

Черепянский Р.А.

**НАГРЕВАТЕЛИ
технологического оборудования
переработки полимеров**

**< Электросамиздат >
2002**

Бесплатно

ОАО «Московский НПЗ»

Оглавление.

- 1. Назначение нагревательных элементов.**
- 2. Типы и особенности применения нагревательных элементов.**
- 3. Расчёт нагревательных элементов.**
- 4. Конструкции нагревательных элементов.**
- 5. Технологии изготовления нагревательных элементов.**
- 6. Материалы, применяемые при изготовлении нагревательных элементов.**
- 7. Сплавы высокого электрического сопротивления.**
- 8. Изготовление и ремонт НЭ.**
- 9. Монтаж НЭ на оборудовании.**
- 10. Литература и ссылки.**

Приложение 1. Нагревательные элементы, установленные в оборудовании цеха №7.

Приложение 2. Некоторые данные относительно огнеупорных изолирующих материалов.

Приложение 3.

Приложение 4. Типовые сплавы сопротивления, изготавливаемые зарубежными фирмами.

Приложение 5. Сортамент для сплава X20H80-(H).

Приложение 6. Сталь и сплавы с высоким омическим сопротивлением для температур выше 800°C.

Приложение 7. Провод нагревательный ("ПН")

От автора:

Предлагаемое пособие является попыткой обобщить скромный опыт участка электроавтоматики цеха №7 ОАО «Московский НПЗ» по эксплуатации и ремонту нагревательных элементов технологического оборудования, а также материалов из различных источников. В пособии содержатся сведения как из традиционных областей, таких как электротехника, материаловедение, и т.д., так и специальные опытные данные.

Пособие предназначено для рабочего персонала участка электроавтоматики, занятого на ремонте и эксплуатации оборудования переработки полимеров.

Пособие также может быть бесполезно некоторым околонаучным инженерно-техническим работникам участка электроавтоматики.

Первый опыт создания пособия, очевидно, не позволил избежать недостатков. Среди материалов могут оказаться неточности, неустановившиеся термины и т.д.

Ненормативной лексики и заклинаний по оживлению оборудования пособие не содержит, но интересующиеся могут обращаться к редакционной коллегии (готовится отдельным изданием).

Автор выражает признательность всему коллективу участка электроавтоматики принимавшему участие в составлении и обсуждении материалов. Отдельное спасибо Левицкому А. П. за написание раздела по изготовлению и ремонту наборных керамических нагревателей.

Автор будет весьма признателен всем, кто сочтёт возможным направить свои замечания по содержанию пособия по адресу:

Россия, 109429 Москва, Капотня, ОАО «Московский НПЗ» цех №7, участок электроавтоматики. Тел.: 24-74, факс: 355-03-48, RTCH@mail.ru

1. Назначение нагревательных элементов.

Нагревательный элемент (НЭ) предназначен для преобразования энергии одного вида (электрической, лучевой, электромагнитной и пр.) в тепловую. В отдельных случаях преобразование энергии НЭ не выполняет, а служит лишь для переноса энергии в нужное место.

В подавляющем большинстве оборудования по переработке полимеров используется так называемый косвенный нагрев. Выделение тепла происходит в отдельных НЭ, а передача тепла от нагревателя к нагреваемому телу происходит либо путём теплопроводности разделяющей среды, либо путём излучения и конвекции. Прямой нагрев полимера широко распространён в термоформовочном оборудовании и оборудовании для нанесения различных покрытий на поверхность изделий. В этом случае испускаемое специальными НЭ (инфракрасными эмиттерами) излучение поглощается непосредственно полимером, вызывая его нагрев.

По технологическим и конструкционным причинам НЭ в оборудовании, как правило, объединены в группы по несколько штук. Распространённое определение «зона» в применении к нагревателям следует считать ошибочным, т.к. на самом деле оно означает область (место, часть оборудования, зону), на которой установлена группа нагревателей, имеющих общее управление и поддерживающих одну температуру.

Также необходимо заметить, что температура зоны (нагреваемой части оборудования) значительно отличается от температуры НЭ в разные моменты времени.

2. Типы и особенности применения нагревательных элементов.

2.1. Электрический нагреватель сопротивления

Наиболее распространённый тип элемента, используемый в оборудовании по переработке полимеров. Необходимое для его действия тепло, генерируется электротоком. Выделение тепла в нём происходит под действием тока, проходящего через проводник из сплава высокого удельного сопротивления. Конструкции электрических НЭ сопротивления весьма разнообразны. Применяются НЭ в виде лент, хомутов, пластин, картриджей (пальчиковые), прямых, U-образных и сложноизогнутых трубок (ТЭНов), а также открытых полос, стержней, проволок, и спиралей из них.

Электрические нагреватели сопротивления наиболее просты, технологичны, надёжны. Тепловая инерция значительна, особых требований к регулирующим приборам не предъявляют. Питаться

могут как переменным, так и постоянным током. За исключением некоторых типов малочувствительны к ударам и вибрации. Изготавливаются для работы в жидких и газообразных, в том числе агрессивных средах.

2.2. НЭ индукционного типа.

Применяются сравнительно редко, что связано с относительной дороговизной и сложностью изготовления. Выделение тепла происходит непосредственно в металле зоны оборудования под действием электромагнитного поля промышленной, либо повышенной частоты. Практически безинерционны, что обеспечивает их применение в местах, требующих быстрого изменения температуры. (Например, валковая группа PLANTECH-III, при переходе с заправочной скорости на рабочую.) Внешне представляют собой каркасную, а зачастую бескаркасную катушку из медного провода, непосредственно надеваемую на стальную часть оборудования. Высокая скорость изменения температуры предъявляет особые требования к регулирующим приборам (настройки PID-регуляторов), что необходимо учитывать при использовании индукционных нагревателей. Температура самого НЭ не превышает 130 °С.

2.3. НЭ излучательного (радиационного) типа.

Применяются для непосредственного нагрева материала (продукта) путём облучения его инфракрасными лучами. Изготавливаются в виде трубок из стали или кварцевого стекла со спиралью внутри, снабжённых рефлектором-отражателем (машины для нанесения покрытий), либо изогнутых керамических пластин (термоформовочные машины). Тепловая инерция ниже, чем у 1 типа. Хрупки, боятся ударов и перекосов. Нечувствительны к роду тока. Температура поверхности около 600 °С.

2.4. Редко применяемые типы.

Нагреватели, в которых используются полупроводниковые пленки, графит, хромит лантана, карбид кремния, дисилицид молибдена в виде стержней, через которые пропускается ток. По сути являются разновидностью нагревателей сопротивления.

