

4 Термообработка

4.1. Концептуальные модели нагрева

4.1.1 Инфракрасный нагрев

Инфракрасный (ИК) нагрев представляет собой процесс испускание электромагнитного излучения от поверхности ИК-ламп или излучателей. Тепловое излучение образуется тогда, когда тепловая энергия от движения заряженных частиц в пределах атомов преобразуется в электромагнитное излучение. Внутри печи нагрев излучением от ИК-ламп обеспечивает подачу тепла напрямую к предметам, без обогрева сначала окружающего воздуха. ИК-волны возбуждают молекулы из состава вещества (изделия), тем самым создавая тепло, которое при этом проходит, как правило, беспрепятственно через окружающую атмосферу. Другие вещества, такие как стекло, керамика и некоторые органические материалы, также являются проницаемыми для ИК-волн. Предметы, удерживаемые в указанных средах, способны, тем самым, нагреваться непосредственно ИК-волнами без прямого нагрева при этом среды, их окружающей.

Не весь нагрев в печах производится только лишь посредством прямого ИК-излучения. Лента и воздух внутри печи нагреваются посредством ИК-ламп. Боковые нагреватели (резистивные нагреватели, устанавливаемые по всей длине печи) также приносят тепло в печь. Обрабатываемые изделия также получают тепло от боковых нагревателей, конвейерной ленты и окружающего нагретого газа в камере за счет **теплопроводности**.

Степень прямого нагрева посредством ИК-излучения определяется тремя следующими факторами:

- 1) Уровень ИК-излучения, испускаемого от ламп нагрева.
- 2) Количество ИК-излучения, поглощаемого изделием.
- 3) Уровень бокового нагрева печи

4.2. Монтаж печи

Технологическое устройство камеры нагрева позволяет обеспечить быстрый нагрев и охлаждение. Стабильная температура величиной до 1000°C часто достигается менее чем за 20 минут. Нагрев излучением дает возможность быстро производить запуск и вносить изменения в профиль, а также стабилизировать систему.

Камеры нагрева состоят из внешней металлической оболочки, изготавливаемой из алюминия либо нержавеющей стали и футерованной слоем изоляции из огнеупорных керамических волокон (ОКВ). Секции нагрева с регулированием газовой среды способны пропускать технологический газ через указанную ОКВ-изоляцию.

4.2.1 Модули

Печь монтируется из ряда базовых модулей, которые суммарно образуют длину у данной печи.

Например:

Рисунок 3-8: Компоновка печи: на стр. 14 показана печь с 7-ю модулями

- Модуль 1 – Станция загрузки*
- Модуль 2 – Входная перегородка*
- Модуль 3 – Модуль 3-х зональной камеры нагрева*
- Модуль 4 – Переходной туннель*
- Модуль 5 – Модуль охлаждения с регулированием газовой среды*
- Модуль 6 – Выходная перегородка*
- Модуль 7 – Станция разгрузки*

Для некоторых областей применения требуется наличие более длинных секций охлаждения. Предусмотрена возможность добавления дополнительных модулей охлаждения с регулированием газовой среды, системы водоохлаждения, либо модуля принудительного воздушного охлаждения за выходной перегородкой.

Для еще какой-либо области применения может потребоваться более длинная секция нагрева, с добавлением для этого модуля 4-х зональной камеры нагрева.

Каждая камера нагрева печи монтируется из 30-ти дюймовых (76 см) модулей. В зависимости от требований той или иной области применения, соответствующей печи можно придать любой размер, включив в ее состав до 16-ти зон. Каждая печь выполняется по техническим условиям заказчика из стандартных проектных модулей, при этом компоновочное и общее проектное решение должны быть приняты заказчиком до начала изготовления печи.

4.2.2 Горловина

Горловиной печи определяется максимальная высота того или иного изделия, способность последнего попасть внутрь технологической секции. В зависимости от конфигурации, просвет горловины может варьироваться от 0,75 до 4 дюймов. Высота горловины оказывает значительное влияние на профиль термопроцесса, поскольку расход газа между камерами существенно возрастает при расширении горловины.

Внимание! Подача тех изделий через печь, размеры которых превышают просвет горловины, выражается в повреждении разделителей печных зон и потенциально способствует ухудшению эксплуатационных характеристик печи.

