

05.13.06
В 852

ЭлК

На правах рукописи

Евстаф

Вставская Елена Владимировна

**ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ
ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Специальность 05.13.06 – "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
2006

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Казаринов Л.С.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Волович Георгий Иосифович,
кандидат технических наук, доцент Кошеев Александр Аркадьевич.

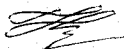
Ведущая организация – ОАО "Электромашина", г. Челябинск.

Защита состоится 22 марта 2006 г., в 14 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.298.03 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 1001/главный корпус.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.М. Коровин

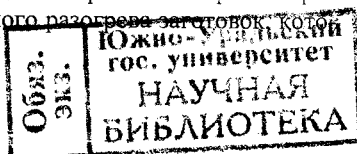
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема стабилизации режимов нагрева в термических технологиях является в настоящее время весьма актуальной. В современной промышленности широко используются термические технологии, в которых прогрев изделий необходимо осуществлять с разными значениями температуры в различных точках.

Одним из примеров такой технологии является производство полиэтилен-терефталатной (ПЭТ) тары. В настоящее время данная отрасль промышленности является одной из востребованных, поскольку ПЭТ-тара, обладающая такими свойствами, как легкость, прочность, компактность, широко используется для упаковки и хранения пищевых продуктов. Известно большое число производителей оборудования для производства ПЭТ-тары как в нашей стране, так и за рубежом. Среди них такие известные фирмы, как «Продвижение» г. Москва, «Нитар» г. Москва, НПП «Спецпромавтомат» г. Москва, «ДакиНИП» г. Нижний Новгород, «Мастерплюс» г. Черкесск, «МиССП-Совпласт» г. Кропоткин, «Ростспецмаш» г. Ростов-на-Дону, а также «Sidel» (Франция), «Krupp Corpoplast», «Bekum» (Германия), «SIPA», «Sasib» (Италия), «Kosme» (Австрия), «Taхpol», «Lonza» (Польша), «Tetra Pak» (Швейцария) и другие. В г. Челябинске наиболее крупными производителями оборудования для производства ПЭТ-тары являются ООО «Интер-Трејдинг» и ООО ПК «Стандарт-Плюс».

Качество продукции и эффективность технологических процессов, основанных на использовании термических технологий, в большой степени определяются стабильностью поддержания параметров нагрева изделия. Управление подобными нагревательными процессами осуществляется, как правило, с использованием регуляторов мощности нескольких зон нагрева, подключаемых к силовой сети. Однако в этом случае возникают проблемы, связанные со взаимным влиянием нагревательных элементов соседних зон. Такой способ регулирования нагрева не учитывает и другие внешние воздействия, такие как нестабильность питающего напряжения, приводящую к изменению выходной мощности, факторы внешней среды, а также тип используемых заготовок (преформ). Качество прогрева в полуавтоматическом устройстве, как правило, оценивается субъективно, на основании эмпирических знаний оператора установки. Все эти факторы приводят к снижению качества изделий и производительности оборудования. При эксплуатации оборудования для производства полимерных изделий негативное влияние внешних возмущающих факторов на термические процессы приводит к браку, достигающему 10-12%.

В диссертационной работе решаются задачи автоматизированной настройки термических режимов для многозонного разогрева полимерных заготовок. Определенные вопросы рассматриваются в работах Пеллякова Г.Я., Трунова В.А., Зайчика Ц.Р., Угольниковой С.А., Петляковой Н.Г., Деркача Я.Я., Марковой Н.Н., Володина В.П. и других. Однако в данных работах не рассматриваются задачи оптимизации режимов многозонного разогрева заготовок, кото-



рые позволяют в условиях массового спроса повысить эффективность производства полимерных изделий. Подобные задачи в литературе не освещены, что и определяет актуальность данной работы.

Цель диссертационной работы и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка методов оптимизации режимов многозонного нагрева в термических технологиях производства полимерных изделий.

Для достижения указанной цели были решены следующие задачи исследовательского, методологического и прикладного характера:

1) проведение факторного анализа технологического процесса разогрева полимерных заготовок;

2) разработка технологической концепции управления процессом нагрева в роторных нагревателях при воздействии внешних дестабилизирующих факторов;

3) построение имитационной модели технологического процесса прогрева полимерных заготовок;

4) подготовка стратегии оптимального прогрева преформ на основе анализа качественных оценок;

5) разработка системы управления многозонным роторным нагревателем, включающей центральный управляющий контроллер и регулируемые стабилизаторы действующего значения напряжения на нагревателях;

6) составление алгоритма оптимальной настройки многозонного регулятора для термических технологий.

Предметом исследования являются роторные станции разогрева ПЭТ-преформ, осуществляющие технологический процесс многозонного разогрева полимерных заготовок.

Объектом исследования является система управления многозонным разогревом полимерных заготовок.

Методология и методика исследования. Теоретической и методической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых по управлению технологическими процессами в системах многозонного нагрева, а также нормативные материалы, регламентирующие качество производимых полимерных изделий (ГОСТ Р 51760-2001 Тара потребительская полимерная. Общие технические условия, ISO 9001:2000). В работе использовались методы теории автоматизированного управления, автоматического регулирования, математической статистики, оптимизации, теории термодинамических систем. Источником экспериментальных данных явились результаты натуральных испытаний роторных нагревательных печей производства ООО «Интер-Трейдинг» г. Челябинск и ООО ПК «Стандарт-Плюс» г. Челябинск.

