поступать только разогретый продукт. При установке раздаточного патрубка в средней или нижней части объем камеры используется не полностью и часть разогретого нефтепродукта остается в верхней части камеры.

Поскольку конструкция нагревателей исполнения I—II аналогична, вполне возможна установка нагревателей исполнения I в подземные резервуары, для чего требуются дополнительные соединительные питающие провода соответствующей длины.

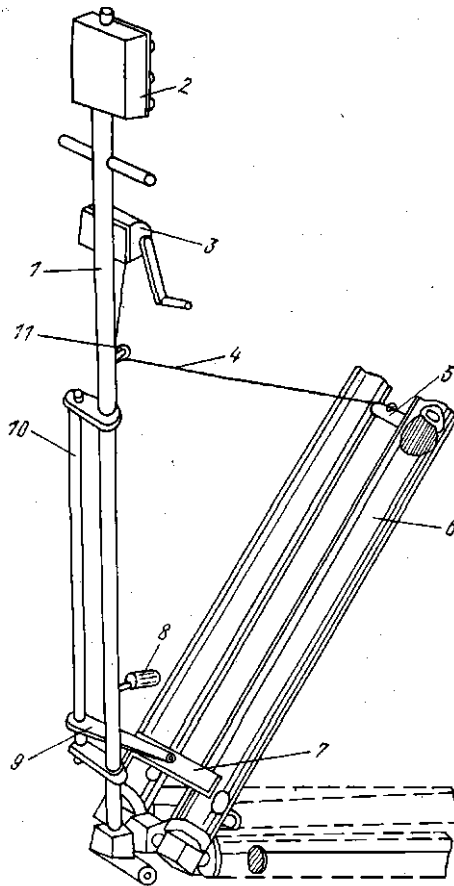
### **Железнодорожные электрогрелки**

Для разогрева нефтепродуктов в железнодорожных цистернах разработаны и внедрены в промышленное производство электрогрелки типа ГТЦ (грелка трубная для цистерн) двух модификаций: ГТЦ-36 (мощностью 36 кВт) и ГТЦ-18 (мощностью 18 кВт). Крупногабаритные трубные нагреватели, используемые в грелках ГТЦ, имеют размеры в несколько раз больше, чем ТЭН.

Трубный нагреватель мощностью 9 кВт, применяемый в грелках ГТЦ, имеет диаметр 0,1 м, длину 2 м. Трубный нагреватель представляет собой две коаксиально расположенные трубы, между которыми находится нагревательный элемент. В качестве нагревательного элемента используется теплостойкая нагревательная лента типа НТЛ, спирально намотанная на внутреннюю трубу. Благодаря такому расположению нагревательного элемента трубный нагреватель имеет, в отличие от ТЭН, двойную поверхность теплоотдачи — внутреннюю и наружную.

Один трубный крупногабаритный нагреватель заменяет по мощности и по теплоотдающей поверхности несколько ТЭН, что делает конструкцию электрогрелки с трубными нагревателями более надежной, упрощает сборку и эксплуатацию по сравнению с аналогичными по мощности электронагревателями с ТЭН.

При подогреве цистерн применяется комплект из двух грелок. Таким образом, общая мощность комплекта, состоящего из двух грелок ГТЦ-18, которому присвоено название УН2-18, равна 36 кВт, а комплекта из двух грелок ГТЦ-36, называемого УН2-36, равна 72 кВт. В каждый комплект входит пульт управления. Устройство грелки ГТЦ-18 показано на рис. 21. Основным элементом грелки является составная трубная стойка, в верхней части которой имеются клеммная коробка и лебедка. К нижней части присоединяется корпус с втулкой, в которую вставляются



**Рис. 21. Железнодорожная грелка ГТЦ-18.**

1 — трубная стойка; 2 — клеммная коробка; 3 — лебедка; 4 — трос; 5, 7 — планки; 5 — трубный крупногабаритный нагреватель; 8 — блокировочное устройство; 9 — рычаг; 10 — торсион; 11 — блоки.

два трубных нагревателя, скрепляемые планками в нижней и верхней частях. На трубной стойке установлен торсион с рычагом. Верхний конец торсиона закреплен неподвижно, а нижний имеет шарнир. На стойке установлено блокировочное устройство 8 для контроля уровня продукта над трубными нагревателями и температуры нагрева. От лебедки отходит трос 4, который через блоки 11 соединяется с верхней планкой 5. На трубной стойке закреплен также грузовой трос для подсоединения к крану-укосине, а внутри стойки проходят питающие провода к трубным нагревателям. Блокировочное устройство аналогично установленному на резервуарном нагревателе БЭР.

Электрогрелка ГТЦ направляется с завода-изготовителя в разобранном виде. Поэтому до начала монтажа необходимо прове-

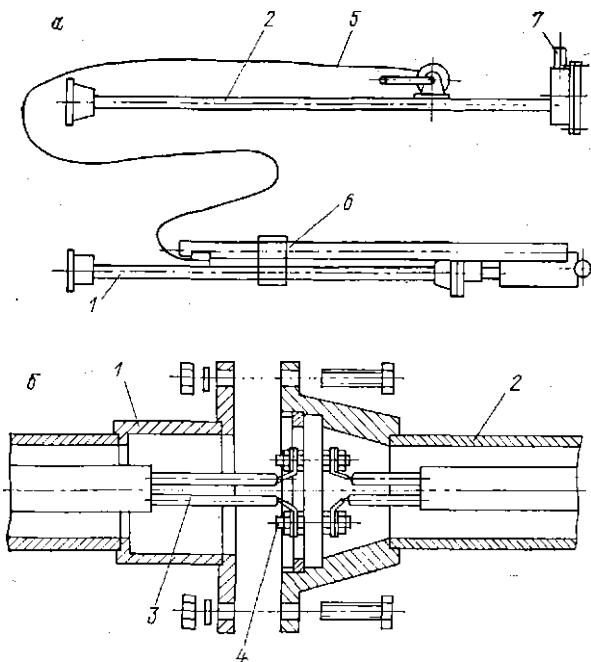


Рис. 22. Схема сборки грелок типа ГТЦ на месте монтажа.

а — общий вид; б — узел соединения в увеличенном масштабе.  
 1, 2 — трубные стойки; 3 — провод; 4 — шпильки; 5 — трос; 6 — бандаж; 7 — клеммная коробка.

речь комплектность грелки и убедиться в целостности составных частей. Перед сборкой (рис. 22) необходимо проверить сопротивление изоляции питающих проводов относительно корпуса частей трубных стоек 1 и 2, затем присоединить части трубных стоек и провода 3 к шпилькам 4. После этого натягивается трос 5 и снимается бандаж 6. Герметичность соединений проверяется сжатым воздухом давлением 0,03 МПа и мыльной эмульсией. На кран-укосине или около него закрепляется пульт управления и подсоединяется грелка, после чего установка заземляется.

При оснащении фронта слива электроподогревом необходимо согласование с местными органами Господнадзора. Место слива должно иметь оборудование, необходимое для эксплуатации устройства (кран-укосину с лебедкой, обеспечивающей опускание и подъем), а также укрытие для хранения электрогрелок, средства пожаротушения. Должны быть вывешены плакаты, предупреждающие о работе электрогрелок под напряжением и запрещающие доступ посторонним лицам.

Подготовка грелки к погружению и разогрев продукта выполняются в следующем порядке. Электрогрелка подсоединяется через грузовой трос к кран-укосине, вводится в одну сторону цистерны и на весу наклоняется под углом. Аналогично вводится

вторая электрогрелка в другую сторону цистерны. Лебедкой на электрогрелке производится освобождение трубных нагревателей, а складывание происходит под действием торсиона.

Перед каждым погружением необходимо убедиться в отсутствии механических повреждений электрогрелок, гибкого кабеля, пульта управления, а также заземляющего устройства. Электрогрелки включаются после погружения и полного складывания трубных нагревателей. Электроподогрев должен производиться при постоянном наблюдении обслуживающего персонала.

После открытия сливного прибора цистерны включается электрогрелка. При снижении уровня нефтепродукта до 0,6—0,7 м закрывается сливной прибор и разогревается остаток. После отключения электрогрелки производится окончательный слив. Затем складываются лебедкой трубные нагреватели и попеременно извлекаются из цистерны электрогрелки. Обязательным условием при введении электрогрелки в цистерну должно быть вертикальное расположение трубных нагревателей, затем принудительно складываемых торсионов.

### **Поплавковый нагреватель НГМ2**

На основе крупногабаритных трубных нагревателей разработан поплавокый нагреватель типа НП12 для разогрева вязких нефтепродуктов в раздаточных резервуарах вместимостью от 10 до 75 м<sup>3</sup> на распределительных нефтебазах. Как и в грелках типа ГТЦ, трубный нагреватель собирается из двух коаксиально расположенных труб, между которыми спирально установлен теплоустойчивый ленточный нагревательный элемент. Поплавковый нагреватель (рис. 23) состоит из трубного нагревателя 3, поплавок ограничительной камеры 1, гибкого шланга 5, в котором расположены провода для подвода питания к клеммной коробке 4, из нагревателя 7 для обогрева приемо-раздаточного патрубка резервуара и направляющего желоба. Поплавковый нагреватель снабжен пультом управления 6.

Принцип работы НП12 заключается в том, что разогревается только та часть продукта, которая подлежит отпуску или выкачке из резервуара. Для этого поплавокый нагреватель снабжен ограничительной камерой, в которой скапливается нефтепродукт, нагревающийся при движении вверх между трубным нагревателем и направляющим желобом. Остальной продукт в резервуаре остается неразогретым. При изменении уровня продукта в резервуаре поплавок удерживает заборную часть электронагревателя на плаву. Из ограничительной камеры при открытии отпусковой резервуарной задвижки нагретый продукт проходит через трубный нагреватель приемо-раздаточного патрубка и выходит из резервуара.

Поплавковый нагреватель снабжен блокировочным устройством, которое контролирует наличие нефтепродукта над нагревателем и отключает последний при нагреве нефтепродукта до

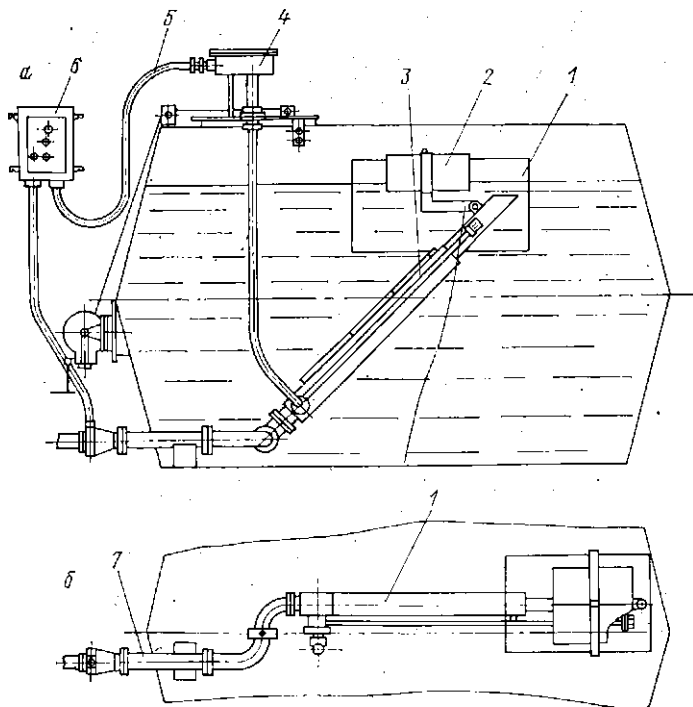


Рис. 23. Поплавковый нагреватель.

а — схема установки в резервуаре; б — вид сверху в нижнем положении.

заданной температуры. Блокировочное устройство имеет конструкцию, аналогичную такому же устройству у грелок ГТЦ и БЭР.

Основные технические характеристики НП12 следующие: условный проход 100 мм, напряжение питающей сети 380/220 В, мощность 12 кВт. Режим автоматического отключения нагревателя определяется максимальной температурой нагрева нефтепродукта  $80^{\circ}\text{C}$  и высотой столба нефтепродукта над трубным нагревателем  $100\pm 50$  мм. При одновременном отпуске, превышающем объем ограничительной камеры, допускается выдавать продукт помимо ограничительной камеры. Для этого производится предварительный разогрев всего содержимого резервуара.

### Электроподогрев насосов

Для подогрева наиболее распространенных на распределительных нефтебазах масляных шестеренчатых насосов типа Ш разработаны специальные электронагреватели. При этом насос может быть установлен на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях. Электронагреватель (рис. 24) представляет со-

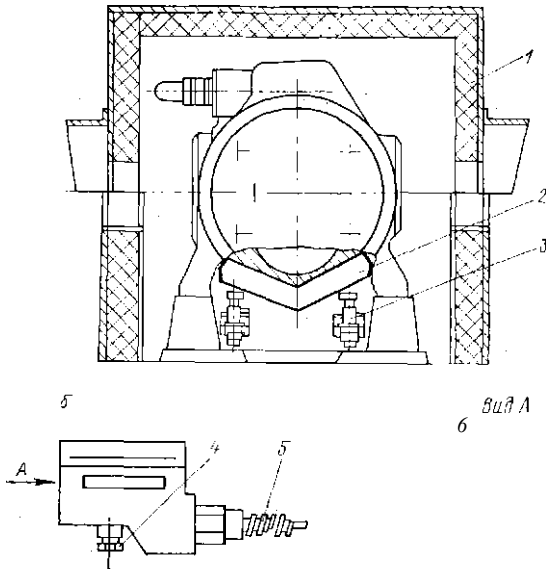


Рис. 24. Электронагреватель насосов типа Ш.

а — схема установки и крепления; б — электронагреватель.  
 1 — теплоизоляционный кожух; 2 — электронагреватель; 3 — поджимной болт; 4 — болт заземления; 5 — металлорукав; 6 — трубчатый нагреватель ТЭН.

бой алюминиевую отливку, внутри которой расположен трубчатый нагреватель 6. Электронагреватель устанавливается под корпусом насоса. Плотный контакт обеспечивается посредством поджимных болтов 3. С целью уменьшения теплотерь корпус насоса закрывается теплоизоляционным кожухом 1.

Разработаны электронагреватели четырех типов для насосов Ш20, Ш40, Ш80, Ш120. Они входят в комплект поставки электронасосного агрегата. Технические данные электронагревателей приведены в табл. 5.

Таблица 5  
 Технические данные электронагревателей насосов Ш

Показатель	Ш20	Ш40	Ш80	Ш120
Мощность, кВт	0,32	0,5	1,0	1,6
Масса, кг	4,1	5,2	6,3	7,1
Габаритные размеры, мм:				
длина	143	232	257	257
ширина	155	170	205	250
высота	88	93	103	115

#### IV. СЛИВО-НАЛИВНЫЕ УСТРОЙСТВА С ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВОМ

Для слива и налива вязких и застывающих нефтепродуктов разработаны и внедрены в промышленную эксплуатацию установки УНЖ-100 и УСНПэ-150 со встроенными системами электроподогрева. Установка УНЖ-100 предназначена для налива вязких и застывающих продуктов в железнодорожные цистерны. Основными элементами установки являются шарнирно соединенные трубы, уравнивающее торсионное устройство, дисковая заслонка и система электроподогрева (рис. 25). Наличие шарниров, состоящих из двух обжим, между которыми засыпаны шарики, позволяет легко разворачивать всю установку и заводить наливной патрубком в горловину цистерны. Установка монтируется на фланце опорной стойки трубопровода, по которому подается наливаемый продукт.

Электроподогрев осуществляется спиральной намоткой гибких нагревателей типа ЭНГЛ-180 на прямые участки шарнирно соединенных труб. Колена обогреваются нагревателями, выполненными в виде косынок. Выводы от нагревательных элементов и гибких нагревателей выполняют термостойкими проводами, которые соединяются со шкафом управления. Управление системой электроподогрева осуществляют кнопками «Пуск» и «Стоп», расположенными на шкафу управления. При превышении допустимой температуры стенок установки происходит отключение нагревателей с помощью термореле ТР-200.

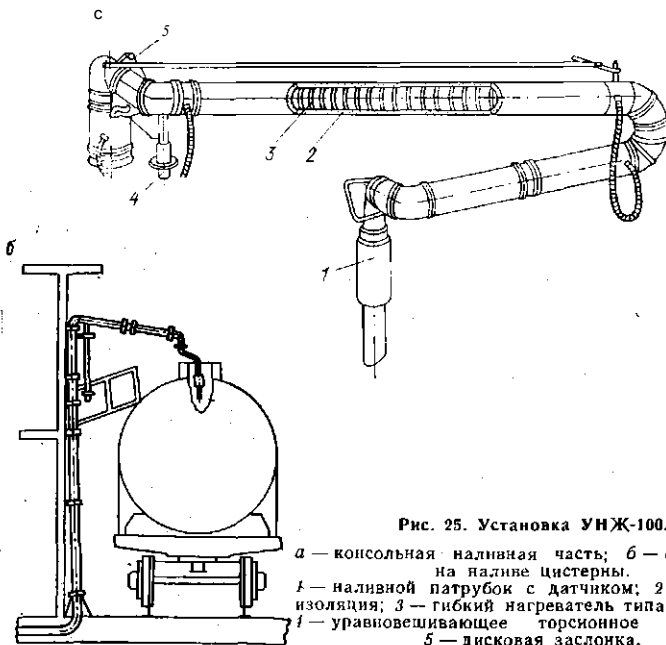


Рис. 25. Установка УНЖ-100.

*а* — консольная наливная часть; *б* — общий вид на налив цистерны.  
*1* — наливной патрубком с датчиком; *2* — тепловая изоляция; *3* — гибкий нагреватель типа ЭНГЛ-180; *4* — уравнивающее торсионное устройство; *5* — дисковая заслонка.

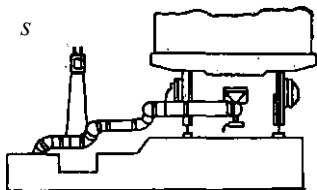


Рис. 26. Установка УСНПэ-150.

а — общий вид; б — схема присоединения к цистерне.

1 — присоединительный патрубок; 2 — шкаф управления; 3 — термодатчик ТР-200; 4 — большая консольная труба; 5 — гибкий нагреватель типа ЭНГЛ-180; 6 — тепловая изоляция; 7 — присоединительная головка; 8 — металлоулав.

Подогрев необходим для компенсации теплотерь нефтепродукта, проходящего через установку, а также для разогрева застывающего продукта в трубах во время перерывов между наливками цистерн. Общая мощность нагревателей 1,4 кВт, напряжение 220 В. Для снижения тепловых потерь поверх гибких нагревателей и косынок установлена тепловая изоляция.

Установка УСНПэ-150 предназначена для нижнего слива — налива вязких нефтепродуктов из железнодорожных цистерн. Установка (рис. 26) состоит из шарнирно соединенных труб, оканчивающихся с одной стороны опорным патрубком с присоединительным фланцем, а с другой стороны — присоединительной головкой. Опорный патрубок представляет собой металлоконструкцию из трубы, основания и присоединительного фланца. Основанием установка крепится к фундаменту, а присоединительным фланцем — к сливному коллектору. Присоединительная головка оснащена захватами, коромыслом и маховиком с рукояткой.

В центральной части коромысла имеется ходовая гайка на винте, один конец которого шарнирно закреплен на головке, а второй связан с маховиком. При вращении маховика вращается винт, а коромысло движется поступательно вверх или вниз в зависимости от направления вращения маховика. Наличие шарниров позволяет разворачивать всю установку и перемещать присоединительную головку вдоль цистерны для присоединения ее к сливному патрубку железнодорожной цистерны.

Присоединение установки к цистерне производится следующим образом: головка установки подводится к цистерне, кулачки захватов устанавливаются на борт сливного прибора и вращением маховика по часовой стрелке головка плотно притягивается к сливному прибору цистерны. Герметичность присоединения обеспечивает резиновое кольцо, находящееся в конической части головки.

Электроподогрев установки осуществляется гибким нагревателем типа ЭНГЛ-180. Для усиленного нагрева вытекающего холодного продукта намотка на участок трубы, присоединяемый к цистерне, производится с шагом 28 мм, а на последующие участки с шагом 60 мм. Общая мощность нагревателей 4,2 кВт, напряжение питающей сети 220 В. Выводы нагревателей расположены вдоль труб между стыками теплоизоляции. Начальные и конечные участки нагревателей и выводы закреплены на трубе теплостойкой стеклотентой. На большой трубе установлено термореле ТР-200М, которое дает сигнал на отключение при достижении температуры стенки 80° С.

Гибкие нагреватели включаются за 6—10 мин до начала слива. Ускорение слива холодного продукта происходит главным образом за счет того, что между «горячей» стенкой трубы и холодным нефтепродуктом образуется подплавленный пограничный слой толщиной 1—3 мм, значительно уменьшающий трение сливаемого холодного продукта о стенки труб установки.

## **V. ЭЛЕКТРООБОГРЕВ ТРУБОПРОВОДОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ И НАРУЖНЫХ УСТАНОВКАХ**

Многие наружные установки и помещения предприятий нефтяной промышленности являются взрывоопасными, и поэтому применяемое электронагревательное оборудование должно быть оснащено средствами взрывозащиты для обеспечения безопасной эксплуатации. Конструкция электронагревателей и системы электроподогрева зависит от характеристики взрывоопасной среды, в которой предусмотрена эксплуатация электронагревателей.

Основные требования, предъявляемые к взрывозащищенному оборудованию, и понятия, связанные со взрывоопасностью и взрывозащитой, регламентируются рядом стандартов, недавно вступивших в силу. ГОСТ 12.1.011—78 устанавливает классификацию взрывоопасных смесей, наличие которых и определяет взрывоопасность среды. С учетом этого взрывоопасность среды обуславливается возможностью образования в ней газопарофлевоздушных смесей, приобретающих при определенных условиях способность взрываться от соприкосновения с источниками зажигания или нагрева.

Свойства взрывоопасное™ приобретают смеси с воздухом любых горючих газов и паров горючих легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) при соответствующих концентрациях, измеряемых в объемных долях или граммах на 1 м<sup>3</sup> объема смеси. К *легковоспламеняющимся* относятся горючие жидкости, температура вспышки паров которых равна 61° С и ниже, а давление паров при температуре 20° С — не менее 10 кПа (1 кгс/см<sup>2</sup>).

Таблица 10

Основные свойства взрывоопасных паров некоторых легковоспламеняющихся жидкостей и горючих газов

Наименование	Молекулярная масса	Температура, °С		Нижний предел взрываемости		Плотность по воздуху	Максимально допустимая концентрация по СН 245—71, г/м³
		Вспышка	Самовоспламенение	<i>H</i>	г/м³		
Пары ЛВЖ							
Ацетон	58,0	- 1 8	465	2,2	52,0	2,0	0,2
Бензин Б-95/130	100,0	- 3 7	380	0,98	-	-	0,1
Бензин А-66	100,0	—39	255	0,76	-	-	0,1
Бензол	78,1	- 1 1	534	1,4	4,5	2,7	0,02
Бутила мин	73,1	- 1 2	312	1,7	-	2,6	-
Бутиловый спирт	74,0	34	410	2,27	-	2,6	0,01
Дихлорэтан	99,0	9	413	6,2	-	3,4	0,01
Древесный спирт	32,0	8	464	6,0	-	1,1	-
Керосин тракторный	-	27	250	1,4	-	-	0,3
Ксилол	106,2	29	580	1,1	-	3,7	0,05
Метиловый спирт	32,0	8	464	<i>B</i>	92,0	1,1	0,005
Метилацетат	74,1	—15	470	3,6	109,2	2,5	0,1
Скипидар	136,0	34	300	0,8	45,0	4,7	0,3
Толуол	92,1	4	536	1,3	49,0	3,2	0,05
Уксусная кислота	60,0	38	454	3,3	-	2,1	0,005
Этиловый спирт	46,1	13	365	3,6	68,0	1,6	1,0
Горючие газы							
Аммиак	17,0'	-	650	15,0	-	0,6	0,02
Ацетилен, этил	26,0	-	335	2,0	-	0,91	0,5
Метан	16,0	-	537	5,0	-	0,55	-
Окись углерода	28,0	-	610	12,5	-	0,97	0,02
Окись этилена	44,0	-	429	3,0	-	1,5	-
Природный газ	16,0	-	537	4,5	-	0,55	-
Пропан	44,1	-	466	2,1	-	1,6	-

Характерными показателями взрыво- и пожароопасности паровоздушных смесей горючих жидкостей являются *температура вспышки* паров — наименьшая температура жидкости, при которой внесение постороннего источника зажигания вызывает вспышку паров без воспламенения самой жидкости, и *температура самовоспламенения* — наименьшая температура, до которой должна быть нагрета смесь для воспламенения без внесения постороннего источника зажигания.

Основные данные и физико-химические свойства взрывоопасных паров некоторых легковоспламеняющихся жидкостей и горючих газов, характеризующих взрывоопасность среды, приведены в табл. 6. ГОСТ 12.1.011—78 дает подразделение взрывоопасных смесей, газов и паров на категории в зависимости от размера безопасного экспериментального максимального зазора (БЭМЗ)

Распределение некоторых взрывоопасных смесей по категориям и группам

Категория (группа) взрывоопасных смесей	Вещества, образующие с воздухом взрывоопасную смесь
I (T1) HA (T1)	Метан (рудничный)
HA (T2)	Аммиак, ацетон, бензол, уксусная кислота, ксилол, окись углерода, этан, этил хлористый
ПА (T3)	Бензин Б-95/130, бутан, изооктан
ПА (T4)	Бензины А-66, А-72, А-76, «Галоша», Б-70, гексан, гептан, дизельное топливо ДЗ
ИВ (T1)	Ацетальдегид, альдегид масляный
ПВ (T2)	Коксовый газ, синильная кислота
ПВ (T3)	Формальдегид, фурфурол, этил
ПВ (T4)	Сероводород, топливо дизельное (зимнее)
ПС (T1>)	Дибутиловый эфир, диэтиловый эфир
ПС (T3)	Водород, водяной газ
ПС (T5)	Ацетилен
	Сероуглерод

Таблица 8

БЭМЗ в зависимости от категории  
и вида взрывоопасных смесей

Таблица 9

Распределение  
взрывоопасных смесей по группам

Категория и наименование взрывоопасных смесей	БЭМЗ, мм	Группа взрыво- опасных смесей	Температура самовоспламенения, °С
1. Рудничный ме- тан	Более 1,0	T1 T2	Более 450 Более 300, до 450 вклю- чительно
2. Промышлен- ные газы и пары		T3	Более 200, до 300 вклю- чительно
ПА	Более 0,9	T4	Более 135, до 200 вклю- чительно
ПВ	Более 0,5, до 0,9 включительно	T5	Более 100, до 135 вклю- чительно
ПС	До 0,5	T6	Более 85, до 100 вклю- чительно

(табл. 7). БЭМЗ — максимальный зазор между фланцами оболочки, через который не проходит передача взрыва из оболочки в окружающую среду при любой концентрации горючего в воздухе. Размер БЭМЗ определяется в соответствии с табл. 8. Взрывоопасные смеси газов и паров подразделяются на группы в зависимости от значения температуры самовоспламенения, как это показано в табл. 9.

Распределение взрывоопасных смесей по категориям и группам приведено в обязательном приложении к ГОСТ 12.1.011—78. Введенный с 1980 г. ГОСТ 12.2.020—76 «Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация.

Температурные классы  
для взрывозащищенного  
электрооборудования группы II

Температурный класс	Предельная температура, °С
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	80

Маркировка» устанавливает термины и определения основных понятий взрывозащищенного электрооборудования, а также классификацию взрывозащищенного электрооборудования по уровням и видам взрывозащиты и его маркировку. ГОСТ 12.2.020—76 дает следующую классификацию взрывозащищенного электрооборудования для внутренней и наружной установки в зависимости от уровня взрывозащиты: электрооборудование повышенной надежности против взрыва; взрывобезопасное электрооборудование; особовзрывобезопасное электрооборудование.

Взрывозащищенное электрооборудование для внутренней и наружной установки может иметь следующие виды взрывозащиты:

- взрывонепроницаемая оболочка;
- искробезопасная электрическая цепь;
- вид «е»;
- заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением;
- масляное заполнение оболочки;
- кварцевое заполнение оболочки;
- специальный.

Взрывозащищенное электрооборудование для внутренней и наружной установки, кроме рудничного взрывозащищенного (группа I), относится к группе II. Электрооборудование группы II подразделяется на подгруппы IIА, IIВ, IIС. Для взрывозащищенного электрооборудования группы II в зависимости от значения предельной температуры устанавливаются температурные классы (табл. 10).

Маркировка взрывозащиты взрывозащищенного электрооборудования группы II должна содержать (в приведенной последовательности):

а) знак уровня взрывозащиты (2 — для электрооборудования повышенной надежности против взрыва, 1 — для взрывобезопасного электрооборудования, 0 — для особовзрывобезопасного электрооборудования);

б) знак «Ex», указывающий, что электрооборудование соответствует настоящему стандарту и стандартам на виды взрывозащиты;

в) знак вида взрывозащиты (d — взрывонепроницаемая оболочка, i — искробезопасная электрическая цепь, e — защита вида «е», o — масляное заполнение оболочки, r — заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением, q — кварцевое заполнение оболочки, s — специальный вид взрывозащиты);

Таблица 10

## Примеры маркировки взрывозащиты электрооборудования

Наименование	Вид взрывозащиты	Группа (подгруппа) и температурный класс	Маркировка взрывозащиты
Электрооборудование повышенной надежности против взрыва	Защита вида «е»	Группа II, температурный класс T6	2ExeIIIT6
То же	Защита вида «е» и взрывонепроницаемая оболочка	Подгруппа IIB, температурный класс T3	12ExeIIIBT3
Взрывобезопасное электрооборудование	Взрывонепроницаемая оболочка	Подгруппа IIA, температурный класс T3	1ExdIIAT3

Таблица 12

Некоторые термины, связанные с электроподогревом во взрывоопасных средах

Термин	Определение
Средство взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства)	Конструктивное и (или) схемное решение для обеспечения взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства)
Уровень взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства)	Степень взрывозащиты электрооборудования (электротехнического устройства) при установленных нормативными документами условиях
Предельная температура взрывозащищенного электрооборудования (электротехнического устройства)	Наибольшая температура поверхностей взрывозащищенного электрооборудования (электротехнического устройства), безопасная в отношении воспламенения окружающей взрывоопасной среды
Электрооборудование (электротехническое устройство) повышенной надежности против взрыва	Взрывозащищенное электрооборудование (электротехническое устройство), в котором взрывозащита обеспечивается только в признанном нормальном режиме его работы
Взрывобезопасное электрооборудование (электротехническое устройство)	Взрывозащищенное электрооборудование (электротехническое устройство), в котором взрывозащита обеспечивается как при нормальном режиме работы, так и при признанных вероятных повреждениях, определяемых условиями эксплуатации, кроме повреждений средств взрывозащиты

г) знак группы или подгруппы электрооборудования (II — для электрооборудования, не подразделяющегося на подгруппы, IIIA, IIIB и IIIC — для электрооборудования, подразделяющегося на подгруппы);

д) знак температурного класса электрооборудования.

Маркировка взрывозащиты взрывозащищенного электрооборудования группы II должна выполняться в виде цельного, не разделенного на части знака и располагаться в прямоугольнике. Пример маркировки приведен в табл. 11. Маркировка взрывозащиты должна выполняться рельефными знаками на видимом месте оболочки электрооборудования или на табличке, прикрепляемой к оболочке таким способом, чтобы была обеспечена сохранность ее в течение всего срока службы электрооборудования в условиях, для которых оно предназначено.

ГОСТом определены термины, применяемые при определении понятий, связанных с взрывоопасностью и взрывозащитой. Ниже приведена выборка терминов, связанных с электрообогревом во взрывоопасных средах (табл. 12).

### **Взрывобезопасная система электроподогрева трубопроводов**

К системам электроподогрева, предназначенным для эксплуатации во взрывоопасных помещениях и наружных установках, предъявляется ряд специфических требований. Отсутствие достаточного отечественного опыта разработки, изготовления и эксплуатации систем электроподогрева трубопроводов и технологического оборудования во взрывоопасных средах потребовало исследования различных путей решения данной задачи. При разработке нагревателей был изучен зарубежный опыт по применению главным образом гибких нагревателей во взрывоопасных средах. В результате выделены, как наиболее распространенные, взрывобезопасные нагреватели, основой которых являются кабели типа МИ с минеральной изоляцией. Кабели МИ при применении во взрывоопасных средах комплектуются средствами улучшения теплопередачи к обогреваемому объекту, низкотемпературными выводами и средствами ввода в стандартные взрывонепроницаемые коммутационные коробки.