4.3. Конструкция камеры нагрева

4.3.1 Зоны

Камеры нагрева делятся на **зоны**, управляемые по отдельности. Каждый 30-ти дюймовый модуль камеры можно разделить на 1, 2, 3 либо 4 зоны. Если для работы печи требуется более 4-х зон, то к следует добавить дополнительные модули камеры нагрева. Зональная конфигурация печи зависит от типа технологического процесса, который будет применяться, являясь частью проектного технического задания для данной печи.

4.3.2 Камера инфракрасного нагрева

Указанная камера изолирована пористым материалом, поэтому если печь применяется для решения прикладных задач, связанных с регулированием газовой среды, то находящийся под давлением технологический газ, поступающий в **плenumные пространства** сверху и снизу, диффундирует через данную пористую изоляцию, попадая в зону технологического процесса. Газ поступает в больших объемах при низкой скорости потока. По мере диффузирования газа, он нагревается до средней температуры вещества в соответствующей зоне.

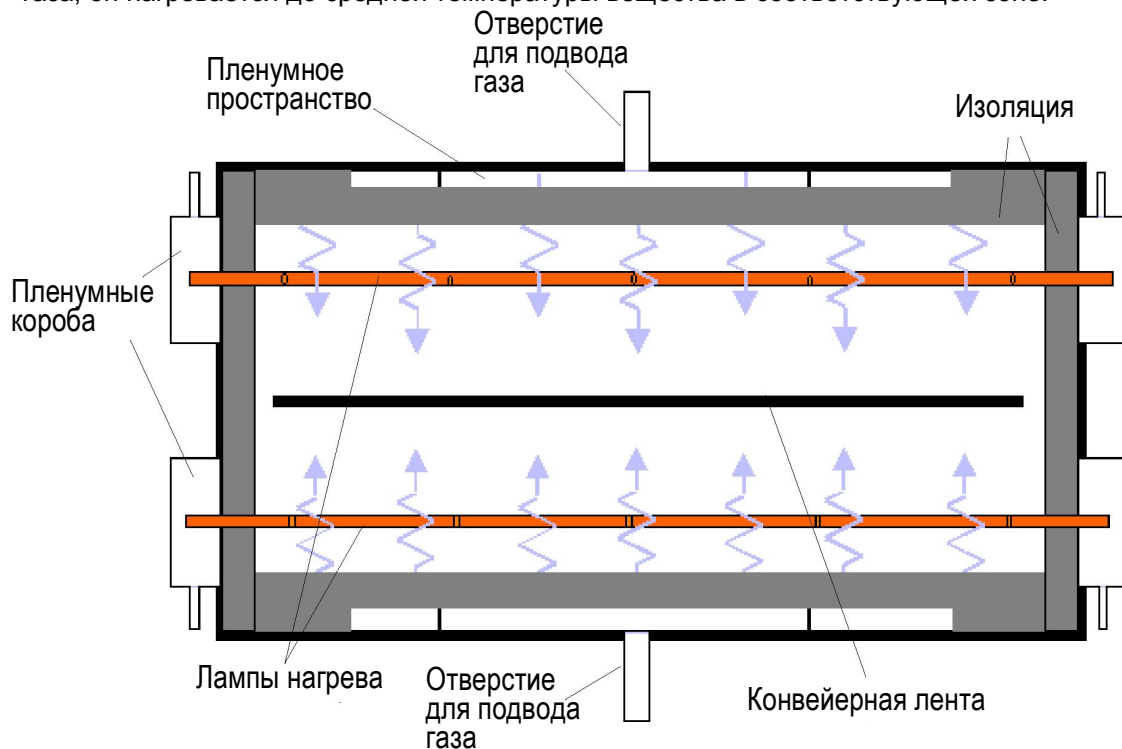


Рисунок 4-19: Конструкция камеры нагрева. Вид сбоку

Пленумные короба можно включать в спецификацию и добавлять в качестве элементов для опционального герметичного уплотнения, что позволяет обеспечить создание небольшого положительного давления по краям ламп нагрева, с организацией при этом очень эффективного регулирования газовой среды.