Нагреватели жидкостные и паровые. Представляют собой трубчатый змеевик или ванну с циркулирующей нагретой рабочей средой. Инерционны, громоздки, высокие требования к герметичности. Применяются в местах, где необходимо получить особенно равномерный нагрев с высокой точностью поддержания температуры или в случаях когда невозможно использовать электрические НЭ по

конструкционным или иным соображениям (например взрывоопасность установки). При использовании газовых горелок для нагрева масла, дают некоторое снижение стоимости производства.

Нагреватели узкого применения, такие как ТВЧ, СВЧ, магнитострикционные и т.п. представляют собой достаточно сложные устройства и к разряду нагревательных элементов прямо отнесены быть не могут.

3. Расчет нагревательных элементов.

Здесь и далее будут рассматриваться только электрические НЭ сопротивления.

Рассчитать нагревательный элемент "с нуля" задача достаточно не простая, требующая применения сложного математического аппарата и понимания тепловых процессов, идущих в оборудовании. На практике зачастую достаточно воспользоваться методом подобия, опираясь на известные величины параметров нагревателей имеющегося оборудования (Приложение №1), или воспользоваться следующим приблизительным методом.

Вычислив имеющийся объём металла, который необходимо нагреть за заданное время, надо найти требуемую мощность нагревателей. Зная площади поверхностей зон оборудования, на которые возможно (необходимо) установить нагреватели, и имея расчётное значение мощности, можно получить значение удельной мощности в Вт/см². Воспользовавшись значениями из табл.1 выбрать тип нагревателя. Если полученный тип не устраивает по каким-либо соображениям, можно вести расчёт в обратном порядке, задавшись удобным типом НЭ. В любом случае, необходимо обращать внимание на то, чтобы удельная мощность (ваттная нагрузка) не превышала допустимую для данного типа нагревателей. Время разогрева рассчитываемой зоны оборудования не должно значительно отличаться от времени разогрева остальных частей машины. Практика показывает, что ориентировочно необходимое время составляет приблизительно один час.

Пример 1. Необходимо рассчитать электрический нагреватель сопротивления на вновь изготовленный переходник расплавопровода, представляющий собой стальной куб с ребром 300 мм. Рабочая температура 250 °С.

Решение. Куб считаем сплошным, объёмами, имеющихся в нём каналов пренебрегаем в виду малости их сечения. Учитывая, что две из шести сторон переходника заняты фланцами для присоединения расплавопроводов, устанавливая на них нагреватели не будем.

Оставшиеся 4 стороны имеют суммарную площадь поверхности:

$$S = 30 \text{ см} \cdot 30 \text{ см} \cdot 4 = 3600 \text{ см}^2$$

Задавшись удельной мощностью нагревателей в 2,5 Вт/см² (миканитовые), получаем установочную мощность:

$$P_{\text{уст.}} = 3600 \cdot 2,5 = 9000 \text{ Вт}$$

Таким образом, 4 нагревателя по 2,25 кВт каждый.
Количество энергии, необходимое для разогрева 1 дм³ стали:

$$Q = 1,15 \cdot \gamma \cdot c (t_{\text{max}} - t_{\text{нач}}),$$

где: c - удельная теплоёмкость стали

$\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$ - плотность стали

$t_{\text{max}} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ - рабочая технологическая температура *

$t_{\text{нач}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ - начальная температура

$$Q = 1,15 \cdot 7,8 \cdot 0,13 (250 - 20) = 268,2 \text{ Wh / дм}^3$$

Тогда время разогрева переходника:

$$T = V \cdot Q \cdot 60 / P_{\text{уст.}} = 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 268,2 \cdot 60 / 9000 = 48 \text{ мин},$$

где V – объём в дм³

На самом деле время разогрева будет несколько больше, поскольку расчёт никак не учитывает тепловые потери.

* Рабочая (технологическая) температура НЭ зависит от режима его работы, который может меняться. При работе же вхолостую условия охлаждения для разных НЭ делаются одинаковыми. Вся подводимая мощность в этом случае идёт на разогрев самого НЭ. При стационарном состоянии рабочая температура поверхности нагревателя ($t_{\text{раб.}}$) определяется уравнением:

$$P = \alpha_t \cdot S \cdot t_{\text{max}},$$

где α_t - коэффициент теплопередачи

S- площадь

t_{max}- максимальная температура

Чем выше взята мощность P , тем больше получается $t_{x. \text{хода}}$. При этом может случиться, что температура окажется выше температуры, которую может перенести НЭ и, следовательно, подводимую мощность придется уменьшить. Однако снижение подводимой мощности уменьшает производительность нагревательного элемента, в частности увеличивается время разогрева. Решить данную проблему можно по-разному. В ряде случаев холостой ход вообще не предусматривается, например, для всех "кипятильных" устройств. Также используются терморегуляторы, отключающие НЭ при $t_{уст.} < t_{пред. доп.}$. В других конструкциях подводимая мощность выбирается такой, чтобы прибор мог переносить длительную работу в холостую (например, банальный электропаяльник).

Можно также применять индукционный нагрев, который не требует в отличии от НЭ сопротивления значительного перепада температуры между нагревателем и рабочей поверхностью прибора.

Табл. 1. Удельная мощность (ваттная нагрузка).

	P / S Вт/см ²	P / V Вт/см ³	t° C	t°_{max} C
Электрическая печь камерного типа 5 kW	-	0,5	1000	-
Электрическая печь камерного типа 50 kW	-	0,13	1000	-
Сушильный шкаф 3 kW	-	0,05	250	-
Сушильный шкаф 21 kW	-	0,01	250	-
Нагреватель закрытый, на миканите, нихром в два слоя	2,4-3,2	-	250	500-550
Нагреватель закрытый, на миканите, нихром в один слой	4-5	-	250	600-650
Нагреватель закрытый, на миканите, спираль в керамике	5-6	-	250	600
Нагреватель открытый, рефлекторного типа (ИК нагрев)	4-6	-	-	600-700

Расчёт самого НЭ сводится собственно к установлению геометрических размеров нагревательной проволоки, т.е. сечения и длины.

Исходными данными являются мощность и величина напряжения. По этим данным можно найти силу тока и сопротивление нагревателя.

В общем виде сечение же проволоки нагревателя выражается формулой для температуры нагрева провода, как функция от радиуса:

$$t_{\text{проволоки}} = I^2 \cdot \rho / 2\pi^2 \alpha r^3,$$

где: I - сила тока

ρ - удельное сопротивление

α - коэффициент теплопередачи

r - радиус сечения проволоки

Однако ввиду трудности правильности подсчёта коэффициента теплопередачи проволока-среда задачу расчёта нагревателя решают другим путём.

Вычислив или задавшись величиной перепада температуры между рабочей (поверхность нагревательного элемента) и нагревательной (собственно проволока) поверхностью, получаем температуру нагревательной проволоки $t_{\text{пр}}$.