В качестве примера конструкции нагревателей из кабелей МИ можно указать на нагреватели ленточного типа, представляющие собой плоскую тканую стеклоленту шириной 50 мм и толщиной около 5 мм. Длина нагревателей находится в пределах от 2 до 60 м. По кромкам ленты в специальных карманах бифилярно расположен нагревательный кабель МИ. Нагреватель снабжен низкотемпературными выводами, стыковка с которыми осуществляется в муфтах, служащих также для закрепления и герметизации выводов в коммутационной взрывонепроницаемой коробке. Максимальная рабочая температура нагревателей 350°С при удельной мощности до 100 Вт на 1 м длины. Нагреватели изго-

товляются одно- и трехфазными. Мерами по обеспечению взрывобезопасности нагревателей на основе кабелей МИ следует считать защиту нагревательной жилы слоем опрессованной минеральной изоляции и наружной металлической оболочкой, а также размещение кабелей МИ под слоем тепловой изоляции.

В связи с отсутствием в нашей стране массового выпуска кабелей МИ, а также из-за определенных недостатков этих кабелей, таких, как жесткость и плохая теплопередача к обогреваемому оборудованию, в качестве основного типа нагревателей для применения во взрывоопасных средах в СКВ «Транснефтеавтоматика» был разработан гибкий ленточный нагреватель типа ЭНГЛВ-180 на основе конструкции ЭНГЛ-180. Нагреватель ЭНГЛВ-180, как и ЭНГЛ-180, представляет собой плетеную ленту из стеклонити, в основу которой заплетены восемь нагревательных жил, но с изоляцией из двух слоев окрutki стеклонитью. Лента имеет влагонепроницаемую оболочку из кремнийорганической резины. С боковых сторон оболочка снабжена приливами, обеспечивающими возможность крепления к ним токонесущих проводов посредством перемычек. Нагревательные жилы и токонесущие провода на концах нагревателя также скоммутированы по определенным схемам. Для повышения надежности в эксплуатации соединение нагревательных и токоведущих проводов осуществляется пайкой твердыми припоями или сваркой.

Как и ЭНГЛ-180, нагреватели ЭНГЛВ-180 по способу подключения к источнику питания изготавливаются двух исполнений: И — для индивидуального подключения к питающей сети и И — для подключения к питающей сети и между собой.

*Технические данные гибких нагревателей ЭНГЛВ-180*

Предельная рабочая температура на поверхности активной части, °С	180
<b>Номинальное рабочее напряжение переменного тока</b> (частота 50 Гц), В	220/380
Удельная мощность изготавливаемых нагревателей на 1 м активной части, Вт/м	30-100

В результате проделанной работы СКВ «Транснефтеавтоматика» в сотрудничестве со Всесоюзным научно-исследовательским институтом взрывозащищенного электрооборудования (г. Донецк) были определены и разработаны необходимые средства и мероприятия по обеспечению взрывозащиты при создании конструкций гибких электронагревателей и разработке методов их эксплуатации. При этом принималось во внимание, что применение нагревателей во взрывоопасных условиях накладывает особые требования на качество монтажа и выбор питающих кабелей, конструкции взрывонепроницаемых коммутационных коробок, качество заземления оборудования, трубопроводов и защитных кожухов.

Работы по созданию нагревателей и систем подогрева выполнялись в соответствии с требованиями ПУЭ и ГОСТ по взрыво-

безопасности. Эти требования вызвали необходимость предусмотреть ряд защитных мероприятий по взрывобезопасности, которая обеспечивается в соответствии с классификацией по ГОСТ 12.2.020—76 по двум уровням: «взрывобезопасность» и «повышенная надежность против взрыва».

Уровень «взрывобезопасность» обеспечивается использованием присоединительных коробок, в которых! взрывозащита основана на прохождении продуктов взрыва через калиброванный зазор (БЭМЗ) и их охлаждении до температуры, исключающей воспламенение взрывоопасной смеси снаружи. Этот уровень создается применением промежуточных соединений нагревателей друг с другом в присоединительных коробках, также имеющих БЭМЗ.

Взрывозащита обеспечивается также тем, что каждый нагреватель (или их группа) снабжается аппаратурой защиты от токов утечки на землю, отключающей нагревателя от сети при токе утечки более 30 мА. С этой целью используется устройство защитного отключения ЗОУП-25. Устройство предназначено для предотвращения поражений электрическим током при трехфазных несимметричных и однофазных заземлениях на землю, а также при прикосновении к токоведущим элементам.

Уровень «повышенная надежность против взрыва» обеспечивается рядом конструктивных мер. Так, во избежание искрения в нормальном режиме работы каждая нагревательная жила дополнительно окруживается двумя слоями стеклонити, а соединения нагревательных жил с токоведущими производится сваркой. Этот уровень обеспечивается также установкой гибких нагревателей под слой тепловой изоляции. К защитным специальным мерам, обеспечивающим уровень «повышенная надежность против взрыва» следует отнести обязательное требование по ограничению температуры гибких нагревателей. Для достижения этой цели мощность устанавливаемых нагревателей не должна превышать расчетную. Предельно допустимая удельная мощность на 1 м обогреваемого трубопровода и на 1 м гибкого нагревателя рассчитывается таким образом, чтобы максимально возможная температура на поверхности гибкого нагревателя, определяемая температурным классом по ГОСТ 12.2.020—76, не оказалась выше предельной температуры для соответствующей температурной группы взрывоопасной смеси по ГОСТ 12.1.011—78. К этому следует добавить, что эта температура не должна быть выше предельной допустимой температуры для ЭНГДВ-180, т.е. 180°С.

Для автоматического контроля температуры нагревателей рекомендованы серийно выпускаемые отечественной промышленностью потенциометры КСП4И и уравновешенные мосты КСМ4И (ГОСТ 7164—78), которые изготавливаются с входными цепями в искробезопасном исполнении. В качестве первичных приборов для измерения температуры могут использоваться термобаллоны манометрических термометров, термопары и термометры сопротивления, имеющие искробезопасный вход.

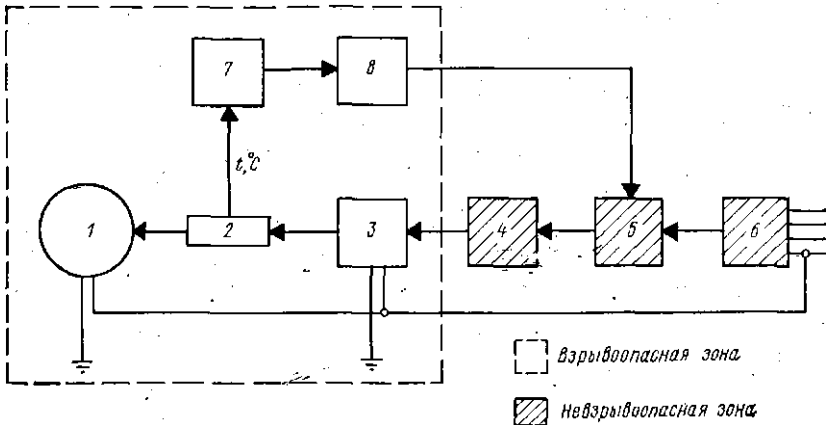


Рис. 27. Структурная схема включения ЭНГЛВ-ISO в комплекте с аппаратурой.  
 1 — трубопровод (объект подогрева); 2 — ЭНГЛВ-180; 3 — клеммная взрывозащищенная коробка; 4 — защитно-отключающее устройство; 5 — шкаф управления; 6 — питающий шкаф; 7 — датчик контроля  $t, ^\circ\text{C}$ ; 8 — средство контроля.

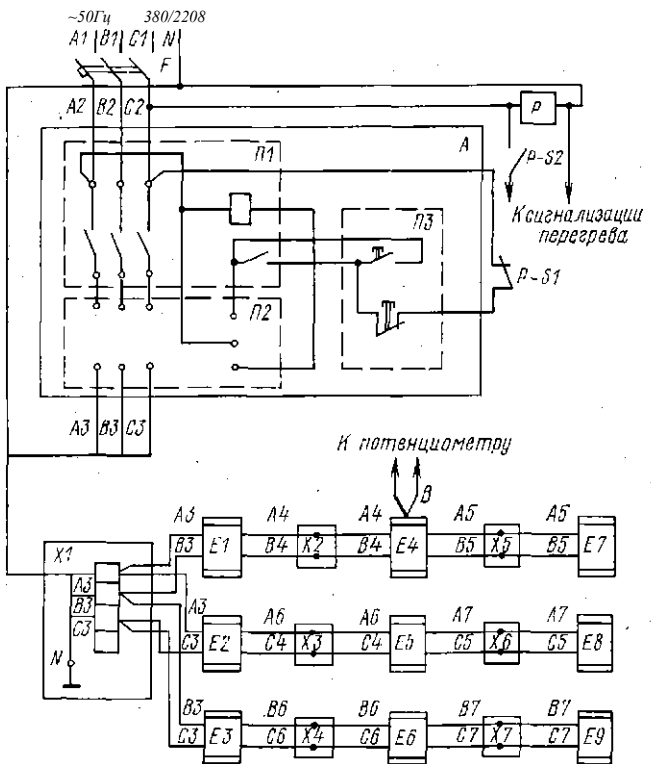


Рис. 28. Пример принципиальной электрической схемы включения ЭНГЛВ-180.

A — устройство защитного отключения ЗОУП-25 (ТУ 16-536-181—75); B — терморела ТХА (ГОСТ 3044—74); E1—E9 — ЭНГЛВ-180-1, 604/380 П20,2; F — выключатель автоматический АП50—3МТ (ТУ 16-522.066—70); P — потенциометр КСП4-Н 41, 143, 50, 011 (ТУ 25-05.01125—75); XI — коробка клеммная взрывозащищенная У614; X2—X7 — коробка У409 (ТУ 36-1859—75).

При монтаже системы обогрева необходимо руководствоваться следующими материалами: главой ЭШ-13 «Электроустановки взрывоопасных производств» («Правила технической эксплуатации и правила техники безопасности электроустановок потребителей»); «Инструкцией по монтажу электрооборудования силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон» ВСН 332—74; инструкцией по монтажу и эксплуатации показывающих и регулирующих потенциометров, мостов и терморегуляторов, входящих в систему электрообогрева; инструкцией по монтажу и эксплуатации защитно-отключающего устройства ЗОУП-25; техническим описанием и инструкцией по эксплуатации нагревателей ЭНГЛВ'-180.

Перед монтажом системы электрообогрева необходимо проверить наличие знаков взрывозащиты и предупредительных надписей, всех крепежных элементов (болтов, гаек и т.п.), средств уплотнения (кабелей, проводов, крышек) и заземляющих устройств, заглушек на неиспользованных кабельных вводах присоединительных коробок, убедиться в отсутствии повреждений взрывонепроницаемых оболочек оборудования, входящего в систему обогрева.

Монтаж вводов кабелей и проводов должен быть выполнен в соответствии с инструкцией ВСН 332—74. Правильное выполнение ввода кабеля (провода) во многом обеспечивает безопасную эксплуатацию нагревателей.

Структурная схема и пример принципиальной электрической схемы включения нагревателей в комплекте с пуско-терморегулирующей аппаратурой представлены на рис. 27 и 28.

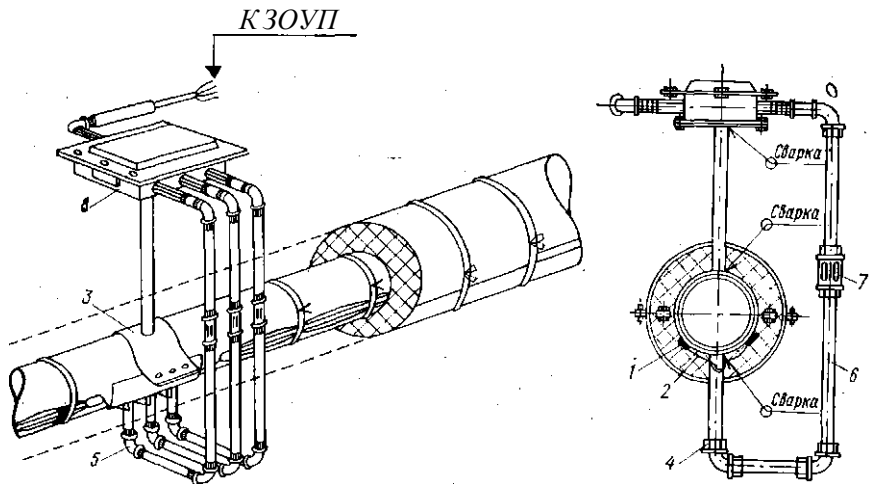


Рис. 29. Укладка низкотемпературных выводов.

1 — ЭНГЛВ-180; 2 — низкотемпературный вывод; 3 — хомут с патрубками; 4 — контргайка; 5 — переходной угольник; 6 — труба; 7 — муфта; 8 — клеммная коробка.

Перед сборкой вводных устройств взрывонепроницаемого электрооборудования необходимо проверить состояние взрывозащитных поверхностей и съемных деталей (царапины, трещины и другие дефекты не допускаются), возобновить на них антикоррозийную смазку.

Низкотемпературные выводы нагревателей прокладываются в трубах или металлорукаве (рис. 29). Присоединение труб к клеммной коробке и металлическому кожуху выполняется посредством штуцера с сальниковым уплотнением.

Монтаж цепей питания и заземления должен выполняться в соответствии с требованиями ПУЭ и «Инструкции по монтажу электрооборудования силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон» ВСН 332—74. При монтаже и эксплуатации терморегулирующих приборов необходимо соблюдать требования инструкций заводов-изготовителей. Главным условием правильной установки первичных приборов является расположение их чувствительных элементов в непосредственном плотном и надежном контакте с активной частью нагревателя. Монтаж вторичных приборов должен обеспечить свободный доступ для обслуживания. Место установки приборов не должно подвергаться вибрациям. Следует предусмотреть защиту от механических повреждений.

### **Основные требования по эксплуатации**

Эксплуатация нагревателей во взрывоопасных средах допускается только после получения письменного разрешения Государственной испытательной организации ВНИИВЭ на основании рассмотрения рабочего проекта системы обогрева и результатов испытаний в конкретных условиях. Представляемые в обязательном порядке результаты испытаний вместе с теплотехническими расчетами и программами тепловых испытаний должны подтверждать, что температура на нагревателях не превышает значений, регламентируемых для взрывоопасной среды, в которой будет эксплуатироваться система обогрева.

Смонтированная система должна быть принята в эксплуатацию специальной комиссией, состав которой утверждается главным инженером предприятия. По приемке комиссии должны быть представлены:

- согласованная с Государственной испытательной организацией ВНИИВЭ техническая документация на систему обогрева, в том числе в части взрывозащищенности электрооборудования, разрешение ВНИИВЭ на эксплуатацию;

- протоколы (акты) испытаний;

- инструкции по монтажу и эксплуатации комплектующего взрывозащищенного оборудования, примененного в системе обогрева.

Персонал, обслуживающий систему обогрева нагревателями, обязан знать устройство и принцип работы системы обогрева, а также электрическую схему питания. В процессе эксплуатации

система обогрева должна подвергаться ежемесячному осмотру в пределах взрывоопасной зоны, а также ежегодному профилактическому осмотру и ремонту. При ежемесячном осмотре проверяется:

— общее состояние взрывонепроницаемых присоединительных коробок (целостность оболочек, маркировка по взрывозащите и т. п.);

— состояние уплотнения вводов кабеля и нагревателей;

— работоспособность защитных устройств ЗОУП-25 и терморегуляторов.

Одновременно с внешним осмотром выполняется обслуживание, не требующее отключения от сети (например, подтягивание крепежных болтов). Эксплуатация электрооборудования с поврежденными элементами категорически запрещается.

При годовом профилактическом осмотре должны проводиться работы в объеме ежемесячных осмотров, а также следующее:

— проверка сопротивления изоляции электронагревателей, присоединительных коробок, терморегуляторов и устройств защитного отключения ЗОУП-25;

— контроль сопротивления заземления;

— замена смазки взрывозащитных поверхностей на взрывонепроницаемых присоединительных коробках;

— проверка средств электрической защиты;

— подтяжка контактных соединений токоведущих частей.

Результаты осмотра, ремонта и выявленные неисправности в системе обогрева обслуживающий персонал обязан регистрировать в эксплуатационном журнале.

## **VI. СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ, ОБОГРЕВА ОТКРЫТЫХ ПЛОЩАДЕЙ, НАГРЕВА ВОДЫ И ВОЗДУХА**

При отсутствии источников централизованного теплоснабжения возникает необходимость в содержании мелких отопительных котельных, что требует значительных затрат топлива и рабочей силы, создает пожарную опасность, способствует загрязнению окружающей среды. В этих случаях использование электроэнергии для отопления помещений, нагрева воды и воздуха становится в большинстве случаев оправданным и экономически выгодным. Например, применение электроотопления и электронагрева воды является целесообразным в помещениях автозаправочных станций (АЗС), зданиях мелких нефтебаз и насосных станций магистральных трубопроводов, находящихся вне территорий городов и крупных населенных пунктов.

Следует также отметить технические и гигиенические преимущества электроотопления. Использование систем электроотопления, электронагрева воды и воздуха позволяет улучшить микроклимат производственных и жилых помещений. Эти системы легко

поддаются автоматизации, способны с большой точностью поддерживать заданный температурный режим и отвечают современным гигиеническим и эстетическим требованиям. Расход теплоты за счет гибкого регулирования и учета потребления на 20—40% ниже, чем при обычном водяном или паровом отоплении. Электроотопление является наиболее гигиеничным, поскольку, развивая поверхность нагревательных элементов (как это будет показано ниже при описании панельного и кабельного обогрева), можно добиться режима низкотемпературного отопления, обеспечивающего равномерную температуру воздуха в помещении.

Следует отметить, что более широкому внедрению электроотопления производственных помещений до последнего времени препятствовало отсутствие надежных, безопасных и приемлемых с точки зрения санитарно-гигиенических требований устройств. В настоящее время разработан ряд устройств для электроотопления, которые начинают внедряться в промышленную эксплуатацию. Определенный интерес представляют системы кабельного подогрева и нагревательные панели, разработанные в СКВ «Транснефтеавтоматика». В качестве основных или вспомогательных устройств для электроотопления могут использоваться также электрокалориферные установки (ЭКУ), применяемые в системах вентиляции помещений.

Неотъемлемым элементом электроотопления являются установки для электронагрева воды. Нагретая вода может использоваться для питья, душевых, технологических нужд, а также для систем местного водяного отопления. Для временного местного отопления или нагрева небольших производственных помещений могут использоваться малогабаритные переносные электроотопительные приборы (ЭОП). Для создания комфортных условий при отоплении жилых зданий, а также производственных помещений в зависимости от климатических условий и качества тепловой изоляции для обогрева 1 м<sup>2</sup> требуется установленная мощность от 100 до 200 Вт. Для временных помещений и сооружений с недостаточной тепловой изоляцией эта мощность может возрастать до 300 Вт. Поэтому ЭОП, имеющие мощность 0,5—1,5 кВт, для подогрева больших помещений и объемов малоприменимы.

### **Переносные электроотопительные приборы и нагревательные панели для обогрева помещений**

Электроотопительные приборы широко используются в быту, и поэтому выпускаются промышленностью в массовых количествах. Среди них широко распространены для отопления электроконвекторы, инфракрасные электрообогреватели, в том числе электрокамины и низкотемпературные ЭОП [2]. Принцип действия электроконвекторов заключается в создании потока нагретого воздуха путем его контакта с нагревательными элементами. Корпус электроконвектора снижает излучение нагревательного элемента в окружающую среду и одновременно служит своеобразной

«дымовой» трубой, увеличивая естественную тягу и интенсивность нагрева воздуха. В условиях нормальной эксплуатации температура боковой поверхности корпуса не должна превышать температуру окружающего воздуха более чем на  $75^{\circ}\text{C}$ , а температуру входящего воздуха — более чем на  $85^{\circ}\text{C}$ .

Типы и основные параметры переносных электроконвекторов регламентируются ГОСТ. В переносных электроконвекторах в качестве нагревателя чаще всего применяют открытые спирали из нихрома марок Х15Н60-Н и Х20Н80-Н. Спираль растягивается в несколько рядов на изоляторах из кордиерита, электрокорунда или электрофарфора. В некоторых конструкциях электроконвекторов используются нагреватели со спиралями в керамических бусах или в трубках из нагревостойкого стекла.

Назначением инфракрасных ЭОП и их разновидности — электрокаминов — является лучистый обогрев помещений. При этом преобладает инфракрасное излучение с длиной волн от 0,8 до 800 мкм, которое при температурах ниже  $400\text{—}500^{\circ}\text{C}$  становится практически единственным видом излучения. Электрокамины отличаются от прочих инфракрасных электронагревателей высокой температурой нагревателя ( $650\text{—}900^{\circ}\text{C}$ ) и наличием отражателя, концентрирующего лучистый поток теплоты в направлении обогреваемого объекта. Чистый воздух практически не поглощает тепловые лучи, поэтому электрокамины особенно удобны для местного обогрева в помещениях с плохой теплоизоляцией. Источником теплового излучения электрокамина служит ТЭН или открытые нагреватели из сплавов с высоким сопротивлением.

В отличие от электроконвекторов и инфракрасных излучателей низкотемпературные ЭОП отдают теплоту внешней неогражденной поверхностью, максимальная температура которой во избежание ожога не должна превышать  $100\text{—}110^{\circ}\text{C}$ , а средняя температура по условиям возгонки пыли не должна быть выше  $85\text{—}95^{\circ}\text{C}$ . Из-за небольшого температурного напора низкотемпературные нагреватели имеют повышенные габаритные размеры, что компенсируется безопасностью и удобством при эксплуатации. В конструктивном отношении различают низкотемпературные ЭОП с теплоносителем (обычно маслonaполненные) и так называемые «сухие» электрорадиаторы или отопительные электропанели с равномерно распределенными по объему или площади панели нагревательными элементами.

«Сухие» электрорадиаторы (отопительные электропанели) отличаются от маслonaполненных простотой конструкции, отсутствием масла, которое зачастую протекает из-за негерметичности корпуса. Низкая температура нагрева делает эксплуатацию «сухих» радиаторов (панелей), безопасной даже при монтаже на сгораемых конструкциях. В качестве нагревательных элементов в «сухих» электрорадиаторах используются провода сопротивления, пленочные проводящие покрытия, проводящие композиции. «Сухие» электрорадиаторы выполняют в настенном, напольном и передвижном исполнениях. Мощность нагрева регулируется путем:

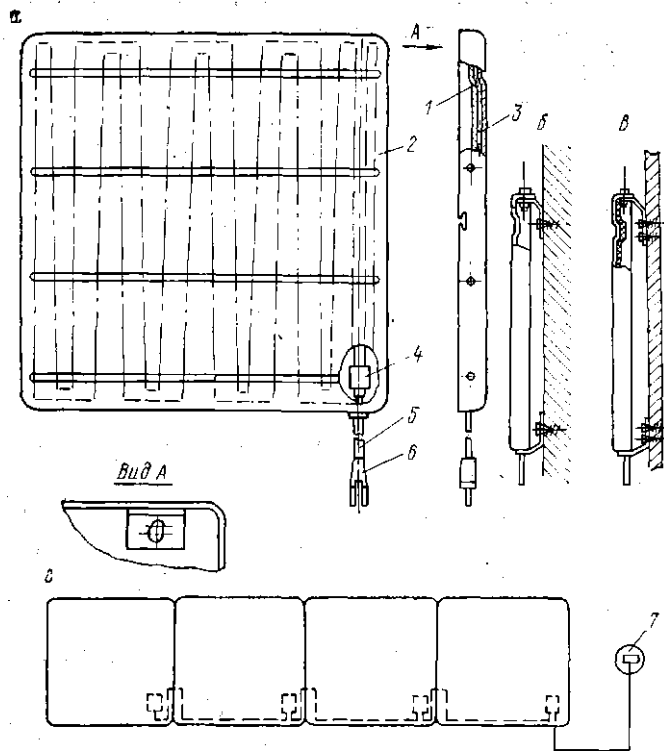


Рис. 30. Панельный нагреватель.

а — устройство; б — схема установки на стене; в — то же, со слоем тепловой изоляции; г — схема соединения в блок из четырех панелей.  
 1 — короб внутренний; 2 — короб наружный; 3 — нагревательный провод; 4 — опрессовка для вывода; 5 — низкотемпературный провод; 6 — штепсельная вилка; 7 — розетка.

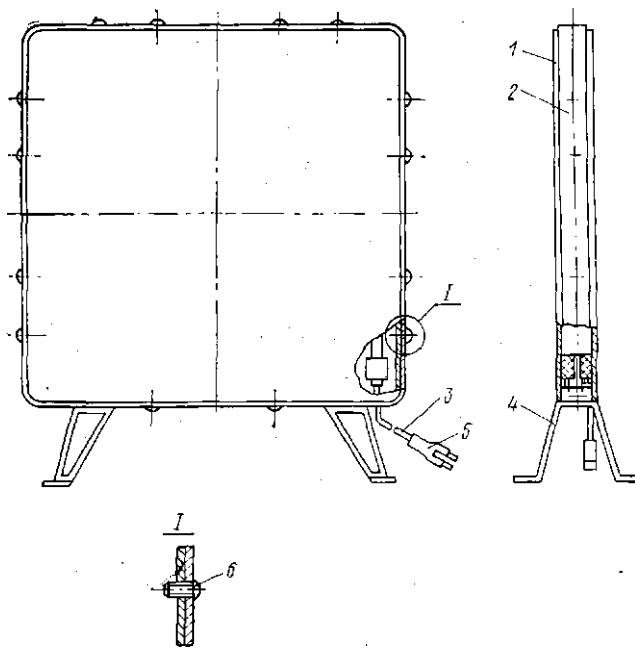


Рис. 31. Напольный панельный нагреватель.

короб наружный; 2 — обечайка; 3 — низкотемпературный вывод  
4 — стойка; 5 — штепсельная вилка; 6 — крепежный винт.

подключения к выносному терморегулятору либо к бесступенчатому регулятору мощности, срабатывающему от температуры помещения. К «сухим» электрорадиаторам относится разработанный в СКВ «Транснефтеавтоматика» и нашедший применение для отопления помещений панельный нагреватель (сокращенно «панель»), представляющий собой металлическую плоскую коробку с размерами 500X500X20 мм.

В отличие от переносных ЭОП, предназначенных для эксплуатации в небольших жилых помещениях, панели могут использоваться для обогрева крупных помещений, таких, как склады, насосные станции, административные помещения и т. д. Для этого панели устанавливаются вплотную или с шагом в требуемом количестве на стенах обогреваемых помещений.

Панель изготавливается из двух металлических штампованных отбортованных коробов, входящих один в другой. Между коробами панели зигзагообразно проложен нагревательный провод из нихромовой проволоки, изолированной двумя слоями стеклоткани и герметизирующим покрытием из силиконовой резины. Для фиксации нагревательного провода, а также увеличения жесткости на коробах выдавлено несколько продольных выпуклостей. Наружный и внутренний короба по периметру боковых стенок имеют ряд отверстий, развальцовка которых дает возможность надежно соединять короба. Отверстия предназначены также для крепежных болтов при сборке панелей в блоки. Панель имеет мощность 250 Вт и предназначена для подключения к сети напряжением 220 В. Рабочая температура 80—90° С. Конструкция панелей предусматривает возможность сборки в блоки до шести панелей с общей мощностью до 1,5 кВт (рис. 30).

При сборке в блок панели электрически соединяются между собой при помощи вилок и розеток, имеющих в каждой панели, в единый нагреватель с одним выводом. При необходимости получения направленного (одностороннего) теплоизлучения в коробчатую конструкцию корпуса панели можно установить слой теплоизоляции.

Панели могут быть выполнены и в напольном варианте (рис. 31). Тогда две панели соединяются друг с другом и стягиваются по периметру обечайкой, закрепляемой при помощи самонарезающих винтов. Затем сдвоенная панель устанавливается на ножки, обеспечивающие устойчивость в вертикальном положении.

### **Системы кабельного отопления и обогрева открытых площадей**

Нагревательные кабели для отопления помещений укладываются в стены и перекрытия зданий. В основном они служат греющими элементами теплоаккумуляционного отопления. Кроме того, нагревательные кабели могут использоваться для подогрева открытых помещений, пешеходных переходов, подъездов с целью

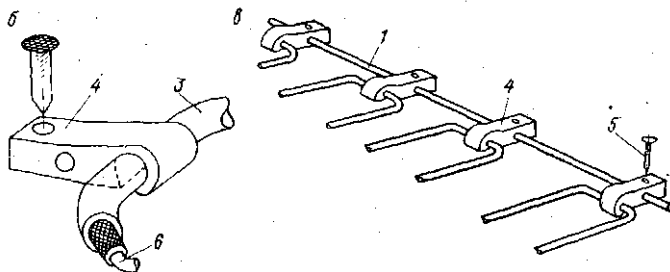
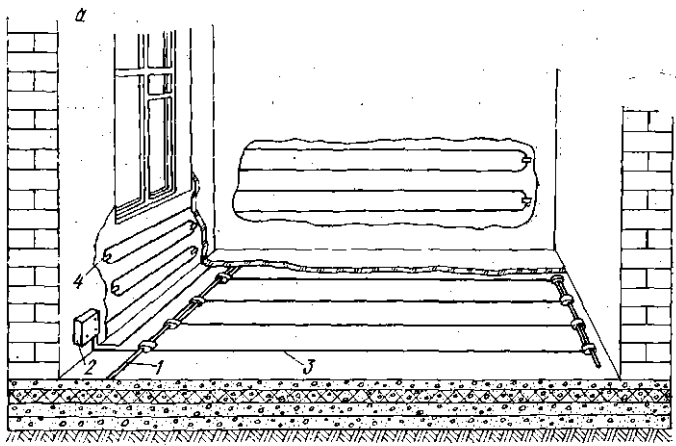


Рис. 32. Монтаж и установка нагревательного кабеля.

а – схема укладки кабеля в пол и стены помещений; б – установка держателя на кабеле; в – монтаж кабеля при помощи держателей и жесткой проволоки. 1 – монтажная проволока; 2 – клеммная коробка; 3 – нагревательный кабель; 4 – крепежный держатель; 5 – дюбель; 6 – нагревательная жила.

стаивания и удаления снега. Основой кабельной системы подогрева, разработанной в СКВ «Транснефтеавтоматика», служит нагревательный кабель ЭНГК-85.

Кабели устанавливаются (рис. 32) с помощью съемных приливов, выполненных в виде держателей, имеющих два крепежных непересекающихся сквозных отверстия. Отверстие держателя, перпендикулярное к продольной оси кабеля, служит для закрепления кабеля с помощью штырей, дюбелей и т. д. Отверстие, параллельное продольной оси кабеля, позволяет закреплять держатели на штанге или жесткой проволоке.

Допускается применение кабелей также для отопления взрывоопасных зданий и помещений, относящихся к классам В1а и В1б, где возможно образование взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом. Проектная документация, включающая применение нагревательных кабелей во взрывоопасных зонах, должна согласовываться с Государственной испытательной организацией в нии вэ.

В целом ряде случаев экономически оправдано применение нагревательных панелей совместно с нагревательными кабелями. Так, при обогреве холодных цементных полов торговых и служебных помещений АЗС целесообразно применять кабели, а для поддержания в помещениях требуемой температуры воздуха и стен использовать настенный вариант нагревательных панелей. Например, для нормальной работы АЗС, расположенных в районах с умеренным климатом, достаточна мощность нагревателей 18 кВт. В этом случае для обеспечения нормального температурного режима во всех служебных помещениях требуется 40 панелей на общую мощность 10 кВт и кабельные нагреватели для подогрева пола мощностью 8 кВт.

В СКВ «Транснефтеавтоматика» накоплен опыт по использованию нагревательных кабелей для обогрева открытых площадок, пандусов и лестничных маршей. Нагревательный кабель применяется для подогрева открытых площадок и лестничных переходов в Ленинградском и Московском метрополитенах. В частности, на пешеходном подземном переходе Садовая улица — Невский проспект в Ленинграде вместо часто выходившего из строя парового подогрева смонтирована и эксплуатируется в течение нескольких лет система обогрева, основой которой является нагревательный кабель типа ЭНГК-85. Обогрев площадей служит для предотвращения образования снежно-грязевых наносов и наледей на подходах к станциям, на лестничных переходах и в вестибюлях станций метрополитена.

Для более гибкого экономичного обогрева в зависимости от погодных условий предусмотрено три схемы включения нагревателей на общую мощность 10, 15, 20 кВт при соответствующих удельных мощностях 225, 335 и 450 Вт/м<sup>2</sup>.