Надлежащая балансировка воздушного потока в очень большой степени способствует поддержанию чистоты в камере. При надлежащей балансировке, поток газа большого объема поступает сверху и снизу камеры. Выбросы от продукции выдуваются вдоль центральной линии камеры в сторону выхлопных отверстий, то есть не происходит их поднятия с последующим контактом верхних поверхностей, либо же падения с последующим загрязнением нижних поверхностей.

Поступающий через широкую зону переноса технологический газ обеспечивает быструю очистку при низком уровне загрязнения. Как правило, создание технологической газовой среды, содержащей менее 10 частей кислорода на 1000000 частей азота (<10 ч./млн O_2), достигается за время около 10-ти минут. Быстрая очистка также создает возможность для быстрого пополнения технологической среды и быстрого охлаждения.

4.3.3 Камера нагрева сушилки

Камера нагрева ИК-сушилки спроектирована по аналогии с камерой нагрева ИК-печи, за исключением того, что лампы нагрева устанавливаются только над лентой. Прочие характеристики остаются неизменными, за исключением того, что в низкотемпературных областях применения используется более тонкая изоляция.

4.4. Лампы нагрева

Внимание! При погрузке-разгрузке ламп нагрева печи требуется уделять особое внимание тому факту, что дотрагиваться до поверхности ламп – не допускается. Соль, оставшаяся после погрузки-разгрузки ламп, может вызывать образование горячих участков, способных ухудшить эксплуатационные характеристики ламп или явиться причиной неисправности.

Если имеются сомнения в чистоте лампы нагрева, то перед тем, как приступить к ее использованию, следует очистить лампу изопропиловым спиртом и протереть безворсовой тканью.

4.4.1 Размещение

Компоновка лам в каждой из зон определяется в момент закупки для достижения оптимального энергопотребления с учетом типа технологического процесса, указываемого владельцем-оператором. Лампы нагрева можно плотно скомпоновать вместе в тех местах, где требуется быстро обеспечить достижение высоких температур. В зонах выдержки, в которых не требуется быстрого достижения высоких температур, лампы обычно располагают вразброс.

4.4.2 Электромонтажная схема

Электромонтаж ламп нагрева производится по-разному, в зависимости от той или иной печи. Фактическая мощность для каждой из ламп нагрева будет зависеть от той или иной электромонтажной схемы и от напряжения переменного тока на входе. Лампы можно соединить параллельно, обеспечив максимально возможную мощность для каждой отдельной лампы, либо же последовательно, разделяя поток мощности между лампами. Электромонтаж большинства систем организуется по параллельно-последовательной схеме с целью оптимизации использования доступного напряжения и сведения к минимуму протяженности токовых линий. Более подробные сведения по электромонтажу ламп нагрева представлены на электромонтажной схеме в руководстве по эксплуатации соответствующей печи.

4.5. Регулирование газовой среды (опция □)

Регулирование газовой среды внутри печи обеспечивает изоляцию продукции от потенциальных негативных воздействий на нее в процессе нагрева камеры.

4.5.1 Общее регулирование расхода

Путем создания сбалансированного расхода в технологической секции, попадание потока окружающего воздуха в технологическую секцию – не допускается, а загрязнители любого рода в пределах камеры – удерживаются внутри печи.

Вниманию операторов: При внесении изменений в наборы параметров, расходомеры должны быть отрегулированы на соответствие тем уровням, которые обозначены в непосредственно применяемом наборе параметров.

4.5.2 Мониторы величины расхода

Для контроля за уровнем расхода газа внутри технологической секции устанавливаются устройства регулировки расхода различных типов. В зависимости от тех или иных заданных эксплуатационных требований, количество и тип мониторов расхода будет варьироваться.

Расходомеры



Рисунок 4-20: Расходомеры

Объемные расходомеры устанавливаются, по большей части, в печах с регулированием газовой среды. По причине проведения настройки вручную, оператору необходимо проверять параметры расходомеров при каждом внесении изменений в тот или иной набор параметров, поскольку для каждого термопроцесса величины времени пополнения или расхода могут быть разными. Когда печь применяется только для работы с одним технологическим процессом, настройки расходомеров допускаются, в целом, оставлять неизменными после однократной установки надлежащих параметров величины расхода.

