

Система управления нагревателями UniHeater

В системах автоматизации физических измерений на исследовательских установках часто возникают задачи, связанные с нагревом физических объектов по заданному графику или поддержанием заданной температуры различных объектов. Здесь описывается система регулирования температуры, успешно применяемая в ряде автоматизированных систем:

- в отделениях 4, 5, 19 ВНИИЭФ г.Саров
- в ЛЯП, ЛЯР ОИЯИ г.Дубна
- в проекте RHOS, CERN, Швейцария

Как правило:

- ✓ Нагрев объектов производится при помощи электрических нагревателей (также именуемых для краткости **печами**) с мощностью от 100 до 2500 Вт, питаемых от сети переменного тока (~220В).
- ✓ Температура нагреваемого объекта и нагревателя контролируется при помощи резистивного датчика или термопары, подключенной к одному из измерительных каналов.
- ✓ Управление нагревателем производится с помощью твердотельного реле или с помощью специально разработанного для этих целей тиристорного регулятора мощности. Твердотельные реле работают в ключевом режиме и осуществляют переключение цепи при нулевом токе, что обеспечивает высокое КПД и низкий уровень электрических помех.
- ✓ На случай пробоя твердотельного реле предусматривается дублирование управления с помощью блокирующего электромагнитного контактного реле, последовательно включенного в цепь нагрузки. Обычно это нормально-разомкнутое реле, которое в рабочем режиме постоянно включено, чтобы минимизировать износ контактов, однако по сигналу блокировки или в случае потери управления (по сторожевому таймеру) принудительно отключает нагрев. Это обеспечивает безопасность системы в случае пробоя твердотельного реле или сбоя компьютера.
- ✓ В газовых системах канал нагревателя может быть также связан с датчиком давления, если давление зависит от нагрева печи. Датчик давления участвует в выработке сигнала блокировки.
- ✓ Регистрация и управление делается при помощи промышленных модулей серии 7000 или, реже, при помощи промышленных измерительных карт (например, PCL-818, DIO-144).
- ✓ Автоматизированные системы работают под управлением прикладных программ, разработанных в инструментальном пакете **CRW-DAQ**.

В качестве метода для регулирования мощности печей выбран метод **широотно-импульсной модуляции** с периодом 2...5 секунд. В этом методе регулирования нагреватель работает в ключевом режиме и управляется логическим сигналом “включить/выключить”, который представляет из себя меандр с постоянным периодом и переменной скважностью (или точнее коэффициентом заполнения). В качестве параметра для контроля мощности принимается **QX** - коэффициент заполнения меандра в процентах, т.е. отношение (в процентах) длительности состояния “включен” к длительности периода модуляции меандра (Рисунок 1). Другими словами, параметр **QX** определяет среднюю мощность (усредненную за период меандра) по отношению к максимальной (постоянно включенный нагреватель).

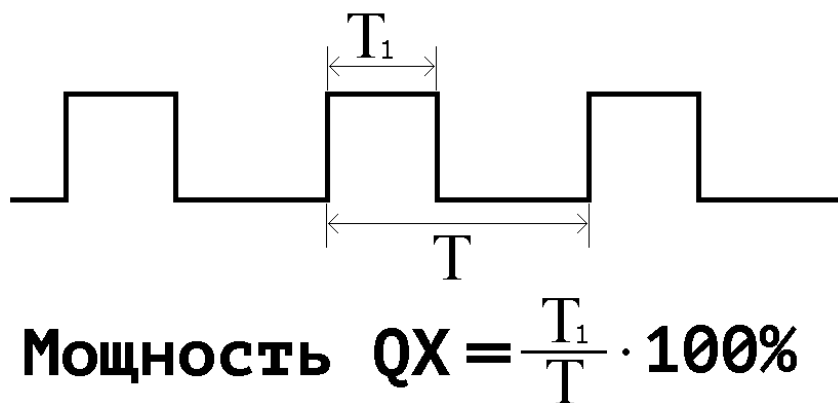


Рисунок 1

Допустимость выбранного метода регулирования связана с тем, что объекты с указанными мощностями достаточно массивны и поэтому обладают большой инерцией. Характерное время реакции при нагреве составляет для этих объектов минуты или часы, что на 1-2 порядка превышает период модуляции. Поэтому все колебания температуры, связанные с меандром, эффективно интегрируются (сглаживаются) и на наблюдаемой температуре объекта практически не проявляются. В случае малоинерционных нагреваемых объектов, когда период меандра сопоставим с временем реакции нагреваемого объекта, этот метод становится недопустимым из-за того, что меандр будет проявляться в виде колебаний температуры объекта.