Для обогрева лестничных переходов нагревательный кабель закладывается под основание ступени (рис. 33) на бетонную под-

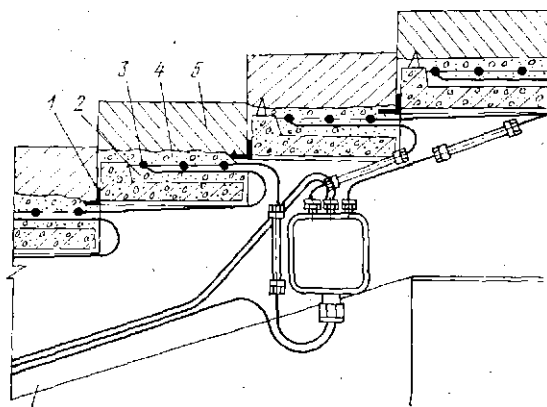


Рис. 33. Электрообогрев лестничных переходов с помощью нагревательного кабеля.

1 — подступенка; 2 — бетонная подготовка М150 (50 мм); 3 — нагревательный кабель КНКРВ; 4 — цементный раствор М75 (35 мм); 5 — гранитная плита (120 мм).

готовку. Затем производится заливка цементным раствором и установка плит ступеней. Для обогрева, например, марша из 26 ступеней длиной 4 м каждая требуется семь нагревательных кабелей общей длиной 292 м. Суммарная мощность нагревательных кабелей — 12 кВт при напряжении питающей сети 220/380 В.

Обогрев ступеней нагревательными кабелями оказался также надежным и эффективным. Например, применение кабелей вместо ТЭН значительно упрощает монтаж и эксплуатацию, так как в несколько раз снижается число контактных соединений. В настоящее время организуется серийное производство нагревательных кабелей и панелей, что позволит осуществить широкое внедрение электроотопления и обогрева на их основе.

### **Электротеплоаккумуляционное отопление**

Применение аккумуляционных систем подогрева позволяет повысить эффективность электроотопления, так как имеется возможность использования электроэнергии в часы суточных «провалов» потребления. В электронагревательных приборах аккумуляционного типа различают два вида работы: зарядка, в течение которой электронагреватели нагревают аккумулирующую массу (сердечник), и разрядка, в течение которой теплота от аккумулирующего сердечника передается потребителю, например, для нагрева воздуха.

Наиболее совершенными и экономичными являются аккумулирующие электроприборы, в которых в период разрядки воздух направляется вентилятором частично по каналам в сердечнике, а частично по байпасному (обводному) каналу. Управление смешением горячего и холодного потоков осуществляется автоматически от датчика температуры выходящего воздуха. В качестве теплоаккумулирующей среды могут применяться твердые материалы, обладающие высокой теплоемкостью, или жидкости (чаще вода).

В настоящее время создание теплоаккумулирующих электронагревательных приборов находится в стадии испытания опытных образцов. Разработана и проходит испытания электрическая вентиляция-отопительная установка с аккумуляцией теплоты (рис. 34), изготовленная на базе плит из жароупорного бетона (наполнитель — магнезитовая крошка). Нагреватели открытого типа уложены в пазы плит. При разрядке воздух обтекает плиты. Во ВНИИЭТО (Москва) разработана конструкция прибора подобного назначения, выполненного из магнезитового кирпича. Электронагревательные элементы типа ТЭН установлены во внутренних каналах аккумуляционного сердечника.

Электротеплоаккумуляционное отопление с аккумуляцией теплоты в конструкциях ограждений зданий можно осуществлять при закладке нагревательных кабелей в конструкции ограждений или перекрытия зданий. Заделку нагревательных кабелей в конструкции зданий целесообразно производить при изготовлении

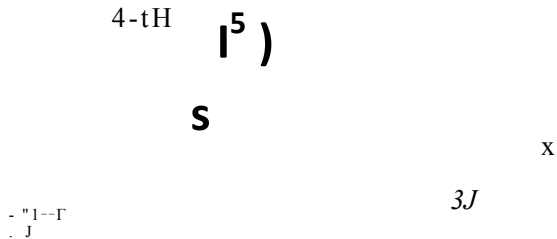


Рис. 34. Схема подогрева приточного воздуха с применением установки аккумуляционного типа.

1 — теплообменник (стрелками показано направление движения воздуха); 2 — вентилятор; 3 — байпасный регулирующий канал; 4 — регулирующая заслонка; 5 — электрокалорифер; « — воздушный фильтр; 7 — вентилятор; 8 — установка аккумуляционного типа.

заводских железобетонных панелей и перекрытий. Это позволит поставлять на строительные площадки готовые панели с замонарированными нагревательными кабелями с выводами для питающих кабелей.

При использовании потолочно-напольных отопительных систем термические сопротивления изоляции пола  $\lambda_{из.пл}$  и потолка  $\lambda_{из.пт}$  относительно слоя укладки нагревательного кабеля в междуэтажном перекрытии рекомендуется принимать соответственно 0,37—0,45 и 0,27—0,35 м<sup>2</sup>·°С/Вт. В этом случае при удельной мощности кабеля до 40 Вт/м включительно и продолжительности заряда системы до 8 ч температура на поверхности потолков и полов не превышает пределов, регламентируемых СНиП И-Г-7-62. Шаг раскладки  $s_p$  нагревательного кабеля для потолочно-напольных систем отопления рекомендуется принимать в пределах 0,07—0,18 м [13]. При меньших шагах раскладки усиливается взаимное влияние кабелей друг на друга.

Удельную погонную мощность нагревательного кабеля для теплоаккумуляционных потолочно-напольных систем рекомендуется выбирать в пределах 10—40 Вт/м. Повышение удельной погонной мощности позволяет сократить длину кабелей и расчетную площадь их укладки, но требует увеличения теплоизоляции конструкции, а также увеличивает неравномерность теплоотдачи. Снижение удельной погонной мощности вызывает увеличенный расход нагревательного кабеля, требует увеличения площади для раскладки кабелей, но создает равномерный нагрев.

Теплоаккумуляционные системы с нагревательным кабелем, заложенным и в вертикальные внутренние ограждения зданий, состоящих из бетонных панелей, могут работать только в режиме пропусков (с отключением системы в часы «пик» графика электронагрузок на непродолжительное время), так как они имеют весьма неравномерную теплоотдачу по времени в режиме остывания (основная разрядка вертикальных бетонных конструкций > прекращается после 8—10 ч охлаждения).

Уточнение требуемой общей и удельной мощности и шагов раскладки при применении аккумуляционного кабельного отопления дано в разделе, посвященном расчетам систем электроотопления с нагревательным кабелем.

### Электрические водонагреватели

Для подогрева воды могут использоваться водонагреватели проточного, типа, которые отличаются небольшими размерами и достаточно высокой установленной мощностью. Технические данные проточных водонагревателей типа ЭПВ приведены в табл. 13.

Таблица 13  
Технические данные водонагревателей типа ЭПВ

Показатели	ЭПВ-1	ЭПВ-2А	ЭПВ-3	ЭПВ-4
Мощность, кВт	6	9	12	15
Рабочая температура, °С		90		
Напряжение сети, В		380/220		
Напряжение на одном нагревателе, В		220		
Производительность при нагреве воды до 90° С, л/ч	80	120	100	195
Масса, кг		9,5		17,0

Водонагреватель (рис. 35) крепится вертикально и подсоединяется к водопроводной сети изолирующим резиновым шлангом. В проточных водонагревателях температура нагрева воды регулируется степенью открытия вентиля на входном трубопроводе. Автоматизированная модификация проточного водонагревателя типа ЭПВ-2А имеет магнитный пускатель и электроконтактный термометр. Для предотвращения возможности взрыва проточные водонагреватели на штуцере отводящего трубопровода имеют предохранительный клапан. В случае необходимости проточные водонагреватели могут быть использованы для аккумуляции воды в отдельной теплоизолированной емкости. Водонагреватели типа ЭПВ изготавливаются заводом технологического оборудования (г. Сороки).

Водонагреватели аккумуляционного типа должны в течение дня сохранить нагретую воду без значительного снижения тем-

зпературы. Такие водонагреватели имеют теплоизолированный бак и работают, как правило, в часы суток, когда нагрузка электросети падает. Разработаны аккумуляционные водонагреватели различных типов вместимостью от 10 до 1600 л.

Водонагреватели идентичны по конструкции и отличаются вместимостью и размерами. Водонагреватель типа УАП-100/0,2 показан на рис. 36. Водонагреватель представляет собой теплоизолированный бак 3, в котором на съемном фланце размещены трубчатые нагревательные элементы 5. Заданная температура воды поддерживается автоматически при помощи температурного реле и системы автоматики.

Установленный в верхней части водонагревателя термометр 4 позволяет следить за температурой. Термоконтатор датчика температуры регулируется по термометру. Вода подводится через поплавковый клапан, позволяющий поддерживать постоянный уровень заполнения бака. Раздача производится вытеснением нагретой воды вновь поступающей холодной водой.

### Устройства для нагрева воздуха

Устройства, предназначенные для нагрева воздуха, являются весьма распространенным, но и энергоемким видом электронагревательного оборудования. По режимам работы эти устройства подразделяются на включаемые по свободному графику (электрокалориферы и электрокалориферные установки) и в определенные периоды, совпадающие с «провалом» нагрузки суточного графика потребления электроэнергии (устройства аккумуля-

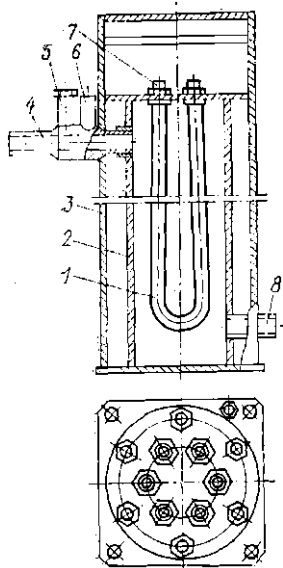


Рис. 35. Электроводонагреватель типа ЭПВ-2А.

1 — трубчатый нагревательный элемент; 2 — корпус; 3 — наружный кожух; 4 — отвод воды; 5 — предохранительный клапан; 6 — штуцер для термометра; 7 — токовод; 8 — подвод воды.

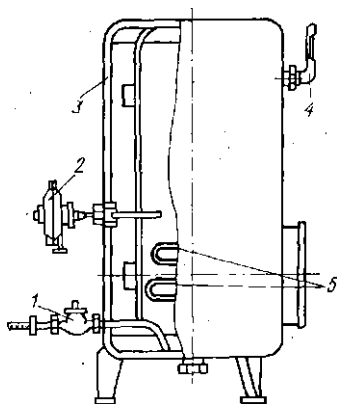


Рис. 36. Электроводонагреватель типа УАП-100/0,2 (УАП-100/0,4 и УАП-300/0,2).

1 — вентиль; 2 — dilatометрический датчик температуры; 3 — теплоизолированный бак; 4 — термометр; 5 — нагревательные элементы.

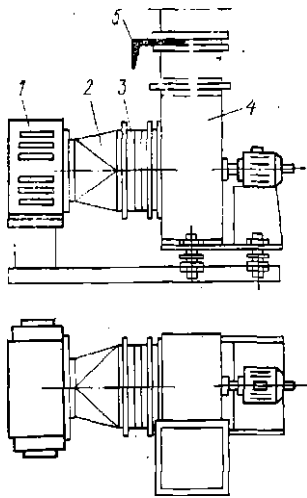


Рис. 37. Электрокалориферная установка типа СФОЦ.

1 — электрокалорифер; 2 — диффузор;  
3 — мягкая вставка; 4 — вентилятор;  
5 — заслонка-шнбер (стрелками показано направление движения воздуха).

менения теплоизоляции. Ограничение температуры ТЭН до 18СРС по существующим нормам связано с необходимостью исключить отрицательное воздействие на человека газообразных продуктов горения мельчайших органических частиц, находящихся в воздухе помещений.

- В качестве нагревательных элементов в вентиляционно-отопительных ЭКУ в основном применяются прямые ТЭН с алюминиевым оребрением. Наличие алюминиевого оребрения позволяет значительно увеличить теплоотдающую поверхность, что способствует уменьшению габаритных размеров и металлоемкости электрокалорифера. В серийно изготавливаемых ТЭН с алюминиевым оребрением достигается хороший тепловой контакт между алюминиевым оребрением и наружной оболочкой.

Особенности систем вентиляции помещений, определяемые спецификой этих помещений, влияют на выбор конструктивной схемы и технических параметров ЭКУ. При децентрализованной системе для вентиляции помещений предусматривается несколько приточных каналов, каждый из которых требует применения отдельной ЭКУ. Применение децентрализованной системы нагрева приточного воздуха исключает необходимость сооружения сложных систем воздухопроводов, однако при этом несколько усложняется обслуживание большого числа установок. При централизованном нагреве приточного воздуха ЭКУ поддерживает температурный режим во всем помещении или в значительных объемах отдельных его зон [18].

ляционного типа). В промышленных условиях применяют в основном, электрокалориферы и электрокалориферные установки (ЭКУ) для нагрева воздуха до температуры 30—40° С. Как правило, расчетная предельно допустимая температура воздуха ограничивается 100° С. Электрокалориферные установки (рис. 37) состоят из побудителя воздуха — вентилятора, электрокалорифера и шкафа с пускорегулирующей аппаратурой.

Электрокалорифер представляет собой блок электронагревательных элементов (ТЭН), установленных в металлическом корпусе. Поскольку температура воздуха, подаваемого в помещение, как правило, меньше 40° С, а температура нагревательных элементов ограничена весьма низким значением (180°С), температура корпуса электрокалорифера не превышает 45° С без применения теплоизоляции.

Тепловой расчет ЭКУ проводят с целью обеспечения технологических требований, предъявляемых к оборудованию вентиляционно-отопительных систем. Основным показателем для теплового расчета является теплопроизводительность электрокалорифера, которая определяется необходимым для вентиляции помещения расходом воздуха, требуемой температурой в вентилируемом помещении и температурой окружающего воздуха, т. е. температурным перепадом по воздуху. Теплопроизводительность электрокалорифера, Вт, рассчитывают по формуле

$$P = A \rho c_B (t_n - t_B), \quad (15)$$

где  $A$  — объемный расход воздуха,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$  — плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c_B$  — удельная теплоемкость воздуха,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $t_n$  и  $t_B$  — температура в вентилируемом помещении и окружающего воздуха соответственно,  $^\circ\text{C}$ . Объемный расход воздуха  $A$  выбирается исходя из назначения вентилируемого помещения и его размеров.

Установленная электрическая мощность калорифера (мощность электронагревательных элементов) рассчитывается по формуле

$$P_{\text{уст}} = kP, \quad (16)$$

где коэффициент  $k$  учитывает тепловые потери от корпуса ЭКУ и воздухопроводов, возможное понижение питающего напряжения и старение нагревательных элементов. Последний фактор учитывается при наличии электронагревателей открытого типа. Для практических расчетов можно принимать  $k = 1,2$ .

### Основы расчета панельных нагревателей

В целях создания рациональной конструкции панельного нагревателя с оптимальными конструктивными параметрами и оптимальной теплоотдачей выполняется тепловой расчет [2]. Основным расчетным параметром панельного нагревателя является площадь активной поверхности  $F$ ,  $\text{м}^2$ , которая характеризуется удельной поверхностной мощностью  $Y_{\text{уд}} = P/l^2$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  (где  $P$  — номинальная мощность панели, Вт). Вычисленные при этом конвективная  $P_K$  и лучистая  $P_L$  составляющие мощности позволяют определить доли соответствующих видов теплоотдачи, определяющие функциональную эффективность панели. В правильно сконструированной панели лимитирующей является внешняя теплоотдача свободной конвекцией к окружающему воздуху с температурой  $t_B$  и излучением к ограждениям и предметам помещения с температурой  $t_{\text{огр}}$ , которая по гигиеническим соображениям не должна существенно отличаться от  $t_B$ . В дальнейшем для упрощения принимается  $t_{\text{огр}} \approx t_B$ .

В предварительных расчетах удельную поверхностную мощность находят по формуле [2]

$$Y_{\text{уд}} = P_{\text{ук}} \cdot k + y_{\text{уд-л}} = 1,175 (t_{\text{ср}} - 20)^{0,33} + 5,7s [(T_{\text{ср}}/100)^4 - 74], \quad (17)$$

где  $P_{\text{ук}} \cdot k = P_K/F$  и  $R_{\text{уд}} \cdot n = P_{\text{л}}/F$ . Задавшись средней температурой

поверхности  $t_{cp}$  и оценив степень черноты  $\epsilon$ , находим искомую рабочую поверхность панели  $F = P/P_{ув}$ . Высоту  $b$  и длину  $l$  панели определяют из соотношений  $bl = F$  для панелей с односторонней теплоотдачей и  $Bl = 0,5P$  для свободно стоящих напольных панелей. Конкретные значения  $b$  и  $l$  выбирают с учетом как технико-экономических, так и эстетических соображений.

Для двояной панели с площадью  $2F$ , мощностью  $2P$  и достаточно большим зазором посередине можно пренебречь лучистым теплообменом внутренних поверхностей и разностью между конвективными потоками с внешней и внутренней сторон. В этом случае по сравнению с одинарной панелью тепловой поток  $P_d$  уменьшится вдвое, т. е.

$$P = 1,75 (\epsilon - 2,9)^4 + 285z[(\Gamma_{cp}/100)^4 - 74], \quad (18)$$

с последующими операциями  $l = P/P_{уд}$  и  $bl = 0,5F$ .

Для характерных значений  $\epsilon_{cp} = 90^\circ\text{C}$  и  $bl = 0,5F$  (эмалевый лак) найдем  $P_{уд,к} = 339 \text{ Вт/м}^2$ ;  $P_{уд,л} = 514 \text{ Вт/м}^2$  и  $P_{уд} = 339 + 514 = 853 \text{ Вт/м}^2$ , что весьма близко к применяемым на практике нагрузкам (до  $1000 \text{ Вт/м}^2$ ). Подобный прибор отдает конвекцией примерно 40% теплоты, а излучением — 60%. Сдвиганием панелей можно уменьшить значение  $P_{уд,л}$  до  $257 \text{ Вт/м}^2$  и долю лучистой теплоотдачи до 43%, но при этом общая поверхность, обратно пропорциональная сумме  $P_{уд,л} + P_{уд,к}$  увеличивается на 30%.

При более строгом расчете теплоотдачу конвекцией уточняют для найденной выше высоты прибора  $b$  с помощью критериальной зависимости (17), учитывающей это значение. Если значение  $l$  превышает критическое значение, разделяющее ламинарный и турбулентный режимы свободной конвекции вдоль вертикальной пластины, расчет проводят для каждого режима отдельно.

### Тепловой расчет установок аккумуляционного типа для нагрева воздуха

Целью теплового расчета является определение геометрических, энергетических и температурных параметров, при которых обеспечивается подогрев воздуха приточной вентиляции за счет аккумулированной теплоты. Объем аккумулирующего сердечника  $V_c$  определяют из условия теплового баланса, при этом значения (средние по толщине аккумулирующего сердечника) температуры принимаются при завершении процесса «зарядки»  $t_{max} = 500^\circ\text{C}$ , при завершении процесса «разрядки»  $t_{T} = 100^\circ\text{C}$ :

$$A \rho_e \{t_{BUX} - t_{BX}\} m_p = V_c \rho_{и} c_M (*_{max} - t_{min}), \quad (19)$$

где  $A$  — производительность приточной вентиляции;  $Q$  и  $Q_M$  — плотность соответственно воздуха и материала сердечника;  $c$  и  $c_M$  — удельная теплоемкость соответственно воздуха и материала

сердечника;  $t_{\text{Вых}}$  и  $t_{\text{Вх}}$  — температура воздуха соответственно на выходе и входе;  $t_p$  — продолжительность разрядки.

Объем аккумулирующей установки определяется из ориентировочного соотношения  $V = (1,8-f-2,0) V_c$ .

По полученному значению  $V$  из конструктивных соображений выбираются соотношения между длиной, шириной и высотой установки и определяется площадь наружной поверхности  $F_{\text{НЗПР}}$ . Максимальная температура наружной поверхности принимается при завершении зарядки  $\hat{t}_{\text{нар}} = 40^\circ \text{C}$ , при завершении разрядки  $\hat{t}_{\text{пнар}} = 20^\circ \text{C}$ .

В течение зарядки среднее значение мощности и тепловых потерь установки  $P_{\text{пот}}$  рассчитывается для температуры  $\hat{t}_{\text{нар}} = (t_{\text{нар}} + t_{\text{пнар}}) / 2$  по формуле

$$P_{\text{пот}} = \alpha_{\text{нар}} \hat{t}_{\text{нар}}$$

где  $\alpha_{\text{нар}}$  — коэффициент теплоотдачи от наружных поверхностей установки в окружающее пространство (помещению);  $t_{\text{в}}$  — температура окружающего воздуха;  $k_3$  — коэффициент запаса, введение которого обусловлено наличием неучтенной мощности тепловых потерь, старением футеровки и т. п. С достаточной для инженерных расчетов точностью можно принимать  $\alpha_{\text{нар}} = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $k_3 = 1,2$  и  $t_{\text{в}} = 15 - 20^\circ\text{C}$  (в зависимости от технологического назначения помещения).

### Расчет систем электроотопления с нагревательным кабелем

При расчете системы отопления с нагревательным кабелем, заложенным в пол (как конструкцию перекрытия), необходимо определить теплоотдачу 1 м нагревательного кабеля через поверхность пола или перекрытия, общую длину кабеля, шаг раскладки, удельную мощность и температуру обогреваемой поверхности. Теплоотдача 1 м нагревательного кабеля зависит от температурного напора  $t_{\text{н.к}} - t_{\text{в}}$  (где  $t_{\text{н.к}}$  и  $t_{\text{в}}$  — соответственно температуры поверхности кабеля и окружающего воздуха,  $^\circ\text{C}$ ). Теплоотдачу монолитного нагревательного кабеля в конкретных конструкциях перекрытий рассчитывают путем введения произведения поправок на базисный вариант бетонной панели [14], характеристика которой:

толщина панели, мм	100
теплопроводность бетона, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	1,2
заглубление кабеля, мм	50
отношение высот заглубления кабеля от поверхностей плиты $h/h_2$	1
термическое сопротивление изоляции верхней поверхности $R_{\text{и}}$ $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	1

Теплоотдачу 1 м нагревательного кабеля,  $\text{Вт}/\text{м}$ , с поверхности потолка для базисной конструкции плиты определяют по формулам

$$q_{\text{баз.пт}} = [0,52(t_{\text{н.к}}/t_{\text{в}}) - 2,6] \sqrt{33/D} \quad (21)$$

с пределом применения до шага раскладки кабеля  $s_p = 0,21$  м;

$$?_{\text{баз.пт}} = [0,52 (/, . * - *,) - 2,6] \exp [1,3 (5_p - 0,1)] / S_p, \quad (22)$$

с нижним пределом применения от шага раскладки кабеля  $S_p \leq 0,22$  м (шаг более 0,21 м применяется весьма редко).

Теплоотдача, Вт/м, нагревательного кабеля с поверхности потолка для прочих конструкций перекрытий составит

$$?_{\text{пт}} = ?_{\text{баз.лт}} / \Gamma / 7)_{\text{пт}}, \quad (23)$$

где  $/(77)_{\text{пт}}$  — произведение поправочных коэффициентов, учитывающее отличие рассматриваемой конструкции от базисного варианта. Систему поправок при расчете теплоотдачи с поверхности потолка определяют по формуле

$$?_{\text{пт}} = K_t ?_{\text{пт}} K_x ?_{\text{пт}} A'_{\text{смещ.пт}} K_R K_d K_r, \quad (24)$$

где  $K_{\text{пт}}$  — коэффициент, учитывающий толщину слоя бетона, в котором размещается кабель, при наружном диаметре нагревательного кабеля менее 10 мм;  $K_x$  — коэффициент, учитывающий отклонение теплопроводности бетона от базисного варианта;  $K_{\text{смещ.пт}}$  — коэффициент, учитывающий смещение кабеля относительно центральной оси плиты ( $11=7^{1/2}$ );  $K_r$  — коэффициент, учитывающий термическое сопротивление конструкции потолка;  $K_d$  — коэффициент, учитывающий наружный диаметр кабеля;  $K_r$  — коэффициент, учитывающий увеличенный температурный напор между кабелем и наружным воздухом применительно к чердачным (бесчердачным) плитам перекрытий (для междуэтажного перекрытия  $K_2=1$ ). Формулы для определения поправочных коэффициентов и предела их применения приведены в табл. 14.

Теплоотдачу 1 м нагревательного кабеля, Вт/м, поверхности пола для конструкции сплошными перекрытиями определяют по формуле

$$Y_{\text{пл}} = \text{дсз.пл} (1,195 / ?_{\text{пл}}^{0,95} - 1) / (II)_{\text{пл}}, \quad (25)$$

где  $R_{\text{из}}$  — термическое сопротивление конструкции пола от отметки «чистого» пола до поверхности плиты,  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ ;  $/(Y)_{\text{пл}}$  — произведение поправочных коэффициентов, учитывающее отличия рассматриваемой конструкции от базисной. Систему поправок при расчете теплоотдачи с поверхности пола определяют из выражения

$$Y_{\text{пл}} = K_{\text{бпл}} K_{\text{ыл}} K_{\text{смещ.пл}} K_R K_d K_T, \quad (26)$$

где  $K_{\text{бпл}}$ ,  $K_{\text{ыл}}$ ,  $K_{\text{смещ.пл}}$  — коэффициенты, учитывающие соответственно толщину слоя плиты, теплопроводность бетона и смещение кабеля относительно пола; при наружном диаметре нагревательного кабеля менее 10 мм  $K_{\text{дпл}}=1$ ;  $K_r$ ,  $K_d$ ,  $K_2$  — коэффициенты, одинаковые для пола и потолка (см. табл. 14).

Теплоотдачу 1 м нагревательного кабеля отдельно с поверхностей потолка и пола для конструкций с пустотными перекры-

Формула для определения поправочного коэффициента	Предел применения
$K_{хпт} = 0,41 X_{бет} + 0,51$ $K_{хн} = 0,183 X_{бет} + 0,78$ $\wedge_{смещ\ пт} = 0,825 + 0,214 s_p + (hjh, - 0,25) X$ $X (0,51 - 0,63 s_p)$ $K_{смещ,пт} = 11,1 - 0,11 A_2 / \wedge 1$ $.K_{смещ,пл} = 0,17 s_p - 0,93$ $\wedge_{Смещпл} = 1$ $K_{\partial} = 0,14 / ? из + 0,86$ $\frac{Kd}{\text{констр}} = 0,64 r_{н} \cdot \text{о}; 147$ $K_{\zeta} = 1 - 3 \cdot \text{Ю}^3 (f_{в} - \wedge_{н}) / \# \text{констр}$ $K_s = 6,3 s_p^{-8}$ $K_x = \exp[1,12 (S_p - 0,1) / s_p]$	$0,6 < X_{бет} < 1,6 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ $0,6 < X_{бет} < 1,6 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ $0,25 < hjh_2 < 0,5$ $0,25 < h_2 / hi < 1$ $hjh_2 = 0,25$ $h_i > h_2$ $0,2 < R_{H3} < 1 \text{ мм}$ $2,3 < d_H < 33,5 \text{ мм}$ $\text{о} < (\wedge_{в} - \wedge_{н}) / \wedge_{\text{констр}} < 30$ $0,02 < s_p < 0,21$

тиями определяют так же, как и в случае заложения кабеля в сплошной плите с  $b=100$  мм и теми же значениями  $d$ ,  $s_p$ ,  $\wedge_{бет}$ ,  $R_{ата}$  и т. д., кроме  $\wedge_{смещ}$ , учитывающего смещение кабеля относительно нейтральной оси, который исключается. Вместо него вводится  $K_{пуст}$ , учитывающий наличие пустот в плитах перекрытий.

Значения  $K_{пуст}$ , зависящего от расположения нагревательного слоя, следующие.

Расположение слоя тяжелого бетона с замоноличенным нагревательным кабелем	$\wedge_{пуст,пт}$	$\wedge_{пуст,пл}$
Над пустотной плитой	0,63	1,05
Под пустотной плитой	1,08	0,83

Общая теплоотдача 1 м кабеля, Вт/м, с поверхностей потолка и пола для сплошных плит перекрытий может быть определена из выражения

$$?_{общ} = (1,39 / ? из^{95}) < 76 \text{ а з. пт} / (П)_{т} \quad (27)$$

или

$$?_{общ} = [0,52 (t_{в,к} - t_{в}) - 2,6] \quad (28)$$

где

$$/(П)_{овщ} = /(П)_{нм} \cdot 1,39 / \wedge_{,э} \quad (29)$$

Из выражений (22), (25) и (28) следует, что для определения

теплоотдачи 1 м кабеля с поверхностями потолка, пола или их суммарной поверхности необходимо выбрать конструктивное решение закладки нагревательного кабеля в плиту перекрытия и задаться значениями  $t_{HK}$ ,  $t_B$  и  $s_p$ . В<sup>1</sup> практике расчета удобнее задаваться значениями  $q$ ,  $t_E$ ,  $t_{HK}$ , определяя шаг раскладки.

Падение напряжения,  $V$ , на 1 м кабеля определяют по формуле

$$U = \frac{M \cdot M^* \cdot \Delta t \cdot \rho \cdot l}{\gamma \cdot S_{ж}}, \quad (30)$$

где  $q$  — теплоотдача 1 м нагревательного кабеля через поверхность конструкции перекрытия, Вт/м;  $\rho_0$  — удельное электрическое сопротивление нагревательного кабеля, Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $\alpha_t$  — температурный коэффициент сопротивления, 1/°С;  $l_{в.к}$  — коэффициент теплопроводности электроизоляционного слоя кабеля, Вт/(м·°С);  $dJd_Y$  — отношение диаметра кабеля и нагревательной жилы;  $S_{жк}$  — сечение жилы, мм<sup>2</sup>.

Длину одной группы нагревательных кабелей определяют из выражения

$$l = U_j A U, \quad (31)$$

где  $U$  — рабочее напряжение сети, В.

Теплопроизводительность, Вт, одной группы нагревательных кабелей определяют из выражения

$$Q = ql. \quad (32)$$

Если теплопроизводительность группы нагревательных кабелей не отвечает требуемой, целесообразно изменить шаг раскладки или температуру кабеля и заново провести расчет (произведение поправок для одной конструкции перекрытия с нагревательным кабелем определяют 1 раз), а затем по уравнениям (30), (31) и (32) найти значения  $AC$ ,  $l$ ,  $Q$ .

Проверку возможности укладки группы или нескольких групп нагревательных кабелей выбранной длины на данной площади помещения проводят по формуле

$$l = (F + a s_p) l s_p + b, \quad (33)$$

где  $a$  и  $b$  — ширина и длина помещения, предназначенного для укладки нагревательного кабеля вдоль стороны  $b$  с шагом раскладки  $s_p$ , м. Если кабель не размещается, то принимают меньший шаг раскладки или большую погонную теплопроизводительность кабеля и определяют остальные параметры. Длину отрезка нагревательного кабеля определяют по избранной удельной погонной мощности и расчетным теплопотерям помещения.

Проверку выполнения гигиенических требований на предельный нагрев кабеля в конструкциях перекрытий систем электроотопления проводят по формулам:

для потолка

$$\hat{t}_{\text{нах нк}} = \hat{t}_{\text{пт}} + (\hat{t}_{\text{пт}} / \hat{t}_{0\text{пт}}) (\hat{t}_{\text{пт}} - M_i) \quad (34)$$

для пола

$$\hat{t}_{\text{нах.к}} = \hat{t}_{\text{пл}} - B (\hat{t}_{\text{пл}} / \hat{t}_{0\text{пл}}) (\hat{t}_{\text{пл}} - M_i) \quad (35)$$

где  $\hat{t}_{\text{нах.к}}$  — максимально допустимая температура кабеля, °C;  $t_{\text{п.т}}$  — максимально допустимая температура поверхности потолка, °C;  $R'_{\text{пт}}$  — термическое сопротивление слоев конструкции от нагревательного кабеля до поверхности потолка, м<sup>2</sup>·°C/Вт;  $R_{\text{пт}}$  — термическое сопротивление теплоотдачи от поверхности потолка к внутреннему воздуху, м<sup>2</sup>·°C/Вт;  $t_{\text{вн.в.}}$  — температура внутреннего воздуха, °C;  $t_{\text{пл}}$  — максимально допустимая температура поверхности пола, °C;  $R'_{\text{пл}}$  — термическое сопротивление слоев конструкции от нагревательного кабеля до поверхности пола, м<sup>2</sup>·°C/Вт;  $R_{\text{пл}}$  — термическое сопротивление теплоотдачи от поверхности пола к внутреннему воздуху, м<sup>2</sup>·°C/Вт.

Максимально допустимой температурой  $t_{\text{мз.х}}$  нагрева кабеля из двух температур, полученных по формулам (34) и (35), является наименьшая температура. При температуре нагревательного кабеля, превышающей предельные значения, определяемые гигиеническими нормами, меняется конструкция перекрытия (или глубина закладки кабеля) или снижается температура нагревательного кабеля.

