

# Специализированный контроллер для управления термической обработкой изделий с алгоритмом «разогрев – выдержка – охлаждение»



Специализированный контроллер МЕТАКОН-6305 фирмы «КонтрАвт» максимально учитывает особенности управления температурно-временными режимами при термообработке изделий по алгоритму «разогрев – выдержка – охлаждение».

НПФ «КонтрАвт», г. Нижний Новгород

## Описание процессов

Среди огромного множества технологических процессов термической обработки материалов (изделий) можно выделить два, которые особенно распространены. Это процесс термической выдержки материала (изделия) при определенной температуре заданное время, а также его разновидность – процесс разогрева, выдержки и охлаждения изделия вместе с термическим оборудованием. Графики температуры, характерные для этих двух процессов, показаны на рис. 1 и 2. Термообработка в соответствии с графиком на рис. 1 часто применяется к металлическим изделиям в шахтных и камерных печах, при сушке материалов в камерах сушки, при

обработке порошковых покрытий в камерах полимеризации, в прессах резинотехнических изделий и т.п. Ярким примером процесса, протекающего по графику, отраженному на рис. 2, может служить термообработка металлов в вакуумных печах.

Своеобразие ситуации заключается в том, что, несмотря на очевидные особенности этих процессов, как в большинстве случаев старое, так часто и современное электротермическое оборудование содержит в своем составе системы управления, которые не учитывают этих особенностей.

Рассмотрим типичную камерную печь, предназначенную для термической обработки металлических изделий. Система управления построена

на регуляторе, который обеспечивает непрерывное поддержание температуры (будем далее называть его «обычным регулятором»). График температуры в отсутствие загрузок изделий при использовании позиционного и ПИД-регуляторов показан на рис. 3. Как видим, график ПИД-регулятора после выхода на режим после разогрева представляет собой ровную линию (для позиционного регулятора наблюдаются колебания температуры). Кажется бы, регуляторы выполняют свою задачу идеально. Видимо, исходя из подобных соображений, производители печей их и применяют.

Однако посмотрим, как реально должен протекать процесс термической обработки в такой

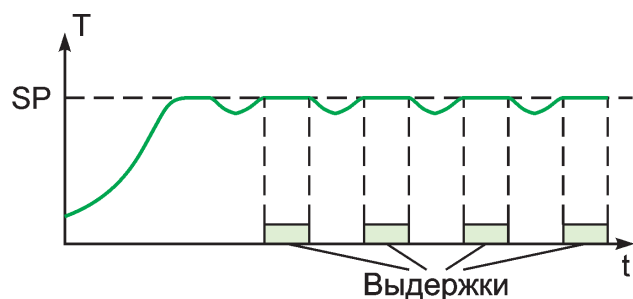


Рис. 1. График температуры непрерывного процесса при многократной загрузке

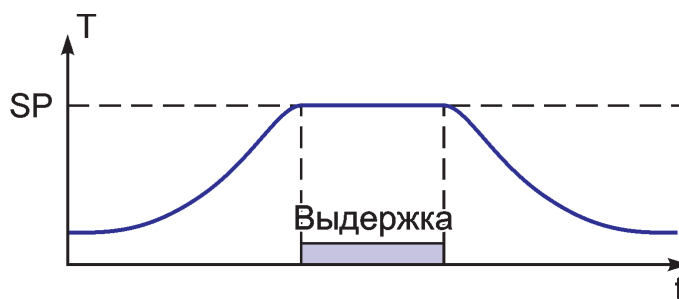


Рис. 2. График температуры конечного процесса при однократной загрузке

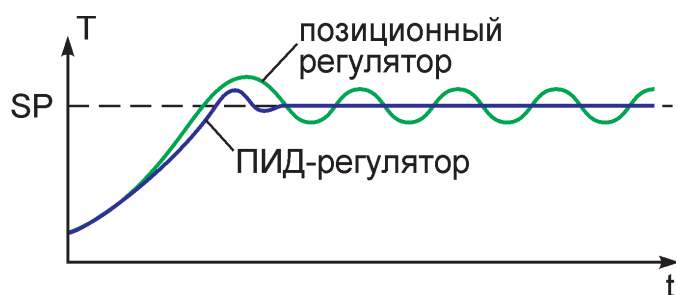


Рис. 3. График температуры позиционного и ПИД-регулятора при непрерывном управлении

печи (рис. 4). На графике можно выделить ряд характерных этапов, на каждом из которых от регулятора требуется наличие специфических функций.