Величиной перепада температуры задаются из следующих соображений:

1. Температура нагревательной проволоки, а отсюда и скорость "старения" прямо пропорциональны удельной ваттной нагрузке. Максимальный срок службы нагревателя обеспечивает самая низкая нагрузка. Чем ниже температура, тем меньше КПД и дольше срок службы. И наоборот, чем выше температура, тем выше КПД и тем быстрее НЭ выйдет из строя по причине старения.

2. Предельная температура для сплава, из которого изготовлен провод НЭ. (см. главу 7. Сплавы высокого электрического сопротивления.)

3. Предельная температура, которую может выдержать материал изоляции. (см. приложение 2. Огнеупорные изолирующие материалы.)

Температура проволоки зависит от плотности тока (чем больше ток через сечение проволоки, тем выше температура), отношения площади поверхности проволоки к её объёму (очевидно, что поверхность плоской ленты больше, чем у круглой проволоки и соответственно, температура будет меньше при равном объёме) и от

условий его охлаждения (проволока в миканите нагревается сильнее, чем обдуваемая воздухом). Далее необходимо лишь выбрать необходимую проволоку из данных Приложения 3.

При пользовании таблицей, необходимо учитывать, что её данные приведены только для случая НИХРОМОВОГО провода без изоляции, свободно ПОДВЕШЕННОГО ГОРИЗОНТАЛЬНО в СПОКОЙНОМ (без принудительного обдува) воздухе. При использовании данных таблицы для иных условий охлаждения, необходимо вводить коэффициент k_t (таблица 2), на который умножается температура $t_{пр}$. Находим диаметр по этой виртуальной температуре:

$$t_n = k_t \cdot t_{пр} \text{ и данной силе тока } I = P / U,$$

где: P- мощность

U- напряжение

Табл.2 Значение коэффициента k_t для некоторых условий.

Проволочная спираль в холодном воздухе	0,8
Проволочная спираль в керамике	0,6-0,7
Проволочная спираль на слюде	0,5
Печь камерная	0,3-0,4

В случае ленточного профиля проволоки, соответственная сила тока при том же сечении может быть получена путём умножения силы тока I на коэффициент профиля k_n (табл.3)

Табл.3 Коэффициент профиля для ленточной нагревательной проволоки.

Отношение ширины к толщине	2	3	4	5	7	10	15	20
k_n	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,5

Длина провода однозначно определится по заданному R и полученному сечению провода.

Пример 2. Рассчитать необходимое сечение и длину проволоки для нагревателя цилиндра двушнекового экструдера. Диаметр нагреваемой зоны 270 мм, ширина 280 мм. $P_H = 5 \text{ kW}$, $U_H = 230 \text{ В}$.

Решение: Номинальный ток через нагреватель

$$I_H = P_H / U_H = 5000 / 230 = 21.74 \text{ А.}$$

Площадь нагревателя

$$S = \pi \times D \times L = 3.14 \times 270 \times 280 = 2289 \text{ см}^2$$

Удельная мощность

$$5000 / 2289 = 2.2 \text{ Вт/см}^2$$

По таблице 1 принимаем миканитовую основу и ленточную нагревательную проволоку из сплава Х20Н80 с отношением ширины к толщине 10. Из-за достаточно большого тока и площади нагреваемой зоны нагреватель технологичней выполнить из нескольких параллельно включенных секций. Принимаем три секции по 7,25А каждая.

Сопротивление секции

$$R_H = U_H / I_H = 230 / 7.25 = 31.7 \text{ Ом.}$$

Рекомендуемая рабочая температура для сплава Х20Н80 $t_p = 1050^\circ\text{C}$ (приложение 6). Коэффициент учитывающий условия теплопередачи $K_T = 0.5$ (по табл.2).

Тогда, виртуальная температура

$$t_n = K_T \cdot t_p = 0.5 \cdot 1050 = 525^\circ\text{C}$$

Коэффициент профиля $K_n = 1.4$ (по табл.3).

Тогда виртуальный расчетный ток через проволоку

$$I_B = I_H / K_n = 7.25 / 1.4 = 5.18 \text{ А}$$

По данным таблицы Приложения 3 ближайшее большее значение сечения проволоки $s = 0.38480 \text{ мм}^2$. Выбираем сортаментную ленту 2x0,2мм, сечение - 0.4 мм^2 . При удельном сопротивлении $\rho = 1.1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ (приложение 6.),

длина проволоки составит

$$l = R_H \cdot s / \rho = 31.7 \cdot 0.4 / 1.1 = 11.5 \text{ метров для каждой секции.}$$

ТРУБНАЯ ЛИНИЯ НА УСТАНОВКЕ 35/5.

По «родному» образцу. Лента $2 \times 0,2 \text{ мм} = 0,4 \text{ мм}^2$. Секция 59 витков по 164 мм = 9676 мм = 9 м 70 см на секцию. Сопротивление секции измеренное 33 ом. Таким образом удельное сопротивление $33 \times 0,4 / 9,7 = 1,38 \text{ ом мм}^2/\text{м}$. Это НЕ НИХРОМ! Это ФЕХРАЛЬ! (см. главу 7).

4. Конструкции нагревательных элементов.

Нагреватель изготавливается либо в виде отдельного съёмного элемента, смонтированного на оборудовании, либо составляет неотъемлемую часть оборудования. (например, открытая спираль печи отжига фильер).

Несмотря на обилие конструкций, наиболее часто используются всего несколько типов.

Плоские и хомутовые НЭ на слюде (ленточные).

Изолирующая пластина из слюдосодержащего материала с ровными или зубчатыми краями обматывается нихромовой лентой, изолируется с обеих сторон листками того же изолятора и плотно завальцовывается в кожух из латуни или стали. На оборудовании такой элемент закреплён прижимной пластиной или хомутом. Кстати, в литературе [1] эта конструкция названа устаревшей! устаревшей? Рекомендуются для температур до 300 °С. Успешно применяются для обогрева цилиндров экструдеров совместно с водяным и воздушным охлаждением. Ремонт в большинстве случаев возможен.

Плоские и хомутовые НЭ на керамике (ламельные).

Спираль из нагревательной проволоки пропущена через отверстия (каналы) наборных фасонных керамических изоляторов (ламелей). Закрепляется прижимной пластиной или хомутом. Более прогрессивная и современная конструкция, призванная заменить предыдущую. Так как допустимые рабочие температуры электроизоляционной керамики существенно (на 200–300 °С) превышают допустимые рабочие температуры электроизоляционных материалов на слюдяной основе, то и удельная мощность (ваттная нагрузка) и как следствие КПД ламельных нагревателей выше. Легко ремонтируются. За счёт **наборной** структуры очень гибки, допускают многократный монтаж-демонтаж, хорошо прилегают к обогреваемым поверхностям. Рекомендуются для температур до 400 °С. Применяются совместно с водяным и воздушным охлаждением. Из недостатков следует отметить хрупкость (боятся ударов) и несколько меньший чем у ленточных срок службы из-за прямого контакта нагревательной проволоки с кислородом воздуха.