Укладку нагревательного кабеля в конструкциях пола предпочтительно проводить на расстоянии 300—400 мм от стен (кроме наружной, для которой это расстояние может быть сокращено до 100—150 мм), чтобы предупредить местные перегревы поверхностей и самого нагревательного кабеля. При возможности закладки в конструкции горизонтальных и вертикальных ограждений первый вариант является предпочтительным; при недостаточной площади часть нагревательного кабеля может быть размещена в вертикальных ограждениях, а часть — в горизонтальных. При укладке в вертикальных ограждениях нагревательный кабель целесообразно размещать в той части внутренних стен, которая ближе к наружным.

Теплоотдачу 1 м нагревательного кабеля с базисной вертикальной поверхности стены определяют по формуле

$$Q_{\text{баз.ст}} = [0,44 (\dots, -<,) - 0,8] [2,23 (s_p - 0,006) / (s_p - f_0,008)], \quad (36)$$

причем предел шага раскладки  $0,04 \hat{s}_p \hat{0},3 \text{ м}$ .

Теплоотдачу 1 м нагревательного кабеля с поверхности стен в прочих конструкциях вертикальных ограждений определяют, как

$$\langle Q_{\text{ст}} = \langle Q_{\text{баз.ст}} / (77)_{\text{ст}}, \quad (37)$$

где  $(77)_{\text{ст}}$  — произведение поправок, учитывающее отличия рассматриваемой конструкции от базисного варианта. Произведение

поправок при расчете теплоотдачи от внутренней стены определяют из уравнения

$$/(П) — \text{Ласт} \times \text{Кст} \times \text{Асмещст} \times \text{Аизодст} \times \text{Лин} \times \text{СТ}. \quad (38)$$

где  $/\text{Сст}$ ,  $\text{Кст}$  — поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно толщину слоя бетона и отклонение теплопроводности бетона от базисного варианта;  $/\text{Ссмещ. ст}$  — поправочный коэффициент, учитывающий смещение проводника в плите по сравнению с базисным вариантом;  $\text{К}_{\text{из. од ст}}$  — поправочный коэффициент, учитывающий термическое сопротивление конструкции плиты при односторонней теплоизоляции;  $\text{К}_{\text{дн, ст}}$  — поправочный коэффициент, учитывающий наружный диаметр нагревательного кабеля. Формулы для определения поправочных коэффициентов при расчете стеновой системы отопления с нагревательным кабелем приведены в табл. 15. Поправочные коэффициенты для принятой конкретной конструкции стены определяют 1 раз, а затем в зависимости от расчетных теплопотерь помещений увеличивают или уменьшают размеры поверхностей, используемых для отопительных целей.

Таблица 15  
Расчетные формулы для стековой системы

Формула для определения поправочного коэффициента	Предел применения
$K_b = 1,1973 \cdot 0,039$	$5 < 8 < 185 \text{ мм}$
$K_j = 0,89X^{0,645}$	$0,6 < X < 1,6 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$
$\alpha_3 = 0,3 \cdot \alpha_{\text{из.}}^{0,45}$	$R < 1,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (в сторону бетонной поверхности)
$\alpha_{\text{смещ}} = 1,13 \cdot \alpha_{\text{смещ}}^{\text{II}}$	$R < 1,1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (в сторону изолированной поверхности)
$K_d = 0,147$	$0,4 < \alpha_{\text{смещ}} / \alpha_{\text{баз}} < 1,8$ , где $\alpha_{\text{баз}} = 50 \text{ мм}$
	$1 < d_n < 24 \text{ мм}$

Примечание. Здесь:  $\delta$  — толщина бетонной панели, мм;  $\lambda$  — теплопроводность бетонной панели, Вт/(м·°C);  $\alpha_{\text{смещ}}$  — глубина закладки греющего проводника от расчетной поверхности бетонной панели, мм;  $R$  — термическое сопротивление теплоизоляции, вводимой дополнительно к базисной панели, м<sup>2</sup>·°C/Вт;  $d_n$  — наружный диаметр нагревательного кабеля, мм.

Падение напряжения  $\Delta U$  на 1 м нагревательного кабеля в стеновой системе электроотопления определяют из формулы (30), в которой  $\alpha = \alpha_{\text{ст}}$ . Длину нагревательного кабеля рассчитывают, как

$$l = Q_0 / V_c \quad (39)$$

где  $Q_0$  — теплопроизводительность группы нагревательных кабелей.

Теплоотдачу 1 м нагревательных кабелей с поверхности стены рассчитывают по формуле

$$q_{ст} = 2J3Q*(A_{,k} + 200)/(2748\text{£}/^2-Q2), \quad (40)$$

где  $t_{н.}$  — температура поверхности нагревательного кабеля, °С;  $U$  — напряжение в электросети, В.

Значение  $Q_0$  для групп конкретного нагревательного кабеля с учетом электрофизических свойств имеет некоторые ограничения, принимая во внимание которые иногда необходимо применять не одну, а несколько групп проводников.

Рассчитывать стеновую систему с нагревательным кабелем предлагается в следующей последовательности:

а) выбрать конкретную конструкцию стены и определить поправочные коэффициенты с учетом произведения поправок;

б) определить число групп нагревательных кабелей с учетом расчетных теплотер и теплопроизводительности одной группы кабелей по формуле

$$Q_0 = \langle q_{рас} / \langle \quad (41)$$

где  $n$  — число групп нагревательных кабелей; в ряде случаев

$Q_0 \sim Q_{рас}$

в) выбрать  $n, k$  и определить температурный напор  $At = t_{н.} - t_{в.}$

г) рассчитать по выражению (37) фактическую теплоотдачу  $q_{ст}$  1 м нагревательного кабеля с поверхности стены;

д) найти теплоотдачу  $q_{ст}$  1 м нагревательного кабеля с поверхности базовой конструкции из выражения (37) (если принимаемая  $q_{ст}$  не соответствует ее диапазону при выбранном  $At$ , расчет повторить с увеличением первоначально заданного значения  $t_{н.}$ );

е) найти длину группы нагревательного кабеля из выражения (39);

ж) проверить возможность укладки группы нагревательного кабеля расчетной длины на участке поверхности стены по формуле (33).

### **Основные правила обслуживания систем электроотопления и электронагревательных устройств для воды и воздуха**

Эксплуатация электроотопления и электронагревательных устройств должна соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭ и ПТБ). В процессе эксплуатации систем электроотопления и электронагревательных устройств должны проводиться регулярный внешний осмотр и профилактическое об-

служивание. При профилактическом обслуживании должны выполняться следующие работы: а) измерение сопротивления изоляции нагревателей; б) проверка сопротивления защитного заземления; в) проверка средств электрической защиты.

При эксплуатации не допускается: а) повышение температуры систем электроотопления и электронагревательных устройств выше допустимой по паспорту; б) превышение напряжения питающей сети свыше 10% от номинального; в) использование электронагревательных устройств в условиях, допускающих прямой контакт с веществами, способствующими разрушению нагревателей; г) снижение сопротивления электрической изоляции ниже 1 МОм в холодном состоянии и 0,5 МОм в горячем состоянии.

При эксплуатации систем кабельного отопления обслуживающий персонал и люди, постоянно находящиеся или проживающие в зданиях, оснащенных кабельным отоплением, должны быть ознакомлены с особенностями эксплуатации электроотопления с целью исключения механических повреждений нагревательных кабелей, а также предотвращения возможности ухудшения теплоотдачи с поверхности обогреваемых площадей (укрытие коврами, мешковиной и т. д.).

## **VII. ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ**

Экономичная и, что немаловажно, безопасная эксплуатация электронагревателей трубопроводов и технологического оборудования невозможна без применения тепловой изоляции. Экономичность достигается тем, что при наличии теплоизоляции теплопотери уменьшаются в 10—15 раз по сравнению с потерями неизолированного оборудования. Безопасность обеспечивается за счет сплошного покрытия нагревателей слоем теплоизоляции, имеющей, как правило, также электроизоляционные свойства. Это уменьшает опасность электротравматизма и позволяет избежать ожогов, неизбежных при прикосновении к электронагревателям или разогретому оборудованию.

При применении и проектировании тепловой изоляции должны учитываться требования, связанные с эксплуатацией поверхностных электронагревателей. Правильный выбор теплоизоляции и качественное выполнение теплоизоляционных работ обеспечивают долговечность теплоизоляционных конструкций и длительную экономную эксплуатацию систем электроподогрева. Применяемые теплоизоляционные материалы и конструкции должны быть недефицитны, транспортабельны, иметь нагревостойкость выше рабочих температур поверхностных электронагревателей и сохранять свои теплозащитные свойства при длительной эксплуатации, не вступать в химические реакции с материалом поверхностных электронагревателей.

Выбор теплоизоляционных материалов и конструкций должен проводиться с учетом условий расположения оборудования и одновременно удовлетворять требованиям монтажа и эксплуатации гибких нагревателей. Согласно действующим строительным нормам и правилам для теплоизоляции трубопроводов и оборудования допускается применение теплоизоляционных материалов с объемной массой не более  $400 \text{ кг/м}^3$ . Для обеспечения механической прочности теплоизоляция должна быть защищена прочным покровным слоем, а в расположенных на открытом воздухе объектах покровный слой должен обеспечивать также надежную защиту изоляции от попадания влаги.

Для обогреваемых элементов трубопровода, таких, как запорная арматура, счетчики, фильтры, фланцевые соединения и т. д., требующих в процессе эксплуатации систематического наблюдения, следует использовать только сборно-разборные, легко снимаемые и легко устанавливаемые изоляционные конструкции. Теплоизоляционные материалы и конструкции, применяемые для теплоизоляции гибких нагревателей, не должны иметь твердых острых включений и элементов, способных наносить механические повреждения пластиковой или резиновой оболочке нагревателей. Для трубопроводов, расположенных на открытом воздухе, теплоизоляционная конструкция должна выдерживать удары по поверхности, ветровую нагрузку и нагрузку от снега и льда.

Перечисленным требованиям для теплоизоляции трубопроводов с электрообогревом удовлетворяют выпускаемые в массовом количестве теплоизоляционные материалы и конструкции из минеральной и стеклянной ваты и волокна, характеристика которых дана ниже. *Минеральная вата* — малотеплопроводный; теплоизоляционный материал; служит сырьем для изготовления большого ассортимента минераловатных теплоизоляционных Изделий.

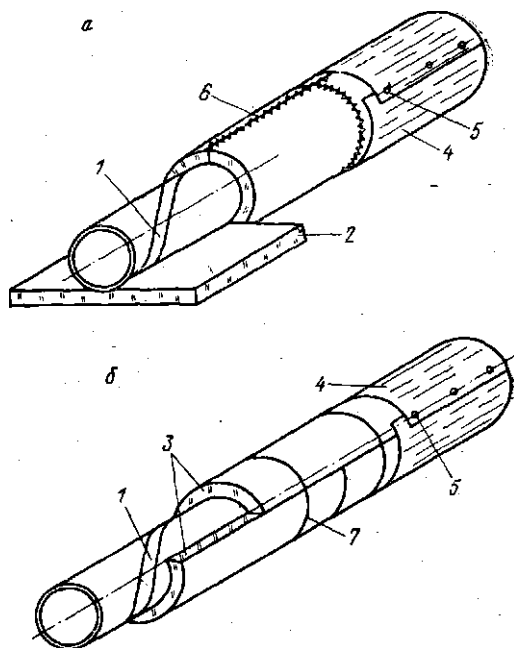


Рис. 38. Теплоизоляционные конструкции на основе минераловатных материалов.

*а* на основе минераловатных матов; *б* — на основе минераловатных полуцилиндров.  
1 — гибкий нагреватель; 2 — минераловатный мат; 3 — минераловатный полуцилиндр; 4 — металлическая обшивка; 5 — самонарезающийся винт; 6 — проволоочная сшивка; 7 — проволоочное кольцо.

Для электрообогреваемых трубопроводов и оборудования рекомендуется применять гибкие минераловатные прошивные маты с внешней обкладкой из стеклоткани. Более удобны для электрообогреваемых трубопроводов полуцилиндры (скорлупы) и цилиндры минераловатные на связке из фенольных смол, которые получают методом проката или навивки.

Удельная теплоемкость минераловатных изделий на синтетическом связующем  $c=775$  Дж/(кг·°С), максимальная допустимая температура 180°С. Стоимость минераловатных изделий сравнительно невысока и находится в пределах от 6 до 20 руб. за 1 м<sup>3</sup>. На рис. 38 показана теплоизоляционная конструкция на основе минераловатных матов и полуцилиндров.

*Стекловолоконное* волокно для тепловой изоляции выпускается а виде стеклянной ваты, на основе которой изготавливается большой ассортимент теплоизоляционных и конструктивных материалов. Материалы из стеклянного волокна полностью пригодны для изоляции трубопроводов и оборудования с гибкими нагревателями. При этом изделия без синтетических связок могут выдерживать температуру до 450°С, а с пропитками и связками до 180°С. Стекловолокнистые материалы выпускаются в виде матов и полос.

*Технические данные теплоизоляционных изделий из стекловолокна*

Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	35—170
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С) . . . . .	0,035—0,046
(Стоимость, руб./м <sup>3</sup> . . . . .)	16—24

В последнее время все более широкое применение находят теплоизоляционные конструкции из пено- и поропластов, в частности фенолформальдегидные пенопласта и пенополиуретаны, которые обладают рядом положительных свойств (высокая прочность при низкой плотности, водо- и гнилостойкость, низкая горючесть).

*Технические данные пено- и поропластов*

Термостойкость, °С . . . . .	До 140—150
Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	40—200
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С) . . . . .	0,042—0,058
Стоимость, руб./м <sup>3</sup> . . . . .	100—150

Механическая прочность теплоизоляционных изделий, изготовленных из одной стекловаты или минеральной ваты, довольно низка. Поэтому теплоизоляционные изделия из этих материалов изготавливают и применяют при соответствующем конструктивном оформлении совокупностью элементов изоляции: основным изоляционным слоем, армировкой и крепежом, защитным покровом и наружной отделкой. Таким образом изготавливаются теплоизоляционные конструкции типа СТК и ТК. ТК — это теплоизоляционные конструкции (полносборные), которые представляют собой комплект, состоящий из теплоизоляционного слоя,

покровного слоя и крепежных деталей, соединенных между собой. Монтаж конструкции сводится к установке и закреплению, на изолируемом объекте готовых изделий. СТК — сборные тепло-изоляционные конструкции, которые представляют собой комплект, состоящий из теплоизоляционного слоя и крепежных деталей, временно собранных для поставки на монтаж. При монтаже производится разборка и последующая сборка конструкции на изолируемом объекте.

Для изготовления конструкций применяются минераловатные-полуцилиндры и цилиндры, маты прошивные и рулонированные, плиты мягкие. В качестве кровельных оболочек используются листы из алюминиевых сплавов, сталь тонколистовая оцинкованная, сталь кровельная (окрашенная), гибкие стеклопластики (толщиной менее 1 мм), стеклоткань, пропитанная лаком ХСЛ, и др.

### Обоснование выбора теплоизоляции!

Расчет тепловых потерь теплоизоляционных конструкций приведен выше. Для наиболее эффективного применения тепловой изоляции рекомендуется формула [8]

$$З = И_3 + (P_a + E) K_{т.и}, \quad (42),$$

где  $Z$  — удельные приведенные затраты, отнесенные к  $1 \text{ м}^2$  поверхности изоляции, руб./( $\text{м}^2 \cdot \text{год}$ );  $I_3$  — стоимость годовых потерь, энергии с  $1 \text{ м}^2$  изолируемой поверхности, руб./( $\text{м}^2 \cdot \text{год}$ );  $K_{т.и}$  — капиталовложения на тепловую изоляцию  $1 \text{ м}^2$  изолируемой поверхности, руб./ $\text{м}^2$ ;  $P_a$  — коэффициент отчислений на амортизацию;  $E$  — нормативный коэффициент эффективности.

С известным приближением можно положить

$$A_{т.и} = C_{т.и} \cdot \tau \cdot \delta, \quad (43)'$$

где  $C_{т.и}$  — стоимость  $1 \text{ м}^3$  изоляционного материала, руб./ $\text{м}^3$ ;  $\delta$  — толщина слоя изоляции, м.

Стоимость потерь энергии

$$И_3 = D P_c \tau C_3, \quad (44).$$

где  $D P_c$  — мощность потерь в окружающую среду, кВт;  $\tau$  — годовое число часов работы электронагревателей, ч/год;  $C_3$  — стоимость электроэнергии, руб./( $\text{кВт} \cdot \text{ч}$ ).

Потери через  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагреваемого оборудования могут быть определены по формуле

$$D P_c = k \Delta t \cdot F, \quad (45).$$

где  $k$  — коэффициент теплопередачи от продукта к наружному воздуху, Вт/( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ );  $\Delta t = t - t_0$  — среднегодовая разность температуры продукта и наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$ . В случае, например, одно-слойной стенки

$$k = (1/a_n + \delta_{т.и}/\lambda_{т.и})^{-1}. \quad (46>$$

С учетом формул (44) и (46) выражение (42) получит вид

$$^3 = \quad + \quad + \quad \langle 47 \rangle$$

Взяв частную производную  $d^3J_{ddT}$  и и приравняв ее к нулю, найдем оптимальное значение  $b_{T,и}$ :

$$2_{T,и} \text{opt} = VD^{\wedge} C_{T,и} \cdot 10^{-3} / (P_a + E) C_{T,и} \sim 1. \quad (48)$$

Подставив  $b_{T,и}$  в формулу (48), получим зависимость для минимальных затрат:

$$3_{\text{rain}} = 2 \quad + \quad \text{Л}^* \text{т} C_{T,и} X_{T,и} \cdot 10^{-3} - ( / >, + E) C_{T,и} X_{T,и} / a_{и}. \quad (49)$$

Полученная по формуле (48) толщина тепловой изоляции может оказаться слишком большой, значительно увеличивающей габаритные размеры установки. В этом случае уменьшают толщину  $b_{T,и}$  за счет увеличения приведенных затрат  $З$ .

Все приведенные формулы исходят из затрат на теплоизоляцию  $1 \text{ м}^2$  поверхности. Их можно использовать в расчетах теплоизоляции трубопроводов для площади поверхности трубопровода. При необходимости формулы могут быть пересчитаны на  $1 \text{ м}$  длины трубопровода. Следует иметь в виду, что уменьшение теплотерь не пропорционально увеличению толщины тепловой изоляции. Это объясняется тем, что при увеличении  $0_{г}$  и возрастает теплоотдающая поверхность. Так, для цилиндрических тел теплотери при увеличении  $b_{T,и}$  и даже растут. Уменьшение тепловых потерь начинается при условии

$$D_{г}^{\text{TM}} \quad \text{—} \quad \text{—} \quad (50)$$

где  $D_{H}$  — наружный диаметр установки;  $D_{T,и}$  — наружный диаметр изоляции;  $a_{и}$  — коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции в окружающую среду. Из условия (50) изоляция должна иметь коэффициент теплопроводности

$$>_{г}^{\text{TM}} < K/2) \text{ Я}^{\text{TM}}. \quad (51)$$

Рассмотренная задача расчета тепловой изоляции по минимальным приведенным затратам является прямой: рассчитав тепловую изоляцию, определяют к. п. д. установки, а затем и ее мощность. Может стоять и обратная задача, когда заданными являются мощность и к. п. д. Определив потери и связав их с тепловым сопротивлением теплоизоляции, не трудно найти ее толщину.

Установку тепловой изоляции можно выполнять при условии полной готовности изолируемой поверхности и завершения работ по монтажу гибких нагревателей. Поэтому перед началом изоляционных работ на трубопроводах следует тщательно проверить выполнение работ по монтажу нагревателей, испытать все выводы и соединения, провести пробное включение нагревателей, проверить наличие и качество основных и вспомогательных мате-

риалов для теплоизоляции. Монтаж изоляции из полуцилиндров и сегментов заводского изготовления производится насухо путем тщательной подгонки стыков. Крепления осуществляются бандажами из расчета два на каждое изделие. Укладка сегментов и полуцилиндров на трубопроводы выполняется с использованием временного монтажа резинового жгута.

### VIII. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВЕ ТРУБОПРОВОДОВ: С ВЯЗКИМИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Электроподогрев гибкими нагревателями трубопроводов с вязкими нефтепродуктами имеет специфические особенности. Процесс нагрева при этом можно определить как поверхностный с помощью источника теплоты постоянной мощности с равномерно распределенной удельной мощностью по поверхности трубопровода. Специфика процесса подогрева раскрывается ниже путем решения уравнения теплового баланса и рассмотрения особенностей разогрева пристенного слоя вязкого нефтепродукта.

Связи между мощностью гибких нагревателей, временем и скоростью разогрева, объемом и массой нагреваемого трубопровода могут быть получены при рассмотрении изменяющегося во времени баланса между количеством теплоты, передаваемым гибкими нагревателями и получаемым нагреваемым трубопроводом. С целью упрощения задачи вместо реального трубопровода; рассмотрим процесс нагрева источником постоянной мощности однородного и изотропного тела, обладающего бесконечной теплопроводностью. Предполагается также, что физические параметры тела, кроме температуры, в процессе нагрева не изменяются [8].

Тепловой баланс за элемент времени  $dx$  выражается уравнением

$$dQ_i = r f Q_2 + \quad r f Q_3, \quad (52)$$

где  $dQ_i$  — количество теплоты, выделяемой электронагревателем за время  $dx$ , Дж;  $dQ_i$  — количество теплоты, идущей на увеличение теплосодержания, Дж;  $dQ_s$  — теплотери в окружающую среду, Дж.

Составляющие теплового баланса (52) представляются элементарным ообразом:

$$dQ_x = P f f t; \quad (53)$$

$$dQ_i = m c dt \quad (54)$$

$$dQ_3 = a F (t - t_0) dt, \quad (55)$$

где  $P$  — мощность, подводимая к телу, Вт;  $t$  — масса нагреваемого тела, кг;  $c$  — средняя за период нагрева удельная теплоемкость тела, Дж/(кг·°C);  $dt$  — изменения температуры тела за

время  $dx$ , °C;  $a$  — коэффициент теплоотдачи от поверхности тела в окружающую среду, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $F$  — площадь поверхности тела, м<sup>2</sup>;  $t_0$  — температура окружающей среды, °C;  $i$  — температура тела в данный момент, °C. Произведение  $me$  в дальнейшем именуется как тепломасса.

Уравнение (52) после подстановки значений (54) и (55) будет иметь вид

$$Pdi = medt + aF(t - t_0) di \tag{56}$$

или

$$nwl(*F) + t \cdot t_a + -pi(<iF) \setminus = 0. \tag{57}$$

Обозначив

$$T = mc/(aF) \tag{58}$$

и учитывая, что при установившемся режиме вся мощность источника нагрева расходуется на теплоотдачу в окружающую среду, т. е.

$$P = aF(t_y - t_0), \tag{59}$$

откуда

$$t_y = t_0 + PT(aF) \tag{60}$$

( $T$  принимается в дальнейшем постоянной времени нагрева, с;  $t_y$  — установившаяся температура тела при  $dt/dx=0$ ), можно записать

$$T(dt/dz) + t - t_y = 0. \tag{61}$$

Решение дифференциального уравнения (61) следующее:

$$t = t_{\infty} e^{-z/L} + t_y (1 - e^{-z/L}), \tag{62}$$

где  $t_{\infty}$  — температура тела в начальный момент времени при  $t=0$ . Если перед началом нагрева  $t_H = t_0$ , то данное уравнение будет иметь вид

$$t = t_y (1 - e^{-z/L}) \tag{63}$$

где  $t_y$  — максимальное установившееся превышение температуры тела над температурой окружающей среды.

Для получения уравнения охлаждения достаточно в уравнении теплового баланса (52) левую часть приравнять нулю, приняв во внимание, что источник теплоты отключен и  $P=0$ . После чего при помощи аналогичных преобразований находятся выражения для температуры и времени:

$$t = t_y e^{-i} \tag{64}$$

$$z = T \ln(t_y/t) \tag{65}$$

Из приведенных выше соотношений видно, что процессы нагрева и охлаждения тела связаны с двумя постоянными величинами, характеризующими нагреваемую систему:  $T$  — постоянная времени;  $t_y$  — максимально установившаяся температура тела.

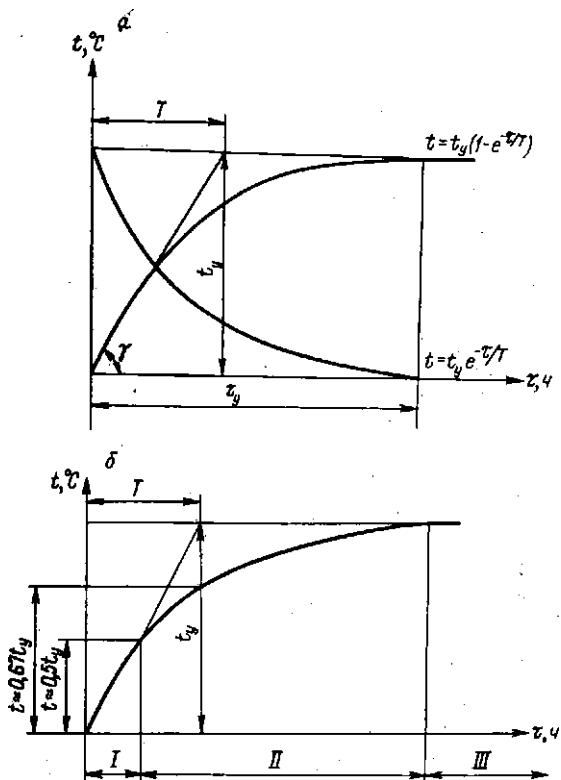


Рис. 39. Кривые процесса разогрева.

а — график разогрева при постоянной мощности нагревателя; б — схема трех этапов разогрева (I — нагрев; II — нагрев и компенсация теплотерь; III — компенсация теплотерь).

Уравнения нагрева и охлаждения (63) и (64) изображаются на графике в виде экспоненциальных кривых (рис. 39). Из уравнения нагрева следует, что для начального момента времени при  $t=0$  скорость нагрева можно выразить через

$$dt/dt = t_y/T = t \operatorname{tg} f. \quad (66)$$

Если заменить  $t_y$  и  $T$  соответствующими выражениями, приведенными выше, то получаем

$$\frac{dt}{dx} \cdot \frac{1}{\text{°}^{-1}} \cdot \frac{t_y}{T} \cdot \frac{P}{mc} \cdot \frac{\text{Теплота, получаемая телом в единицу времени}}{\text{Тепломасса тела}}$$

Это отношение дает угол наклона касательной, проведенной к кривой  $t = t_y (1 - e^{-\tau/T})$  в начальной точке при  $\tau=0$ . Касательная выявляет геометрическое значение  $T$ , которое определяется подкасательной, построенной на асимптоте к кривой  $t = t_y X$

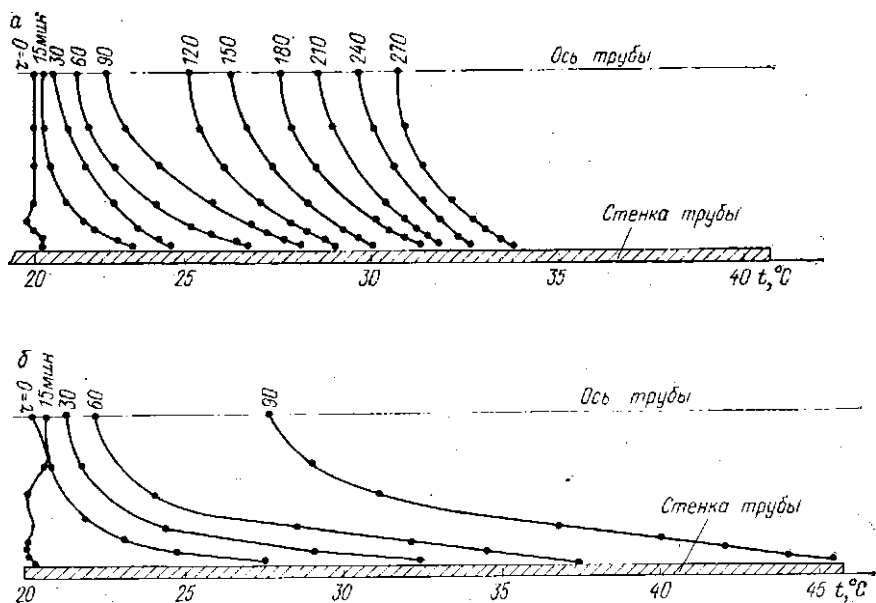


Рис. 40. Температурные поля в нефтепродукте в процессе разогрева.  
Удельная мощность, Вт/м: а — 20, б — 80.

Из схемы понятен смысл постоянной времени  $T$ , которая означает время  $t$ , необходимое для того чтобы температура тела достигла  $t_y$  при условии отсутствия теплопотерь в окружающую среду. Таким образом, уравнение  $t = t_y (1 - e^{-t/T})$  отражает зависимость температуры тела от времени нагрева, а также от тепло-Массы и условий теплоотдачи.

Для выяснения этих же зависимостей в реальных системах подогрева были проведены циклы нагрева на экспериментальной установке, которая представляет собой несколько труб диаметром от 100 до 220 мм и длиной 2 м. На трубах спирально намотан гибкий ленточный нагреватель, поверх которого устанавливалась тепловая изоляция. Для измерения температур по всему сечению труб был установлен ряд термопар. Кривые, отражающие зависимость температуры продукта по сечению трубопровода от времени для удельной мощности 20 и 80 Вт на 1 м трубы, показаны на рис. 40.

Как видно из графиков, с увеличением мощности электрообогрева неравномерности распределения температур по сечению трубы возрастает. Так, через 90 мин после включения нагрева при мощности 20 Вт/м разность температур на оси трубы и в пристенном слое составила  $6^\circ\text{C}$ , а при мощности 80 Вт/м —  $20^\circ\text{C}$ . При увеличении мощности скорость изменения температуры стенки трубы также возрастает. Наличие продукта в установке затрудняет проведение нагрева до установившихся температур. С этой

целью ряд циклов проводился на трубах без продукта, что позволило осуществлять нагрев до 400—600° С и до установившегося режима.

На рис. 41 показаны кривые, отражающие зависимость установившихся температур от удельной мощности при нагреве трубы диаметром 100 мм. Кривые наглядно показывают соотношения между прилагаемой удельной мощностью и установившимися, т. е. максимальными, температурами в различных точках сечения. Разность температур в сечении возрастает с увеличением нагрузки. Так, при удельной нагрузке 45 Вт/м разность составляет 65° С, а при 500 Вт/м — 410° С.

Зависимость температуры на ленточном нагревателе от времени и удельной мощности при нагреве теплоизолированной трубы диаметром 150 мм показана на рис. 42. Как видно из графика, время выхода на установившийся режим  $t_y$  приблизительно одинаково и несколько уменьшается с увеличением удельной мощности. Температуры в процессе нагрева и установившиеся температуры увеличиваются с ростом удельной мощности. Так, установившаяся температура для удельной нагрузки 46 Вт/м равна 48° С, а для удельных нагрузок 75, 65, 58 и 53 Вт/м соответственно — 76, 68, 60 и 55° С.

При нагреве трубы диаметром 150 мм для одного и того же трубопровода температура нагревателя, а также и других элементов установки возрастает с увеличением удельной мощности. Время выхода на установившийся режим  $t_y$  почти одинаково для всех нагрузок, прикладываемых к нагревательной трубе.

Влияние изменения массы и размеров нагреваемого оборудования на установившуюся температуру  $t_y$  и время разогрева  $t_y$  наглядно видно из графиков, показанных на рис. 43. При нагреве теплоизолированных трубопроводов разных диаметров ленточным нагревателем с одной и той же удельной мощностью 50 Вт/м текущая и установившаяся температура на ленточном нагревателе обратно пропорциональна, а время разогрева  $t$  прямо пропорционально диаметру трубопровода или его общей тепломассе  $It$  или, еще вернее, тепловой постоянной времени  $T = \sim Zmc/(Fa)$ . Так, для трубы диаметром 100 мм с тепломассой  $Smc$ , равной 2,95 кДж/(м · °С),  $t_y$  составляет 101° С, а  $t_y = 8,28$  ч. В то же время

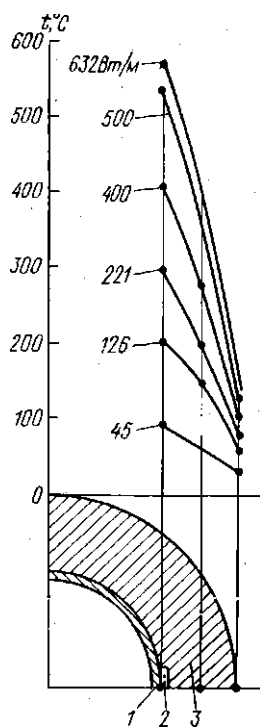


Рис. 41. Зависимость установившихся температур от удельной мощности в различных точках сечения при диаметре трубы 100 мм.

1 — труба; 2 — ленточный нагреватель; 3 — тепловая изоляция.