4.6. Секция охлаждения (опция)

Модули охлаждения печи могут относиться как к типу модулей с **принудительным воздушным охлаждением**, так и к типу модулей с **регулированием газовой среды**. Интенсивность охлаждения задается инженером-технологом во избежание термического удара в отношении обрабатываемого изделия.

Преимуществом принудительного охлаждения является быстрое и равномерное охлаждение изделия. Воздух отводит тепло от всех поверхностей изделия, обеспечивая, тем самым, равномерное охлаждение. Данная система важна там, где неравномерное охлаждение может выразиться в термических ударах и повреждении изделий.

Охлаждение с регулированием газовой среды применяется в случае, если в камере охлаждения полностью не допустимо наличие кислорода, и иногда – если необходимо обеспечить менее быстрое охлаждение. Основная часть тепла медленно отводится за счет теплопроводности через конвейерную ленту.

4.6.1 Принудительное воздушное охлаждение

Принудительное воздушное охлаждение способно очень быстро довести до низкой температуры крупное либо движущееся с высокой скоростью изделие. Во всех модулях принудительного воздушного охлаждения применяются мощные вентиляторы с управлением посредством ручек, расположенных, как правило, на панели управления.

Модуль вентиляторного воздушного охлаждения СМВ30 либо СМВ45 (опция)

Длина данного модуля открытого воздушного охлаждения составляет 30 либо 45 дюймов (76 либо 114 см). Осевые поперечно-поточные вентиляторы, расположенные над лентой, принудительно гонят фильтрованный окружающий воздух в виде направленного вниз безвихревого потока по всей площади поверхности охлаждающего модуля. Такого рода безвихревой поток газа затем собирается и выводится из-под ленты через оборудованный крыльчаткой вытяжной воздухопровод. Верхние осевые поперечно-поточные вентиляторы и нижние воздуходувки с крыльчаткой регулируются вручную с панели управления.

4.6.2 Охлаждение регулируемой газовой среды

Там, где требуется регулирование газовой среды (как правило, в случае полной недопустимости присутствия кислорода вокруг охлаждаемого изделия), необходимы модули охлаждения с регулированием газовой среды.

Вышеуказанные камеры охлаждения могут работать как на водяном охлаждении, так и снабжаться большим количеством ребер и работать на воздушном охлаждении. Поток воды или воздуха, поступающий в камеру охлаждения, регулируется для оптимизации охлаждающих характеристик камеры.

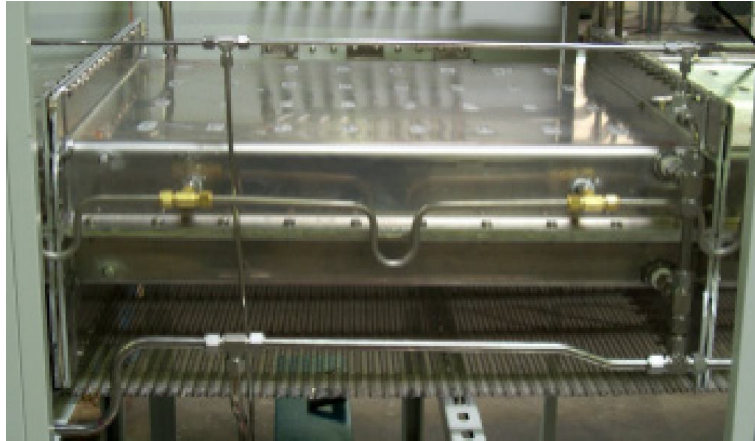
Водоохлаждение с водяной рубашкой (опция)

Рисунок 4-21: Модуль охлаждения с регулированием газовой среды и водяной рубашкой

Водоохлаждение используется для обеспечения высоких показателей теплопередачи по мере продвижения изделия через туннель. Длина модуля с водяным охлаждением составляет 20 дюймов, при этом сверху и снизу ленты данный модуль имеет водяную рубашку. Линии водопровода обматываются слоем изоляции, чтобы предотвратить образование конденсата. Температура воды у источника забора и на выходе непрерывно контролируется, также, как непрерывно контролируется и величина расхода воды на всем протяжении секции. Отдельный расходомер (0-400 куб. фут/час) контролирует расход газа посредством расположенного внутри секции воздушного шабера, и, следовательно, контролирует и интенсивность охлаждения.