Трубчатые НЭ (ТЭНы).

В этой конструкции нихромовая проволока навивается спирально и помещается внутрь металлической трубки. Изоляцией служит порошковый слой кварца, окиси магния и др. Иногда спираль укладывается в керамический многоканальный изолятор и также заполняется порошковым изолятором (пальчиковые ТЭНы зоны фильтра PLANTEX). Изготовленные таким образом трубки снабжены выводами в виде гибких или жёстких проволок или шпилек с резьбой. В ряде случаев трубки ТЭНов заливаются в чугунные, а чаще из алюминиевого сплава отливки. Сама трубка ТЭНа делается из разных металлов: стали, нержавеющей стали, латуни и т.д. Благодаря высокой удельной мощности широко применяются для обогрева массивных частей экструзионного оборудования: головок, дозирующих насосов, фильтров потока. Помимо экструзионного оборудования используются для обогрева валков и таких агрегатов как: маслостанции, парогенераторы, водонагреватели и т.п.

Как правило, неремонтопригодны, хотя опыт показывает, что частичный ремонт всё же возможен.

Нагревательный элемент из специального провода.

Нагревательный провод (Приложение 7) с изоляцией, выдерживающей достаточно высокую температуру, отмеряется по длине на необходимую мощность и непосредственно наматывается на обогреваемую зону. Теплоизоляция представляет собой мат из огнеупорного волокнистого материала, который в свою очередь, прижимается поверх провода хомутовым кожухом. Неремонтопригодны. После демонтажа необходимо наматывать новый провод.

5. Монтаж нагревательных элементов.

Монтаж НЭ на оборудовании осуществляется различными способами в зависимости от типа нагревателя.

Наиболее важно при монтаже НЭ обеспечить хороший тепловой контакт между ним и нагреваемой зоной. Для этого необходимо выполнить условие: НЭ должен плотно прилегать к поверхности всей своей площадью: свисающих краёв, зазоров, перекосов, деформации, заусенцев, замятостей, остатков расплава, окалины быть не должно. Если под НЭ штатно устанавливается уплотняющая алюминиевая или латунная прокладка, вынимать её нельзя ни в коем случае во избежание преждевременного выхода

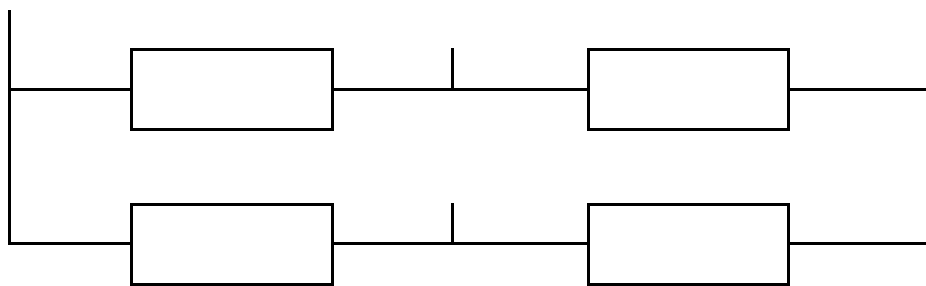
нагревателя из строя. Усилие прижима при работе НЭ не должно значительно снижаться.

Хомутовые НЭ, как правило, имеют приваренные к кожуху проушины, снабжённые латунными втулками с резьбой для стяжного болта. На стяжной болт надевается спиральная пружина, призванная компенсировать тепловое удлинение нагревателя и таким образом, обеспечить постоянство силы прижима. Использование пружин, потерявших свои упругие свойства при отжиге также недопустимо, как монтировать нагреватели без пружин.

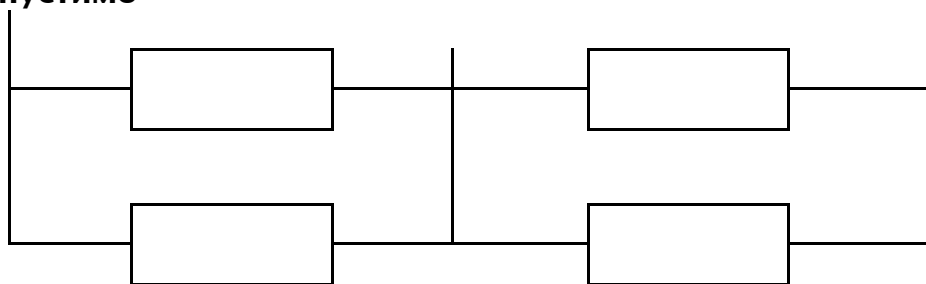
Нагреватели патронного типа (пальчиковые ТЭНы) свободно вставляются в свои гнёзда и, как правило, никак в них не фиксируются. Перед установкой необходимо проверить отсутствие в гнёздах мусора, окалины, расплава полимера. Внутренняя поверхность гнезда должна быть чистой и гладкой, без заусенцев и задиров. ТЭН вставляется рукой без усилия, забивать ТЭН в гнездо недопустимо. При этом ТЭН должен сидеть в гнезде плотно для обеспечения надёжного теплового контакта. Использовать ТЭНы короче или длиннее номинальных в отдельных случаях допустимо, что нельзя сказать о диаметре, который должен в точности соответствовать диаметру гнезда.

Особую аккуратность необходимо проявлять при монтаже кварцевых и керамических нагревателей ИК нагрева. Ни в коем случае их нельзя закреплять жёстко, при работе может произойти растрескивание вследствие температурной деформации.

Электрическое включение НЭ в группы может осуществляться параллельно, последовательно, треугольником и звездой. Допустимо



Не допустимо



при перегорании одного НЭ, ток через другой резко возрастает.

Подключение НЭ производится специальными медными проводами в термостойкой изоляции (ПРКС, РКГМ, ПВХВ и др.). При прокладке питающих проводов необходимо избегать их касания с пружинами термопар, поскольку последние из-за постоянного температурного расширения-сжатия протирают изоляцию проводов. Там где это, по каким либо причинам невозможно, дополнительно защищают провода термостойким кембриком или чулком.

6. Материалы, применяемые при изготовлении нагревательных элементов.

Материалы, применяемые при изготовлении НЭ, делятся на четыре группы.

- а) материалы высокого сопротивления - нагревательные**
- б) электроизолирующие**
- в) огнеупорные**
- г) теплоизолирующие**

Требования, предъявляемые к материалам группы " а ".

- 1) большое удельное сопротивление, порядка $10 \text{ м} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$**
- 2) малый температурный коэффициент сопротивления.**
- 3) нечувствительность к длительному нагреванию при высокой температуре**
- 4) хорошие механические свойства**
- 5) дешевизна**

Материалами, удовлетворяющие этим требованиям, являются сплавы Cr, Ni, Fe, Al, которым посвящена отдельная глава (см.гл.7).