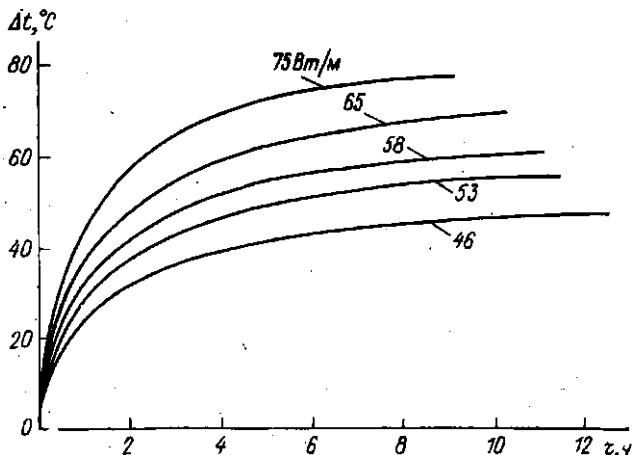


Рис. 42. Зависимость температуры на гибком ленточном нагревателе от времени и удельной мощности при нагреве теплоизолированной трубы диаметром 150 мм.

для труб диаметром 152 и 200 мм соответственно  $S_{mc}$  равна 14,6 и 20,5 кДж/(м $\cdot$ °C),  $t_y$  — 65 и 50°С, а  $\tau_y$  — 9,48 и 11,9 ч.

Еще более наглядно влияние количества тепломассы на время разогрева и установившуюся температуру видно на рис. 44. На графике *a* в масштабе времени в минутах показаны кривые, отражающие ход разогрева ленточных нагревателей, горизонтально подвешенных в воздухе, на графике *б* — эти же кривые, но в мас-

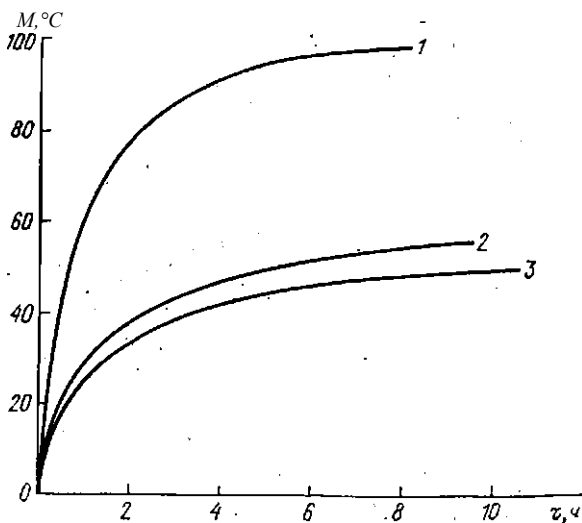
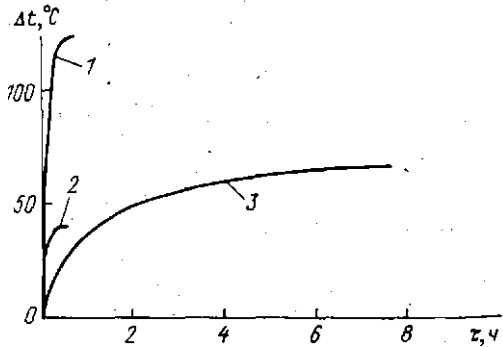
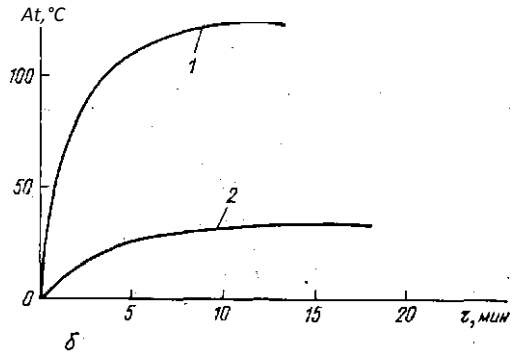


Рис. 43. Зависимость установившейся температуры от тепломассы при удельной мощности 50 Вт/м.

График.	$d_p$ , мм	$2mc$	$\tau_y$ , ч	$d/y$ , °C
1	100	0,711	8,28	101
2	152	3,48	9,48	59,3
3	200	4,88	11,90	53

Рис. 44. Графики нагрева.

а — зависимость  $t=f(P, x, 2^{\tau^{\circ}})$  для ленточного нагревателя, свободно подвешенного в воздухе (масштаб времени в минутах); б — зависимость  $t=f(P, \tau)$  для ленточного нагревателя, свободно подвешенного в воздухе и установленного на трубе с теплоемкостью  $\epsilon_{тс}=14$  кДж/Дм. $^{\circ}$ С (масштаб времени в часах).  
 $1 - P=76$  Вт/м,  $S_{тс}=0,049$  кДж/(м. $^{\circ}$ С);  $2 - P=21$  Вт/м,  $2\tau_{с}=0,049$  кДж/(м. $^{\circ}$ С);  $3 - P=50$  Вт/м,  $\epsilon_{тс}=3,48$  кДж/(м. $^{\circ}$ С),  $D_{тр}=152$  мм.



штабе времени в часах вместе с кривой нагрева для ленточного нагревателя, проложенного на трубе под слоем тепловой изоляции. Ленточный нагреватель с теплоемкостью  $0,21$  кДж/(м. $^{\circ}$ С), находясь на воздухе, достигает установившегося превышения температуры  $A_{г^{\circ}} = 120^{\circ}$ С при удельной мощности  $76$  Вт/м и  $A^{\circ}_{г^{\circ}} = 39^{\circ}$ С при удельной мощности  $21$  Вт/м всего за  $14-20$  мин. В то же время такой же ленточный нагреватель с удельной мощностью  $50$  Вт/м, но находящийся на теплоизолированной трубе с общей теплоемкостью  $14,6$  кДж/(м. $^{\circ}$ С) достигает превышения температуры  $A_{г^{\circ}} = 60^{\circ}$ С за  $9,5$  ч.

Подводя итог всему изложенному, можно отметить, что в реальных условиях при подогреве технологического оборудования и трубопроводов температура в различных точках будет разной как в процессе нагрева, так и в установившемся режиме. Время выхода на установившийся режим зависит от суммарной теплоемкости обогреваемого оборудования и условий теплоотдачи в окружающую среду, характеризуемых тепловой постоянной оборудования. При одинаковой теплоемкости и тепловой постоянной времени  $T$  установившаяся температура возрастает с увеличением мощности нагрева, в то время как время выхода на установившийся режим ту нагреваемого оборудования почти не изменяется.

На основе проведенных работ процесс нагрева в трубопроводе

Рис. 43. Схема распределения тепловых потоков при нагреве трубопровода кольцевым источником теплоты.

1 — тепловая изоляция; 2 — пристенный слой продукта; 3 — кольцевой источник теплоты; 4 — холодное ядро продукта.

при источнике подогрева постоянной мощности, каковыми являются гибкие ленточные нагреватели с учетом, что теплопроводность стальной стенки трубопровода ( $\lambda_s \sim 50 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ) почти в 1000 раз выше теплопроводности теплоизоляции [ $\lambda_i = 0,05 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ], представляется в следующем виде. Тепловой поток от ленточного нагревателя, расположенного на трубопроводе под слоем тепловой изоляции, в первую очередь разогревает стальную стенку трубопровода [6]. Поэтому для упрощения расчетов ленточный нагреватель без большой погрешности заменяется кольцевым источником теплоты, равномерно распределенной в стенке трубопровода (рис. 45).

В начальный период распределение тепловых потоков от разогретой стенки будет прямо пропорционально коэффициентам теплоусвоения нефтепродукта и материала теплоизоляции в соответствии с выражением

$$\frac{q_{\text{в}}}{q_{\text{из}}} = \frac{V \cdot h \cdot f_i}{K \cdot h \cdot P_i \cdot C_j}, \quad (67)$$

где  $U_{\text{ядс}}$  — коэффициент теплоусвоения;  $q_{\text{в}}$  — тепловой поток, идущий в теплоизоляцию;  $q_{\text{п}}$  — тепловой поток в продукт.

Так как коэффициент теплоусвоения нефтепродукта  $U_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{п}}$  больше чем для теплоизоляции  $U_{\text{изс}}$ , то в начальный период основной тепловой поток направляется в нефтепродукт, разогре-

вая пристенный слой. В центральной части сечения трубы остается ядро холодного продукта. Объясняется это тем, что в начальный период разогрева температура нефтепродукта не превышает значения, при котором возникает значительная свободная конвекция, а передача теплоты путем теплопроводности в нефтепродукте незначительна. Весь процесс нагрева от разогрева пристенного слоя до установившегося режима отражается, как было установлено выше, кривыми, близкими к экспоненте:

$$\dot{t} \sim (1 - e^{-\dots}) \quad (68)$$

Этот процесс можно разделить (см. рис. 39, б) на три основных периода. Первый — период прямого нагрева. В этом периоде почти вся мощность нагревателя расходуется на нагрев. Длительность этого периода  $t_1$  близка к половине постоянной времени  $T$ , т.е.  $t_1 \sim T/2$ . За этот период температура  $t$  всех точек незаполненного трубопровода, или заполненного незастигнувшим продуктом, обычно достигает 50% от максимально установившейся  $t_y$ , т.е.  $t \sim 0,5t_y$ . При разогреве трубопровода с застигнутым продуктом за этот период разогревается только пристенный слой продукта.

Во втором периоде мощность ленточного нагревателя расходуется как на нагрев, так и на постепенно увеличивающиеся тепловые потери. Длительность второго периода  $t_2$  приблизительно равна  $2,5-4 T$ . В конце периода процесс нагрева почти прекращается и теплотери приближаются к мощности электронагревателей, а температура всех точек нагреваемого оборудования становится равной  $t = t_y$ . Третий период — установившийся, в котором температура во всех точках оборудования не изменяется. В этом периоде вся мощность электронагревателя расходуется на теплотери, температура  $t_y$  нагреваемого оборудования остается постоянной.

Использование указанных особенностей разогрева трубопроводов поверхностными нагревателями постоянной мощности при определении мощностей для проведения операций по разогреву и перекачке может обеспечить значительную экономию электроэнергии.

### Определение тепловых потерь

Тепловые потери технологического оборудования, заполненного разогретым продуктом, прямо пропорциональны разности температур продукта и окружающей среды и обратно пропорциональны сопротивлению тепловому потоку, направленному от продукта в окружающую среду:

$$Q = D \cdot \Delta t / R_T = (t_{np} - t_0) / R_T \quad (69)$$

Поэтому основным в расчете тепловых потерь является определение теплового сопротивления  $R_T$ .

Очевидно, что определение разности температур не представляет значительной трудности. Тепловой поток, проходя от продукта в окружающую среду, преодолевает тепловое сопротивление

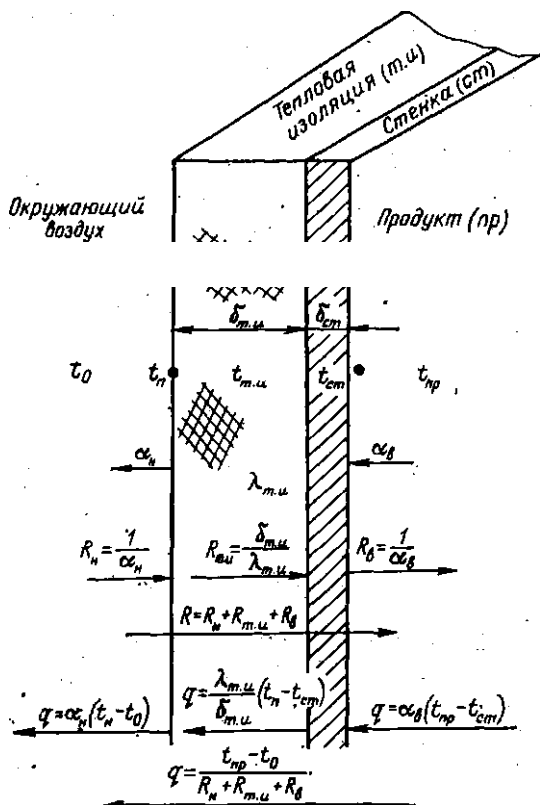


Рис. 46. Схематическое изображение процесса теплопередачи через теплоизолированную плоскую стенку.

ние теплоотдачи от продукта к внутренней стенке резервуара, трубопровода или другого оборудования, сопротивление теплопроводности через стенку и слой тепловой изоляции и, наконец, сопротивление теплоотдачи от наружной поверхности оборудования в окружающую среду. Сопротивление металлической стенки оборудования незначительно, поэтому им обычно пренебрегают при тепловых расчетах. Принимается во внимание только сопротивление тепловой изоляции. Также из-за небольшого значения в большинстве случаев пренебрегают сопротивлением теплоотдачи от продукта к стенке оборудования.

Рассмотрим основные формулы для определения тепловых сопротивлений и потока тепловых потерь при прохождении последнего через плоскую и цилиндрическую стенку. Расчетные формулы пояснены схемами на рис. 46, 47.

Количество теплоты, переданной теплопроводностью через тепловую изоляцию плоских и цилиндрических стенок, в соответствии с законом Фурье определяется по формуле

$$Q = \frac{t_{пр} - t_0}{R_n + R_{ст.и.} + R_г} \cdot F \quad (70)$$

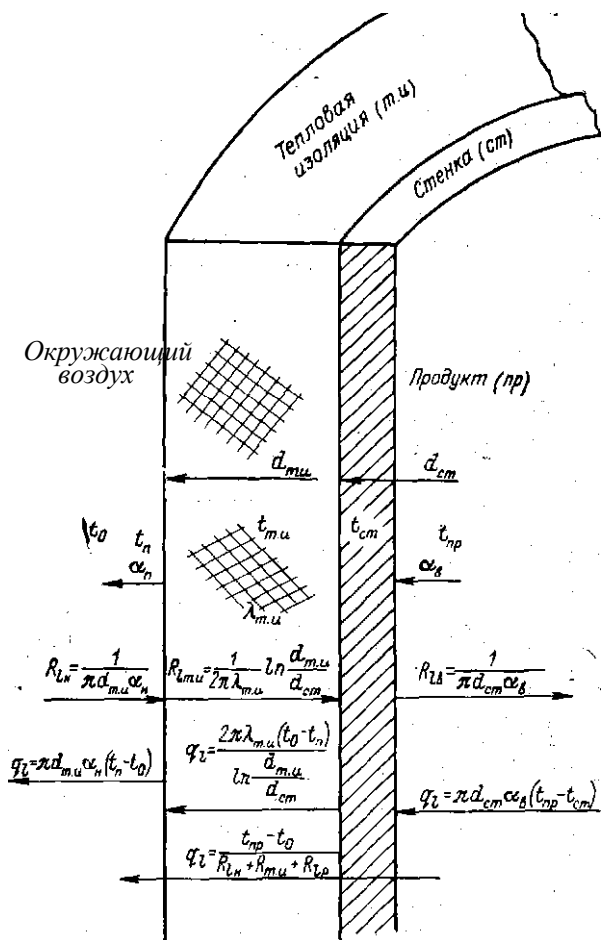


Рис. 47. Схематическое изображение процесса теплопередачи через теплоизолированную цилиндрическую стенку.

где  $q$  — тепловой поток через плоскую однослойную стенку, Вт;  $t_{ст}$  и  $t_n$  — температура стенки и наружной поверхности тепловой изоляции, °С;  $\lambda_{т.и.}$  — коэффициент теплопроводности тепловой изоляции, Вт/(м • °С);  $b_{т.и.}$  — толщина тепловой изоляции, м.

При применении многослойной изоляции тепловой поток определяется по формуле

$$q = \frac{t_0 - t_{пр}}{R_{лн} + R_{лми} + R_{лп}} \quad (7)$$

Отношение  $R_{лн}$  и  $R_{лми}$  называется тепловым Сопротивлением изоляционного слоя и характеризует его теплоизолирующий

эффект. Для многослойной теплоизоляции тепловое сопротивление является суммой тепловых сопротивлений слоев:

$$R_{T.U} = R_{T.M2} + R_{r.an} + R_{T.HI.HI} + \dots + R_{T.HI.HI} \quad (72)$$

Для однослойной цилиндрической изоляции уравнение теплопроводности имеет вид

$$q = \frac{2\pi X_{T.HI} (t_{CT} - t_{CT})}{\ln(d_{T.HI}/d_{CT})} \quad (70)$$

где  $d_a$  и  $d_{T.HI}$  — наружный диаметр соответственно трубопровода и тепловой изоляции, м;  $q$  — тепловой поток на 1 м цилиндрической изоляции, Вт/м.

При многослойной изоляции тепловой поток определяется по формуле

$$q_i = \frac{(t_{CT} - t_{CT})}{\left( \frac{1}{\alpha_{CT}} + \frac{1}{\alpha_{T.HI}} + \dots + \frac{1}{\alpha_{T.HI}} + \frac{1}{\alpha_{T.HI}} \right)} \quad (74)$$

Для однослойной цилиндрической изоляции тепловым сопротивлением изоляционного слоя является отношение

$$R_{T.HI} = \frac{1}{2\pi X_{T.HI} (t_{CT} - t_{CT})} \quad (75)$$

а для многослойной — сумма термических сопротивлений слоев:

$$R_{T.HI} = R_{T.HI} + R_{T.HI} + \dots + R_{T.HI}$$

Теплоотдача от поверхности тепловой изоляции в окружающий воздух рассчитывается следующим образом. Тепловой поток от поверхности плоской стенки в окружающий воздух находится по формуле

$$q = \frac{t_0 - t_{CT}}{R_{T.HI} + \frac{1}{\alpha_{CT}}} \quad (76)$$

где  $t_0$  — температура окружающей среды, °С;  $\alpha_n$  — коэффициент теплоотдачи, называемый наружным коэффициентом теплоотдачи в отличие от  $\alpha_n$  (внутреннего коэффициента теплоотдачи). Величина, обратная коэффициенту теплоотдачи  $\alpha_n$ ,

$$1/\alpha_n = (t_n - t_0)/q = R_{T.HI} \quad (77)$$

называется сопротивлением теплоотдаче от поверхности изоляции в окружающий воздух.

Для цилиндрической изоляции тепловой поток от поверхности определяется по формуле

$$q_i = f \cdot A (t_n - t_0) \quad (78)$$

а сопротивление теплоотдаче, м<sup>2</sup>°С/Вт,

$$R_{T.HI} = \frac{1}{f \cdot A} \quad (79)$$

Удельный тепловой поток в целом при теплопередаче от продукта в окружающую среду для плоской стенки с одним слоем теплоизоляции с учетом теплопроводности через слой тепловой изоляции и теплоотдачи в окружающий воздух определяется по формуле



Для цилиндрической однослойной изоляции

+



При многослойной изоляции, состоящей из  $n$  слоев, уравнения имеют вид:

для плоской стенки

< 82 )

для цилиндрической стенки

$$4i = (*_{\text{пр}} - \tau_1 + \frac{1}{2\lambda_{\text{т.и.}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}) \cdot \text{ferJ} + \frac{q_{\text{т.и.}}}{\gamma_{\text{т.и.}}} + \frac{q_{\text{н.и.}}}{\gamma_{\text{н.и.}}} \quad (83)$$

Для определения тепловых потерь на основе приведенных формул (70) — (83) необходимо знать геометрические размеры теплоизолированного оборудования, значения коэффициентов теплопередачи  $X$  и коэффициентов теплоотдачи  $a_{\text{я}}$ . Коэффициенты теплопередачи  $X$  находят по справочным таблицам. Значения  $X$  для некоторых используемых при электроподогреве материалов даны в табл. 16. При определении  $a_{\text{н}}$  необходимо учесть, что для обычных условий теплоотдачи коэффициенты  $a_{\text{н}}$  находятся в пределах от 4 до 45 Вт/(м<sup>2</sup>·°С). В большинстве случаев  $a_{\text{н}}$  может приниматься на основании табл. 17.

Расчетным путем  $a_{\text{н}}$  находится как сумма двух коэффициентов теплоотдачи конвекции  $a_{\text{к}}$  и лучеиспускания  $a_{\text{л}}$ :

$$a_{\text{н}} = a_{\text{к}} + a_{\text{л}} \quad (84)$$

Для определения  $a_{\text{к}}$  могут быть рекомендованы [17] три формулы, выведенные на основе критериальных уравнений:

для горизонтальных трубопроводов  
при  $Sh^3 > 9,8 \cdot 10^{-2}$

$$a_{\text{к}} = \dots \quad (85)$$

при  $9,8 \cdot 10^{-2} > Sh^3 > 6,5 \cdot 10^{-6}$

$$a_{\text{к}} = \dots \quad (86)$$

для вертикальных трубопроводов и оборудования

$$a_{\text{к}} = 1,82 \gamma^{0,1} A^{\dots} \quad (87)$$

Таблица 16

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности  $X$  теплоизоляционных конструкций

Материал изоляционного слоя	Объемная масса изоляционного слоя, кг/м <sup>3</sup>	Максимальная температура, °С	X в зависимости от средней температуры, Вт/(м · °С)
Асбестовый матрац, заполненный совелитом	280'	450	0,087—0,00021 $t_{ср}$
Асбестовый матрац, заполненный стекловолокном	200	450	0,058—0,00023/ср
Асботкань в несколько слоев	500—600	С хлопком — 200° С, без хлопка — 450° С	0,13—0,00026/ср
Асбопухшнур	450—550	220	0,093—0,00020/ср
Вермикулит вспученный в засыпке	230	900	0,07—0,00023 $t_{ср}$
Войлок строительный	200	100	0,044—0,00021 $t_{ср}$
Диатомитовые теплоизоляционные изделия марки Д-500	500	900	0,116—0,00023/ср
Маты минераловатные на синтетическом связующем марки 75	115	400	0,043—0,00022/ср
Маты стекловатные на синтетическом связующем марки 50	80	180	0,042—0,00035 $t_{ср}$
Пенобетонные изделия	400	400	0,11—0,00030 $t_{ср}$

Таблица 17

Значение коэффициентов теплоотдачи  $a_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С)

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	6	10	20	25	35
Вертикальные трубопроводы, оборудование, плоская стенка	7	11	25	35	50

где  $\Delta t$  — перепад температур поверхности изоляции и окружающего воздуха, °С;  $d_{T_{и}}$  — наружный диаметр теплоизоляции, м.

Вне помещений вынужденное движение воздуха (ветер) су-

щественно увеличивает теплоотдачу. Для определения  $a_k$  в этих случаях следует пользоваться формулами:

для плоских стенок

$$a_k = (5,95 + 1,5^{1/100}) Xw^{1e^1} \quad (88)$$

для трубопроводов

$$a_k = 3,9 w^{0.6} I d^{0.4} \quad (89)$$

где  $w$  — скорость ветра, м/с;  $I$  — длина стенки по направлению ветра, м. В табл. 18 и 19 приведены значения  $a_k$ , рассчитанные по формулам (88) и (89).

Коэффициент теплоотдачи излучением  $a_l$  определяется по формуле

$$a_l = \frac{C_l(T_n - T_0)}{t_n - t_0} \quad (90)$$

где  $T_n$  и  $T_0$  — температуры соответственно поверхности и окружающего воздуха, К;  $t_n$  и  $t_0$  — то же, °С. Значения коэффициентов излучения  $C_l$  для поверхности различных покровных слоев изоляционных конструкций приведены в табл. 20.

При расчетах оборудования в закрытых помещениях при малых перепадах температур поверхности и воздуха принимаются следующие значения  $a_n$ : для горизонтальных поверхностей, обращенных вверх, 7—8 Вт/(м<sup>2</sup>·°С); для горизонтальных поверхностей, обращенных вниз, 5—6 Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Минимальное практически возможное значение  $a_n$  при малых температурных перепадах, малом коэффициенте излучения поверхности и отсутствии движения воздуха составляет 3—3,5 Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Тепловые потери, определенные после подстановки в формулы (80) — (83) значений  $Y$  и  $a_n$ , не учитывают дополнительные потери через опоры, арматуру и отдельные неизолированные участки. Поэтому полностью тепловые потери изолированного оборудования определяются по формуле

$$Q = (q_1 F_1 + q_2 F_2 + \dots + q_n F_n) K_n \quad (91)$$

где  $F_1, F_2, \dots, F_n$  — площади стенок оборудования, через которые происходят тепловые потери, м<sup>2</sup>;  $q_1, q_2, \dots, q_n$  — соответствующие удельные тепловые потоки, получаемые по формулам (82) и (83);  $Y_n$  — коэффициент, учитывающий теплопотери через опоры, неизолированные мелкие участки и т.д., принимается 1,2.

При определении тепловых потерь трубопроводов по формулам (81) и (83) удельные потери  $q_t$  с 1 м умножаются на номинальную длину трубопровода  $L$  и также коэффициент  $K_t$ , равный 1,2. К номинальной длине  $L$  прибавляется дополнительная эквивалентная длина  $I$  по тепловым потерям фланцевых соединений, задвижек и т. п. Значение  $I$  определяется следующим образом:

а) одна пара изолированных фланцевых соединений принимается эквивалентной 1,5 м изолированного трубопровода;

б) один изолированный вентиль (или задвижка) принимается эквивалентным 5 м трубопровода.

Таблица 16

Значения  $a_k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), для плоских поверхностей при вынужденном движении окружающего воздуха)

Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/с	Длина поверхности по направлению ветра, м				
		0,5	1	2	4	5"
—30	5	28,1	24,5	21,3	18,5	17,8
	10	49,2	42,8	33,2	32,4	31,0
	15	59,2	51,7	51,7	45,2	43,2
	20	99,7	84,4	74,5	65,2	52,3
0	5	25,6	22,4	19,4	16,9	16,2
	10	44,7	39,0	33,0	29,6	28,3
	15	61,9	53,9	46,2	41,1	39,3
	20	89,8	78,1	67,8	59,3	56,7
4-30	5	24,1	21,0	18,3	15,9	15,2
	10	42,1	36,7	32,0	27,8	26,6
	15	58,2	50,9	44,3	39,7	37,0
	20	84,5	73,5	64,0	56,0	53,5

Таблица 19

Значения  $a_k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), для цилиндрических поверхностей при вынужденном движении окружающего воздуха)

Скорость ветра, м/с	Диаметр цилиндрической поверхности, м								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5
5	24,1	19,5	16,5	14,7	13,5	12,6	11,2	10,3	8,6
10	35,4	29,5	24,8	22,3	20,5	19,1	17,0	15,5	12,05
15	45,5	37,6	31,7	28,3	26,2	24,3	21,9	19,8	16,75
20	53,9	44,7	37,6	33,6	31,0	28,9	26,7	23,5	20,0

Таблица 20

Коэффициенты излучения  $C_i$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>)

Материал	Состояние поверхности	Коэффициент излучения
Алюминий листовой	Полированный, зеркальный	0,35
Алюминий оксидированный, дюраль технический	Матовый	1,2—2,0
Лак алюминиевый	Матовый	2,3
Лак черный	Блестящий	5,0
То же	Матовый	5,4
Краски масляные	—	5,2
Толь	—	5,2
Штукатурка без оклейки и окраски	—	5,2
Сталь листовая	Черная матовая	4,0
То же	Окисленная	4,65

В результате расчетная формула для определения тепловых потерь трубопровода длиной  $L$  будет иметь вид

$$= + \quad (92)$$

Ориентировочные тепловые потери резервуаров, предназначенных для хранения нефтепродуктов, можно определять по приведенным выше формулам. Более точное определение тепловых потерь может быть сделано [11] на основе следующих формул:

$$Q_P = hf < F(t_{cp} - t_0), \quad (93)$$

где  $KF$  — произведение коэффициента теплопередачи и площади каждой из поверхностей резервуара, соприкасающейся с окружающей средой;  $K$  — общий коэффициент теплопередачи через стенку, включающий теплоотдачу от продукта к стенке и в окружающую среду; является величиной, обратной суммарному сопротивлению

$$A\Gamma - \quad (94)$$

$t_{cp}$  — средняя расчетная температура нефтепродукта в резервуаре

$$t_{cp} = 0,5 (t_n + t_k) \text{ при } (t_n - t_k) / (t_n - t_0) < 2; \quad (95)$$

$$= V + \quad \text{при } (t_n - t_k) / (t_n - t_0) > 2, \quad (96)$$

где  $t_n$  и  $t_k$  — соответственно начальная и конечная температура; в процессе разогрева, °C.

Температура окружающей среды для надземных вертикальных резервуаров определяется по формуле

$$t_o = \frac{t_{гр} + (1 + H/D)t_B}{1 + 4H/D} >$$

где  $t_{гр}$  — температура грунта, °C;  $t_B$  — температура воздуха, °C;  $H$  — высота взлива нефтепродукта, м;  $D$  — диаметр резервуара, м.

Коэффициенты теплопередачи для надземных резервуаров через стенку  $K_0$  через днище  $K_d$  и покрытие  $K_k$  определяются по следующим формулам:

где  $a_w$  — внутренний коэффициент теплоотдачи от нефтепродукта к стенке, который для вязких нефтепродуктов может быть принят  $4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;  $a_n$  — наружный коэффициент теплоотдачи,  $a_n = a_k + a_d$ ; для  $a_k$  могут быть рекомендованы расчетные формулы:

$$a_k = 6,2 - f - 4,2w \text{ при } \text{га} < 5 \text{ м/с};$$

$$a_k = 7,2 \text{ при } \text{га} > 5 \text{ м/с};$$

$a_k$  — может быть найдено по формулам (87) и (88) и по табл. 18 и 19;  $a_d$  — определяется по формуле (90); коэффициент теплоотдачи от продукта в днище может быть принят равным  $3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  (или более точно по табл. 106 из работы [11] с коэффициентом 0,7);  $\gamma$  — коэффициент теплопроводности грунта,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $a_{вк}$  — коэффициент теплоотдачи от зеркала нефтепродукта в газовое пространство, ориентировочно можно принять  $\langle a_{вк} = 2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $b_{г}$  — толщина слоя газа над нефтепродуктом, м;  $\gamma_{жв}$  — эквивалентный коэффициент теплопроводности газозвушной смеси,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ .

Для подземных неизолированных горизонтальных резервуаров полный коэффициент теплопередачи  $K \sim K_c$ , а

(сопротивлением металлической стенки  $R_c = 26 \text{ Д}$  пренебрегаем).

Коэффициент теплоотдачи от поверхности резервуара через грунт в воздух

$$\alpha_{гг} = \frac{1}{D_{ин} \left[ 2(\gamma + \gamma_{жв}) + \frac{a_{вк}}{h} \sqrt{4(\gamma + \gamma_{жв})^2 + \frac{a_{вк}^2}{h^2}} \right]}, \quad (102)$$

где  $a_{нв}$  — коэффициент теплоотдачи от поверхности грунта в воздух, принимается  $14 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $h$  — расстояние от оси резервуара до поверхности земли, м.

Для надземных горизонтальных резервуаров и железнодорожных цистерн  $t_{0в} = t_{в}$ , для подземных резервуаров  $t_{0в} = t_{г}$ .

### Определение мощности при нагреве трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования

Мощность, необходимая для разогрева оборудования и компенсации тепловых потерь, определяется на основе исходных данных, которые должны включать:

1) назначение оборудования, резервуара, трубопровода и его размеры;

2) описание технологического процесса (разогрев в стационарном состоянии, перекачка разогретого продукта по трубопроводу, перекачка по трубопроводу с предварительным разогревом и т. д.);

3) количество нагреваемого или перекачиваемого продукта, скорость перекачки;

4) теплофизические и другие характеристики, связанные с подогревом (требуемое время  $t$ , с или  $\dot{t}$ , или скорость нагрева  $dt/dx$ ,  $^\circ\text{C}/\text{с}$ ; начальная  $t_1$  и конечная  $t_2$ ,  $^\circ\text{C}$ , температура нагрева; температура окружающей среды  $t_0$ ,  $^\circ\text{C}$ ; температура продукта в трубопроводе или емкости  $t_{np}$ ,  $^\circ\text{C}$ ).

В общем виде при заданной скорости нагрева  $dt/dx$  требуемую мощность можно определить по формуле

$$P = P_{н-л} - P^{\wedge} = \dot{m} c dt/dx + P_n, \quad (103)$$

где  $P_H = I, mcdt dx$  — мощность для нагрева оборудования и продукта в емкости, трубопроводе;  $P_n$  — мощность, необходимая для компенсации тепловых потерь. Эта мощность находится в соответствии с рекомендациями, изложенными в разделе, посвященном определению тепловых потерь.

Приведенные исходные данные и расчетные формулы предназначены в основном для парового подогрева. Поэтому они исходят из необходимости полного разогрева трубопроводов, резервуаров, технологического оборудования и находящегося в нем продукта от начальной температуры, чаще всего от температуры окружающей среды, до требуемой конечной температуры.

