

УДК 631.314

В.А. Тихомиров, Г.В. Свердлик

**ПРОГРАММИРУЕМЫЙ РЕГУЛЯТОР НАГРЕВА
ДЛЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
ООО «Экологические технологии», г. Балахна

Различные существующие регуляторы температуры способны лишь поддерживать заданный уровень температуры, но не могут формировать график температуры во времени. И тем более они не способны формировать многозонный график нагрева.

Предлагается техническая реализация программируемого многозонного регулятора нагрева с автоматическим повтором циклов нагрева. Разработанный программируемый регулятор температуры содержит в своём составе три основных элемента: программируемый промышленный контроллер, сенсорную графическую панель и установленную на персональном компьютере программу для архивирования параметров процесса нагрева. Причём все три элемента соединяются между собой с помощью интерфейсных кабелей. Если персональный компьютер имеет доступ в интернет, то возможно дистанционное наблюдение или считывание параметров процесса нагрева.

В качестве регулятора применен релейный ШИМ-регулятор с автоматической настройкой времени нагрева в зависимости от рассогласования между заданной температурой и реальной, измеряемой датчиком температуры, помещенном в нагреваемую среду.

Ключевые слова: программируемый регулятор нагрева, промышленный контроллер, сенсорная графическая панель, архивирование данных.

Во многих странах все большее внимание уделяется экологии и ресурсосбережению. Значительное влияние на экологию оказывают бытовые и производственные отходы от упаковки. Различные виды современной упаковки обычно содержат в своем составе бумагу, полиэтилен, фольгу и другие материалы. При использовании упакованной продукции эти составляющие обычно образуют твердые бытовые отходы.

Полимерная пленка, выделенная из твердых бытовых отходов, может использоваться для получения новых композиционных материалов [1]. Отходы термопластов часто перерабатывают в строительные изделия (кровельные покрытия, черепица, строительные бруски и т.п.). Сущность технологии заключается в сухом измельчении компонентов, их смешивании (содержание полиэтиленовой пленки в смеси – 30-70%), нагревании полученной смеси до получения расплава (температура 150-300°C), прессовании, экструзии, литье под давлением.

Нагрев широко также используется для получения и очистки различных веществ. При этом широко применяются разнообразные технологические методы. Один из них – метод возгонки [2]. Возгонкой или сублимацией называют процесс, при котором кристаллическое вещество, нагретое ниже его температуры плавления, переходит в парообразное состояние (минуя жидкое), а затем оседает на холодной поверхности в виде кристаллов.

Оба описанных ранее технологических процесса требуют организации нагрева исходных материалов. Именно для этих целей был разработан программируемый регулятор нагрева. Он предназначен для формирования заданного многозонного кусочно-линейного графика нагрева технологической среды и автоматического поддержания температуры в соответствии с заданием. Задающий график должен обеспечивать до 10 зон нагрева с возможностью повтора этих зон от 1 до 99 раз (циклов).

Для автоматического поддержания задающего графика температуры необходимо построение замкнутой системы с регулятором и в нагреваемой среде должен быть установлен датчик действительной температуры.

При автоматизации сложных технологических процессов в настоящее время обычно применяют программируемые промышленные контроллеры. Промышленный контроллер является законченным устройством, которое обладает широкими возможностями по реализации программным способом различных алгоритмов управления, и содержит встроенные регуляторы для автоматического регулирования параметров технологического процесса. Промышленный контроллер всегда имеет несколько блоков расширения и встроенных интерфейсов для связи с внешними устройствами. Все это позволяет выполнять программирование контроллера в соответствии с заданным алгоритмом управления, вводить в промышленный контроллер командные сигналы и сигналы от внешних датчиков, выдавать на внешние устройства управляющие и информационные сигналы (сигналы к регулирующим усилителям и сигналы для формирования базы данных технологического процесса - архива).

Для оперативного изменения параметров программы в промышленном контроллере и визуального наблюдения параметров технологического процесса наиболее подходит другой элемент современных систем автоматизации – программируемая сенсорная графическая панель.

Связка из промышленного контроллера и сенсорной панели может быть дополнена установленной на персональном компьютере программой для архивирования параметров процесса нагрева. Если персональный компьютер имеет доступ в Интернет, то возможно дистанционное наблюдение или считывание параметров процесса нагрева из архива.

Именно расписанная ранее концепция и была принята для реализации программируемого регулятора нагрева.

Вот как может выглядеть примерный задающий график программируемого нагрева.