Вода, подача которой обеспечивается владельцем печи, должна отвечать следующим требованиям:

Средняя величина расхода:	5 гал/мин
Среднее давление потока:	не более 50 фунт/кв. дюйм (изб.)
Максимальная температура на входе	30°C и ниже
Качество воды:	водопроводная

Внимание! Использование подаваемой воды, свойства которой отличаются от рекомендуемых, может привести к ухудшению эксплуатационных характеристик печи и к ужесточению требований к техобслуживанию, вплоть до необходимости в замене компонентов системы.

Контроль за расходом воды производится расходомерами, расположенными рядом с камерой охлаждения. Регулируемый клапан водяного термостата, расположенный в основании корпуса, следует настроить на работу в условиях давления (фунт/кв. дюйм (изб.)), указанного на монтажной схеме либо на чертеже аппаратуры в руководстве для владельца.

Туннель охлаждения с регулированием газовой среды (опция)

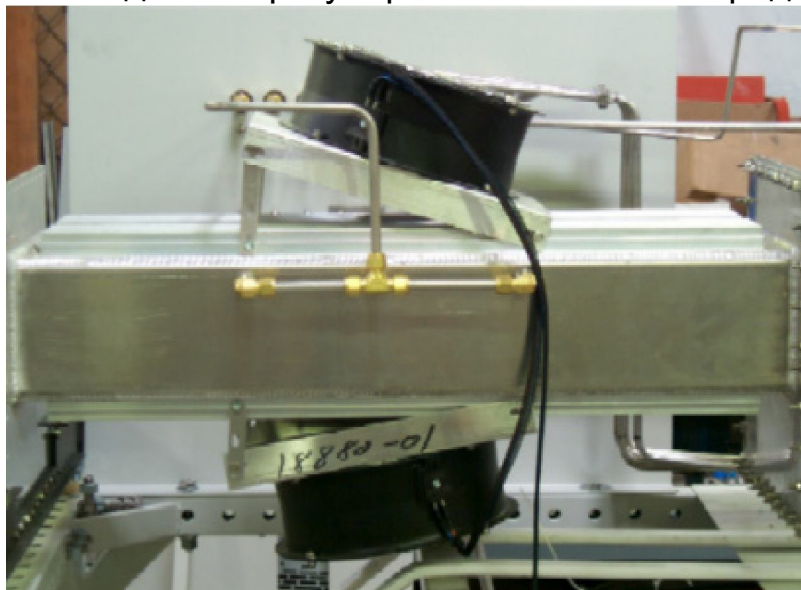


Рисунок 4-22: Модуль регулирования газовой среды с воздушным охлаждением

Алюминиевые радиаторы с большим количеством ребер присоединяются снаружи к модулю охлаждения, который не имеет изоляции для еще большего ускорения теплоотдачи. Подвесные перегородки с затворами и пневмоскребки эффективно изолируют высокотемпературную секцию печи от секции охлаждения с регулированием газовой среды. Регулируемые вентиляторы направляют воздух мимо радиатора для отвода выделяемого тепла из камеры. Воздушные шаберы большого объема, расположенные внутри технологической секции с регулированием газовой среды, обдувают внутренние детали технологическим газом для ускорения охлаждения.

4.7. Опциональное оборудование камеры нагрева

4.7.1 Воздушный фильтр (опция)



Рисунок 4-23: Изображение фильтра предварительной очистки / регулятора

Данное опциональное оборудование включает в свой состав фильтр, регулятор и воздухоуловитель, которые служат для очистки и контроля за поступающим технологическим воздухом. В состав блока фильтра предварительной очистки / регулятора входят: фильтрующий элемент 0,5 мкм со включениями волокон, ручное дренажное устройство, манометр и регулятор. Фильтр конечной очистки представляет собой коалесцирующий фильтр 0,5 мкм, служащий для удаления воды / масла и снабженный функцией автоматического дренирования. Указанное комбинированное устройство сокращает загрязнение маслом ниже в технологической линии до величины не более 0,5 ч./млн на конкретный вес.