В то же время получаемые по этим формулам мощности оказываются завышенными для электроподогрева по следующим причинам:

— терморегулирование при паровом подогреве, в отличие от электроподогрева, представляет значительные трудности\* как правило, не проводится, поэтому продукт обязательно разогревается с запасом;

— при пароподогреве из-за технических трудностей некоторые виды оборудования (запорно-регулирующая арматура, фильтры, насосы и т. д.) не обогреваются, поэтому также возникает необходимость подогревать продукты в резервуарах и в трубопроводах с запасом температуры для компенсации дополнительных тепловых потерь;

— при паровом подогреве сложно подогревать небольшие объемы продукта, так как это связано с эксплуатацией малогабаритных паровых подогревателей, дополнительных паропроводов и конденсаторов.

При электроподогреве можно добиться гибкого регулирования, подогревая только то количество продукта, которое предназначается для реализации или перекачки. При подогреве в резервуарах экономия энергии достигается тем, что разогревается не весь резервуар, а только продукт в специальной нагревательной камере или промежуточном резервуаре небольшой вместимости. Еще большая экономия достигается при подогреве резервуаров поплавковыми нагревателями НП12. При этом продукт разогревается только в малогабаритной ограничительной камере. Во всех указанных методах продукт в неразогреваемой части резервуара остается холодным. При этом почти отсутствуют тепловые потери, а холодный продукт играет даже роль теплоизолятора.

При определении требуемой мощности в случае поверхностного электроподогрева трубопроводов основные операции можно разделить на два вида.

1. Перекачка разогретого продукта (или горячая перекачка), при которой разогретый продукт, поступающий в трубопровод при начальной температуре  $t_1$ , должен с этой же температурой прибыть в-конечную точку перекачки. Подогрев должен обеспечивать компенсацию тепловых потерь. Мощность для компенсации теп-

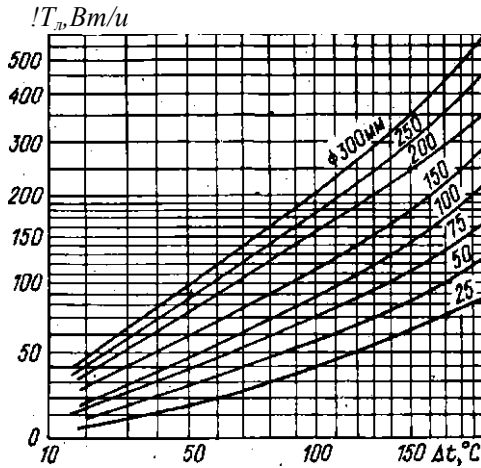


Рис. 48. График для определения потерь теплоизолированных трубопроводов.

лопотерь трубопровода определяется по расчетным формулам или непосредственно из расчетных графиков (рис. 48, 49).

2. Вытеснение застывших продуктов из трубопровода. В<sup>1</sup> отличие от парового или водяного обогрева, при котором теплоноситель в спутнике в течение всего осенне-зимнего периода не выключается из-за опасности размораживания, электроподогрев включается периодически. За период остановки продукт обычно застывает до температуры окружающей среды и теряет полностью текучесть. Для возобновления и проведения перекачки требуется вытеснение застывшего продукта.

При определении режима подогрева, т. е. температуры, продолжительности разогрева и требуемой мощности, должна учитываться закономерность процесса разогрева, который, как было показано, можно условно разделить на три этапа (рис. 39,6).

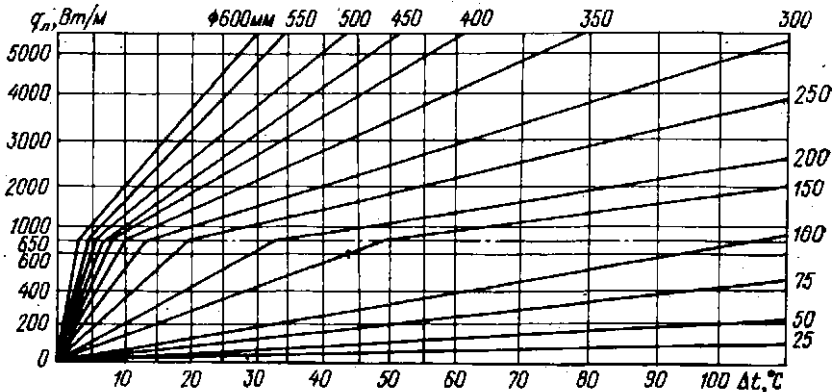


Рис. 49. График требуемой мощности для подогрева 1 м трубопровода в течение 1 ч.

В течение I этапа Вся мощность расходуется на подогрев, во II этапе — на подогрев и компенсацию теплопотерь, III этап — это установившийся режим, в котором вся мощность расходуется только на компенсацию теплопотерь.

Итак, при горячей перекачке подогрев происходит при установившемся режиме и мощность нагревателя будет полностью расходоваться только на компенсацию теплопотерь. Вытеснение застывшего продукта, как показали расчеты и эксперименты [5], может проводиться уже в период I этапа с разогревом только пристенного слоя. Оптимальной температурой подогрева при этом следует считать температуру, при которой вытеснение может быть осуществлено с минимальной затратой энергии. Для этого достаточной является температура, которая удовлетворяет условию вытеснения застывшего продукта по начальному напряжению сдвига  $\tau_n$ , развиваемому насосом при известном давлении:

$$(104)$$

где  $\tau_n$  — начальное напряжение сдвига, кгс/см<sup>2</sup>;  $P_{\text{доп}}$  — максимальное давление, развиваемое насосом, кгс/см<sup>2</sup>;  $R_i$  — внутренний радиус трубопровода, м;  $L$  — длина трубопровода, м. Если давление, развиваемое насосом, больше допустимого давления на трубопровод, то расчет ведется по допустимому. Зависимость начального напряжения сдвига  $\tau_n$  от температуры представлена на рис. 50. По этим графическим зависимостям можно определить минимальную температуру стенки трубопровода, равную температуре пристенного слоя нефтепродукта, при которой процесс вытеснения окажется возможным. Следует отметить, что эта темпе-

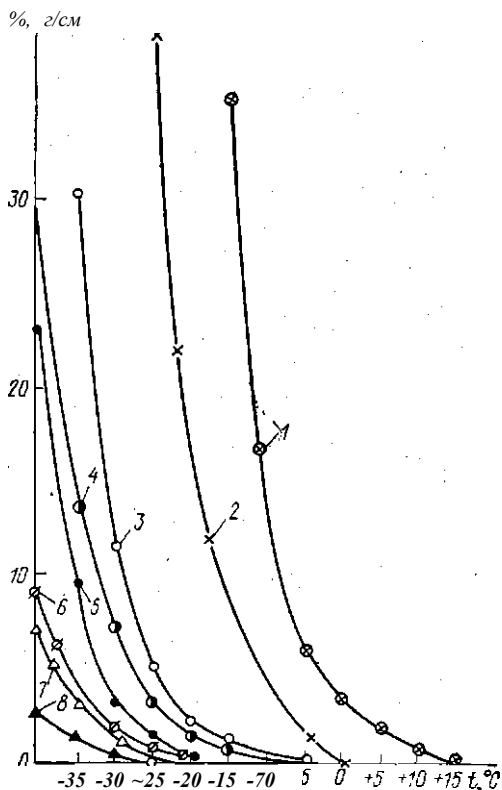


Рис. 50. Зависимость начального напряжения сдвига  $\tau_n$  от температуры.

Продукт: 1 — масло цилиндрическое 52; 2 — масло цилиндрическое 38; 3 — вискозин; 4 — масло цилиндрическое 2 (24); 5 — МС-20; 6 — автол 9; 7 — нигрол; 8 — автол 18.

ратура значительно ниже той, до которой рекомендуется разогревать продукт паром или горячей водой [11].

Удельная мощность  $P_{\text{ц}}$  для режима вытеснения определяется в следующей последовательности:

$$\lambda \quad L \gg - Q_{\text{и.а.}}, \quad (105)$$

где  $Q_{\text{и.а.}}$  — количество теплоты, необходимое для разогрева нефтепродукта и трубопровода, Дж/м;  $x$  — время разогрева, ч;

$$Q_{\text{а.}} = Q_{\text{т.р.}} + Q_{\text{н.}} \quad (106)$$

где  $Q_{\text{н.}}$  — количество теплоты, необходимое для разогрева пристенного слоя продукта, содержащегося в 1 м трубопровода, Дж/м;  $Q_{\text{т.р.}}$  — количество теплоты, затрачиваемое на подогрев 1 м трубопровода, Дж/м.

Масса пограничного слоя продукта, содержащегося в 1 м трубопровода, равна

$$*_{\text{и.р.}} = V_{\text{и.р.}} \rho \quad (107)$$

где  $V_{\text{и.р.}}$  — объем пограничного слоя нефтепродукта в 1 м трубопровода, м<sup>3</sup>/м;  $\rho$  — плотность нефтепродукта, кг/м<sup>3</sup>;

$$V_{\text{и.р.}} = \pi (R_{\text{вн}}^2 - R_{\text{я}}^2) L, \quad (108)$$

где  $R_{\text{вн}}$  — внутренний радиус трубопровода, м;  $R_{\text{я}}$  — радиус холодного ядра нефтепродукта, м;

$$Y_{\text{я}} = Y_{\text{вн}} - Z_{\text{н.р.}}, \quad (109)$$

где  $Z_{\text{н.р.}}$  — толщина пограничного слоя, принимаемая равной 5 мм.

### Ускоренные методы определения мощности

В ряде случаев при определении требуемой мощности для подогрева или компенсации теплопотерь не требуется большая точность. В этих случаях можно пользоваться расчетными графиками. С помощью графика, приведенного на рис. 48, находится мощность, необходимая для компенсации тепловых потерь теплоизолированных трубопроводов. График построен для трубопроводов диаметром от 25 до 300 мм и для разности температур между продуктом и окружающей средой до 200°С.

График разработан для тепловой изоляции типа минеральной ваты [ $Y_{\text{я}} = 0,05 \cdot \lambda \cdot 0,06 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ] с толщиной изоляции  $\delta = 25$  мм. При других толщинах теплоизоляции вносится поправочный коэффициент  $K_{\text{ст.}}$  и в соответствии с табл. 21. Полученные по графику значения следует умножить как на поправочный коэффициент  $K_{\text{ст.}}$ , так и на коэффициент неучтенных потерь  $K_{\text{я.п.}}$ , равный 1,2.

Пример. Необходимо определить мощность для компенсации теплопотерь трубопровода диаметром 150 мм, заполненного продуктом с температурой  $t_{\text{п.р.}} = 100^\circ\text{C}$ , при температуре окружающего воздуха  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ . Толщина теплоизоляции  $\delta = 50$  мм. Мощность  $P_{\text{и}} = q_{\text{и}} K_{\text{и.}} - a K_{\text{я.п.}}$ . По графику для  $D/100 - 20 = 1,5$ ,  $t_{\text{п.р.}} - t_0 = 80^\circ\text{C}$ ,  $K_{\text{ст.}} = 0,7$ ,  $K_{\text{я.п.}} = 1,2$ . Отсюда требуемая мощность  $P_{\text{и}} = 88 \cdot 0,7 \cdot 1,2 = 74 \text{ Вт/м}$ .

Поправочный коэффициент на толщину теплоизоляции

Разница температур между продуктом и окружающей средой, °С	Толщина изоляции, мм			
	25	38	50	76
0—150	1	0,8	0,7	0,5
150—200	-	0,8	0,7	

С помощью рис. 49 находится мощность, необходимая для разогрева в течение 1 ч трубопровода с продуктом. График разработан для трубопроводов диаметром от 25 до 600 мм и для разогрева с перепадом  $\Delta t = t_{nv} - t_{ок}$  — Д л я ускоренной оценки тепловых потерь могут быть также использованы усредненные данные, приведенные в табл. 22 и характеризующие тепловые потери с 1 м теплоизолированного трубопровода на 1° С перепада температур трубопровода или продукта и окружающей среды.

Таблица 22

Усредненные тепловые потери трубопроводов

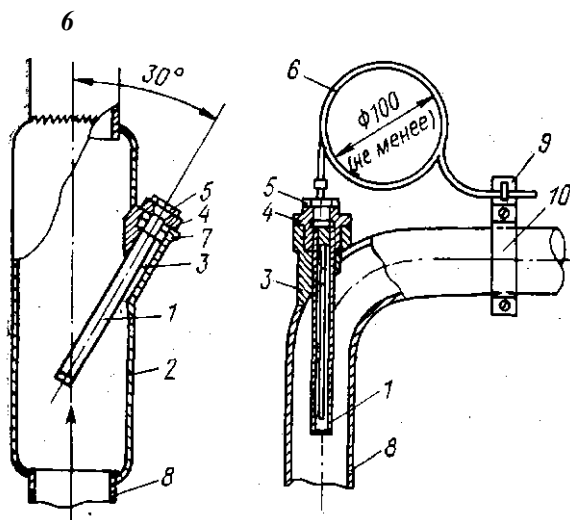
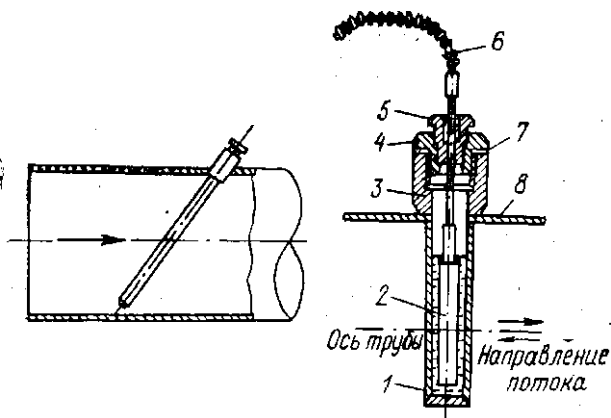
Диаметр условного прохода трубопровода, мм	Тепловые потери, Вт/(м·°С)
25	0,40
50	0,60
100	1,00
200	1,75
300	2,60

## IX. СХЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ

Технико-экономические преимущества систем электроподогрева особенно полно выявляются в результате использования терморегулирования. Применение терморегулирующих устройств обеспечивает разогрев продукта в заданное время и поддержание его температуры на заданном уровне с высокой точностью. Тем самым также предотвращается возможный перегрев, коксование или термическое разложение продукта.

В качестве терморегулирующих устройств можно использовать манометрические термометры, милливольтметры и логометры для измерения неэлектрических величин, потенциометры и автоматические уравновешенные мосты. В качестве датчиков в этих устройствах применяются термопары и термометры сопротивления. Термобаллоны манометрических термометров и термометры сопротивления устанавливаются на поверхности обогреваемого оборудования или погружаются в разогреваемую жидкость. На рис. 51 показаны примеры установки этих датчиков на трубопроводах..

В ряде случаев для терморегулирования используются простые по конструкции и надежные в эксплуатации автоматы защиты с биметаллическими пластинами. Пластина является чувствительным элементом автомата и состоит из двух разнородных



**Рис. 51. Установка температурных датчиков на горизонтальном (а) и вертикальном (б) трубопроводах.**

1 — защитная гильза; 2 — уширитель; 3 — бобышка; 4 — резьбовая головка гильзы; 5 — сальник; 6 — капиллярная трубка; 7 — прокладка; В — трубопровод; 9 — скоба; 10 — хомут.

металлов (например, инвар и латунь) с различными коэффициентами линейного расширения. Этот чувствительный элемент обычно помещают на поверхность обогреваемого оборудования или непосредственно на ленточный или другой нагреватель.

Схема с использованием автомата защиты (рис. 52) работает следующим образом. Питание обмотки контактора 1, подключающего нагреватель 3 к сети, производится через контакт биметаллической пластины 2. При повышении температуры нагревательных элементов выше заданного значения биметаллическая пластина (мембрана) изгибается и разрывает свои нормально замкнутые контакты. Это вызывает прекращение тока в обмотке

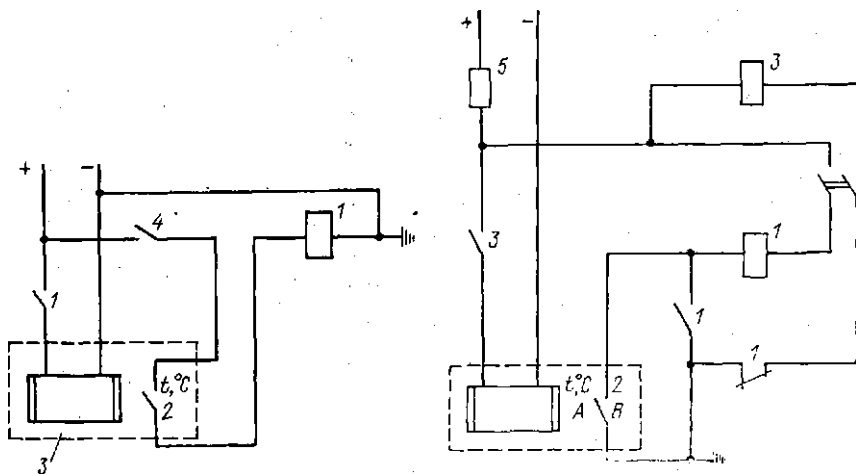


рис. 52. Электрическая схема включения биметаллического автомата защиты.

1 — контактор; 2 — биметаллическая пластина; 3 — нагреватель; 4 — выключатель.

рис. 53. Электрическая схема отключения нагревателя при перегреве.

1 — промежуточное реле; 2 — биметаллический выключатель; 3 — контактор; 4 — выключатель; 5 — предохранитель.

электромагнита контактора (реле), что в свою очередь приводит к отключению нагревателя от сети. Если не применять специальных мер, то при снижении температуры нагревателя или обогреваемого оборудования биметаллическая пластина вновь подключит их к напряжению сети. Таким образом, автомат может поддерживать постоянную среднюю температуру объекта и выполнять функцию простейшего регулятора температуры.

В отличие от приведенной схемы в некоторых случаях биметаллические автоматы защиты используются лишь для отключения нагревателей. В таких схемах (рис. 53) термовыключатель применяется совместно с промежуточным реле. Использование промежуточных реле исключает возможность самопроизвольного включения после охлаждения нагревателей.

Как видно из схемы, при замыкании выключателя 4 обмотка контактора 3 оказывается подключенной к напряжению сети. Контактор срабатывает и подключает к сети нагреватель. При нагреве оборудования или самого нагревателя выше допустимой температуры биметаллический термовыключатель 2 срабатывает и перебрасывает свой контакт из положения А в положение В. При этом срабатывает промежуточное реле 1, нормально замкнутые контакты которого обесточат обмотку контактора 3, а нормально разомкнутые заблокируют питание обмотки промежуточного реле 1. После остывания контролируемого оборудования, а следовательно, и термовыключателя, последний вновь перебрасывает свой контакт в положение А.

Однако промежуточное реле 1 не отпускает своих контактов, поскольку его обмотка оказывается по-прежнему включенной на

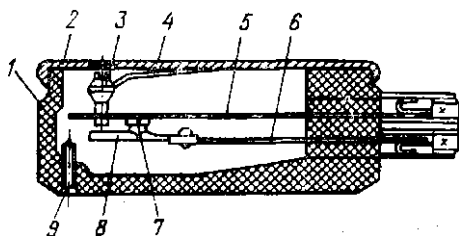


Рис. 54. Устройство реле ДТР-3М.

1 — термоизоляционный корпус; 2 — медная крышка; 3 — винт; 4, 5 — биметаллические пластины; 6 — выводная пластина; 7, 8 — контактная группа; 9 — винт регулировки установки.

зовании таких схем обслуживающий персонал вынужден обращать внимание на неисправную работу нагревателя, что исключает его автоматический переход в опасный в отношении пожара повторный кратковременный режим работы.

В качестве биметаллических автоматов защиты могут применяться, например, термовыключатели АД-155, дифференциальное температурное реле ДТР-3М, температурное реле ТР-200М. Дифференциальное температурное реле ДТР-3М может использоваться для контроля температуры ленточных нагревателей и нагреваемого оборудования. Реле (рис. 54) имеет контактную группу и биметаллические пластины 4 и 5, размещенные в теплоизоляционном корпусе 1 с медной крышкой, обладающей повышенной теплопроводностью. Теплота от нагревателя через медную крышку передается на биметаллические пластины, изгиб которых вызывает разрыв контактов 5 и 6. Уставка срабатывания регулируется винтом 9, а скорость срабатывания — винтом 3. При монтаже реле устанавливается таким образом, чтобы медная крышка 2 находилась в непосредственном контакте с поверхностью нагревателя или нагреваемого оборудования. Номинальное рабочее напряжение для коммутации реле 36 В, коммутируемый ток 0,8 А.

Биметаллический термовыключатель АД-155 (рис. 55), выпускаемый Киевским заводом реле и автоматики, состоит из стальной нержавеющей панели, на которой укреплены два неподвижных контакта, две клеммы для выводных проводов и колонка со сферической биметаллической пластиной. На пластине через изоляционную шайбу установлен подвижный контакт. При нагреве сферическая пластина прогибается скачком, а при охлаждении скачком возвращается в начальное положение. Термовыключатели выпускаются на срабатывание при любой температуре в интервале от 30 до 200° С с допуском  $\pm 10$ - $\pm 15$ ° С.

Например, термовыключатель типа АД-155М-А1 срабатывает на замыкание в интервале  $50 \pm 10$ °С, управляя питающей цепью с силой тока до 13 А. Напряжение коммутирующей цепи 27 В. Недостатком реле ДТР-3М и АД-155 является низкое напряжение

напряжения питания через нормально замкнутые контакты. Следовательно, контактор 3 не сработает и не произойдет автоматическое подключение электронагревателя к сети. Для повторного включения необходимо нагреватель отключить от сети вручную (выключателем 4, обесточивающим обмотку реле 1), а затем снова включить тем же выключателем 4. При использо-

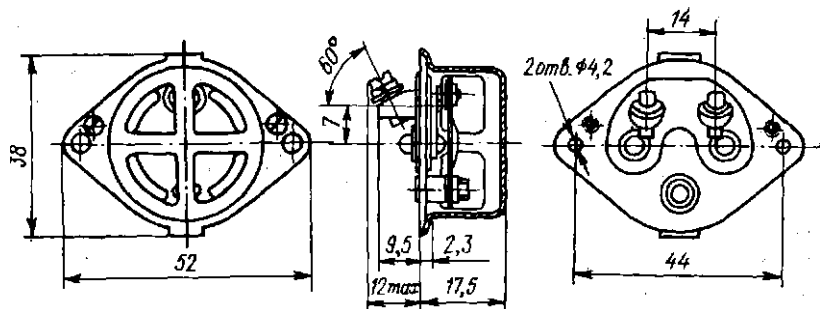


Рис. 55.1 Устройство термовыключателя АД-155.

коммутирующей цепи. Поэтому в схемах управления нагревателей, подключенных к напряжению 220 или 380 В, они могут присоединяться только через промежуточную понижающую цепь.

В качестве датчика температуры в погружных электронагревателях находят применение температурные реле ТР-200М, выпускаемые Киевским заводом реле и автоматики. Реле (рис. 56) состоит из латунной трубки 7, соединенной с корпусом 3. Внутри трубка выложена изоляционной стеклотканью. Контактная система реле состоит из двух соединенных друг с другом инварных пружин. В<sup>1</sup> средней части пружины обжаты обоймами с контактами 6, изолированными от пружин слюдяными прокладками. С помощью регулировочного винта реле устанавливается на заданную температуру замыкания контактов. Регулирование и настройка реле осуществляются непосредственно перед установкой на погружной нагреватель.

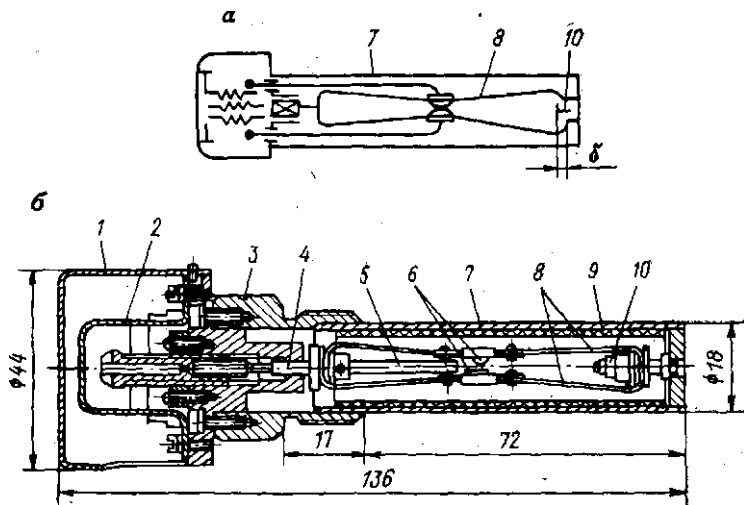


Рис. 56. Кинематическая схема (а) и устройство (б) реле типа ТР-200М.

1 — крышка наружная; 2 — колпачок; 3 — корпус; 4 — тяга; 5 — провода; 6 — контакты; 7 — латунная трубка; 8 — инварные пружины; 9 — изоляционная прокладка; 10 — ось.

Реле работает следующим образом. Электронагреватель, на котором установлено реле, разогревает нефтепродукт. результате латунная трубка, находящаяся в нефтепродукте, также разогревается и увеличивается по длине. При удлинении трубки происходит растяжение инварных пружин, что влечет за собой замыкание контактов электрической цепи. При понижении температуры длина трубки уменьшается, освобождаются пружины и контакты снова замыкаются.

Реле ТР-200М допускает настройку на любую из температур в диапазоне от 25 до 200° С, подключение к сети переменного тока 127, 220 и 380 В. Максимально допустимый ток при напряжении 220 и 127 В — 2,4 А.

Для применения в системах электроподогрева может быть использована аппаратура температурной встроенной защиты и сигнализации типа АТВ-229, выпускаемая нальчикским заводом «Севкавэлектроприбор». В комплект аппаратуры входят температурное реле, датчик температуры и запасное термосопротивление ТР-33. Аппаратура предназначена для контроля температур в диапазоне от 24 до 131° С. Температура срабатывания реле может устанавливаться через каждые 10°С в пределах диапазона рабочих температур датчика температур. Напряжение питающей сети 220 или 380 В.

В ряде электрообогревательных устройств применяются автоматические регуляторы с термистором, используемым в качестве чувствительного элемента. Как известно, термисторы имеют отрицательный температурный коэффициент, т. е. их сопротивление электрическому току уменьшается с повышением температуры. Высокая чувствительность термисторов к изменению температуры имеет большое практическое значение при использовании, их в приборах, предназначенных для очень точной регистрации температуры. Даже совсем несложные устройства с термисторами дают возможность фиксировать температурные отклонения порядка 0,0005° С. Другими существенными преимуществами термисторов являются большой срок службы (несколько тысяч часов), малая стоимость и надежность в работе. К недостаткам можно отнести некоторый разброс параметров однотипных образцов, а следовательно, необходимость дополнительной регулировки при замене термистора. В практике терморегулирования широкое применение нашли полупроводниковые терморегуляторы на термисторах типа ПТР, основные данные которых даны в табл. j23.

Один из таких приборов — двухпозиционный терморегулятор ГТР-2—выпускается с камерной или погружной системой, причем погружная термосистема может быть заказана в обычном исполнении для погружения в агрессивную среду. Термосистемы погружного типа могут работать в средах с давлением не более 5 кгс/см<sup>2</sup>. расстояние между прибором и термосистемой не более 300 м. Работает полупроводниковый терморегулятор ПТР-2 следующим образом. В плечо измерительного моста переменного тока включен чувствительный элемент прибора, в качестве кото-

Таблица 16

## Основные данные полупроводниковых терморегуляторов

Полупроводниковый терморегулятор	Гифр прибора	Диапазон регулируемых температур, °С
Двухпозиционный типа ПТР-2	ПТР-2-02	- 3 0 г — 5
	ПТР-2-03	— 10 - 15
	ПТР-2-04	5 - 35
	ПТР-2-05	30 - 60
Трехпозиционный типа ПТР-3	ИТР-3-02	- 3 0 - - 5
	ПТР-3'-03	— 10 -- 15
	ПТР-3-04	5 - 3 5
	ПТР-3-05	30 г-60
Пропорциональный типа ПТР-П	ПТР-П-02	—30 -- —5
	ПТР-П-03	— 10 - 15
	ПТР-П-04	5 - 35
	ПТР-П-05	30 -- 60
	ПТР-П-06	50 -- 100
Двухпозиционный терморегулятор для взрывоопасных помещений типа ПТРВ-2	ПТРВ-2-01	—30 - 5
	ПТРВ-2-02	— 10 -- 15
	ПТРВ-2-03	5 - 3 5
	ПТРВ-2-04	30 - 60
	ПТРВ-2-05	50 -- ГЗО

рого выбран терморезистор ММТ-1 сопротивлением  $1 \sim 22$  кОм. Регулируемым потенциометром устанавливают требуемое значение температуры, изменяя таким образом точку баланса моста; С помощью другого резистора устанавливают ширину шкалы; а еще одним резистором — начало шкалы. Необходимое значение дифференциала устанавливают специальным резистором. Прибор срабатывает при нарушении баланса моста с изменением сопротивления на терморезисторе при температуре  $t_1$ . Контакты реле размыкаются, включая в плечо моста сопротивление. Отключается прибор при другой температуре  $t_2$ , соответствующей моменту сбалаंसирования моста. Разница между температурой  $t_1$  и  $t_2$  зависит от введенного в плечо моста сопротивления и определяет дифференциал прибора, изменяемый в пределах  $0,5 \sim 5^\circ\text{C}$

Монтажная панель терморегулятора ПТР-2 размещается в пластмассовом корпусе размером  $167 \times 106 \times 114$  мм. Ручки потенциометров шкал температуры и дифференциала выведены на лицевую сторону панели. В корпусе монтируют трансформатор, выпрямитель, усилитель, настроечный блок и выходное реле. В настроечный блок включают все элементы измерительного моста. Снизу имеется винт для заземления и разъем для подключения прибора. Прибор закрывают крышкой. Терморегулятор ПТР-2 можно крепить в специальном окне панели щита и на стене. Прибор подключается по обозначениям на клеммнике. Все подключения и переключения следует производить только при отключений прибора.

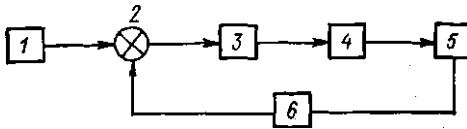


Рис. 57. Функциональная схема системы автоматического регулирования температуры.

1 — задающее устройство; 2 — элемент сравнения; 3 — регулирующее устройство (аналоговый регулирующий блок); 4 — исполнительное устройство (регулятор напряжения); 5 — объект регулирования; 6 — датчик температуры.

С датчиком температуры прибор соединяется двухжильным экранированным кабелем с сопротивлением каждой жилы не более 50 м. Основная погрешность шкалы температуры прибора  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Минимальная погрешность обеспечивается при работе прибора в среде с температурой  $20^\circ\text{C}$ . Терморегулятор сохраняет ра-

ботоспособность при изменении температуры окружающей среды от 5 до  $35^\circ\text{C}$ .

Для особо ответственных систем электроподогрева трубопроводов и технологического оборудования может быть рекомендована схема автоматического регулирования на основе тиристорного регулятора напряжения (рис. 57). В данной схеме управление электропитанием нагревателей аналоговое по отклонению температуры продукта от заданного значения. Задающим устройством 1 устанавливается требуемая температура подогрева. На элементе сравнения 2 действительного  $t$  и заданного  $t_{np}$  значений температуры определяется отклонение  $\Delta t = t - t_{av}$ . Регулирующее устройство 3 формирует регулирующее воздействие в зависимости от  $\Delta t$  и знака отклонения. Исполнительное устройство 4 непосредственно воздействует на объект регулирования 5. Объектом регулирования, например при подогреве трубопроводов, являются гибкие нагреватели.

## Х. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВА

При эксплуатации систем электроподогрева в соответствии с классификацией опасных и вредных производственных факторов, определяемых ГОСТ 12.0.003—74, имеют место следующие опасные производственные факторы:

- повышенная температура поверхностей нагревателей и нагреваемого оборудования;
- опасный уровень напряжения в электрической цепи.

Степень опасного воздействия электрического тока на человека зависит от значения напряжения и силы тока, пути прохождения тока через тело человека, продолжительности воздействия электрического тока на организм. Электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электронагревателей, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями. К техническим способам и средствам защиты можно отнести зануление, защитное заземление, защитное

отключение, дополнительную и усиленную электроизоляцию нагревательных жил и токоведущих элементов. К организационным и техническим мероприятиям относятся назначение лиц, ответственных за эксплуатацию и обслуживание систем электроподогрева, организация надзора за действующими установками и системами электроподогрева, допуск к работе с электронагревателями только лиц, прошедших инструктаж и обучение безопасным методам труда, проверку знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с квалификационной группой по технике безопасности.

Все работы по ремонту, наладке и контролю, как правило, проводятся при отключенном электропитании. Обеспечение безопасности путем снятия предохранителей, отсоединения питающих проводов гарантирует невозможность ошибочной подачи напряжения к месту производства работ.