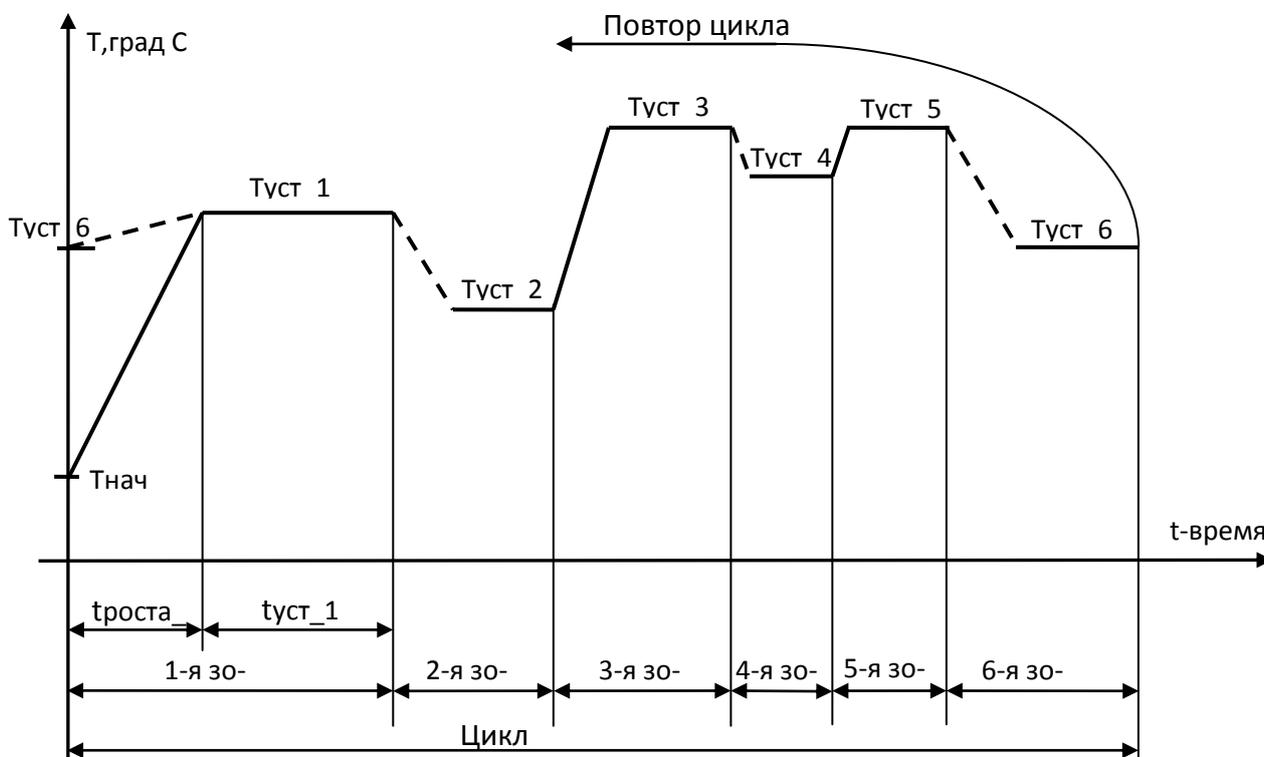


Рис. 1

На программируемых зонах возможны участки нарастания и снижения температуры. Участки снижения на графике показаны пунктиром. Снижение температуры возможно за счет естественного или принудительного охлаждения нагреваемой среды до заданной установившейся температуры.

Для реализации программируемого регулятора нагрева был применен промышленный контроллер тайваньской фирмы FATEK. С помощью его формируется задающий график нагрева и реализуются два возможных вида регулятора: релейный или ПИД-регулятор. Заказчик сам выбирает подходящий для него вид регулятора.

Технические характеристики задатчика температуры нагрева:

1. Программа нагрева формируется по зонам. В каждой зоне обеспечивается или нарастание температуры, или ее поддержание (удержание). Максимальное количество зон нагрева – 6. Совокупность зон нагрева формирует цикл. Первая зона нагрева всегда начинается с температуры окружающей среды.

2. Минимальное время удержания температуры – 1 мин, максимальное время удержания – 999 ч (40 суток).

3. Максимальная температура нагрева среды 600° С.

4. Длительность цикла складывается из длительностей зон нарастания, зон удержания и зон снижения температуры. Если после какой-либо зоны удержания устанавливается новая зона удержания с пониженной температурой, то охлаждение происходит естественным образом.