*Этап 1. Предварительный разогрев печи и выход на режим в отсутствие садки (изделий).*

В принципе с этим прекрасно справляется «обычный регулятор», за исключением одной особенности. Дело в том, что процесс разогрева промышленной печи, как правило, весьма долгов и может составлять несколько часов. Если печь включается в начале смены, то это время можно считать потерянным. Очевидно, нужен контроллер температуры, выполняющий функции таймера предварительного пуска, который позволил бы запускать процесс нагрева в нужное время до начала смены. На рис. 4 показан этап работы таймера пуска.

*Этап 2. Дверь открыта, осуществляется загрузка печи.*

На этом этапе открывается дверь печи, что и предопределяет ряд осо-

бенностей данного этапа. Очевидно, что открытие двери печи охлаждает рабочее пространство, и температура печи не соответствует заданному температурному режиму обработки изделия.

Еще одна особенность связана с поведением регулятора в охлажденной печи. Охлаждение датчика температуры заставит «обычный регулятор» температуры (даже если применяется ПИД-алгоритм) установить максимальную мощность нагревателей, что приведет к их перегреву. Это, в свою очередь, может привести и к недопустимому перегреву в объеме печи после закрытия дверцы. Было бы правильнее на время открытия дверцы фиксировать мощность нагрева на уровне, который был до открытия двери. Еще правильнее было бы поддерживать мощность на несколько более высоком уровне (но не максимальном), чтобы частично компенсировать охлаждение печи. В этом случае после закрытия двери печь выходила бы на заданный уровень максимально быстро, но без пере-

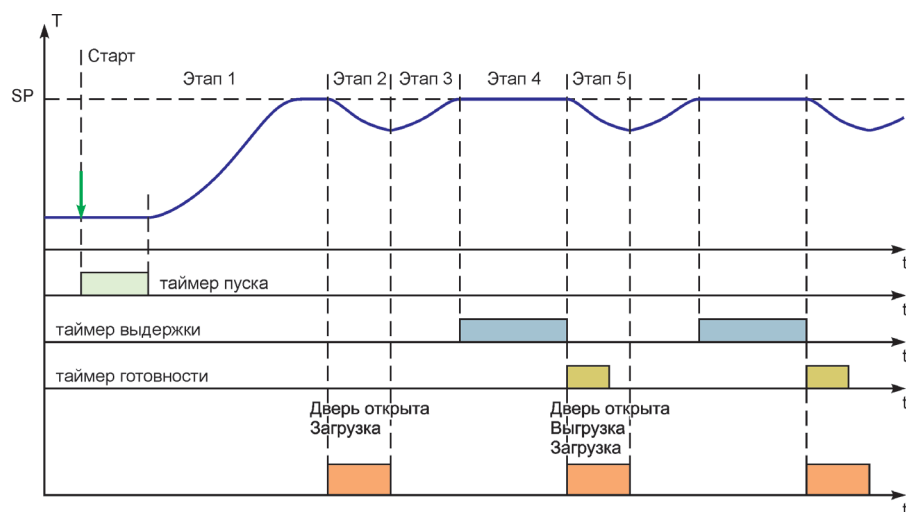


Рис. 4. Основные этапы непрерывного процесса с многократной загрузкой

грева (как это бывает при «обычном регуляторе»).

Однако могут быть и другие требования к управлению мощностью нагревателей во время открытия двери. В ряде случаев нагреватели выполняют в виде открытых спиралей. Тогда из соображений безопасности их требуется обесточивать.

Итак, необходим контроллер температуры, который особым образом управлял бы мощностью нагревателей при открытой двери. Поскольку эти особенности управления мощностью привязаны к открытию двери, то контроллер должен считывать факт открытия двери с помощью соответствующего сигнала, поступающего, например, от прикрепленного к ней контактного выключателя. «Обычный регулятор», как правило, даже не содержит таких входов управления.