Другое условие применимости данной системы – допустимость кратковременной (несколько секунд) подачи на нагревательный элемент (например, спираль) полной мощности (~220 В). Этот факт необходимо учитывать при создании нагревательных элементов.

Система управления нагревом имеет такие преимущества:

- ✓ Малое потребление по мощности и высокий КПД регулятора мощности. Это связано с тем, что управляющая электроника работает в ключевом режиме.
- ✓ Небольшое число кабелей. Для управления нагревателями при применении измерительных модулей серии 7000 для связи с управляющим компьютером требуется 2-х проводная линия RS485, а все остальные кабельные работы имеют локальный характер (вблизи размещения нагревателей).
- ✓ Возможность дистанционного управления большим числом нагревателей.
- ✓ Возможность круглосуточного поддержания температуры произвольно длительное время, не требуя постоянного присутствия персонала.
- ✓ Возможность задания произвольного графика нагрева печей.
- ✓ Поддержание температуры с точностью около 1 градуса в широком интервале температур.
- ✓ Сравнительно невысокая стоимость в расчете на канал регулирования. Это связано с тем, что для управления можно использовать дешевые цифровые каналы, например, на один 16-разрядный цифровой модуль можно подключить 8 или 16 нагревателей (в зависимости от того, используется ли релейная блокировка для обеспечения отказоустойчивости системы).

- ✓ Регулятор мощности не создает помех по сети, так как переключение твердотельного реле идет при нулевом токе сети 50 Гц.
- ✓ Применение программных блокировок в сочетании с модулями серии 7000 со встроенным сторожевым таймером позволяют создавать высоконадежные системы регулирования для опасных установок.

Особое внимание следует уделить надёжности и аварийной защищенности нагревательных систем, предназначенных для опасных работ. Эти системы ни в коем случае не должны допускать перегрев объектов выше критического уровня, а в ряде случаев также блокировать нагреватель по превышению давления, уровня радиации и т.д.

Высоконадежные системы должны создаваться на модулях 7000 серии и содержать релейную блокировку. Предусмотрены следующие степени защиты:

- ✓ Система защищена от сбоя или “зависания” компьютера, так как модули 7000 серии имеют сторожевой таймер, который при прекращении поступления команд от компьютера автоматически выключает нагреватель и включает релейную блокировку.
- ✓ Система защищена от разрыва связи компьютера и измерительных модулей программно (со стороны компьютера) и аппаратно (за счет сторожевого таймера в модулях серии 7000).
- ✓ Система защищена от пробоя твердотельных реле за счет наличия дублирующей релейной блокировки.
- ✓ Предусмотрена блокировка по превышению температуры, давления и по сторожу (который срабатывает при прекращении поступления данных от измерительных модулей). Возможна и более сложная блокировка внешним сигналом (например, по датчикам радиации).

Таким образом, система может (при соблюдении ряда условий) эксплуатироваться в установках, требующих повышенной надежности и аварийной защиты.

Нагревательные системы работают под управлением программ, выполненных в пакете **CRW-DAQ**. Здесь описаны интерфейсные элементы, через которые пользователь управляет нагревателями и настройкой блокировок. Для этой цели существует две мнемосхемы: “КОНТРОЛЬ” и “НАСТРОЙКА”.

КОНТРОЛЬ НАГРЕВАТЕЛЕЙ UNINEATER

Эта мнемосхема содержит основной интерфейс для управления нагревателями установки. Назначение мнемосхемы (Рисунок 2) – визуальное представление состояния нагревателей и их основных параметров, а также доступ к функциям:

- Включения/выключения нагрева,
- Задания требуемой температуры стабилизации,
- Задания номера термопары, по которой контролируется температура,
- Вызова мнемосхемы “НАСТРОЙКА” для детальной настройки параметров стабилизации и блокировки.

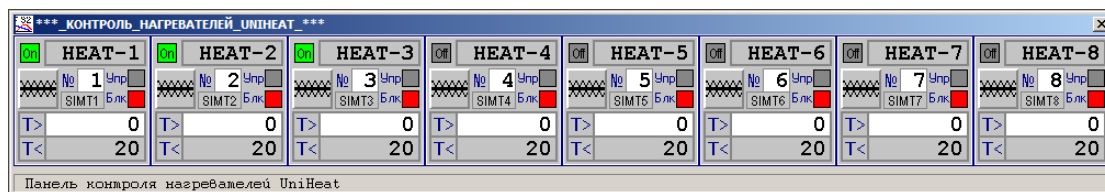








Рисунок 2

Мнемосхема дает возможность управления 8, 16, 24 или 32 нагревателями (в зависимости от конфигурации). На данном рисунке для примера изображена мнемосхема панели управления на 8 нагревателей. Каждый нагреватель имеет индивидуальные параметры. Далее будет говориться просто о нагревателе (или печи), опуская пояснение "с данным номером".