5. Обеспечивается автоматический повтор цикла. Количество автоматических повторов – до 99. Новый цикл должен начинаться с температуры последней зоны в предыдущем цикле. Общее время нагрева – до трех месяцев (90 суток).

6. Команда на начало нагрева подается оператором с сенсорного экрана. Предусмотрена кнопка *ручного* останова нагрева в любой момент времени.

7. Автоматический регулятор предназначен для автоматического поддержания заданного графика температуры нагреваемой среды. Поэтому в среду должен быть помещен датчик температуры.

8. Предусмотрена возможность ручной регулировки мощности нагревателя.

Нарастающие участки температуры формировались в контроллере с помощью цифрового счетчика, подсчитывающего импульсы от генератора импульсов. Период импульсов рассчитывался контроллером по следующей формуле:

$$t_{\text{имп}} = t_{\text{рост}} / T_{\text{рост}},$$

где $t_{\text{рост}}$ – время роста температуры; $T_{\text{рост}}$ – код роста температуры, равный разности заданной установившейся температуры на зоне нагрева и начальной температуре на этой зоне $T_{\text{уст}} - T_{\text{нач}}$ (см. график ранее).

Описание регулятора температуры

Автоматическое поддержание заданной температуры осуществляется с помощью имеющихся в контроллере двух типов программных регуляторов. Это релейный регулятор на компараторе или цифровой ПИД-регулятор.

Выход релейного регулятора через логический транзисторный выход контроллера подсоединяется к ключевому усилителю на тиристорах или твердотельных реле, работающих в режиме включено-выключено.

Выход ПИД-регулятора через цифро-аналоговый преобразователь подключается к силовому тиристорному преобразователю с фазовым управлением выходным напряжением [3].

Названные усилители питают нагреватели среды, в качестве которых применяются ТЭНы.

При релейном регуляторе силовая часть отличается простотой, но обеспечивает точность поддержания заданной температуры $\pm 2\%$.

При использовании тиристорного преобразователя с фазовым управлением силовая часть несколько сложнее, так как для реализации фазового управления требуется система

импульсно-фазового управления на маломощных электронных компонентах. Нами предлагается собственная разработка такой системы. ПИД-регулятор с тиристорным усилителем может обеспечить точность поддержания заданной температуры $\pm 0,2\%$.

Задающий график нагрева формируется в контроллере и программируется с помощью управляющей сенсорной панели Weintek MT6050i. Сенсорная панель имеет несколько рабочих экранов. При включении панели первым является главный экран, на котором находятся сенсорные командные кнопки и можно наблюдать весь процесс нагрева:

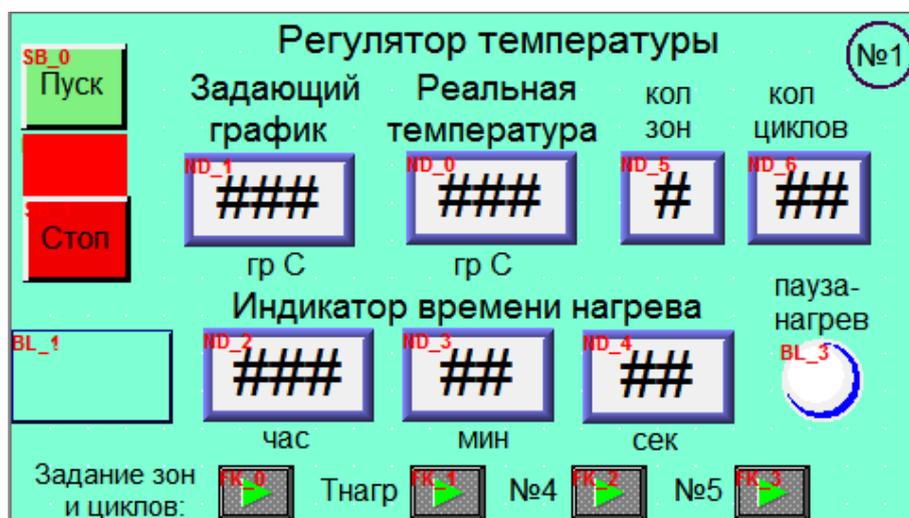


Рис. 2

С помощью сенсорной кнопки «Пуск» начинается процесс нагрева по заданной программе. С помощью кнопки «Стоп» процесс нагрева может быть остановлен в любой момент времени. Между кнопками «Пуск» и «Стоп» находится индикатор состояния этих кнопок. Если процесс нагрева не запущен или остановлен, то этот индикатор имеет красный цвет и мигает. Если процесс нагрева запущен, то этот индикатор имеет зеленый цвет и не мигает.