*Этап 3. Дверь закрыта, выход на температурный режим.*

Несмотря на то что изделие находится в печи, еще нельзя считать, что оно подвергается термообработке в нужном режиме. Отсчет времени следует начинать только с того момента, когда температура выйдет на заданный уровень, точнее войдет в заданный технологический коридор. При «обычном регуляторе» фиксировать этот момент предоставляется термисту. Появление человеческого фактора сразу создает угрозу качественному отсчету времени процесса. Кроме того, чтобы отследить этот момент, термист должен находиться около «обычного регулятора» в режиме ожидания, что резко снижает эффективность использования персонала, особенно если таких печей много.

Конечно, необходим контроллер, который самостоятельно, без участия термиста, фиксировал бы нужный момент и запускал таймер выдержки.

Как уже отмечалось в описании этапа 2, именно в момент выхода на заданную температуру может произойти нежелательный выброс температуры, который обусловлен перегревом нагревателей при открытой двери и перерегулированием. Перегрев устраняется особым алгоритмом управления мощностью на этапе 2 при открытой двери.

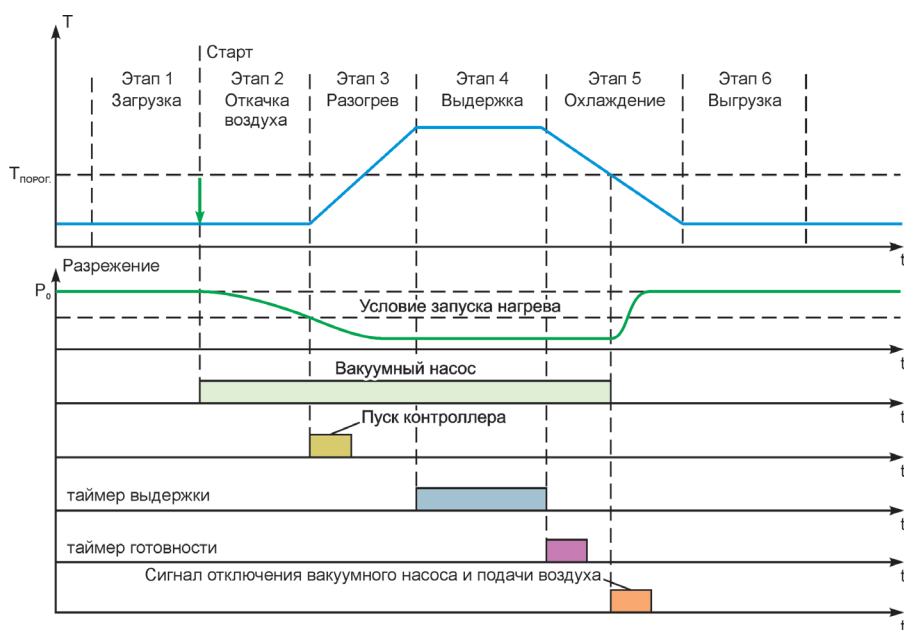


Рис. 5. Основные этапы конечного процесса с однократной загрузкой

*Этап 4. Собственно термическая обработка изделия в течение заданного времени выдержки.*

На этом этапе в случае использования «обычного регулятора» на термиста возлагаются функции таймера. Он должен все время следить за временем и в нужный момент выгрузить изделия. Надо учитывать, что при нормальной организации работ термист обслуживает много печей, поэтому он может быть занят другими делами и просто пропустить момент окончания термообработки. А представьте себе, как он должен выполнять одновременно функции 5–10 таймеров, запущенных в разное время и отсчитывающих разные временные интервалы. Ситуация усложняется еще и тем, что термообработка может занимать значительное время и захватывать разные смены. В этом случае функции таймера передаются вместе с дежурством другим термистам. Какова же при этом вероятность ошибки? Всё это — из области влияния пресловутого человеческого фактора на качество технологического процесса.

Конечно же, отсчет времени должен взять на себя контроллер, а для того чтобы термист не пропустил выгрузку изделия, контроллер должен подать сигнал готовности. В данном примере автоматика не позволяет полностью заменить действия термиста по автоматической выгрузке изделий из-за отсут-

ствия средств выгрузки, но помогает действовать безошибочно и избавляет его от ненужных и производительных усилий по контролю за временем выдержки.