Для включения нагревателя надо выполнить следующие действия:

- Задать требуемую температуру стабилизации нагревателя в поле **T>**. Система будет стремиться удерживать температуру около температуры стабилизации (с небольшими колебаниями).
- Проверить и при необходимости изменить номер термопары, используемой для контроля температуры нагревателя в поле **T_№**. Текущая температура контрольного датчика нагревателя отображается в поле **T<**.
- Проверить параметры регулятора мощности и блокировки нажатием на кнопку вызова настройки нагревателей **On**, **Off** или **HEAT-1**. Подробнее смотри тему "НАСТРОЙКА".
- Нажать кнопку включения нагревателя . Кнопка "утапливается" .

При работе нагревателя действуют такие соглашения:

- ✓ Красный цвет говорит о включении нагрева при температуре ниже температуры стабилизации .
- ✓ При превышении температуры стабилизации красный цвет гаснет и нагрев выключается .
- ✓ В нормальном состоянии индикатор нагрева то гаснет, то загорается, так как текущая температура колеблется вокруг температуры стабилизации.
- ✓ При срабатывании блокировки (по температуре, давлению или внешнему сигналу) изображение нагревателя перечеркивается красным перекрестием  или  в зависимости от того – включен нагреватель или нет, а также индикатор **Блк.**  становится красным.
- ✓ Красный цвет индикатора **Упр.**  показывает непосредственное включение нагрева (твердотельного реле) в зависимости от импульсов управляющего меандра. Мигание индикатора говорит о нормальной работе управления.

Для выключения нагревателя надо:

- Нажать "утопленную" кнопку включения нагревателя. При этом кнопка возвращается в исходное состояние .

НАСТРОЙКА НАГРЕВАТЕЛЕЙ UNINEATER

Мнемосхема настройки нагревателей (Рисунок 3) служит для более детальной настройки параметров данного нагревателя. В отличие от мнемосхемы контроля нагревателей, на которой отображается состояние сразу всех печей и которая в нормальном состоянии обычно отображается на экране, мнемосхема настройки нагревателей показывает состояние редко редактируемых параметров данного (выбранного) нагревателя, на котором нажата кнопка **On**, **Off** или **HEAT-1**. В нормальном состоянии эта мнемосхема скрыта и не видна на экране. Она появляется только по вызову из диалога контроля нагревателей.

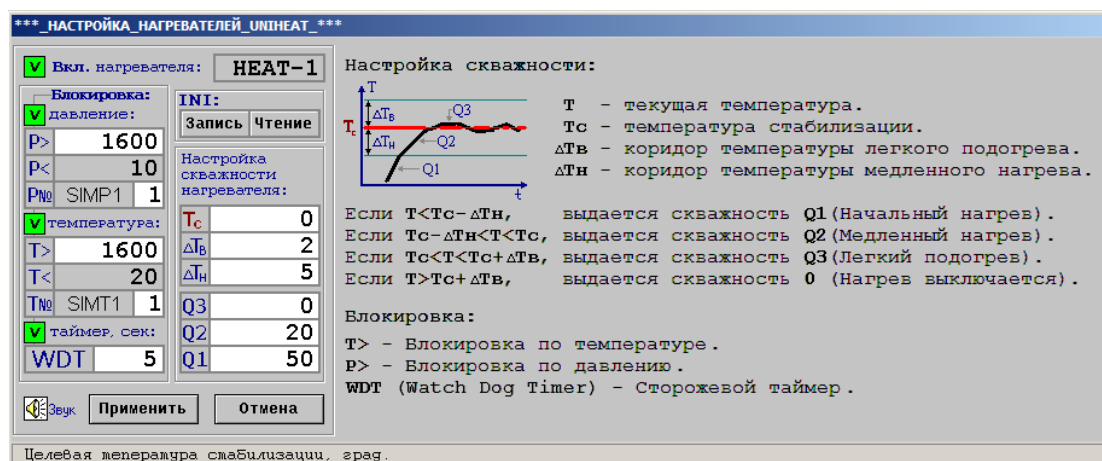





Рисунок 3

В первую очередь следует учесть, что все изменения параметров в мнемосхеме кроме кнопки **Звук** возымеют действие только после нажатия кнопки подтверждения **Применить**. При этом раздается звук щелчка и мнемосхема закрывается. Для её вызова снова надо нажать кнопку **On**, **Off** или **HEAT-1** в мнемосхеме **КОНТРОЛЬ**.