Справа от кнопок находятся цифровые дисплеи, назначение которых понятно из расположенных над ними поясняющих надписей.

Слева от «Индикатора времени нагрева» находится квадратная рамка, в которой по окончании заданного процесса нагрева появится надпись «Нагрев окончен».

Внизу первого главного экрана находятся сенсорные кнопки перехода ко второму экрану «Задание количества зон и циклов» и к третьему экрану, который называется «Задание временных параметров нагревателя» для задания параметров ШИМ-регулятора мощности нагрева. На третьем экране задаются временные параметры подачи энергии на нагреватель (ТЭНы). Способ подачи энергии называется «Широтно-импульсная модуляция». Этот способ обеспечивает дозированную подачу энергии на нагрев. Его идея поясняется рис. 3.

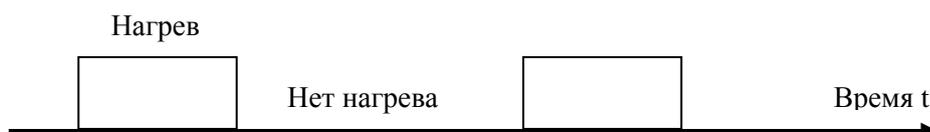


Рис. 3

Здесь на интервале «нагрев» нагреватель включен, на интервале «нет нагрева» он выключен. Средняя мощность, выделяемая на нагревателе, равна

$$P_{cp} = P_{max} * T_{нагр} / (T_{нагр} + T_{пауз}),$$

где P_{max} – установленная мощность нагревателя.

На третьем экране задается начальное время нагрева «нач $T_{нагр}$ », возможное приращение времени нагрева « $dT_{нагр}$ » и время паузы « $T_{пауз}$ ». Начальное время нагрева «нач $T_{нагр}$ » определяет первоначальную величину включенного состояния нагревателя. Реальное время включенного состояния нагревателя фиксируется на отдельном дисплее «реал $T_{нагр}$ ». В процессе нагрева «реал $T_{нагр}$ » рассчитывается контроллером в зависимости от отклонения температуры от заданной следующим образом:

$$реалT_{нагр} = начT_{нагр} + dT.$$

В свою очередь dT определяется как $dT_{нагр} * \Delta t$. Здесь Δt - это отклонение реальной температуры от заданной. Подбирая вручную время паузы, можно эффективно менять время отдачи энергии от нагревателя к нагреваемой среде.

На четвертом и пятом экранах задаются параметры нагрева на зонах. Вот скриншот четвертого экрана.



Рис. 4

На этом экране с помощью сенсорных дисплеев для зон задаются «Установившаяся температура» нагрева в град С, «Время роста» в мин до установившейся температуры и «Время установившегося режима» в ч и мин.

При нажатии на любой из сенсорных дисплеев на четвертом и пятом экранах появляется окно кнопочного набора, где и задаются параметры нагрева.

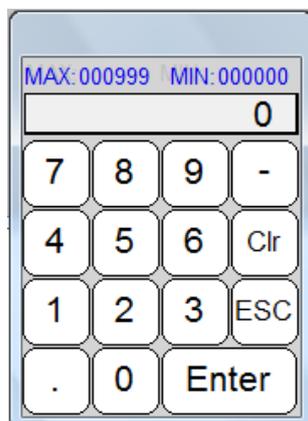


Рис. 5

Максимальный формат задаваемых чисел 999, за исключением формата минут. Максимальное значение минут равно 59.

Внизу второго и пятого экранов находятся сенсорные кнопки возврата на первый экран и перехода на следующий экран.

Поддержание заданного графика температуры обеспечивается с помощью релейного или ПИД-регулятора, который строится на основе программных блоков контроллера Fatek. Принцип поддержания температуры основывается на классической замкнутой системе регулирования по отклонению реальной температуры от заданной. Реальная температура нагреваемой среды контролируется типовым датчиком температуры. Большинство выпускаемых датчиков температуры формируют выходной сигнал в виде аналогового токового сигнала $4\div 20\text{мА}$ или напряжения $2\div 10\text{в}$. При вводе сигнала температуры от датчика в контроллер Fatek через блок аналого-цифрового преобразователя требуется преобразование цифрового значения этого сигнала к эквивалентному диапазону 0-10В. Это преобразование может быть выполнено по следующему выражению:

$$N_{OC} = (N_{DA} - 1638) * 20 / 16 ,$$

где N_{OC} – код реальной температуры, который используется в качестве сигнала отрицательной обратной связи на входе регулятора, $N_{OC} = 0 \div 8191$; N_{DA} – код, получающийся в результате преобразования аналогового токового сигнала $4\div 20\text{мА}$ или входного напряжения $2\div 10\text{в}$ в цифровой код $1638 \div 8191$.