*Этап 5. Открытие двери, выгрузка изделия и загрузка следующего. С этого этапа цикл термообработки изделий повторяется.*

Описанный процесс термообработки можно назвать непрерывным с многократной циклической загрузкой. В отличие от него назовем процесс, показанный на рис. 5, конечным с однократной загрузкой. Есть целый ряд процессов, когда изделие загружается в охлажденную печь и проходит вместе с ней весь цикл разогрева, термообработки, а затем и охлаждения. Ярким примером здесь может служить обработка титана в вакуумной печи с последующим охлаждением. В этом случае производится загрузка изделия в охлажденную печь, затем осуществляется откачка воздуха, нагрев, выдержка и последующее охлаждение до определенного уровня, только после этого можно снять вакуум и открыть дверь. Указанные особенности процесса обусловлены тем, что титан не допускает нагрева в воздушной среде. Поэтому перед нагревом сначала создается вакуум, а на стадии охлаждения сперва должно произойти охлаждение, а затем снимается вакуум. Для ускорения процесса охлаждения в вакуумную

печь запускают азот, который забирает на себя тепло изделия и увеличивает теплопередачу. В вакууме процесс охлаждения протекает медленно, поскольку оно происходит в основном только за счет излучения.

Рассмотрим основные этапы термообработки в этом случае.

*Этап 1. Дверь открыта, загрузка изделия в охлажденную печь.*

На этом этапе необходимо только обеспечить отсутствие нагрева.

*Этап 2. Дверь закрыта, откачка воздуха до требуемого уровня вакуума.*

Запускается вакуумный насос, который обычно работает непрерывно в течение всего цикла. Его задача — поддерживать разрежение на уровне не ниже допустимого значения. Для контроля вакуума применяются соответствующие измерители с сигнализацией. При достижении заданного уровня вакуума срабатывает компаратор и запускает контроллер температуры.

*Этап 3. Стадия разогрева.*

Как правило, техпроцесс предписывает разогрев с заданной контролируемой скоростью. Нагрев должен происходить настолько медленно, чтобы изделие успевало равномерно прогреваться. Это, во-первых, исключит коробление, а во-вторых, обеспечит равномерную термообработку при заданной температуре по всему объему изделия. При быстром разогреве внутренние части изделия достигнут требуемой температуры с задержкой, а следовательно, будут подвергаться термообработке недостаточно долго.

*Этап 4. Стадия выдержки (собственно термообработка).*

Здесь также таймер выдержки включается автоматически в тот момент, когда температура в печи войдет в необходимый технологический интервал температур.

*Этап 5. Охлаждение.*

Возможны разные варианты охлаждения. Первый вариант — полное отключение и естественное охлаждение преимущественно за счет излучения. Конвекционное охлаждение и охлаждение за счет теплопередачи здесь сведено к минимуму из-за достаточно высокого разрежения.

Второй вариант — плавное охлаждение в течение определенного времени, большего, чем при есте-

ственном охлаждении. Контроллер температуры должен в этом случае плавно снижать мощность нагрева.

При каждом из этих двух вариантов подача воздуха в печь возможна, только если температура в ней опустилась ниже порогового уровня  $T_{\text{порог}}$ . В контроллере температуры за подачу такого сигнала разрешения (и управления) должен отвечать соответствующий компаратор. Обратим внимание на особенность работы этого устройства. Дело в том, что, как видно из рис. 5, на графике есть две точки, когда должен сработать компаратор — на этапе разогрева и на этапе охлаждения. Но в компараторе в контроллере для этого случая должна быть предусмотрена функция так называемой отложенной сигнализации, когда компаратор игнорирует первое условие срабатывания после подачи сигнала «старт», а реагирует только на последующие. Вот еще один яркий пример функциональных возможностей, которыми должен обладать этот специализированный контроллер.

#### Этап 6. Отключение печи

После охлаждения и запуска воздуха контроллер температуры должен полностью отключить нагреватели.

#### Специализированный контроллер температуры МЕТАКОН-6305

Итак, мы описали два характерных технологических процесса термической обработки материалов, которые проходят через ряд схожих этапов. При описании мы попытались сформулировать требования к контроллеру температуры, который бы управлял температурно-временными режимами таких процессов с учетом всех упомянутых особенностей.