В мнемосхеме имеются числовые поля ввода и кнопки с фиксацией. При нажатии левой кнопкой мыши на активную кнопку **✓** она переводится в пассивное состояние **✗**, в котором остается до следующего нажатия. Точно так же пассивная кнопка **✗**, нажатием мыши переводится в активное состояние **✓**.

Кнопкой **✓ Вкл.** можно перевести печь в **пассивное** или **активное** состояние. В пассивном состоянии печь выключена, не реагирует ни на какие сигналы и нажатия кроме кнопки вызова настройки печи и кнопки активизации печи. Пассивный режим печи был сделан для систем, в которых число печей не равно 8, 16, 24 или 32 – “лишние” печи просто находятся в пассивном состоянии. Кроме того, нагреватели могут быть переведены в пассивное состояние для предотвращения случайного включения при опасных работах.

Кнопкой “ Звук” можно включать и выключать звуковые сообщения о блокировке и обрыве линии. Состояние  или  означает, что звук выключен или включен. В отличие от других кнопок, выключение звука не требует подтверждения.

Настройка регулятора мощности.

Для хорошей работы системы стабилизации нужна настройка параметров регулятора мощности. В данной системе управление температурой нагревателей идет за счет широтно-импульсной модуляции с переменной мощностью. Мощность меняется от 0 до 100 процентов и означает просто долю (по времени) логического состояния "включен" за период модуляции меандра. Например, мощность 20% при периоде 5 секунд означает, что нагреватель 1 секунду включен, а 4 секунды отключен. Можно также сказать, что мощность **QX** - это мощность в процентах от максимальной (если принять за 100% мощность постоянно включенной печи). В окне надо задать поля $\Delta T_{\text{верх}}$, $\Delta T_{\text{нижн}}$, **Q1**, **Q2**, **Q3**.

Алгоритм работы регулятора мощности QX:

Пусть

T - текущая температура.

T_c - температура стабилизации.

$\Delta T_{\text{верх}}$ - верхний порог температуры.

$\Delta T_{\text{нижн}}$ - нижний порог температуры.

- ✓ Если $T < T_c - \Delta T_{\text{нижн}}$, то выдается мощность **Q1**. Это сделано для быстрого "грубого" выхода к температуре стабилизации.
- ✓ Если $T_c - \Delta T_{\text{нижн}} < T < T_c$, то выдается мощность **Q2**. Это сделано для более медленного подогрева вблизи температуры стабилизации для ослабления амплитуды "качания" вокруг температуры стабилизации.
- ✓ Если $T_c < T < T_c + \Delta T_{\text{верх}}$, то выдается мощность **Q3**. Это сделано для легкого подогрева вблизи температуры стабилизации для ослабления амплитуды "качания" вокруг температуры стабилизации.
- ✓ Если $T > T_c + \Delta T_{\text{верх}}$, то выдается мощность **0** (нагрев выключается).

Как выбрать параметры ?

Для каждой (постоянной) мощности **Q_c** максимальный нагрев печи будет происходить до температуры **T_c = T(Q_c)**. Соответственно, каждой температуре стабилизации **T_c** соответствует мощность **Q_c(T_c)**, при которой температура за длительное время асимптотически приближается к заданной **T_c**.

Так было бы при стационарных условиях:

- ✓ постоянное напряжение в сети
- ✓ постоянная температура окружающей среды
- ✓ постоянные условия теплоотвода

Но так как эти условия непостоянны, температура при постоянной мощности **Q** будет колебаться около значения **T(Q)**.

Значения **Q1, Q2, Q3** для температуры стабилизации **T_c** должны удовлетворять условиям:




$$0 \leq Q3 < Q_c(T_c) < Q2 \leq Q1 \leq 100 \%$$

Другими словами, **Q3** заведомо должно не хватать для удержания температуры выше **T_c**, а **Q2** заведомо должна нагревать выше **T_c**. Надо также учитывать, что:



- ✓ Приближение **Q2, Q3** к **Q_c(T_c)** уменьшает амплитуду колебаний вокруг **T_c**, но ухудшает устойчивость по отношению к изменению внешних параметров (напряжения сети или условий охлаждения).
- ✓ Повышение **Q1** ведет к ускорению предварительного нагрева, но также может вызвать перегрев печи за счет её инерционности. Для устранения перегрева вводится **ΔT_{нижн}**, то есть не достигая температуры стабилизации, заранее снижаем мощность.
- ✓ Для надежной защиты от перегрева вводится **ΔT_{верх}**, при превышении которого печь выключается совсем (**Q=0**).