Значительно менее определены и труднее различимы требования, предъявляемые к электроизолирующим, теплоизолирующим и огнеупорным материалам. Во многих случаях все три указанные функции выполняются одним и тем же материалом. В других же конструкциях наблюдается раздельное применение материалов указанных категорий. Огнеупорные материалы имеют назначение поддерживать нагревательную проволоку. Они находятся с ней в непосредственном соприкосновении и следовательно, первое требование к ним – способность длительно переносить нагрев до 1000-1100°C, не вызывая коррозии нагревательной проволоки. В

большинстве современных конструкций от материалов, непосредственно соприкасающихся с нагревательным проводником, требуется, кроме того, достаточно высокая электроизоляционная способность при высокой температуре, а также возможно высокая теплопроводность. (Пример ТЭНы и плоские, заделанные в керамическую массу или изолированные слюдой НЭ). Свойства огнеупорных материалов кратко описано в приложении 2.

7. Сплавы высокого электрического сопротивления.

Для нагревательных элементов сопротивления применяются жаростойкие сплавы, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Высокая жаростойкость.
2. Достаточная жаропрочность, обеспечивающая отсутствие деформации нагревателей в процессе эксплуатации.
3. Высокое удельное электрическое сопротивление.
4. Технологичность при изготовлении нагревателей.
5. Низкий температурный коэффициент сопротивления.
6. Стабильность свойств в процессе эксплуатации.

Свойства сплавов полностью определяются их химическим составом. По этому признаку сплавы подразделяются на:

никельхромовые (нихромы)
никельхромовые легированные алюминием
железохромоникелевые
железохромалюминиевые (хромали).

Наиболее высоким качеством обладают сплавы с индексом Н. Их качество обеспечивается прецизионной технологией изготовления и дополнительным легированием редкоземельными элементами. При эксплуатации железохромалюминиевых сплавов следует учитывать некоторые их особенности:

1. Все марки этих сплавов становятся хрупкими при 450°C - 500°C . Хрупкость устраняется нагревом до 750°C - 800°C с охлаждением в воде. При нагреве более 1000°C хрупкость необратима.
2. Жаропрочность довольно низка. При температуре 1100°C - 1200°C деформируются под собственным весом.
3. При комнатной температуре недостаточно пластичны. При малом радиусегиба полезно нагреть до 200°C - 350°C .
4. Склонны к химическому взаимодействию с футеровочными материалами при $t > 1100^{\circ}\text{C}$.

5. Недопустимо воздействие паров и брызг меди, цинка, свинца, железной окалины. Сплав ржавеет. Ржавая проволока к изготовлению нагревателей непригодна.

Нихромы ни столь капризны в эксплуатации и с футеровочными материалами практически не взаимодействуют, что собственно и обеспечило их широкое применение. (К слову, участок электроавтоматики применяет только сплав Х20Н80).

Нихром технологичен. При 20 °С удовлетворительно гнётся, при высоких температурах или после отжига при 1150 – 1200 °С и охлаждения в воде, очень пластичен. Хорошо сваривается.

На воздухе срок службы нихромов пропорционален скорости окисления, в свою очередь сильно зависящей от температуры. Так, например, скорость окисления:

при 1200°С	0,09 мм	за 1000 часов
при 1000°С	0,015 мм	за 1000 часов
при 800°С	0,0025 мм	за 1000 часов

т.е. при изменении рабочей температуры на 200°С (с 800° до 1000°С) скорость окисления увеличивается в 6 раз!, во столько же сокращается срок службы нагревателя. Этот фактор необходимо учитывать при выборе рабочей температуры нагревателя.

Несколько особняком стоят т.н. фехрали, относящиеся к железохромалюминиевым сплавам. Фехралевые нагревательные элементы применяются до температур 1400°С, например сплав Х23Ю5Т, являющийся аналогом материала А-1 фирмы KANTHAL. Сплав имеет ряд преимуществ по сравнению с нихромом:

- цена – меньше в три раза, что приводит в конечном итоге к снижению стоимости нагревателя;
- более длительный срок службы при одинаковой с нихромом температуре эксплуатации (в зависимости от условий эксплуатации от двух до четырех раз);
- отсутствие окалины, вследствие чего не требуется закрывать спирали электропечей, что в свою очередь существенно повышает КПД печей по сравнению с печами с закрытыми нагревателями;
- больший срок службы в восстановительных атмосферах;
- более высокая поверхностная мощность;
- меньшая плотность.

Сплав имеет следующие технические характеристики:

Удельное электрическое сопротивление 1,4 ом·мм²/м.

Максимальная рабочая температура на воздухе, при диаметре:

1,5 мм	1250 °С
3,0 мм	1350 °С
6,0 мм и более	1400 °С

Удельная поверхностная мощность нагревателя на керамической трубке при температуре:

1400 °С	1,2 Вт/см²
1300 °С	1,8 Вт/см²
1200 °С	2,2 Вт/см²
1000 °С	3,6 Вт/см²

Плотность	7,21 г/см³
Температура плавления	1500 °С
Увеличение сопротивления при температуре 1300 °С	8 %

Для всех сплавов сопротивления агрессивными являются среды, содержащие фосфор, галогениды и серу (кроме железохромалюминиевых).

Свойства и сортамент сплавов высокого электрического сопротивления приведены в приложениях 4,5,6.

8. Изготовление и ремонт НЭ из наборной керамики и миканитовых.

Нагреватели из наборной керамики наиболее хорошо поддаются ремонту. Благодаря своей конструкции они допускают многократные операции по сборке и разборке с заменой поврежденных изоляторов. У миканитовых после разборки пригодным остается в лучшем случае только кожух, практически их ремонт сводится к изготовлению нового НЭ по образцу. Спирали в обоих случаях к дальнейшему использованию непригодны и подлежат замене.

Рассмотрим изготовление нагревателя на основе керамических изоляторов призматической формы, как наиболее широко применяемых в технологическом оборудовании. Нагреватель состоит из нагревательной спирали, керамического наборного изолятора, металлического кожуха и термостойкой прокладки (стекломата). Прокладка не устанавливается при изготовлении нагревателя для зон имеющих принудительное воздушное охлаждение, например для установки на цилиндре экструдера, и в этом случае кожух изготавливается не из сплошного листа, а из просечки. Для лучшего прилегания нагревателя, для меньших диаметров зон необходимо брать более узкие изоляторы. Перед сборкой изоляторы необходимо поштучно разбраковать. Изоляторы с трещинами, нарушением геометрии, оплавленные, залитые расплавом и т.п. для изготовления НЭ непригодны. Особое внимание необходимо

уделять каналам; видимая на глаз эллипсность, облой, несоосность, - приведут впоследствии к трудностям или невозможности сборки.