Для визуального контроля параметров процесса нагрева и архивирования любых желаемых параметров нагрева нами была разработана специальная программа, которая устанавливается на персональный компьютер с операционной системой Windows. Промышленный контроллер, имеющий внутри всю информацию о процессе нагрева, соединяется с персональным компьютером по интерфейсному кабелю RS485-USB. Оболочка программы показана на рис. 6.

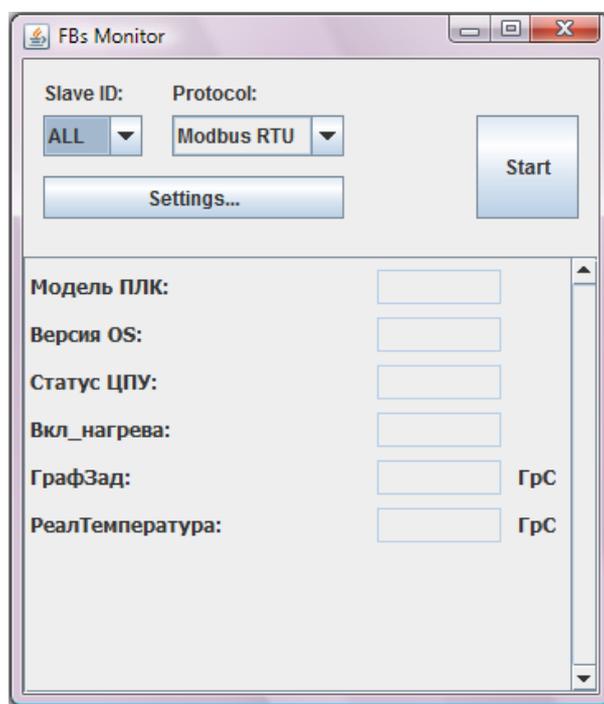
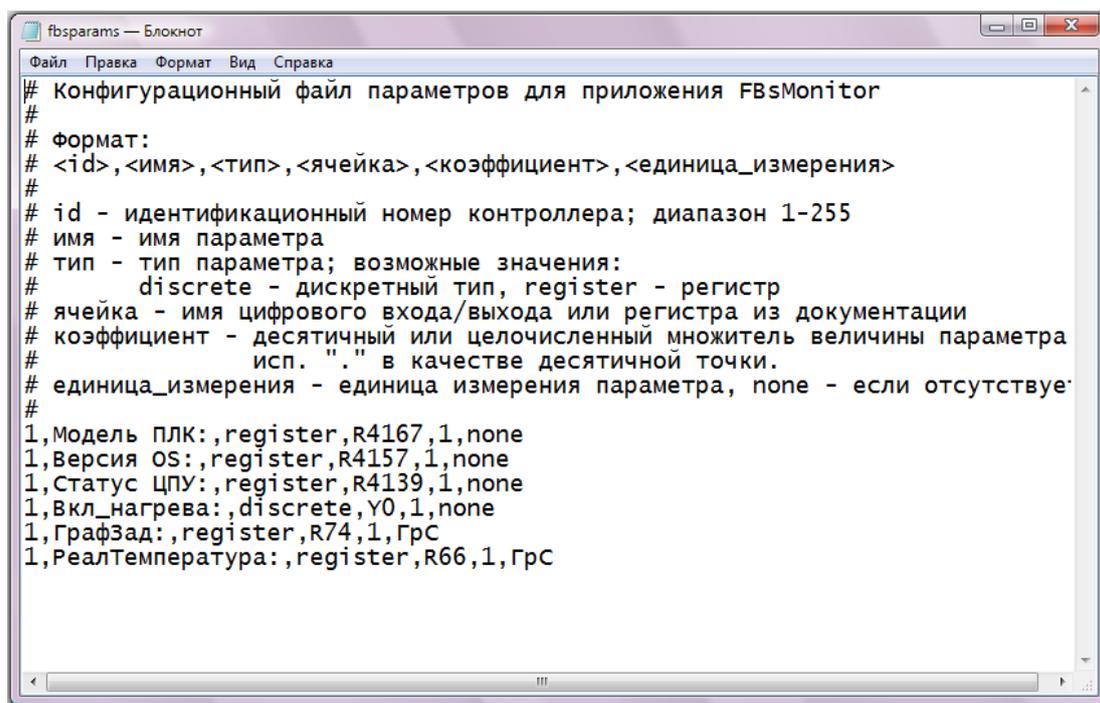