Зануление в системах электроподогрева с глухозаземленной нейтралью является основной защитной мерой от поражения электрическим током в случае прикосновения к металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие повреждения изоляции. Зануление заключается в преднамеренном электрическом соединении металлических корпусов, щитков, аппаратов, нагревателей стальных труб и других элементов, которые могут оказаться под напряжением, с нулевым защитным проводником. Замыкание токоведущих частей на указанные элементы приводит к однофазным коротким замыканиям, в результате которых происходит автоматическое отключение аварийных участков. Для обеспечения надежности такого отключения во взрывоопасных помещениях и наружных установках зануляющие проводники должны быть выбраны таким образом, чтобы ток однофазного короткого замыкания превышал не менее чем в 4 раза номинальный ток плавкого элемента ближайшего предохранителя и в 6 раз номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратную зависимость от тока характеристику.

Для пожароопасных помещений значение однофазного тока короткого замыкания применяется, как и для помещений с нормальной средой, не менее чем в 3 раза превышающим ток плавкого элемента ближайшего предохранителя с обратной зависимой от тока характеристикой.

Защитное заземление — необходимая мера для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током при прикосновении к оборудованию, случайно оказавшемуся под напряжением при повреждении электронагревателей, питающих кабелей и пускорегулирующего оборудования. Защитное заземление заключается в преднамеренном электрическом соединении с землей (или ее эквивалентом) металлических нетоковедущих частей систем электроподогрева, которые могут оказаться под напряжением. Защитное заземление предназначено для создания между защищаемым устройством и землей электрического соединения, имеющего достаточно малое сопротивление. В этом случае

при замыкании на корпус прикосновение к нему (параллельное присоединение) не может создать тока такой силы, которая угрожала бы жизни или здоровью человека. Поэтому для обеспечения безопасности пригодно заземление, имеющее сопротивление во много раз меньше, чем сопротивление тела человека. Тогда основная часть тока замыкания будет проходить через заземление.

Соединение заземляемых частей оборудования с землей осуществляется при помощи заземлителей и заземляющих проводников. Заземлители — металлические проводники-электроды (трубы, уголки, стержни, полосы), располагаемые в земле в определенном количестве и порядке. Заземляющие проводники соединяют заземляемые части оборудования с заземлителями. В целом заземляющие проводники и заземлители образуют заземляющее устройство. Сопротивление заземляющего устройства состоит, таким образом, из сопротивления заземлителя и сопротивления заземляющей сети, т. е. заземляющих проводников. Согласно существующим нормам сопротивление заземляющих устройств не должно превышать 4 Ом.

Чтобы получить заземляющие устройства с малым сопротивлением, можно использовать так называемые естественные заземлители: водопроводные и иные трубы, проложенные в земле; металлические конструкции, хорошо связанные с землей и т. п. Такие заземлители могут иметь сопротивление порядка долей ома и не требуют специальных затрат на устройство. Поэтому они должны быть использованы в первую очередь. В тех случаях, когда такие естественные заземлители отсутствуют, для заземляющих устройств необходимо устраивать искусственные заземлители. Они устраиваются в виде заземляющих контуров, состоящих из групп или рядов погруженных в землю электродов — уголков, стержней или труб, — соединенных стальными полосами или круглой сталью.

Общее сопротивление растеканию заземляющего контура или группы электродов  $r_a$  можно определить, если известно сопротив-

Т а б л и ц а 24

Размеры стальных заземляющих проводников и электродов заземления

Наименование	В зданиях	В наружных установках	В земле
Круглые диаметром, мм	5	e	
Прямоугольные:			
сечение, мм <sup>2</sup>	24	4f	
толщина, мм	3		
Угловая сталь толщиной, мм	2	2,5	4
Стальные водогазопроводные трубы с толщиной стенок, мм	2,5		3,5
Стальные тонкостенные трубы с толщиной стенок, мм	1,5	Не допускаются	

ление отдельного электрода  $g_3$ . Для этого сопротивление отдельного электрода надо разделить на их число  $n$ , что дает  $z_d/n$ . Заземляющие проводники по условиям механической прочности и устойчивости против коррозии должны иметь минимальные размеры, приведенные в табл. 24.

## XI. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВД

Проект электроподогрева выполняется на основании технического задания, которое разрабатывается в результате обследования объекта подогрева — нефтебазы, нефтесклада, товарного парка и т. д. Техническое задание должно включать в себя описание технологического процесса, перечень объектов и основные технические характеристики оборудования, подлежащего электроподогреву. В задании указываются изменения в технологической схеме, обусловленные оснащением действующего предприятия электроподогревом. При разработке проекта должны быть собраны все необходимые сведения и материалы.

Объем сведений, необходимых для разработки проекта электроподогрева, зависит от характера технологических операций на объекте, его размеров и т. д. Например, для разработки системы комплексного электроподогрева масляного хозяйства распределительной нефтебазы требуются следующие сведения:

- объем реализации вязких нефтепродуктов по ассортименту, общий за год и по месяцам;

- способ слива (самотечный, принудительный, комбинированный);

- протяженность и диаметры участков сливных и наливных трубопроводов (по каждому участку отдельно);

- характеристика способа прокладки трубопроводов (подземный, надземный, расстояние между трубопроводами и над землей и т. п.);

- характеристика масляного парка (число и объем резервуаров, способ установки);

- тип и способ установки насосов (в насосных или на открытом воздухе);

- средства и оборудование фронта налива;

- способ налива (в автоцистерны или бочки, самотечный или принудительный);

- среднее время налива (в бочки и автоцистерны) в наиболее холодное время года;

- нормативные сроки слива и налива железнодорожных и автомобильных цистерн;

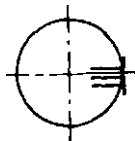
- мощность трансформаторной подстанции и резервы для подогрева.



На основании полученных сведений определяется оборудование, подлежащее обогреву, разрабатываются схемы технологиче-

Таблица 25

Операции подогрева в емкостях

Операция	Схематическое изображение	Краткое описание
Подогрев вязких продуктов в железнодорожных цистернах	<p>о) <b>от JSL</b></p>	<p>Выполняется с помощью погружной железнодорожной грелки: типа ГТЦ-18 или ГТЦ-36</p>
Подогрев в горизонтальных резервуарах .	<p>"Ж <b>1</b> • §Г - Е 3</p> <p><i>Условно Вид сверху</i></p>	<p>В подземных и надземных резервуарах выполняется резервуарным блоком типа БЭР</p>
Подогрев в вертикальных резервуарах с использованием нагревательной камеры	<p><b>ш Б</b></p> <p><i>та</i></p> <p><i>Условно Вид сверху</i></p>	<p>Осуществляется резервуарным блоком типа БЭР</p>
Подогрев трубопроводов гибкими нагревательными элементами	<p><i>Клеммная нороб'ка</i> <i>Питающий. кабель</i></p>	<p>Применяются гибкие нагреватели типа ЭНГЛ-180, ЭНГЛВ-180, НТЛ</p>



Операция	(Схематическое изображение)	Краткое описание
Слив железнодорожной цистерны	<i>Условно Вид сверху</i> 	Выполняется с помощью сливного прибора с электроподогревом типа УСНПэ-150
Налив автомобильной цистерны	<i>Условно Вид сверху</i> 	Осуществляется через стояк с электроподогревом типа УНЖ-ЮО
Самотечный налив в бочкотару	п	Нагрев и налив производятся через подогреватель выходного потока
	и и	

ских процессов электрообогрева. Технологические процессы, связанные с электроподогревом, складываются из отдельных операций подогрева, схематическое изображение которых дано в табл. 25. Каждая операция, отраженная в табл. 25, показывает процесс подогрева в одном из видов технологического оборудования. Даны схемы подогрева в железнодорожных цистернах, резервуарах, трубопроводах, в сливо-наливных устройствах и в отпусных патрубках. Схемы технологических процессов, включающие в себя несколько операций подогрева, показаны в табл. 26.

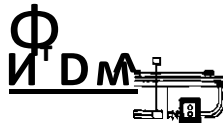
Следует указать на некоторые особенности проведения технологических операций и процессов подогрева и связанные с ними вопросы проектирования систем электроподогрева. Фронт слива вязких продуктов должен оснащаться сливными приборами с электроподогревом типа УСНПэ-150 и кранами-укосинами с грелками типа ГТЦ. При необходимости на фронте слива устанавливаются насосы, оборудованные электроподогревом.

Можно назвать три основных способа слива с применением электроподогрева: самотечный, принудительный и комбинирован-

Таблица 26  
Технологические процессы подогрева

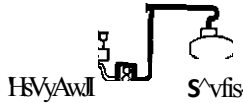
Технологический процесс	Схематическое изображение	Краткое описание
Подогрев в цистерне и самотечный слив в нулевую прирельсовую емкость		Разогрев в цистерне грелкой типа ГТЦ, слив по сливному прибору с электроподогревом типа УСНПэ-150'

Комбинированный слив через промежуточный нулевой резервуар



Разогрев в цистерне железно-дорожной грелкой ГТЦ, в промежуточном и основном — блоками БЭР. Слив по прибору с электроподогревом типа УСНПэ-150'

Налив в автоцистерну из надземного резервуара



Разогрев продукта в резервуаре осуществляется резервуарным блоком типа БЭР. Налив производится через электрообогреваемый насос и стояк с электроподогревом типа УНЖ

Налив из удаленных резервуаров		Продукт самотеком по обогреваемому трубопроводу поступает к насосу и через стояк с электроподогревом типа УНЖ наливается в автоцистерну
--------------------------------	---	---

Перекачка из прирельсовых нулевых емкостей в резервуарный парк (внутри-складская перекачка).		Производится после слива железно-дорожных цистерн по обогреваемому трубопроводу
--	---	---

Технологический процесс	Схематическое изображение	Краткое описание
Подогрев в железнодорожной цистерне, слив с одновременной перекачкой в резервуарный парк (внутрискладская перекачка)		Разогрев в цистерне грелкой типа ГТЦ, слив по сливному прибору с электроподогревом типа УСНПэ-150, перекачка через обогреваемые насос и трубопровод в резервуар

ный. Самотечный слив возможен при наличии разности геодезических отметок между железнодорожными цистернами и приемными резервуарами. Принудительный слив осуществляется с помощью электроподогреваемых насосов, которые в условиях нефтебаз и нефтескладов устанавливаются открыто непосредственно на фронте слива. Слив с повышенной производительностью наиболее вязких продуктов проводят, как правило, комбинированным способом с использованием прирельсовых нулевых резервуаров и с последующей перекачкой в основные резервуары.

Подогрев в резервуарах осуществляется общим, местным и комбинированным способами. Выбор способа зависит от расчетной температуры окружающего воздуха, вида продукта, объема резервуара и суточной выкачки. При общем способе подогревается весь объем резервуара и затем продукт хранится нагретым при заданной температуре. Общий обогрев целесообразен, если резервуар вмещает в себя не более  $2 \pm 5$  объемов суточной выкачки. При местном подогреве продукт подогревается изолированно от общего объема резервуара в специальной нагревательной камере. Объем камеры обычно принимается равным суточной реализации или выкачке продукта из резервуара. При комбинированном способе продукт вначале подогревается в основном резервуаре до температуры, обеспечивающей самотечный переток по соединительному трубопроводу в промежуточный резервуар, оборудованный общим подогревом. Для ускорения перекачки диаметр соединительного трубопровода должен быть не менее 250 мм. Объем промежуточного резервуара, как и нагревательной камеры, принимается равным суточной реализации.

При решении вопросов электроподогрева масляных парков больших распределительных нефтебаз желательнее сокращать число обогреваемых трубопроводов. Рекомендуется резервуарный парк масел вообще располагать непосредственно у фронта вязких нефтепродуктов, совмещая таким образом функции приемных и основных резервуаров,

Налив с применением электроподогрева в общем складывается из операций: 1) разогрев продукта в резервуаре; 2) перекачка по трубопроводу к наливному устройству; 3) налив автоцистерны или железнодорожной цистерны.

Выбор технологической схемы налива при разработке проекта зависит от способа подогрева продукта в резервуаре и наливаемой емкости. На рис. 58 дана схема проектного решения комплексного электроподогрева масляного хозяйства распределительной нефтебазы. Как видно из схемы, на фронте слива установлен железнодорожная грелка 1 и три сливных прибора 2, так как на нефтебазе предусмотрено хранение трех групп нефтепродуктов, не допускающих совместной перекачки по одному трубопроводу. Резервуары масляной группы установлены вблизи фронта слива, и слив осуществляется самотеком. В раздаточных патрубках резервуаров 6, 7, предназначенных для нефтепродуктов с небольшой вязкостью, установлены нагреватели выходного потока 5 типа ПН-5. Резервуары 3, 15, предназначенные для хранения нефтепродуктов повышенной вязкости, оборудованы блоками электронагревателей 4, установленными в нагревательных камерах. В раздаточном патрубке резервуара 16 для обеспечения самотечного заполнения установки для налива в бочки УНБ-5 установлен нагреватель ПН-5.

Всасывающие трубопроводы максимально сокращены и вследствие малой протяженности не обогрываются. Насосы типа Ш установлены на открытой площадке и оборудованы нагревательными устройствами 8. Нагнетательные участки отпускных трубопроводов и приемные самотечные трубопроводы обогрываются гибкими нагревателями 9. Отпуск из резервуаров 3, 6, 7, 15 осуществляется через наливные стояки с электроподогревом 10. Отпуск нефтепродуктов из резервуара 16 осуществляется в бочки с помощью установки УНБ-5 13. Управление железнодорожной горелкой и сливными устройствами проводится непосредственно на фронте слива. Управление остальным электронагревательным оборудованием—дистанционное, через шкаф управления 11, установленный в операторной.

Наиболее важным оборудованием любого технологического участка являются трубопроводы. В связи с этим вопросам проектирования электроподогрева трубопроводов придается особое значение. При составлении проекта подогрева трубопроводов необходимо собрать следующие исходные данные:

- общую схему расположения трубопроводов;
- длину, диаметр, материал и толщину стенок трубопроводов и размеры технологического оборудования;
- число, тип, расположение, размер задвижек и клапанов;
- виды соединений (фланцевые, сварные и т.д.);
- размеры и технические характеристики имеющейся или проектируемой тепловой изоляции;
- минимально и максимально допустимую температуру по-

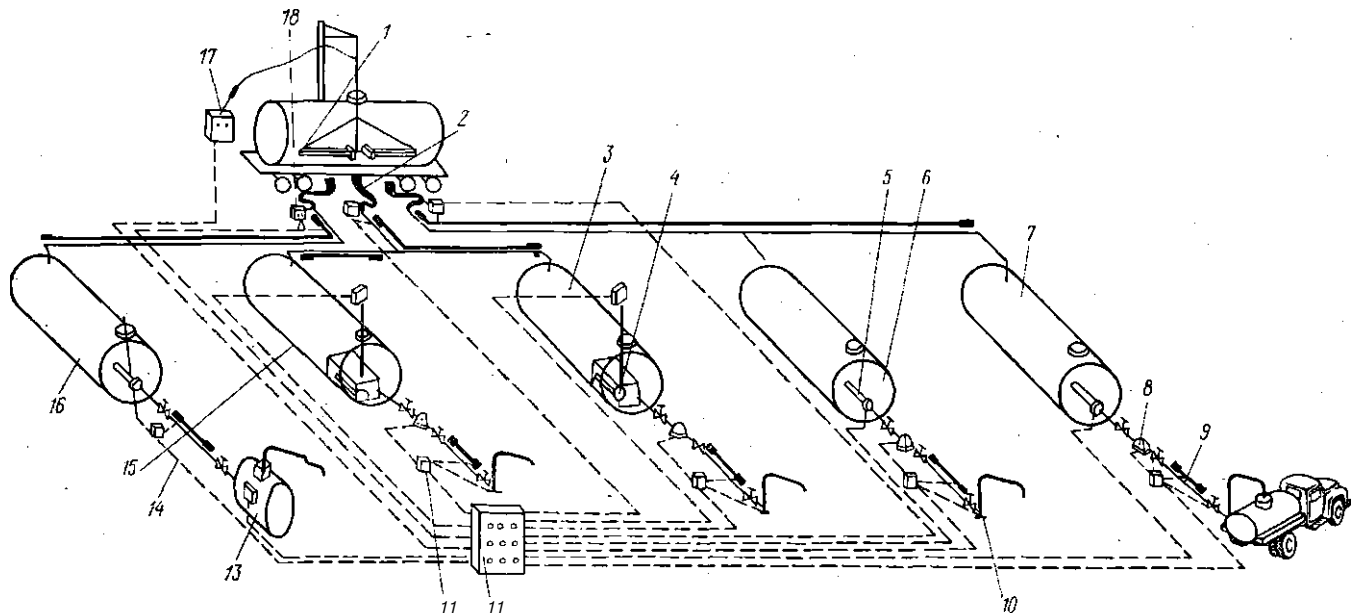


Рис. 58. Схема комплексного электроподгрева вязких нефтепродуктов.

1 — грелка железнодорожная; 2 — сливной прибор с электроподгревом; 3, 6, 7, 15, 16 — резервуары; 4 — блок электронагревателей; 5 — грелка трубная выходного потока; 8 — нагревательное устройство насоса; 9 — нагреватели гибкие; 10 — стояки с электроподгревом; II — шкаф управления; 12 — клеммная коробка; 13 — установка налива в бочки; 14 — силовые питающие кабели; 17 — пульт управления железнодорожной грелкой; 18 — пульт управления сливным прибором.

догрева продукта, технические данные перекачиваемого продукта (вязкость, теплоемкость, плотность, теплота плавления);

— месторасположение оборудования (закрытое помещение, на открытом воздухе), температуру и влажность окружающей среды в наиболее холодный период;

— требования по пожаро- и взрывобезопасности;

— напряжение питающей сети, резервы электроэнергии;

— продолжительность разогрева застывших продуктов.

На основе собранных данных выполняются расчеты и принимаются проектные решения. Например, на основе размеров трубопроводов, данных по тепловой изоляции, температуре продукта и окружающей среды рассчитывается мощность для компенсации тепловых потерь. С учетом характеристик продукта и трубопровода определяется мощность, требуемая для разогрева и перекачки. Данные по видам соединений, запорной арматуре и другому оборудованию необходимы для выделения размеров обогреваемых участков и выбора гибких нагревателей.

При проектировании электроподогрева трубопроводов рекомендуется стремиться к минимальному числу нагревательных цепей, т. е. участков трубопровода, питаемых от одной клеммной коробки. Однако в то же время желательно, чтобы этот участок не был слишком велик. Тогда при выходе из строя нагревательной цепи падение температуры на участке будет частично компенсироваться на других участках. Длина обогреваемого участка зависит также от вида движения продукта по трубопроводу (принудительного с помощью насосов или самотеком), а также от вида тепловой изоляции.

Участки электрообогрева мощностью до 5—9 кВт можно подключать к однофазному вводу напряжением 220 В. Участки мощностью от 9 кВт и более целесообразно питать трехфазным напряжением 380 В. При однофазном подключении необходимо обеспечивать равномерную нагрузку путем присоединения гибких нагревателей одинаковой мощности к каждой фазе.

При выборе нагревателей следует по возможности сокращать номенклатуру подбираемых нагревателей, что упрощает проектирование, заказ нагревателей и их монтаж, применять нагреватели максимальной длины с целью сокращения мест соединения, а также нагреватели, исполнение которых позволяет последовательно соединять их в одну нагревательную цепь. Для повышения надежности системы электроподогрева или при подогреве ответственных участков трубопровода рекомендуется прокладывать дополнительно резервные нагревательные цепи, включаемые при выходе из строя основной цепи.

При подогреве одной нагревательной цепью основной трубы большого диаметра и небольших отводов малого диаметра (импульсных трубок, пробоотборных линий и т. д.), требующих незначительных удельных мощностей по сравнению с основной трубой, рекомендуется при спиральной намотке увеличить шаг на отводах или применить линейную прокладку. Возможно при

необходимости полное или частичное снятие теплоизоляции на отводах. В некоторых случаях при подогреве коротких участков, требующих небольших затрат энергии, целесообразно предусматривать понижающие трансформаторы или соединение коротких нагревателей последовательно для снижения паспортной мощности гибких нагревателей.

При проектировании неотчетственных и небольших по протяженности участков трубопроводов возможна эксплуатация гибких нагревателей без терморегулирования. Например, в случае применения ленточных нагревателей типа ЭНГЛ-180 во избежание превышения допустимой рабочей температуры удельная мощность нагревателей не должна быть выше 60 Вт/м, а удельная мощность на 1 м трубопровода при диаметрах 75, 100 и 150 мм — соответственно 80, 130 и 180 Вт/м.

Порядок выбора гибких ленточных нагревателей для подогрева участка трубопровода рассмотрим на следующем примере: длина трубопровода 92,5 м; диаметр (наружный) 108 мм; удельная (расчетная) мощность электроподогрева 60 Вт/м. Принимаем линейный способ прокладки нагревателей с удельной мощностью 60 Вт/м трубопровода.

В данном случае целесообразно использовать нагреватели ЭНГЛ-180-1,632/220П27,12 — 2шт. и ЭНГЛ-180-1,632/220И27,12 — 1 шт. Общая длина нагревателей  $27,12 \cdot 3 = 81,36$  м. Общая мощность  $1,632 \cdot 3 = 4,896$  кВт.

Для обогрева трубопровода по всей длине общая мощность нагревателей должна быть  $60 \cdot 92,5 = 5550$  Вт.

В соответствии с исходными данными необогреваемым остается участок трубопровода:

$$92,5 - 81,36 = 11,14 \text{ м.}$$

Мощность нагревателей для этого участка должна быть 654 Вт. Для обогрева оставшегося участка трубопровода выбираем нагреватель ЭНГЛ-180-0,664/220И16,52.

Способ прокладки — спиральный. Шаг спирали определяется по формуле

$$s = \frac{2\pi Y_2 / \text{гр}}{\sqrt{16,52^2 - 11,14^2}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,054 \cdot 11,14}{\sqrt{16,52^2 - 11,14^2}} = 0,31 \text{ м.}$$

Размещение гибких нагревателей и клеммных коробок по длине трубопровода изображено на рис. 59 и сводится в табл. 27.

Таблица 27

Сводные данные электробогреваемого трубопровода

Номер участка трубопровода	Диаметр трубопровода, мм	Длина участка трубопровода, м	Способ прокладки	Условное обозначение нагревателей
1	108	27,12	П1	ЭНГЛ-180-1,632/2120Н27,12
2	108	27,12	П1	ЭНГЛ-180-1,632/220П27,12
3	108	27,12	П1	ЭНГЛ-180-1,632/220П27,12
4	108	11,14	С-0,31	ЭНГЛ-180-0,664/220И16,52

Примечание. П1 — способ прокладки линейный, однорядный; С-0,31 — способ прокладки спиральный с шагом 0,31 м.

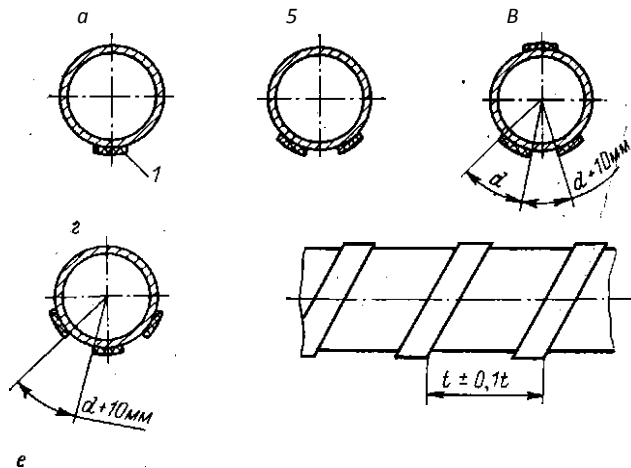


Рис. 39. Примеры обозначений установки ЭНГЛ-180 на трубопроводе.

а—г — условное изображение линейной (продольной) прокладки типа П1, П2 и П3; б — условное изображение спиральной прокладки типа С с шагом  $t$ ; в — схема установки ЭНГЛ-180 на трубопроводе. 1 — ленточный нагреватель с обозначением номера участка трубопровода; 2 — клеммная промежуточная коробка; 3 — клеммная вводная коробка; 4 — питающий кабель.

В качестве примеров применения комплексного электроподогрева на конкретных нефтебазах ниже приведены схемы электроподогрева нефтебаз Сланцевской, Неболчской и «Красный Яр». Примером расположения масляного парка непосредственно у фронта слива является Сланцевская нефтебаза Ленинградского управления Госкомнефтепродукта РСФСР.

Отличительными особенностями комплексными электроподогрева масел Сланцевской нефтебазы (рис. 60) являются следующие решения. Для раздельного слива различных групп масел, не допускающих смешения в зоне обслуживания одной железнодорожной грелки, установлено три сливных прибора типа УСНПэ-150. Для сокращения времени слива масел в подземные резервуары применяются шестеренчатые насосы. В целях максимального сокращения сливных трубопроводов резервуары размещены непосредственно у фронта слива. Резервуары хранения масел установлены под землей, тепловые потери являются минимальными, поэтому разогрев масел осуществляется по всему объему резервуара.

Комплексный электроподогрев мазута на нефтебазе «Красный Яр» Астраханского управления (рис. 61) является примером подогрева на водной нефтебазе, осуществляющей завоз разогретого мазута в навигационный период. Подогрев на нефтебазах осуществляется только в резервуарах и при отпуске мазута в автоцистерны.

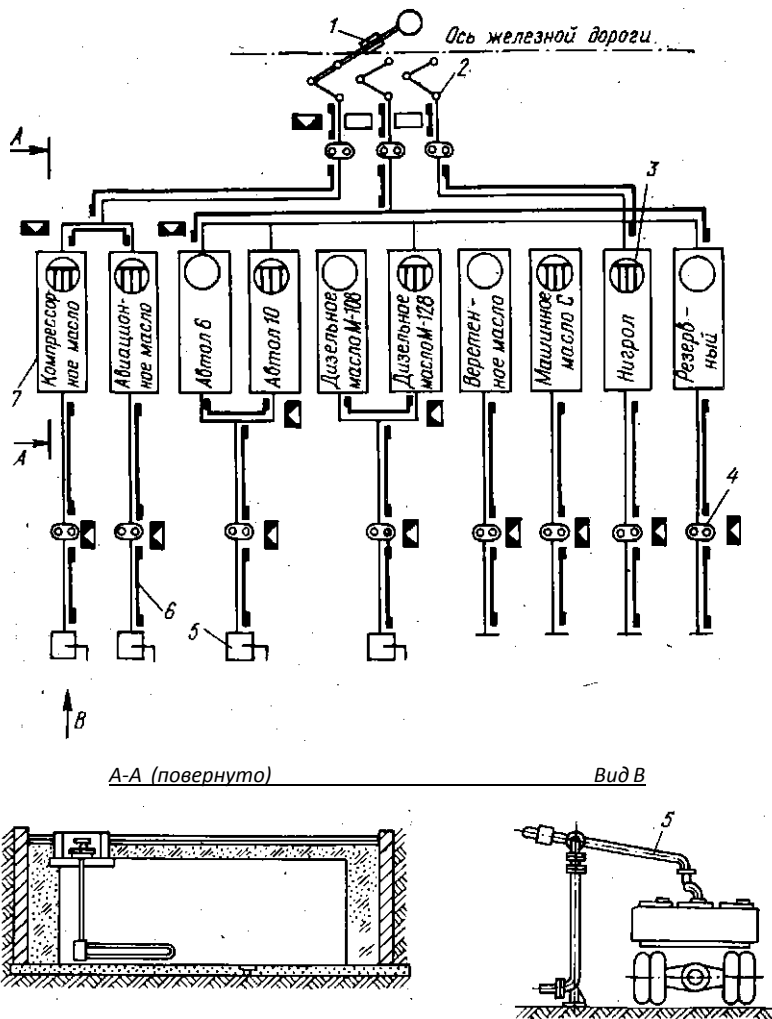


Рис. 60. Схема комплексного электроподогрева на Сланцевской нефтебазе Ленинградского управления.

1 — железнодорожная грелка типа ГТЦ; 2 — установка УСНПэ-150; 3 — блок электроннагревателей БЭР; 4 — нагреватели насосов; 5 — установка УНЖ-100; 6 — гибкие нагреватели ЭНГЛ-180; 7 — подземные горизонтальные резервуары.

Отличительные особенности комплексного электроподогрева мазута на нефтебазе «Красный Яр» следующие. Комбинированный подогрев мазута, при котором в основном резервуаре производится нагрев до температуры 15—20° С, обеспечивающий переток и заполнение промежуточного резервуара, а в промежуточном резервуаре происходит интенсивный подогрев до температуры 40—50° С. В целях сокращения расхода электроэнергии первоначальный подогрев мазута в основном резервуаре произво-

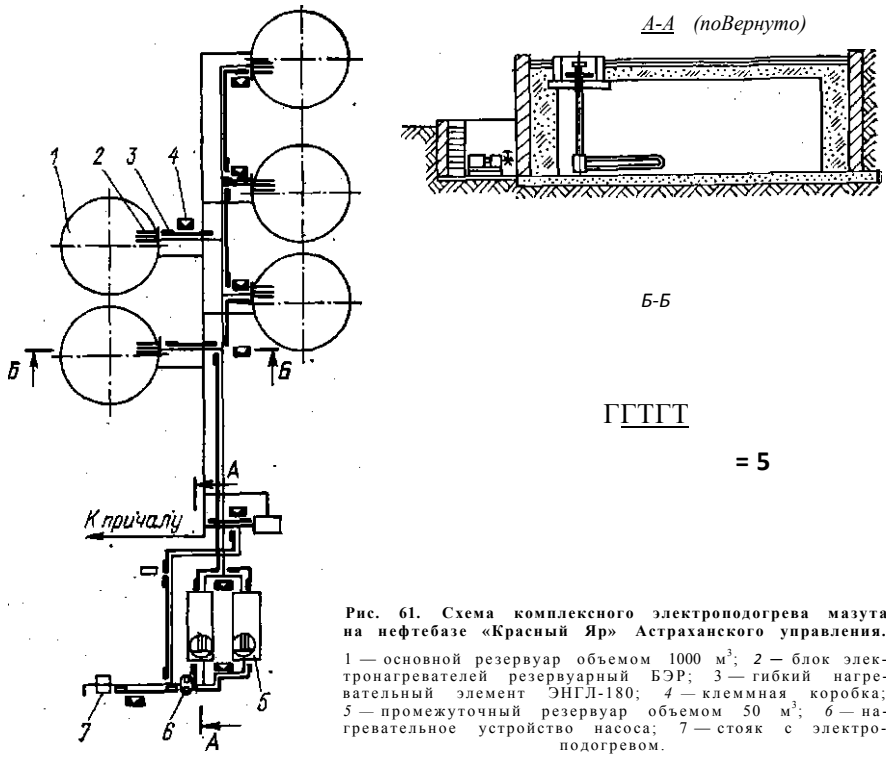


Рис. 61. Схема комплексного электроподгрева мазута на нефтебазе «Красный Яр» Астраханского управления.  
 1 — основной резервуар объемом 1000 м<sup>3</sup>; 2 — блок электронагревателей резервуарный БЭР; 3 — гибкий нагревательный элемент ЭНГЛ-180; 4 — клеммная коробка; 5 — промежуточный резервуар объемом 50 м<sup>3</sup>; 6 — нагревательное устройство насоса; 7 — стойк с электроподгревом.

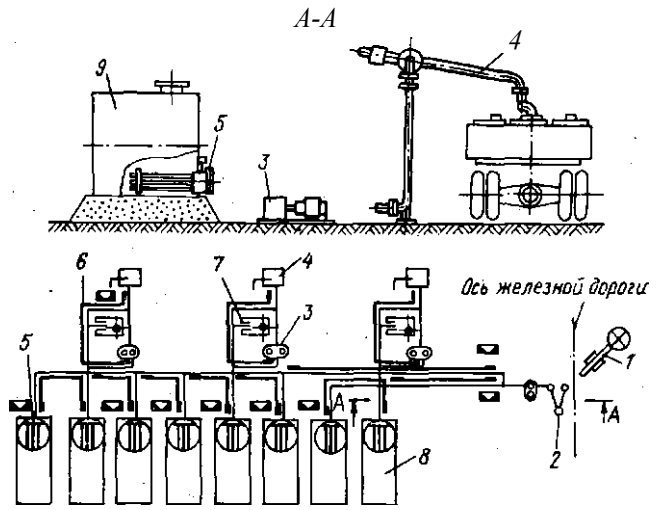


Рис. 62. Схема комплексного электроподгрева масел на Неболчской нефтебазе Новгородского управления.  
 1 — железнодорожная грелка; 2 — сливной прибор с электроподгревом; 3 — нагревательное устройство насоса РЗ; 4 — стойк с электроподгревом; 5 — блок электронагревателей БЭР; 6 — гибкие нагреватели ЭНГЛ-180; 7 — устройство местного подгрева; 8 — основной резервуар объемом 75 м<sup>3</sup>; 9 — промежуточный резервуар объемом 5 м<sup>3</sup>.