Зная диаметр нагреваемого тела, а керамические нагреватели применяются в основном на круглых телах, можно легко вычислить необходимое количество керамических изоляторов. Прибавив к диаметру тела одну толщину изолятора и умножив полученное значение на 3,14, получаем длину нагревателя. Далее, простым делением на ширину одного изолятора и округлив результат до целого в меньшую сторону, получим требуемое количество. Если есть возможность, можно примерить нагреватель непосредственно по месту установки, предварительно нанизав изоляторы на любую проволоку или нить. Необходимая ширина нагревателя достигается сборкой изоляторов в разбежку. При этом количество каналов должно оставаться четным. Первый и последний изоляторы нужно обработать с внешней стороны следующим образом. На ребре изолятора пропилить алмазным диском либо струной продольный паз для укладки спирали на переходах с канала на канал. Далее нужно решить скольким количеством спиралей вы будете делать нагреватель (1,2,3). Обычно спираль пропускается сквозь каналы змейкой, т.е. пропустив спираль насквозь через один из каналов, её разворачивают и продевают в свободный соседний канал. В месте разворота проволока аккуратно выпрямляется и укладывается в поперечный паз, описанный выше. Облегчить укладку спиралей в каналы можно предварительно продев в них жесткую проволоку к концу которой прикрепляется спираль. Заполнять каналы спиралью необходимо по возможности полностью, следя при этом, чтобы шаг витков спирали сильно не отличался по каналам. Этим обеспечивается равномерный нагрев по всей длине, что важно как с точки зрения технологического режима оборудования, так и для увеличения срока службы самого нагревателя. При укладке двух спиралей, располагать их следует зеркально симметрично относительно продольной оси нагревателя. Затем концы спиралей выводятся наружу (в середине или в конце нагревателя) и соединяются тем или иным способом. В любом случае бесполезно перед сборкой нарисовать схему расположения спиралей в каналах нагревателя, учитывающую все повороты, наличие отверстий под термопары и т.п.

Навивка самих спиралей из нагревательной проволоки с использованием простейших инструментов особых сложностей не представляет. При этом качество спиралей ничуть не уступает промышленно изготовленным.

Для начала замеряется диаметр канала в керамике. Находится металлический прут-оправка диаметром меньшим приблизительно на 2,5 – 3 толщины проволоки и длиной около метра. Учитывайте, что после снятия с прутка спираль раскрутится, немного увеличившись в диаметре.

Для работы из инструмента понадобятся дрель и тиски. В тиски между 2-х плоских дощечек зажимается с небольшим усилием один конец прутка с намотанными на него вручную 5-10 витками проволоки. Другой конец прутка зажимается в патрон дрели и на небольших оборотах производится навивка плотно, виток к витку. Если нет дрели, можно изогнуть конец прутка в виде ворота и вращать его вручную. При отсутствии навыка ручной способ даже предпочтительней с точки зрения качества получаемых спиралей. После навивки спираль снимается с прутка, и формируются её выводы. Самый простой способ оформить выводы: сложить проволоку на концах вдвое на длине примерно 100 мм и немного свить её. После чего необходимо растянуть спираль на длину чуть меньшую суммарной длины каналов. Далее происходит сборка нагревателя описанная выше.

Для получившегося нагревателя изготавливается кожух-стяжка. Выполняется из листовой, нержавеющей стали или латуни толщиной до 0,5 мм. Режется полоса с учётом размеров нагревателя с припуском на загибы краёв. Загибы нужны для фиксации нагревателя в кожухе. Края полосы прорезаются ножницами с шагом 10 мм на ширину загиба перпендикулярно кромке или "пилообразно". Образованные таким образом зубцы подгибаются внутрь под прямым углом. По краям кожуха привариваются или приклепываются проушины с одной стороны с резьбовой втулкой, с другой с отверстиями под стяжной болт. В месте выводов вырезается "окно" прямоугольной или круглой формы. Если необходимо, рядом/над окном прикрепляется разъём питания. При некотором навыке и правильном расчете теплового режима получаются нагреватели, работающие годами. Наиболее распространенная причина отказов: - отгорание выводов в разъеме питания. В качестве средства борьбы бесполезно периодически проверять контакт выводов спирали и главное; НИКОГДА не используйте стального крепежа, только латунь!

Изготовление нагревателя на миканитовой основе тоже не представляет особых сложностей, если при расчете было выбрано разумное значение удельной мощности. Если же необходимо выполнить нагреватель по промышленному образцу с высоким значением удельной мощности, то такой труд может быть весьма неблагоприятным, срок службы самодельного нагревателя окажется неоправданно коротким. Это как раз тот случай, когда необходимо

применять «фирменный» нагреватель, либо переходить на нагреватель другого типа. Большим подспорьем при изготовлении миканитового нагревателя по образцу будет внимательное изучение конструкции старого, вышедшего из строя. Особое внимание при этом следует обратить на схему укладки проволоки.

Итак, вырезается жесткая миканитовая основа-изолятор по габаритам меньшая требуемого нагревателя примерно на 6-8 мм на сторону, так как в сборе нагреватель будет чуть больше из-за изолятора и кожуха. Далее берём нагревательную проволоку нужного сечения и, зная параметры нагревателя, ширину и длину миканитовой основы, рассчитываем шаг витков. Плоская проволока предпочтительнее, так как имеет во-первых большую площадь нагрева по сравнению с круглой, а во-вторых меньше деформируется при нагреве, что даёт меньшую вероятность замыкания витков. При начале намотки оставляем небольшой хвостик-вывод, который впоследствии будет сложен вдвое или четверо и упакован при необходимости в керамические бусы. Класть витки надо не спеша, аккуратно укладывая каждый виток ровно и параллельно соседнему. На загибах проволоку можно слегка простукивать молотком для придания ей более ровной формы и направления. Прилагать силу нельзя иначе на сгибах проволока может сломаться. Когда вы закончили намотку, так же оставьте вывод небольшой длины. Выводы должны находиться не на самом краю основы и, разумеется, с одной и той же стороны нагревателя. После из мягкого миканита изготавливаем две полосы, одну шириной и длиной на 1,5-2 см больше основы, другую в размер основы - это изоляторы. Одну полосу кладём на стол, на неё ровно укладываем основу с намотанной на неё проволокой, сверху накрываем второй полосой. Проверьте, чтобы основа лежала ровно, и её края не выступали, и не были вровень с изолятором. Изолятор должен полностью скрывать основу! Проткните шилом отверстия в изоляторе, расположенном сверху и проденьте сквозь них выводы. Для надежности можно в местах выводов положить шайбы из жёсткого миканита, чтобы отверстия не прорезались проволокой.