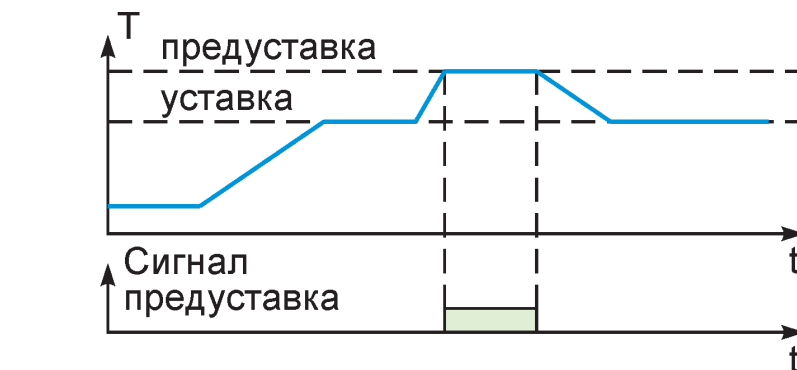


Рис. 7. Управление уставками и скоростями нагрева/охлаждения

Примером подобного устройства может служить специализированный контроллер температуры МЕТАКОН-6305, предназначенный для решения описанных задач (рис. 6). МЕТАКОН-6305 относится к разряду конфигурируемых контроллеров, выпускаемых научно-производственной фирмой «КонтрАвт». Эти контроллеры не требуют программирования — все функции и необходимые параметры и характеристики задаются с помощью настройки (конфигурирования).

Расскажем более детально о технических возможностях специализированного контроллера температуры МЕТАКОН-6305, которые упоминались выше и которые необходимы для полномасштабного управления температурно-временными режимами с алгоритмом «нагрев — выдержка — охлаждение».

#### Алгоритм регулирования и автонастройка

Контроллер температуры МЕТАКОН-6305 предназначен для прецизионной термической обработки. Это обеспечивается как высокой точностью измерения (класс 0,1), так и точным регулированием температуры за счет применения ПИД-ал-

горитма управления. Функция автоматической настройки облегчает настройку параметров ПИД-алгоритма и позволяет получать отличные результаты даже персоналу, не имеющему специальной подготовки в области регулирования.

В контроллере формируются два вида сигналов управления: дискретный сигнал с широтно-импульсной модуляцией и аналоговый токовый.

Кроме режима автоматического регулирования, в контроллере предусмотрен режим ручного управления. Переход между ними осуществляется безударно.

#### Управление уставками и скоростями нагрева/охлаждения

Наряду с основной в регуляторе может быть задана дополнительная уставка — предустановка. Переключение с уставки на предустановку осуществляется по внешнему сигналу, кнопками с панели прибора или по интерфейсу (рис. 7). Такая возможность быстрой смены уставки «одним движением пальца» исключает хлопотный и долгий набор нового значения уставки.

Скоростями нагрева/охлаждения можно управлять. Скорости перехода на уставку и на предустановку задаются отдельно и выдерживаются регулятором в процессе работы. Таким образом, контроллер температуры МЕТАКОН-6305 позволяет не только поддерживать температуру на заданном постоянном уровне, но и управлять ею во времени по линейному закону с заданной скоростью.

#### Таймер пуска

Контроллер МЕТАКОН-6305 имеет таймер пуска, который запускает нагрев через заданное время



Рис. 6. Специализированный контроллер температуры МЕТАКОН-6305



после подачи сигнала «старт». Функция очень полезна, когда разогрев оборудования занимает много времени и желательно начать его заранее, до выхода персонала на работу.

#### Таймер выдержки

Таймер выдержки в контроллере МЕТАКОН-6305 может быть запущен несколькими разными способами.

► *Безусловный запуск.* Осуществляется по внешнему сигналу (или с помощью кнопок с панели прибора, или по интерфейсу) без привязки к измеренной температуре.

► *Условный запуск.* Осуществляется после подачи внешнего сигнала (или с панели прибора, или по интерфейсу) при выполнении заданного условия на измеренную температуру. Чаще всего условием запуска считается попадание измеренной температуры в заданный интервал около уставки.

► *Запуск внутренним компаратором.* Несмотря на сходство с предыдущим, такой способ дает пользователю новые возможности. Например, для компаратора можно задать режим задержки срабатывания, при котором он срабатывает только, если условие срабатывания компаратора выполняется в течение определенного заданного времени. Тем самым, мы исключаем запуск таймера выдержки от случайных кратковременных колебаний температуры.