Рис. 6

Архив записывается на устройство памяти персонального компьютера в файл с расширением «.csv» и читается с помощью офисной программы Excel, которая позволяет прове-

сти математическую обработку результатов процесса нагрева и построить необходимые графики. Особенно удобно использовать архивирование данных при медленно текущих процессах (более суток), для контроля соблюдения технологического процесса или для научных целей. Архив ведется через 1 с, объем его занимает не более 500 Мб, которого хватает на 1,5 года записей. Количество архивируемых параметров практически не ограничено. Для определения желаемых наблюдаемых и архивируемых параметров пользователем в любом текстовом редакторе среды Windows составляется конфигурационный файл (рис. 7), который не требует специальной подготовки пользователя.



```
fbparams — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
# Конфигурационный файл параметров для приложения FBSMonitor
#
# формат:
# <id>, <имя>, <тип>, <ячейка>, <коэффициент>, <единица_измерения>
#
# id - идентификационный номер контроллера; диапазон 1-255
# имя - имя параметра
# тип - тип параметра; возможные значения:
#     discrete - дискретный тип, register - регистр
# ячейка - имя цифрового входа/выхода или регистра из документации
# коэффициент - десятичный или целочисленный множитель величины параметра
#             исп. "." в качестве десятичной точки.
# единица_измерения - единица измерения параметра, none - если отсутствует
#
1, Модель ПЛК:, register, R4167, 1, none
1, Версия OS:, register, R4157, 1, none
1, Статус ЦПУ:, register, R4139, 1, none
1, Вкл_нагрева:, discrete, Y0, 1, none
1, ГрафЗад:, register, R74, 1, ГрС
1, РеалТемпература:, register, R66, 1, ГрС
```

Рис. 7

Разработанная программа является универсальной и может применяться для считывания данных с любого устройства, имеющего интерфейс RS485

Заключение

Разработанный регулятор нагрева обладает определенной универсальностью. Эта универсальность определяется несколькими факторами:

1. Задающий график температуры может иметь практически любой многозонный вид и легко программируется с помощью сенсорного экрана. Возможен повтор циклов нагрева.
2. Тип применяемого регулятора в замкнутом контуре регулирования может быть выбран пользователем (релейный или ПИД) в зависимости от требуемой точности и стоимостных затрат.
3. Возможность архивирования данных процесса нагрева с помощью разработанной программы позволяет фиксировать все данные процесса нагрева за длительный срок и контролировать соблюдение технологического процесса нагрева. Программа может быть использована для научно-исследовательских работ в области новых технологий.

Библиографический список

1. Переработка отходов пластмасс. <http://ztbo.ru/o-tbo/lit/texnologii-otxodov/pererabotka-otxodov-plastmass>

2. Методы возгонки. <http://chem21.info/info/817004/>
3. Руденко, В.С. Преобразовательная техника / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко. – Киев: Вища школа, 1983. – 431 с.

*Дата поступления
в редакцию 22.01.2015*

V. A. Tikhomirov, G. V., Sverdlik

**PROGRAMMABLE HEATING CONTROLLER FOR COMPLEX
TECHNOLOGICAL PROCESSES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev
Limited Liability Company "Ecological technologies", Balahna

Various existing temperature controllers are only able to maintain the set temperature, but could not form a graph of temperature over time. And the more they are able to form multi-zone temperature. Proposed technical implementation of the programmable multi-zone control of heating with automatic repeat cycles of heating. Developed programmable temperature controller contains three basic elements: programmable industrial controller, graphic touch panel and installed on a personal computer program for archiving parameters of the heating process. Moreover, all three elements are interconnected with interface cables. If the personal computer has Internet access, it is possible for remote monitoring or reading the parameters of the heating process. As a regulator applied relay PWM controller with automatic setting of the time of heating depending on the error between the preset temperature and the actual, measured by the temperature sensor, placed in a heated environment.

Key words: programmable heating controller, industrial controller, graphic touch panel, data archiving.