Кожух делается из 0,5 мм нержавеющей стали или латуни. Из листа вырезается полоска шириной равная полоскам изолятора и длиной на 15-20 мм больше (припуск на вальцовку) в которой делаются отверстия или разрезы под выводы. Вторая полоска должна иметь длину равную изоляторам плюс 20-30 мм для загиба торцевых сторон и шириной на 20-30 мм больше для загибов боковин. Боковым сторонам придают пилообразную форму, загибают, и нагреватель практически завершён. Начинать подгибать края лучше от середины нагревателя, по несколько зубцов с каждой стороны, во избежание перекоса. Собранный нагреватель прокатывают на вальцах до

получения нужного диаметра, а затем на выводы нанизывают керамические изоляторы.

Здесь рассмотрен вариант хомутового нагревателя, в случае с плоским нагревателем припусков для деталей кожуха делать не нужно, их размер (не считая загибов боковин) должен совпадать с размером изолятора.

В завершение необходимо добавить, что большое значение для срока службы самодельного нагревателя имеет правильный выбор марки и качество применяемого миканита. Также важно соблюсти правильный ввод в эксплуатацию нового нагревателя; НИКОГДА не включайте нагреватель сразу на полную мощность (читай напряжение). Прокалите нагреватель прямо на оборудовании в течении нескольких часов, включив его например последовательно с соседним или вообще без напряжения. Эти меры позволят Вам избежать «закипания» нагревателя обычно заканчивающимся выходом его из строя на первой же минуте. Данный эффект является следствием резкого выделения связующего (технологической пропитки) из материала изоляции. Сопровождается дымом, вспучиванием кожуха нагревателя, иногда пламенем и как следствие замыканием по образовавшейся саже.

9 Монтаж ПН на установках.

1. Провод нагревательный должен наматываться на основу (желательно цилиндрическую) плотно. Не допускается тянуть за призматический фарфоровый оконцеватель.
2. Категорически запрещается производить намотку ПН в два и более слоев. Фиксация начала и конца намотки ПН на основу должна производиться узкими металлическими хомутами, или стеклолентой.
3. При намотке ПН на основу, имеющую форму, отличающуюся от цилиндрической, например, призматическую, ее острые углы и кромки должны быть закруглены, на поверхности не должно быть забоин и заусенцев. Для надежности на углах рекомендуется проложить в один слой микаленту на стеклооснове или тонкий слой (0,2...0,3 мм) слюдопласта, миканита.
4. При длине намотки на объекте большей, чем суммарная длина витков ПН, витки ПН следует располагать равномерно с фиксированным шагом.
5. Для снижения потерь, повышения КПД ПН, рекомендуется поверх намотанного ПН проложить слой теплоизоляции толщиной 8-10мм из каолиновой ваты типа МКРР, МКРВ или

базальтового волокна.

6. После намотки ПН на объект (как с теплозащитой, так и без нее) рекомендуется плотно обмотать его одним слоем стеклоленты. Сверху рекомендуется надеть стяжной металлический бандаж из тонколистовой нержавеющей стали (0,2...0,25 мм) или другого металла с жаростойким покрытием.

Приложение №1

Нагревательные элементы оборудования цеха.

Приложение №2

Некоторые характеристики огнеупорных изолирующих материалов.

ШАМОТ

плотность до $2,16 \text{ г/см}^3$, $t_{\text{раб}} < 1450^\circ\text{C}$, применяется в виде фасонных огнеупорных изделий, несущих на себе нагревательную проволоку. Температура начала размягчения 1600°C - 1700°C . Мало чувствителен к тепловым переменам.

Коэффициент теплопроводности $0,0077 \text{ W/см}^2 / ^\circ\text{C/см}$.

СЛЮДА

в качестве основания для плоских НЭ и для изоляции от корпуса. Чаще применяются в виде так называемого нагревательного (термоупорного) миканита, представляющего собой листки слюды, склеенные между собой тем или иным способом (шеллак, жидкое стекло, борная кислота, фосфорная кислота). Коэффициент теплопроводности $0,0045 \text{ W/см}^2 / ^\circ\text{C/см}$. Температурное применение до 700°C .

КВАРЦЕВЫЙ ПЕСОК для набивки ТЭНов.

высокие электрические свойства. При плотности 1,52 коэффициент теплопроводности $0,0035 \text{ W/см}^2 / ^\circ\text{C/см}$.

ОКИСЬ МАГНИЯ (периклаз)

плотность 3,44 г/см³, $t_{пл} = 2800^{\circ}\text{C}$, $t_{раб}$ до 1000[°]C, коэффициент теплопроводности 0,046 W/см² / °C/см.

Приложение 3.

Температура круглой нихромовой проволоки в зависимости от токовой нагрузки.

г Ом/м	диаметр mm	сечение mm ²													
			100 [°] C	200 [°] C	300 [°] C	400 [°] C	500 [°] C	600 [°] C	700 [°] C	800 [°] C	900 [°] C	1000 [°] C	1100 [°] C	1150 [°] C	1200 [°] C
140,000	0,10	0,00785	0,17	0,24	0,36	0,48	0,57	0,66	0,73	0,81	0,86	0,94	0,97	1,00	1,04
115,000	0,11	0,00950	0,19	0,27	0,40	0,52	0,62	0,72	0,80	0,85		1,05			
97,000	0,12	0,01131	0,20	0,30	0,43	0,60	0,70	0,80	0,88	1,00		1,18			
67,000	0,14	0,01539	0,25	0,38	0,54	0,70	0,82	0,92	1,03	1,15		1,45			
	0,15	0,01767	0,28	0,42	0,58	0,75	0,88	1,00	1,10	1,25	1,40	1,55	1,64	1,70	1,77
55,000	0,16	0,02011	0,30	0,45	0,62	0,80	0,95	1,08	1,20	1,32		1,65			
43,000	0,18	0,02545	0,35	0,52	0,78	0,90	1,05	0,20	1,35	1,50		1,94			
35,000	0,20	0,03142	0,40	0,62	0,82	1,00	1,20	1,35	1,55	1,70	1,98	2,20	2,28	2,51	2,64
22,400	0,25	0,04910	0,54	0,80	1,06	1,30	1,55	1,75	2,00	2,20	2,57	2,88	3,20	3,38	3,55
15,600	0,30	0,07070	0,65	1,00	1,35	1,63	1,90	2,18	2,48	2,78		3,60			
14,400	0,35	0,09620	0,80	1,25	1,65	1,98	2,30	2,62	3,00	3,38	3,90	4,45	5,00	5,30	5,60
8,750	0,40	0,12570	0,95	1,50	1,95	2,35	2,70	3,10	3,55	4,05		5,80			
6,900	0,45	0,15900	1,10	1,72	2,30	2,75	3,15	3,60	4,15	4,80		6,20			
5,600	0,50	0,19630	1,25	1,95	2,62	3,15	3,62	4,20	4,80	5,95	6,30	7,20	8,04	8,54	9,07
4,600	0,56	0,24630	1,42	2,20	2,95	3,53	4,12	4,80	5,50	6,20		8,15			

Приложение 3. (продолжение табл.)