#### Таймер готовности

Когда истекает заданное время выдержки и термическая обработка заканчивается, контроллер позволяет управлять некоторыми действиями. В простейшем случае требуется подать сигнал готовности (сигнал окончания термообработки). Его подает таймер готовности, который автоматически запускается по окончании времени выдержки. Вторым наглядным примером использования таймера готовности может служить формирование сигнала включения на заданное время вентилятора в камере полимеризации.

Отсчет времени для всех трех таймеров можно оперативно протестировать, при необходимости отсчет можно досрочно завершить, нажав кнопку на панели прибора.

Управление с помощью внешних сигналов, кнопка с панели прибора, по интерфейсу

При разработке контроллера за основу была принята следующая концепция: оперативное управление работой контроллера (а значит и электротермическим оборудованием) должно проводиться с помощью пультовых кнопок, расположенных на панели шкафа управления, а управление с помощью кнопок, расположенных на передней панели самого прибора, должно быть сведено к минимуму. Во-первых, пультовые кнопки надежнее, что очень важно в тяжелых промышленных условиях. Во-вторых, в зависимости от выполняемой задачи пультовые кнопки имеют строго определенное функциональное назначение. Конкретное назначение кнопки может быть указано в ее идентификаторе. Все это упрощает работу операторов.

Вместо пультовых кнопок в качестве источников сигналов управления могут быть использованы дискретные сигналы программируемых контроллеров, концевых выключателей, контактов реле и т.п. Для обработки этих сигналов управления в контроллере предусмотрены четыре дискретных входа: «старт/стоп», «пуск таймера», «пауза», «предустановка».

#### Ретрансляция измеренного сигнала

Если аналоговый токовый сигнал не используется для управления, то он может быть применен для ретрансляции измеренного сигнала на регистрирующие устройства.

#### Компараторы, отложенная и задержанная сигнализация

Контроль за протеканием процесса осуществляют компараторы-сигнализаторы. Их число в приборе может достигать четырех. Компараторы могут выполнять 16 разновидностей функций. Каждая функция характеризуется определенной зависимостью выходного сигнала от соотношения измеренного сигнала и уставок («больше», «меньше», «попадание в интервал», «попадание вне интервала»), а также способом задания порогов срабатывания компараторов, в том числе порогов, «скользящих» вдоль изменяющихся уставок.

Сигналы компараторов могут быть использованы и для управления вспомогательными устройствами.

#### Контроль контура управления

В приборе предусмотрены различные варианты функциональной сигнализации. Например, он обнаруживает обрыв в линии связи с датчиком. Кроме того, в нем реализован алгоритм контроля обрыва контура управления (ЛВА). Алгоритм ЛВА обнаруживает любые нарушения в контуре управления. Например, перегорание термоэлектрических нагревателей (ТЭНов), неисправность силовых коммутаторов, отсутствие питания в силовой сети, обрыв сигнала управления, размещение датчика температуры за пределами рабочей зоны нагрева.

#### Конфигурирование оперативного меню

Контроллер отличает многофункциональность и гибкость. Путем конфигурирования его можно настроить на выполнение широкого круга задач. Создателям устройства важно было максимально облегчить работу оператора с прибором. С этой целью во всех новых приборах, разрабатываемых НПФ «КонтрАвт», предусмотрена такая функция, как выбор состава оперативного меню. Дело в том, что в зависимости от решаемой задачи оператору нужно контролировать, а при необходимости и изменять набор параметров. Часто состав этого набора определяется не только задачей, но и полномочиями, которые предоставлены оператору. Приведем несколько примеров настройки, ограничиваясь значением только одного параметра, который доступен для просмотра в режиме основной индикации на втором (нижнем) дисплее (на верхнем дисплее всегда отображается измеренное значение). Вариант 1. Оператору важно наблюдать измеренное значение и уставку. Вариант 2. Оператору важно наблюдать измеренное значение и его отклонение от уставки. Вариант 3. Оператору важно наблюдать измеренное значение и его максимальное значение с момента последнего сброса (показания максимального логгера). Вариант 4. Оператору важно наблюдать измеренное значение и оставшееся время выдержки.