Настройка блокировки.


В программе предусмотрена блокировка нагревателей:

1. По превышению давления. Эта блокировка срабатывает, если значение давления (отображаемое в поле "**P<**") по датчику, номер которого вводится в поле "**P_№**" превышает критическое значение, вводимое в поле "**P>**". Блокировка по давлению может быть отключена кнопкой  напротив поля "**P>**".
2. По превышении времени ожидания сторожа **WDT** (WatchDogTimer). Эта блокировка срабатывает, если в течение времени, вводимого в поле "**WDT**" отсутствуют данные от датчиков температуры или давления. Такое возможно, например, при разрыве связи RS-485 между модулями серии 7000 и компьютером. Блокировка по таймеру может быть отключена кнопкой  напротив поля "**WDT**".
3. По превышению температуры. Эта блокировка срабатывает, если значение температуры (отображаемое в поле "**T<**" мнемосхемы "КОНТРОЛЬ ") по датчику, номер которого вводится в поле "**Терм-ра**" превышает критическое значение, вводимое в поле "**T>**". Блокировка по температуре может быть отключена кнопкой  напротив поля "**T>**".
4. По внешней блокировке. Эта блокировка зависит от конкретной измерительной системы и может включать более сложную логику блокировок. Внешняя блокировка должна целиком управляться другим программным модулем и здесь не описывается.

Таким образом, надо:

1. Ввести давление блокировки в поле "**P>**".
 2. Ввести номер датчика давления блокировки в поле "**P_№**".
 3. Установить время сторожевого таймера (в секундах) в поле "**WDT**".
 4. Ввести температуру блокировки в поле "**T>**".
 5. Кнопками справа от блокировок давления, таймера и температуры выбрать используемые ( - блокировка разрешена,  - блокировка запрещена).
- При возникновении блокировки происходит следующее:
1. Сбрасывается в 0 сигнал управления нагревателя (твердотельное реле отключается).
 2. Выдается сигнал блокировки, который используется для включения релейной блокировки (если она имеется).

3. Каждые 30 секунд выдается звуковое сообщение о блокировке для привлечения внимания оператора.

4. Печь отображается в заблокированном состоянии .

После устранения причин, вызвавших блокировку, печь возвращается в нормальный режим работы.

Принципиальная схема канала нагревателя UniHeater:

На рисунке 4 изображена принципиальная схема канала нагрева **UniHeater**. Она включает твердотельное реле, включаемое по сигналу меандра **GATE** и нормально-разомкнутое электромагнитное реле, включаемое по инверсному сигналу блокировки **BLK**. Твердотельное реле обеспечивает регулирование температуры, а реле блокировки — безопасность работы в случае пробоя твердотельного реле, блокировки по превышению температуры или давления, по внешней блокировке или по сторожевому таймеру. Регулирование осуществляется по датчику температуры **T**, а блокировка — по датчиками температуры **T**, давления **P** и внешней блокировки **E**.

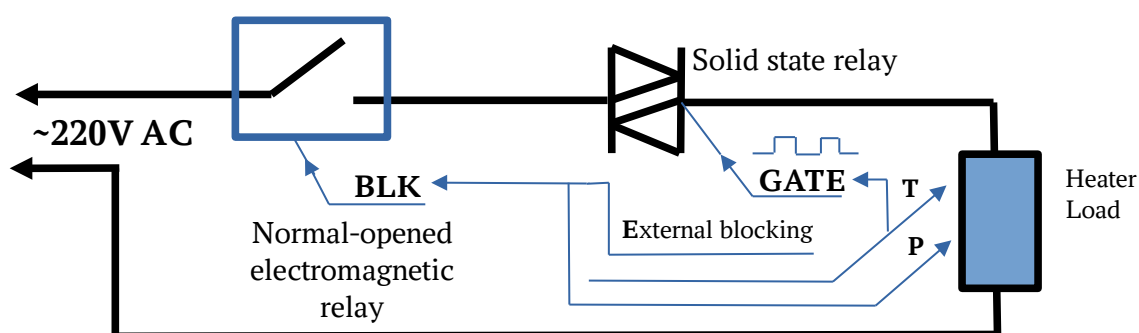


Рисунок 4