Температура круглой нихромовой проволоки в зависимости от токовой нагрузки.

г Ом/м	диаметр mm	сечение mm ²													
			100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	900°C	1000°C	1100°C	1150°C	1200°C
3,900	0,63	0,31170	1,60	2,48	3,30	4,00	4,65	5,40	6,20	7,05	9,20				
	0,65	0,33180	1,74	2,70	3,70	4,40	5,20	6,00	6,90	7,90	9,00	10,25	11,59	12,28	12,98
2,850	0,70	0,38480	1,94	3,00	4,05	4,90	5,75	6,04	7,65	8,75	11,30				
2,190	0,80	0,50270	2,30	3,55	4,78	5,80	6,90	7,95	9,24	10,5	13,55				
1,730	0,90	0,63620	2,70	4,10	5,55	6,80	8,10	9,40	10,90	12,40	14,10	15,90	17,82	18,78	19,72
1,400	1,00	0,78540	3,15	4,70	6,35	7,80	9,30	10,90	12,65	14,40	16,30	18,40	20,50	21,50	22,60
1,500	1,10	0,95030	3,50	5,30	7,20	8,70	10,65	12,10	14,20	16,50	21,00				
0,970	1,20	1,13100	4,00	5,90	8,00	9,80	11,90	13,70	16,00	18,70	21,10	23,90	26,40	27,80	28,80
0,715	1,40	1,63940	4,80	7,30	9,80	12,00	14,60	17,00	19,80	23,20	29,70				
	1,50	1,76700	5,30	8,00	10,90	13,30	16,10	18,60	21,90	25,60	29,20	32,70	36,20	38,00	39,90
0,548	1,60	2,01060	5,60	8,70	11,80	14,40	17,50	20,20	23,70		35,60				
0,433	1,80		10,90		16,00	19,00	20,00	23,80	32,00	32,80	42,20				
0,350	2,00	3,14160	7,80	11,90	16,10	19,70	24,00	27,60	32,30	37,90	43,30	48,70	54,60	57,50	60,20
0,280	2,20	3,80130	8,8	13,50	18,50	22,50	27,00	31,60	36,80	43,20	56,00				
	2,50	4,90870	10,65	16,40	22,10	26,90	32,50	37,90	44,00	51,40	59,20	67,00	75,60	79,70	84,00
	3,00	8,04240	14,00	21,20	28,50	34,70	42,10	49,00	57,00	66,00	76,50	87,50	98,10	104,00	109,70

Приложение №4

Типовые сплавы сопротивления, изготавливаемые зарубежными фирмами. [л 26]

Сплав	Химический состав, %					Аналог
	Fe	Ni	Cr	Al	Други е	
Железохромоникелевые сплавы (нихромы)						
Хромель	-	90	10	-	-	
Хромель В	-	85	15	-	-	
Хромель А	-	80	20	-	-	Х20Н80 (ЭХН80)
Хромель D	10	65	25	-	-	
Сплав 1М	20	65	15	-	-	
Сплав В7М	17	60	15	-	7%Mo	
Сплав Е	17	50	33	-	-	

Железохромоалюминиевые сплавы						
Смит №10	55	-	37, 5	7,5	-	Нет аналога
Мегапир	65	-	30	5	-	Нет аналога
Канталь А-1	х	-	23	5	х	Х23Ю5Т
Канталь	67	-	25	5	3%Со	~Х25Ю5 (ЭИ340)
Канталь	72	-	20	5	3%Со	Нет аналога
Хромаль	75	-	20	3-5	-	Х17Ю5 (ЭИ341)
Фехраль	85	-	12	3-5	-	Х13Ю5 (ЭИ60)

Приложение №5

Сортамент для Х20Н80-(Н)

Проволока холоднотянутая

Ø 0,1-7,5 мм (для Х20Н80-Н)

Ø 0,4-7,5 мм (для Х20Н80)

Прокат сортовой горячекатаный:

в мотках Ø 6-12 мм

в прутках Ø 13-16 мм

Лента холоднокатаная сечением:

(0,1-3,2) x (6-250) мм длиной 10-40 метров

Лента плющенная сечением:

(0,1-1,0) x (0,5-5,0) мм

Сплав калиброванный Ø 8-10 мм (для Х20Н80-Н)

Приложение №6
Сталь и сплавы с высоким омическим сопротивлением для температур
выше 800°С.[лб]

Марка		ХИМ. СОСТАВ						Удельное сопрот., Ом'мм ² /м	Предел. рабочая темпер., °С	Опт. темпер., °С
по Гост	завод.	С	М п	Si	Cr	Ni	Al			
		не более								
Хромоникелевая сталь и сплавы (нихромы)										
X20H25	ЭХ 425	0,20	1,0	1,0	18-22	24-27	-	~1,0	1000	950
X15H60	ЭХН 60	0,15	1,5	1,2	15-18	55-61	-	1,1-1,15	1000	950
X20H80	ЭХН 80	0,15	1,5	0,5	20-23	Остат		1,05-1,17	1100	1050
Хромоалюминиевая сталь										
X17Ю5	ЭИ 341	0,12	0,7	1,2	16-19	≤ 0,6	4,0-6,5	1,2-1,3	1000	950
X25Ю5	ЭИ 340	0,12	0,7	1,2	23-27	≤ 0,6	4,0-6,5	1,3-1,4	1450	1300
ОХ17Ю5	ЭИ 318	0,06	0,7	0,6	16-19	≤ 0,6	4,0-6,5	1,2-1,3	1000	950
ОХ25Ю5	ЭИ 292	0,06	0,7	0,6	23-27	≤ 0,6	4,0-6,5	1,3-1,4	1400	1350

Приложение №7

ПРОВОД НАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ ("ПН")

Основные технические показатели и условия монтажа

Провод нагревательный ("ПН") предназначен для создания необходимых тепловых технологических режимов установок различного назначения.

Основные технологические показатели:

- 1. Омическое сопротивление в холодном состоянии 4,44–4,46 Ом/м;**
- 2. Диаметр нагревательной жилы из сплава Х20Н80 0,56 мм;**
- 3. Наружный диаметр ПН 2 мм;**
- 4. Изоляция – трехслойная окрутка стеклонитью и двойной "чулок" из стекло нити;**
- 5. Максимальная рабочая температура нагреваемого объекта 400°С;**
- 6. Максимальная удельная ваттная нагрузка на провод 150 Вт/м;**
- 7. Максимальное напряжение на единицу длины 26 В/м;**
- 8. Рекомендуемый закон регулирования объекта – ПИД.**

При возможности снижения установленной мощности технологических установок, желательно максимально уменьшить удельные ваттные нагрузки на провод путем уменьшения подаваемого на него напряжения. Это позволит значительно повысить надежность его работы и срок службы.