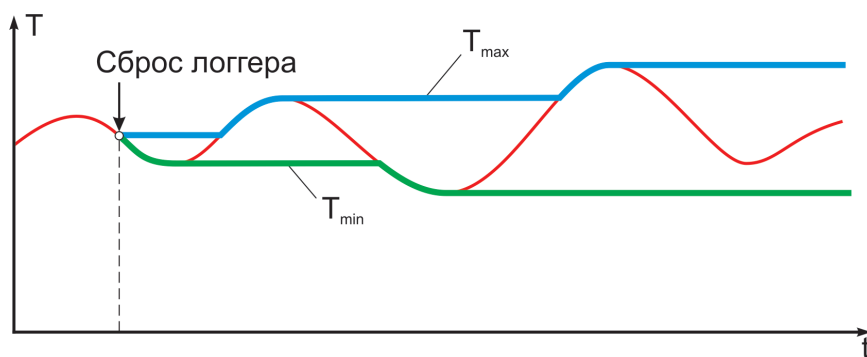


Рис. 8. Логгер фиксирует минимальное и максимальное значение параметра процесса после сброса

В данной статье вашему вниманию был представлен специализированный контроллер, который оптимизирован для управления температурно-временными режимами в электротермическом оборудовании с реализацией алгоритма «разогрев – выдержка – охлаждение». При его разработке были максимально учтены особенности протекания технологических процессов в реальных промышленных условиях.

Важно отметить, что данный прибор оптимизирован не только с точки зрения выполняемых функций и особенностей процесса. Он оптимизирует и системное решение. Например, чтобы получить законченный шкаф для управления камерой полимеризации порошковой покраски, достаточно всего лишь следующего оборудования:

- ▶ конструктивная оболочка – собственно сам шкаф;
- ▶ контроллер МЕТАКОН-6305;
- ▶ датчик температуры (термопара и термопреобразователь сопротивления);
- ▶ силовой коммутатор – контактный пускатель или тиристорный/симисторный блок;
- ▶ автомат защиты;
- ▶ пультовые кнопки и индикаторы.

И всё! При этом схемотехническое решение получается предельно простым, соответственно, и монтажные работы будут сведены к минимуму.

В дальнейшем мы планируем рассказать о применении контроллера МЕТАКОН-6305 в системах не только измерения и регулирования, но и регистрации, видеографического отображения и архивирования данных в составе измерительно-вычислительного комплекса «ИНТЕГРАФ».

А. Г. Костерин, генеральный директор,  
 Д. В. Громов, технический директор,  
 НПФ «КонтрАвт», г. Нижний Новгород,  
 тел.: (831) 260-0308,  
[www.contravt.ru](http://www.contravt.ru),  
 e-mail: [sales@contravt.nnov.ru](mailto:sales@contravt.nnov.ru)

Это только часть вариантов, иллюстрирующих возможности по отображению информации в режиме основной индикации. Аналогично дело обстоит и с составом оперативного меню: в него можно включить только те параметры и в том порядке, который наиболее часто используется оператором.

Кроме того, с помощью пароля можно ограничить возможность изменения параметров оперативного меню.

#### Функция логгера

В контроллере МЕТАКОН-6305 реализована функция логгера. Прибор фиксирует минимальное и максимальное значения измеренного сигнала за период с момента последнего сброса (рис. 8). Эти значения доступны для просмотра с панели прибора, а также по сети RS-485.

#### Счетчик моточасов

Контроллер фиксирует суммарное время нахождения во включенном состоянии, то есть выполняет функции счетчика моточасов. Это позволяет оценивать время наработки как самого контроллера, так и оборудования, на котором

он установлен (естественно, при условии, что питание контроллера и оборудования включается одновременно).

#### Встроенный источник 24 В

Встроенный источник стабилизированного напряжения 24 В можно использовать для питания датчиков, реле, индикаторов. Наличие такого источника упрощает систему и снижает ее стоимость, особенно когда речь идет о простых системах.

#### Обмен данными по сети RS-485

В сети, построенной на интерфейсе RS-485, контроллер выполняет роль ведомого устройства (slave). Набор параметров, которые доступны для чтения и записи по сети RS-485, составляет так называемую регистровую модель контроллера. В нее входят, например, измеренные значения, значения уставок, состояние дискретных входов, функции компараторов, состояние выхода компаратора и многое другое. Параметры регистровой модели можно не только считывать, но и устанавливать. Это значит, что по сети можно не только собирать данные о процессе и работе контроллера, но и управлять его работой.