4.7.2 Система очистки воздуха (опция □)

Данное опциональное оборудование включает в свой состав воздушную сушилку и фильтрующую систему, которые удаляют такие загрязнители, как влага, масло и твердые частицы из воздуха или азота. В системе попеременно задействуются два больших, размером около 6-ти футов (1,83 м), бака хранения, таким образом, что в одном из баков постоянно происходит пополнение газа, а из другого газ постоянно перекачивается. При падении давления в питающем баке, оба бака затем переходят в противоположный режим работы, приступая к перекачке либо к пополнению, соответственно.



Сдвоенные баки со сжатым воздухом

Рисунок 4-24: Типовые баки очистки воздуха

Эксплуатационные характеристики системы очистки воздуха	
Твердые частицы	Удаляет твердые частицы размером > 1 мкм
Масло	Снижает содержание масла и углеводородов до уровня менее 1 ч./млн
Удаление воды	
Стандартное:	высушивает 35 станд. куб. фут/мин до точки росы -73°C (-100°F)
Высокопроизводительное:	высушивает 56 станд. куб. фут/мин до точки росы -73°C (-100°F)

ПРИМЕЧАНИЕ: Работа с величинами расхода выше заданных приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик.

4.7.3 Боковой нагрев

Боковые нагреватели допускается добавлять в состав оборудования печи для улучшения контроля за однородностью температуры вдоль ширины ленты внутри камеры нагрева. **В условиях строгих эксплуатационных требований, особенно в печах шириной свыше 14 дюймов, надлежащим образом отрегулированные боковые нагреватели способствуют более эффективному использованию ширины печи, поскольку они делают возможным применение более плоского температурного профиля по всей ширине печи.**

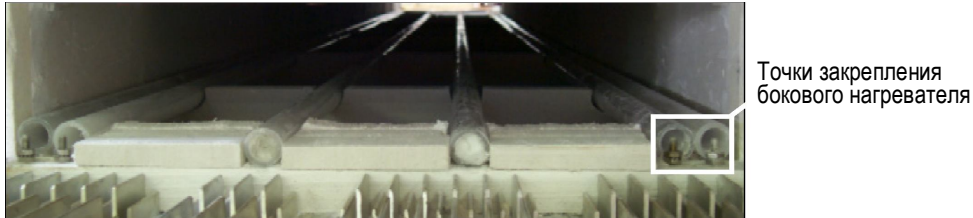


Рисунок 4-25: Боковые нагреватели

Точно настроенные никель-хромовые провода сопротивления, проходящие через кварцевые трубки внутри секции нагрева, увеличивают температуру по краям конвейерной ленты. Левые и правые боковые нагреватели настраиваются оператором по-отдельности с целью сокращения дельта-температуры печи (разности температур), а также для тонкой настройки эксплуатационных параметров печи. Боковые нагреватели относятся к категории устройств тонкой настройки, используемых одновременно с подачей потока газа через стенки камеры. Боковые нагреватели не спроектированы для того, чтобы реагировать на изменения температуры в камере и, следовательно, не подлежат регулировке, направленной на обеспечение доминирования соответствующего температурного профиля в любой из зон.