дится не по всему объему, а в специальной нагревательной камере.

Особенностями комплексного электроподогрева Неболчской нефтебазы (рис. 62) являются использование нетеплоизолированных масляных резервуаров и подогрев в промежуточных теплоизолированных резервуарах, для заполнения которых в раздаточных патрубках основных резервуаров смонтированы установки местного подогрева типа ПН-5. В результате заполнение и отпуск масел из промежуточных резервуаров возможно осуществлять самотеком и насосами. В целях сокращения потребления электроэнергии для подогрева масел в отпускных трубопроводах фронт налива максимально приближен к резервуарному парку.

## **ХИ. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВА**

Экономическая эффективность от использования новых разработок определяется на основе «Методики определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений № 48/16/13/3», утвержденной ГКНТ Совета Министров СССР, Госпланом СССР, Академией наук СССР, ГК по делам изобретений и открытий Совета Министров СССР 14 февраля 1977 г. Методика устанавливает единые методы оценки экономической эффективности на всех стадиях создания и внедрения новой техники и ее влияние на повышение эффективности как в отраслях, так и на отдельных предприятиях. На основе указанной методики министерства и ведомства составляют отраслевые методики применительно к особенностям отрасли [13]. Методика предусматривает определение экономической эффективности как в сфере изготовления новой техники, так и в сфере ее эксплуатации.

Источниками получения экономической эффективности от внедрения новой техники, изобретений и рационализаторских предложений при транспорте, хранении и переработке нефтепродуктов могут быть устройства, и оборудование, способствующие снижению естественной убыли и сверхнормативных потерь нефтепродуктов, увеличению выхода готовой продукции, ликвидации возможности снижения качества нефтепродуктов в процессе транспорта, хранения и технологической переработки, обеспечивающие сокращение времени простоя железнодорожных и автомобильных цистерн, а также судов в процессе приема, отпуска и перекачки нефтепродуктов и т. д.

Конкретным стоимостным выражением экономической эффективности новой техники является годовой экономический эффект. Годовой экономический эффект новой техники (изобретений и рационализаторских предложений) представляет собой суммарную экономию всех производственных ресурсов (живого труда, мате-

риалов, капитальных вложений), которая получается в результате производства и использования новой техники. Экономический эффект определяется путем сопоставления (сравнения) приведенных затрат (капитальных вложений и себестоимости продукции) по новой и базовой технике:

$$З = С + E_n K, \quad (110)$$

где  $З$  — приведенные затраты единицы продукции (работы), руб.;  $С$  — себестоимость единицы продукции (работы), руб.;  $K$  — удельные капитальные вложения в производственные фонды, руб.;  $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,15. Экономический эффект новой техники определяется на годовой плановый объем производства новой техники в расчетном году.

Годовой экономический эффект от применения новых технологических процессов механизации и автоматизации производства рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = (З_1 - З_2) A_2, \quad (111)$$

а с учетом эксплуатационных и капитальных затрат при переносах комплексного объекта, например при комплексном электроподогреве нефтебазы,

$$\mathcal{E} = (З_1 - З_2) + E_n (K_1 - K_2), \quad (112)$$

где  $\mathcal{E}$  — годовой экономический эффект, руб.;  $З_1$  и  $З_2$  — приведенные или эксплуатационные затраты единицы продукции (работы), проводимой с помощью базовой и новой техники, руб.;  $K_1$  и  $K_2$  — капитальные затраты при базовой и новой технике, руб.;  $A_2$  — годовой объем производства продукции (работы) с помощью новой техники в расчетном году, натуральные единицы.

Годовой экономический эффект от производства и использования новых средств труда долговременного применения (машины, оборудование, приборы и т. д.) с улучшенными качественными характеристиками (производительность, долговечность и т. д.) определяется по формуле

$$\mathcal{E} = P_1 V_1 - P_2 V_2 + E_n (V_1 - V_2) + P_2 V_2 \left( \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} \right)^{2j} - P_1 V_1$$

где  $З_1$  и  $З_2$  — приведенные затраты единицы соответственно базового и нового средства труда, определяемые по формуле (ПО), руб.;  $V_2/V_1$  — коэффициент учета роста производительности единицы нового средства труда по сравнению с базовым;  $V_1$  и  $V_2$  — годовые объемы продукции (работы), производимые при использовании единицы соответственно базового и нового средства труда, натуральные единицы;  $(P_1 + E_n)/(P_2 + E_n)$  — коэффициент учета изменения срока службы нового средства труда по сравнению с базовым;  $P_1$  и  $P_2$  — доли отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) базового и нового средства труда, рассчитываются как величины, обратные срокам

службы средств труда, определяемые с учетом их морального износа;  $K_1$  и  $K_2$  — сопутствующие капитальные вложения потребителя (капитальные вложения без учета стоимости рассматриваемых средств труда) при использовании базового и нового средства труда в расчете на объем продукции (работы), производимой с помощью нового средства труда, руб.;  $H_1$  и  $H_2$  — годовые эксплуатационные издержки потребителя при использовании базового и нового средства труда в расчете на объем продукции (работы), производимой с помощью нового средства труда, руб.;  $A_2$  — годовой объем производства новых средств труда в расчетном году, натуральные единицы.

Годовой экономический эффект от выпуска новой продукции или продукции повышенного качества с более высокой ценой для удовлетворения нужд населения, а также новой продукции и продукции повышенного качества на основе изобретений и рационализаторских предложений определяется по формуле

$$\Theta = (\Pi - E_n K) A_2, \quad (114)$$

где  $\Pi = (\Pi_2 - \Pi_1)$  — прибыль от реализации новой продукции повышенного качества или прирост прибыли, руб.;  $\Pi_2$  — прибыль от реализации продукции повышенного качества, руб.;  $\Pi_1$  — прибыль от реализации продукции прежнего качества, руб.;  $K$  — удельные капитальные вложения на производство новой продукции или удельные капитальные вложения, связанные с повышением качества продукции, руб.;  $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности, равный 0,15.

При определении фактического экономического эффекта от применения новой техники учитываются данные отчетных калькуляций, сводного учета затрат, объем производства по новым изделиям. Все затраты по новой технике должны отражать реально сложившиеся условия на заводах-изготовителях и предприятиях-потребителях.

Расчеты и обследования, выполненные по результатам эксплуатации систем электроподогрева на нефтебазах, предприятиях нефтяной и химической промышленности с применением методики, подтвердили экономическую эффективность электроподогрева. Следует отметить, что электроподогрев особенно эффективен в тех случаях, когда процессы нагрева проводятся периодически и когда предъявляются повышенные требования к температурному режиму подогрева. Значительный эффект достигается при электроподогреве трубопроводов.

Изложенное ниже обоснование экономической эффективности электроподогрева основывается на сравнении с двумя наиболее распространенными теплоносителями — перегретой водой и паром. Перегретая вода используется главным образом в технологических процессах химической промышленности, а также в нефтепереработке. На нефтебазах для подогрева применяется в основном пар. Исследования технологических процессов, использующих перегретую воду, выявили низкую эффективность водян-

ного обогрева при неполной суточной работе обогреваемых технологических трубопроводов. Кроме того, использование водообогрева связано с серьезными эксплуатационными трудностями, в результате которых непроизводительно расходуется большое количество теплоты. В табл. 28 приведены сравнительные результаты усредненных расчетов к. п. д. водообогрева и электроподогрева трубопроводов.

Таблица 28  
Значения к. п. д. водообогрева  
и электроподогрева трубопроводов  
в зависимости от требуемой  
продолжительности подогрева

Требуемая продолжительность обогрева ежесуточно, ч	К.п.д.	
	водообогрева	электроподогрева
2	0,082	0,5
4	0,17	0,67
6	0,25	0,75
8	0,33	0,80
10	0,42	0,86
12	0,50	0,83
18	0,75	0,90
24	1,0	1,0

Неэффективность систем подогрева с использованием перегретой воды выявляется также при подогреве трубопроводов, футерованных пластиком. Расчетная температура горячей воды, как правило, не ниже  $140^{\circ}\text{C}$ , в то время как допустимый нагрев стенок стальных трубопроводов, гуммированных или футерованных винилпластом, не превышает  $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$ , а футерованных полиэтиленом, —  $90^{\circ}\text{C}$ . В связи с этим для избежания перегрева материала футеровки между трубопроводом и теплоспутником прокладывается изоляционный слой, что резко снижает коэффициент полезного использования теплоты, усложняет и удорожает конструкции теплоизоляции.

Экономическая эффективность электроподогрева футерованных трубопроводов по сравнению с водообогревом подтверждается расчетами на основе следующих исходных данных: температура перегретой воды от  $140$  до  $80^{\circ}\text{C}$ , температура продукта и трубы до  $20^{\circ}\text{C}$ , температура воздуха  $30^{\circ}\text{C}$ , тепловая изоляция — минеральная вата толщиной  $50$  мм. Результаты расчетов приведены в табл. 29. Из таблицы следует, что потери теплоты при водообогреве в среднем в 4 раза больше, чем при электрообогреве.

С точки зрения экономики отрицательные стороны водообогрева можно свести к следующим факторам: необходимость непрерывной суточной циркуляции горячей воды при периодической потребности в течение нескольких часов, необходимость сни-

жения температуры путем искусственного увеличения тепловых потерь.

На нефтебазах для парового подогрева используются два вида пароспутников: внешние, прокладываемые в одной тепловой изоляции с продуктопроводами, и внутренние, прокладываемые внутри продуктопровода. Изучение работы паровых спутников и сравнение их с нагревательными лентами показало, что основной недостаток внешних паровых теплоспутников заключается в плохой передаче теплоты от спутника к обогреваемому трубопроводу, которая осуществляется частично через воздух внутри тепловой изоляции и частично по образующей линии или, вернее, по точкам соприкосновения. При внутреннем подогреве вся теплота, отдаваемая спутником, поглощается продуктом. К существенным недостаткам этого способа следует отнести уменьшение пропускной способности трубопроводов, а также сложность монтажа, контроля и ремонта. Вследствие указанных причин наибольшее распространение получили внешние спутники.

Таблица 29

Результаты расчетов эффективности электроподогрева футерованных трубопроводов

Диаметр футерованного стального трубопровода, мм	Теплопотери, Вт/м	
	при водообогреве	при электрообогреве
57	106	19,8
76	113	21,8
89	115	24,2
108	117	27,6
133	121	32,3
159	125	37
219	131	50

Кроме конструктивных системам пароподогрева присущ ряд специфических недостатков. При подогреве паром температура определяется давлением пара. Если необходимо повысить температуру, требуется повышать давление, что связано с большими трудностями и может привести к разрыву пароспутников. Перевод пара в целях лучшего отбора теплоты в конденсат, что выполняется с помощью различного рода конденсатоотборников, устанавливаемых на выходах пара из пароспутников и пароподогревателей, связан с риском замораживания и выхода из строя системы подогрева при малейшем недосмотре. В связи с этим на ряде объектов и большинстве распределительных нефтебаз фактически конденсация пара не проводится и пар без конденсации из пароподогревателей выпускается в атмосферу или канализацию. При этом полезный теплосъем не превышает 20—40% полного теплосодержания пара.

Подача пара из-за опасности замерзания конденсата не регулируется, и пар подается в пароподогреватели постоянно в течение всего осенне-зимнего периода, хотя по технологическим требованиям подогрев требуется периодически, иногда 1—2 ч в сутки или даже в неделю.

В то же время применение электроподогрева на нефтебазах по сравнению с пароподогревом имеет следующие преимущества. Гибкие ленточные нагреватели и прочие электронагреватели включаются лишь в периоды, когда необходим подогрев, а все остальное время они отключены от питающей сети. При подогреве трубопроводов ленточный нагреватель соприкасается с трубопроводом непосредственно своей плоской поверхностью, что способствует улучшению теплопередачи и снижению теплопотерь.

Для расчетного определения расхода энергии при паровом и электрическом подогреве на распределительной нефтебазе возьмем условно комплекс, состоящий из трех масляных резервуаров, из которых нефтепродукты поступают самотеком в резервуары-мерники, где разогреваются до требуемой температуры и далее по трубопроводу поступают на отпуск в разливочную. В<sup>1</sup> первом случае примем паровой подогрев всего комплекса и определим суточную и месячную потребность в паре и стоимость пара, во втором примем электроподогрев и также определим суточную и месячную потребность в электроэнергии и стоимость электроэнергии.

Все исходные данные и результаты выполненных расчетов изложены в прилагаемых ниже табл. 30 и 31. Как видно из табл. 30 и 31, условия подогрева следующие: температура окружающего воздуха  $t_0$  и продукта размеры мерников и трубопроводов одинаковы для электроподогрева и парового подогрева. При применении пара подогрев трубопроводов осуществляется с помощью внешних пароспутников, а подогрев резервуаров — паровыми грелками.

Расход пара определяется в двух вариантах:

а) с конденсацией пара — в этом случае принимается, что пар, пройдя систему подогрева, полностью отдает свою теплоту и конденсируется в подогревателях; при этом теплосодержание выходящего конденсата не превышает 420—500 кДж, а теплосъем с 1 кг пара равен 1900—2100 кДж;

б) без конденсации — пар, почти не конденсируясь, выходит из системы подогрева при атмосферном давлении; теплосъем с 1 кг пара не превышает 420—610 кДж.

В расчете учитываются следующие виды расхода пара: на компенсацию теплопотерь в паропроводе, идущем от котельной до резервуарного парка; на компенсацию теплопотерь в трубопроводах с пароспутниками от резервуарного парка до разливочной; на разогрев в резервуарах-мерниках.

Подогрев трубопроводов в варианте с электроподогревом осуществляется ленточными нагревателями, а подогрев в резервуарах-мерниках — погружными электронагревателями. При расчете

Расчетная таблица-схема пароподогрева

Показатель	Наименование оборудования			
	Паропровод от котельной до резервуарного парка	Продуктопровод со спутником от резервуаров до мерников	Мерники	Продуктопровод со спутником от мерников до разливочной

## Основные размеры оборудования

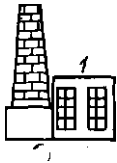
Длина $l$ , м	100	40 X 3		30 X 3
Диаметр трубопровода $d_B$ , м		0,108		0,108
Диаметр паропровода $d_{пар}$ , м	0,032	0,025		0,025
Объем $U$ , м <sup>3</sup>			10 X 3	

## Исходные расчетные данные

Температура окружающего воздуха $t_{в}$ , °C	-15,2	-15,2	-15,2	-15,2
Температура пара $t_{пар}$ , °C	142,9	142,9		142,9
Температура продукта, °C		25	25	25
Изоляция	Минеральная вата	Минеральная вата	Пенополиуретан	Минеральная вата
Толщина изоляции $b$ , м	0,040	0,025	0,025	0,025
Коэффициент теплопроводности изоляции $\lambda$ , Вт/(м.°C)	<b>0,0686</b>	<b>0,0686</b>	0,0582	<b>0,0686</b>

## Результаты расчета

Расход пара при конденсации $G$ , кг/мес	6624	16 776	16 800	12 600:
Расход пара без конденсации $G$ , кг/мес		73 800	72 800	56 7001



А-А

й: С  $\Gamma^{\#} 4$  ! Б Г \

Примечание, / — котельная; 2 — паропровод от котельной до основных резервуаров; ? — резервуар; 4 — трубопровод со спутником; 5 — резервуар-мерник; 6 — паровой змеевик; 7 — трубопровод со спутником; 8 — разливочная.

принимаем, как это и делается в практике электроподогрева, что-ленточные и погружные электронагреватели включаются лишь в периоды, необходимые для подогрева, и подогреваемые нефтепродукты отпускаются 3 дня в неделю или 14 дней в месяц. Продолжительность отпуска 8 ч в день. Для электроподогрева учтены следующие виды расхода электроэнергии:

— компенсация тепловпотерь в трубопроводах от резервуаров; до разливочной в течение 8 ч по отпускным дням,

## Расчетная таблица-схема электроподогрева

Показатель	Наименование оборудования		
	Продуктопровод с ГНЭ от резервуаров до мерников	Мерники	Продуктопровод с ГНЭ от мерников до разливочной

## Основные размеры оборудования

Длина /, м	40X3		30; X3
Диаметр $CL_n, M$	<b>0,108</b>		<b>0,108</b>
Объем U, м <sup>3</sup>		10X3	

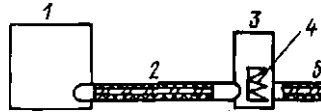
## Исходные расчетные данные

Температура окружающего воздуха 'о, °С	— 15,2	—15,2	—15,2
Температура продукта $t_{np}$ , °С	25	25	25
Изоляция	Минеральная вата	Пенополиуретан	Минеральная вата
Толщина изоляции $b_{из}$ , м	0,025	0,025	0,025
коэффициент теплопроводности изоляции X, Вт/(м • °С)	0,0686	0,0582	0,0686

## Результаты расчета

расход электроэнергии в месяц на компенсацию теплопотерь трубопроводов из расчета трех отпускных дней в неделю, кВт • ч	302		227
Расход электроэнергии в месяц на предварительный разогрев, кВт • ч	1512		1134
Расход электроэнергии в месяц на нагрев и компенсацию теплопотерь, кВт • ч		6619	
<b>Итого:</b>	<b>1814</b>	<b>6619</b>	<b>1361</b>

Общий расход электроэнергии в месяц: 9794 кВт • ч



Примечание. / — резервуар; 2 — трубопровод с гибкой нагревательной лентой; £ — резервуар-мерник; •<sup>1</sup> — электрическая резервуарная грелка; 5 — трубопровод с гибкой нагревательной лентой; 6 — разливочная.

- предварительный трехчасовой разогрев повышенной мощностью всех трубопроводов в отпускные дни;
- подогрев в резервуарах-мерниках в течение 6 ч.

Как видно из результативной части табл. 30, общий расход пара за 1 мес при условии полной конденсации составляет 52,8 т,

а его стоимость — 294 р. 56 к. При отсутствии конденсации соответственно 203,3 т и 1139 р. 36 к. Электроэнергии по выполненным расчетам (табл. 31) требуется 9794 кВт·ч в месяц, что обходится в 195 р. 48 к. Таким образом, мы получили, что стоимость, электроэнергии, потребляемой в течение месяца на подогрев, как минимумов 1,5 раза меньше, чем стоимость пара, используемого» для этих же целей.

Выводы о преимуществе электроподогрева будут еще более убедительными, если учесть, что на подавляющем большинстве распределительных нефтебаз пар в системах подогрева не конденсируется. В этом случае стоимость пара получается почти, в 5,5 раза больше стоимости электроэнергии. Таковы результаты: теоретического сравнения парового и электрического подогрева.

Для того чтобы проверить, каковы результаты практического применения электроподогрева, в 1980 г. СКВ «Транснефтеавтоматика» было проведено комплексное обследование шести нефтебаз,, из которых три имеют паросиловое хозяйство, а три оснащены электроподогревом (КЭП). При этом подробно изучены также вопросы отопления зданий и помещений и горячего водоснабжения. Накопленный за 5—8 лет опыт по эксплуатации КЭП способствовал сбору достаточно достоверных и проверенных исходных технико-экономических данных, на основании которых были выполнены расчеты и определены удельные технико-экономические показатели для подогрева нефтепродуктов, отопления и горячего водоснабжения производственных помещений при электрическом и паровом подогреве.

Итоговые результаты, сведенные в табл. 32, наглядно выявляют сравнительную эффективность парового и электроподогрева в расчете на основной суммарный показатель нефтебаз — 1000 т реализованных вязких продуктов. На основании средних арифметических технико-экономических показателей, полученных при обследовании нефтебаз, выполнен расчет экономической эффективности от внедрения электроподогрева нефтепродуктов, отопления и горячего водоснабжения производственных помещений в сравнении с паровым подогревом. Расчет экономической эффективности проводился в соответствии с приведенной выше «Методикой по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений».

Экономическая эффективность комплексного электроподогрева находится по формуле (112):

$$\mathcal{E} = (3_1 - 3_2) + E_n (K_1 - K_2).$$

Срок окупаемости капитальных вложений, год, определяется по формуле

$$O_k \wedge k d a - 3, ) . \quad (115)$$

Результаты расчетов экономической эффективности внедрения электроподогрева, электроотопления и горячего водоснабжения, а также другие показатели сравнительной эффективности, приве-

Таблица 16

Технико-экономические показатели сравнительной эффективности внедрения электроподогрева в расчете на 1000 т реализуемых вязких нефтепродуктов

Показатель	Паровой подогрев	Электрический подогрев	Эффект от внедрения электроподогрева
•Капитальные затраты, руб.	22 890 (К <sub>1</sub> )	2940 (К <sub>2</sub> )	—19 750
•Эксплуатационные затраты, руб.	ГО850 (С <sub>1</sub> )	4300 (С <sub>2</sub> )	—6550
Расход электроэнергии, кВт • ч	14 540	73360	+ 58 820
Расход условного топлива на производство электроэнергии в смежной отрасли [0,342 кг/(кВт • ч)], т у. т.	— 0,5	25,1	+ 20,1
Расход условного топлива на производство пара, т у. т.	143,8	—	—143,8
-Народнохозяйственный расход условного топлива, т у. т.	148,8	25,1	—123,7
Численность обслуживающего персонала, чел.	2,46	0,64	—1,82
Срок окупаемости капитальных затрат на электроподогрев, год	—	0,45	—
Годовой экономический эффект от внедрения электроподогрева, электроотопления и горячего водоснабжения, руб.	—	9512	—
В том числе годовой экономический эффект от внедрения электронагрева при технологических операциях, руб.	—	4440	—
Срок окупаемости капитальных вложений, год	—	0,78	—

Примечание. Знак «—» означает экономию, «+» — перерасход.

денные в табл. 32, наглядно показывают преимущество электроподогрева нефтепродуктов, а также входящих в комплекс электроотопления и горячего водоснабжения производственных помещений по сравнению с паровым подогревом. Годовой экономический эффект от внедрения только электроподогрева нефтепродуктов составил 4440 руб. в расчете на 1000 т реализации при сроке окупаемости капитальных вложений 0,78 года.

Ввиду отсутствия на обследованных нефтебазах четкого раздельного учета расхода тепло- и электроэнергии на подогрев нефтепродуктов и отопление определение экономической эффективности по средним суммарным показателям на основной показатель— 1000 т реализации вязких продуктов (включающий подогрев продуктов, отопление и горячее водоснабжение) — является наиболее достоверным.

Кроме отмеченных можно указать на следующие, подтвердившиеся при эксплуатации, преимущества электроподогрева:

- возможность нагрева нефтепродуктов до любой необходимой температуры;
- постоянная готовность к работе;
- возможность автоматизации и дистанционного управления;

— полное исключение загрязнения окружающей среды.

Исходя из значений, сведенных в табл. 32 ( $K_i = 22\ 890$  руб.,  $K_2 = 2940$  руб.,  $C_1 = 10850$  руб.,  $C_2 = 4300$  руб.), получаем суммарный годовой экономический эффект от внедрения комплексной системы электроподогрева, включая отопление и горячее водоснабжение, из расчета на 1000 т реализации вязких продуктов 9512 руб., окупаемость капитальных затрат 0,45 года, народнохозяйственную экономию условного топлива 123,7 т. у. т. Такие результаты получаются за счет того, что при переходе с пароподогрева на электрический исключается строительство котельной и полностью сокращается обслуживающий персонал. Для обслуживания и ремонта средств электроподогрева нефтебазе не требуется дополнительно штатной единицы. Эти функции зачастую выполняет электромонтер нефтебазы.

Капитальные вложения при электроподогреве складываются из стоимости трансформаторной подстанции (если на базе нет свободных мощностей), электроподогревателей, аппаратуры защиты и управления, питающих линий, что значительно меньше стоимости котельной и системы пароподогрева.

Важным фактором, влияющим на показатели экономической эффективности, является срок службы средств подогрева. В среднем срок службы различных пароподогревателей, пароспутников, запорной арматуры в условиях нефтебаз составляет 3 года. В то же время для средств электроподогрева этот срок колеблется от 5 до 10 лет.

Приведенные результаты экономической эффективности являются одним из основных аргументов при решении вопроса о применении электроэнергии для электронагрева. В соответствии с существующим сейчас положением применение электронагрева для технологических целей и электроотопления разрешается на основании инструкции, утвержденной 24 декабря 1981 г. Министерством энергетики и электрификации СССР и согласованной 30 ноября 1981 г. (№ 22—1453) с отделом энергетики и электрификации Госплана СССР. Указанной инструкцией должны руководствоваться" все потребители электрической энергии, применяющие электронагревательные установки, их министерства и ведомства, проектные институты.

Электронагреватели должны изготавливаться предприятиями по техническим условиям, согласованным с ВНИИЭТО. Электронагреватели мощностью свыше 10 кВт, применяемые для отопления, производятся предприятиями при наличии согласования с Госпланом СССР. Разрешения на применение электроэнергии для нагревательных аппаратов, устройств и приборов выдают:

1) потребителям всех отраслей промышленности для технологических целей единичной мощностью 1000 кВт и выше — Главгосэнергонадзор Минэнерго СССР;

2) потребителям всех отраслей промышленности для технологических целей единичной мощностью до 1000 кВт — энергонад-

зоры районных энергетических управлений Минэнерго СССР, производственных энергетических объединений, главных производственных управлений энергетики и электрификации союзных республик.

Представляемый материал должен включать:

1) технико-экономическое обоснование выбора электронагрева;

2) выписку из технологической части проекта или проектного задания, определяющую перечень видов электротермической технологии;

3) перечень электронагревательных устройств, предполагаемых к установке, с указанием паспортных данных (наименование, тип, мощность, завод-изготовитель);

4) перечень мероприятий, обеспечивающих снижение нагрузки электротермической установки в часы максимума энергосистемы с указанием снижаемой нагрузки, приборов и устройств, контролирующих снижение нагрузки (отказ от проведения указанных мероприятий должен быть обоснован технико-экономическим расчетом);

5) справку, подтверждающую, что удельный расход электроэнергии, затрачиваемой электротермической установкой, находится на уровне лучших достижений в отрасли и в зарубежной практике;

6) другие технические документы, облегчающие решение вопроса.

Разрешение на применение электроэнергии для отопления и горячего водоснабжения выдают:

1) потребителям всех отраслей народного хозяйства в отдельных исключительных случаях при наличии технико-экономического обоснования с установкой электронагревателей заводского изготовления до 10 кВт, а также независимо от установленной мощности для отопления вагонов-бытовок на строительных объектах, различных киосков, палаток, павильонов, магазинов и других мелких потребителей, тяговых подстанций и объектов электрифицируемых железных дорог — энергонадзор районных энергетических управлений, производственных энергетических объединений, главных производственных управлений энергетики и электрификации союзных республик;

2) потребителям всех отраслей народного хозяйства при мощности свыше 10 кВт (кроме упомянутых выше) — Госплан СССР.

1. *Богословский В. Н.* Строительная теплофизика. М., Высшая школа, 1970. 376 с.
2. *Бытовые* нагревательные электроприборы (конструкции, расчеты, испытания) / А. С. Варшавский, Л. В. Волкова, В. А. Костылев и др. — М., Энергия, 1981. 328 с.
3. *Губанов Б. А.* Обогрев надземного водовода в условиях Заполярья. — Строительство трубопроводов, 1975, № 1, с. 28.
4. *Дацков И. И., Мазаное С. С.* Электрические нагревательные устройства. М., Россельхозиздат, 1973. 96 с.
5. *Еремин И. И.* Температурный режим электрообогреваемого трубопровода при спиральном расположении электронагревательных лент. — Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов, 1978, № 1, с. 9—12 (ВНИИОЭНГ).
6. *Еремин И. И., Юфин В. А.* Разогрев застывших нефтепродуктов в трубопроводах нефтебаз наружными электроподогревателями. — Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов, 1974, № 2, с. 34—36 (ВНИИОЭНГ).
7. *Карасенко В. А.* Электронагревательные установки в сельском хозяйстве. Минск, Урожай, 1971. 192 с.
8. *Кудрявцев И. Ф., Карасенко В. А.* Электрический нагрев и электротехнология. М., Колос, 1975. 384 с.
9. *Мазуркевич В. Н.* Исследование электрического обогрева трубопроводов. Автореф. дис. Минск, 1975. 16 с.
10. *Миндин Г. Р.* Электронагревательные трубчатые элементы. М., Энергия, 1965. 112 с.
11. *Мишин Б. В., Шпотаковский М. Н.* Краткий справочник по оборудованию нефтебаз. Л., Недра, 1965. 280 с.
12. *Низкотемпературный* электронагрев / А. П. Альтгаузен, М. Б. Гутман, С. А. Малышев и др. — М., Энергия, 1978. 208 с.
13. *Отраслевая методика* по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в системе транспорта и хранения нефтепродуктов. М., ЦНИИТЭИМС, 1978. 26 с.
14. *Рекомендации* по применению электроэнергии для теплоснабжения жилых и общественных зданий. М., Стройиздат, 1976. 59 с.
15. *Фонарев З. И.* Гибкие электронагреватели вязких нефтепродуктов в трубопроводах и технологическом оборудовании. — Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, ЦНИИТЭНефтехим, 1977. 55 с.
16. *Фонарев З. И., Незнанский Б. С.* Экономическая эффективность комплексного электроподогрева на нефтебазах. — Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, 1981, № 2, с. 22—27 (ЦНИИТЭНефтехим).
17. *Хижняков С. В.* Практические расчеты тепловой изоляции. Л., Энергия, 1976. 200 с.
18. *Электротермическое* оборудование для сельскохозяйственного производства / Н. Б. Каган, В. Г. Кауфман, М. Г. Пронько, Г. Д. Яневский — М., Энегия, 1980. 192 с.
19. *Yurkanin R. M.* Safety aspects of electrical systems. — Chemical Engineering, 1970, v. 77, N 27, p. 164, 166.
20. *Ando Masao, Othmer D. F.* Heating pipelines with electrical skin current. — Chemical Engineering, 1970, v. 77, N 5, p. 154—158.
21. *Angel F.* «Which» type of electric trace heater. — The Heating and Ventilating Engineer, 1979, June, "p. 26—29.
22. *Galati U., Napolitano C., Culzoni F.* Heated pipeline solves unloading problem off shore. — Pipeline industry, 1979, Oct., p. 39—41.
23. *Newton F. J. P.* Principles and practice of electric trace heating of pipe <Pt. 1>. — Pipes and Pipelines International, 1973, Sept., p. 10—20.
24. *Meissel I. T.* Electric surface heating of pipe in hazardous areas. — Pipes and Pipelines International, 1975, Dec., p. 11—14.

Введение	3
I. Системы подогрева трубопроводов и нагревательные кабели	5
Система подогрева на основе поверхностного эффекта	6
Нагревательные кабели	10
Особенности монтажа нагревательных кабелей при подогреве технологического оборудования	14
II. Гибкие ленточные нагреватели	16
Гибкие нагреватели типа ЭНГЛ-180	17
Гибкие нагреватели типа НТЛ	19
Основные технические характеристики гибких нагревателей	21
Технология изготовления гибких ленточных нагревателей	23
Монтаж гибких ленточных нагревателей	26
Расчет нагревательных жил и гибких нагревателей	28
III. Подогрев резервуаров и железнодорожных цистерн	34
Нагревательные элементы с металлической защитной оболочкой	35
Трубчатые электронагреватели	36
Полосовые нагреватели	41
Погружные электронагреватели	42
Железнодорожные электрогрелки	46
Поплавковый нагреватель НП12	49
Электроподогрев насосов	50
IV. Сливо-наливные устройства с электроподогревом	52
V. Электрообогрев трубопроводов и технологического оборудования во взрывоопасных помещениях и наружных установках	54
Взрывобезопасная система электроподогрева трубопроводов	59
Требования к монтажу	63
Основные требования по эксплуатации	64
VI. Системы и устройства электроотопления помещений, обогрева открытых площадей, нагрева воды и воздуха	65
Переносные электроотопительные приборы и нагревательные панели для обогрева помещений	66
Системы кабельного отопления и обогрева открытых площадей	69
Электротеплоаккумуляционное отопление	72
Электрические водонагреватели	74
Устройства для нагрева воздуха	75
Основы расчета панельных нагревателей	77
Тепловой расчет установок аккумуляционного типа для нагрева воздуха	78
Расчет систем электроотопления с нагревательным кабелем	79
Основные правила обслуживания систем электроотопления и электронагревательных устройств для воды и воздуха	85
VII. Тепловая изоляция	86
Обоснование выбора теплоизоляции	89
VIII. Тепловые процессы при поверхностном электроподогреве трубопроводов с вязкими нефтепродуктами	91
Определение тепловых потерь	99
Определение мощности при нагреве трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования	108
Ускоренные методы определения мощности	112
IX. Схемы терморегулирования	113
Х. Обеспечение безопасности при эксплуатации систем электроподогрева	120
XI. Проектирование систем электроподогрева	123
XII. Экономическая эффективность систем электроподогрева	135
Список литературы	147