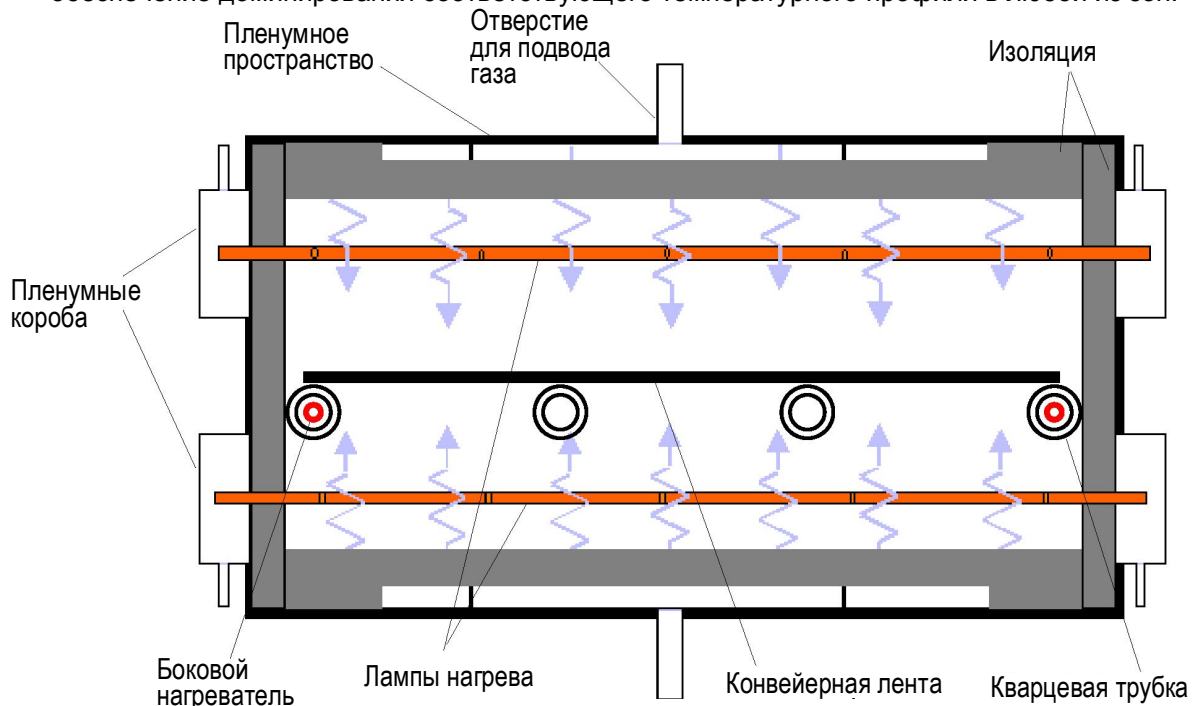


Рисунок 4-26: Вид печи в разрезе с отмеченными боковыми нагревателями

4.7.4 Элементный монитор (опция)

Специальная сеть применяется для непрерывного контроля за цепями каждой из ламп нагрева. Обратный электрический ток от ламп проходит через индуктивную цепь, которая передает сигнал в тот момент, когда ток обрывается. Сигнал передается в контроллер ПЛК печи, который, в свою очередь, выдает затем сигнал тревоги. Лампа спроектирована так, чтобы ее неисправность не приводила к немедленному прекращению технологического процесса. До тех пор, пока температура в зоне падает без выхода за пределы срабатывания тревоги, установленные в наборе параметров, печь будет продолжать работать. Оператор, тем не менее, получает предупреждение о неисправности элемента (лампы).

Окно элементного монитора представляет собой дополнительное средство программного обеспечения по управлению печью, обеспечивающее предоставление данных о состоянии активного элемента. Интерфейс ПО элементного монитора не доступен на операторском уровне. Подробное описание приведено в разделе 7.3.2 на стр. 70.

Примечание: Цепь элементного монитора не работает при уровнях мощности ниже 10%, поскольку это меньше нижнего порогового значения для цепи датчика. Поэтому все элементы, работающие в указанном диапазоне, в отчетности получают отметку «ОК», вне зависимости от их состояния.

4.7.5 Герметичное уплотнение (опция)

Такая опция, как герметичное уплотнение, обеспечивает поступление потока газа при положительном давлении ко внешней стороне торцов ламп каждой камеры, чтобы ненужный отходящий технологический газ не накапливался вокруг ламп или внутри технологической секции. Пленумный короб окружает торцы ламп и выполняет роль воздуховода для газа регулируемой газовой среды на данном участке. Дополнительным преимуществом данной опции является защита торцов ламп от перегрева. За счет прохождения потока технологического газа вокруг торцов ламп нагрева обеспечивается возможность отвода тепла от каждой из ламп.

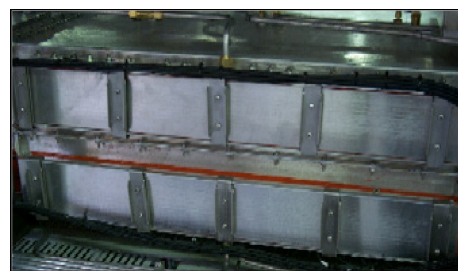


Рисунок 4-27: Пленумный короб

4.7.6 Монитор перегрева (опция)

Данное опциональное оборудование выполняет роль автономного «сторожевого» устройства слежения за температурой в зоне, проводя непрерывный контроль каждой зоны и реагируя на нарушения заданных граничных условий. Вспомогательная термопара, устанавливаемая в каждой из зон, является резервным средством непрерывного контроля и управления датчиком температуры. В случае обнаружения состояния перегрева, система запрограммирована на автоматический останов ламп нагрева даже в случае неисправности сразу нескольких компонентов. Инженер-технолог должен выбрать максимальную / минимальную температуру. Система выполнит останов нагревательных элементов, если датчики обнаружат, что температура вышла за пределы заданного диапазона. Заводским значением по умолчанию для данной системы является выдача предупредительного сигнала при перегреве в размере 50°C сверх максимально допустимой номинальной температуры печи.

4.7.7 Анализатор кислорода (опция □)

Анализаторы кислорода устанавливаются на регулярной основе в печи с функцией регулирования газовой среды для облегчения непрерывного контроля уровней O_2 в различных точках печи. Устанавливаются четыре датчика: один – для непрерывного контроля поступающего исходного газа, и три – для работы в заданных зонах. Уровни O_2 отображаются на экране технологического процесса в виде частей на миллион (ч./млн).

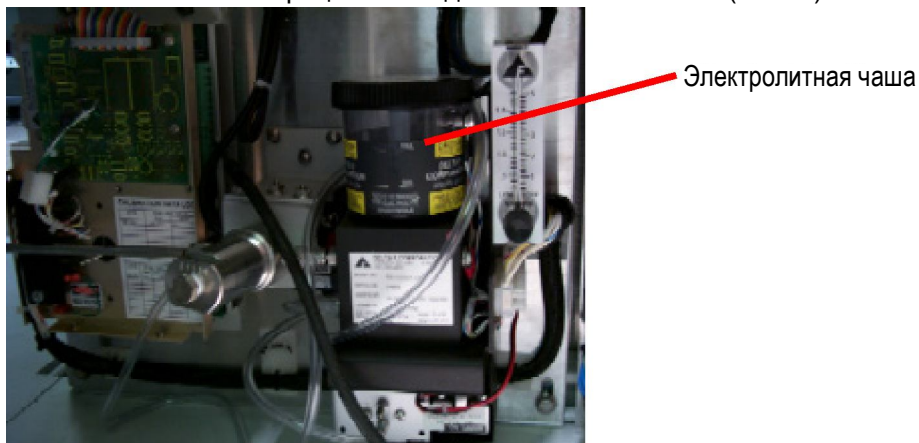


Рисунок 4-28: Анализатор кислорода

Управление средствами ПО (анализатор кислорода)

Для выбора пробоотборного отверстия:

Нажмите на кнопку **O2 / MA Sampling** на технологическом экране.

Нажмите на кнопку **O2 Sampling Port** на экране набора параметров.

При этом появится следующее окно.



Рисунок 4-29: Анализатор кислорода

Нажмите на соответствующую селекторную кнопку для просмотра содержания кислорода в различных точках камеры печи. Если выбрана селекторная кнопка, относящаяся к источнику, то анализатор осуществит отбор пробы поступающего газа.

Примечание: При переходе от операций с одним пробоотборным отверстием к операциям с другим, следует выждать несколько секунд, что необходимо для очистки линии пробоотбора и снятия точных показаний. Кроме того, после запуска системы, линии анализатора кислорода должны быть очищены от остаточного воздуха, находящегося в системе, до начала перехода к операции подключения газа. Сбор первичных показаний может занять до одной минуты, однако повторно этого не произойдет до тех пор, пока не будет прекращена подача кислорода.

4.7.8 Анализатор влаги (опция □)



Рисунок 4-30: Анализатор влаги

Анализатор влаги обеспечивает снятие точных показаний по влажности технологического газа в четырех разных точках его потока. Как правило, отбор проб осуществляется в источнике и трех линиях подачи технологического газа в камеру нагрева.

Примечание: Насыщение анализатора влаги может выражаться в выдаче им ложных показаний до тех пор, пока датчик не станет сухим. Процесс осушки может занимать по времени до 45-ти минут. Требуется не допускать образования высоких уровней влажности в линиях подачи технологического воздуха.