Научная новизна диссертационной работы. В ходе исследования были получены следующие научные результаты:

1) построена факторная модель технологического процесса многозонного разогрева полимерных заготовок;

2) разработан алгоритм оценки качества полимерных изделий на основе использования шкалы нечетких оценок;

3) предложена методика определения режима оптимального многозонного разогрева на основе использования генетических алгоритмов оптимизации;

4) составлен алгоритм управления технологическим процессом многоканального разогрева полимерных заготовок для многозонного регулятора;

5) разработана система управления многозонным роторным нагревателем, включающая центральный управляющий контроллер и регуляторы нагрева с функцией стабилизации действующего значения напряжения на нагревателях.

Практическое значение. Выполненные в рамках диссертационной работы методические, алгоритмические и аппаратные разработки были использованы в процессе производства полуавтоматов выдува ПЭТ-бутылок ООО «Интер-Трейдинг» г. Челябинск, ООО ПК «Стандарт-Плюс» г. Челябинск. Создана система управления прогревом ПЭТ-преформ в роторной станции разогрева, которая обеспечивает регулирование мощности нагревательных элементов.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы были доложены на четвертой Всероссийской научно-технической конференции "Информационные технологии и электроника", г. Екатеринбург, 15–16 декабря 1999 г., представлены на выставках: «Новые материалы и технологии Уральского Федерального Округа», г. Екатеринбург, октябрь 2002 г., «Приграничное сотрудничество России и Казахстана», г. Челябинск, 16-17 мая 2005 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Основная часть работы изложена на 127 страницах. Диссертация содержит рисунков 88, таблиц 5, приложений 3. Список литературы включает 82 наименований.

На защиту выносятся:

1) методика оценки качества многозонного прогрева полимерных заготовок на основе нечетких оценок;

2) методика идентификации параметров имитационной модели технологического процесса разогрева полимерных заготовок с применением оптимизационной процедуры на основе генетических алгоритмов;

3) техническая концепция оптимального регулирования технологического процесса разогрева полимерных заготовок многозонным регулятором;

4) способ реализации системы управления многозонным роторным нагревателем, включающей центральный управляющий контроллер и регуляторы нагрева с функцией стабилизации действующего значения напряжения на нагревателях.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проблемы подбора оптимального режима разогрева полимерных заготовок

Полиэтилентерефталатная тара (ПЭТ) появилась в 70-х годах прошлого века и на сегодняшний день занимает лидирующее положение среди всевозможных типов упаковок для газированных напитков и пива, воды и растительного масла, бытовой химии и прочих жидких продуктов.

Технологический процесс изготовления полимерных изделий может быть одно- и двухстадийным. В первом случае изделие изготавливается непосредственно из полимерного порошка (гранулята). Во втором, и он более распространенный, на первой стадии из сырья делается заготовка (преформа), а уже непосредственно на фасующих предприятиях из преформ изготавливается полимерная тара путем выдува.

Оборудование для производства полимерных изделий из преформ включает в себя две основные составляющие: станцию разогрева и агрегат выдува. Станция разогрева предназначена для придания материалу преформ пластичности, достаточной для формования из них изделий. Она включает в себя системы нагрева и перемещения. Преформы при разогреве двигаются вдоль нагревательных элементов, и при этом равномерно вращаются. Нагревательные элементы, разнесенные по высоте, образуют зоны управляемого разогрева, что позволяет работать с преформами разной геометрической конфигурации. Агрегат выдува предназначен непосредственно для формования бутылок.

Качество произведенной продукции в значительной степени определяется качеством разогрева заготовки. Для управления нагревательными элементами зон используются регуляторы мощности, работающие в фазовом или пакетно-импульсном режиме. Управляющий сигнал для регуляторов мощности формируется микропроцессорным контроллером, расположенным на передней панели станции разогрева. Контроллер позволяет вручную регулировать мощность или температуру в зонах нагрева в процентах от максимальной величины, а также скорость вращения конвейера.

Однако такое построение системы управления нагревом заготовок подвержено нежелательному влиянию внешних факторов. На температуру в зонах нагрева оказывают влияние различные факторы.

1) Изменение мощности нагревателей осуществляется с использованием регуляторов, которые, в зависимости от управляющего сигнала, формируют выходное напряжение как часть напряжения питающей сети. При этом любое изменение напряжения питающей сети приводит к соответствующему изменению выходного напряжения, которое, в свою очередь, изменяет мощность нагревателя, и может привести как к неравномерности прогрева, так и к браку при производстве полимерных изделий.

2) Установка станций разогрева в помещениях с активной циркуляцией воздуха приводит к тому, что, в зависимости от условий эксплуатации, темпе-

ратура в зонах нагрева изменяется. Влияние температуры окружающей среды на нагрев в зонах также может привести к технологическому браку.

3) Существенное взаимодействие нагревательных элементов, обусловленное влиянием каждого нагревателя на температуру не только своей, но и остальных зон, делает затруднительным процесс регулирования температуры в каждой зоне.

4) Технологический разброс параметров полимерных заготовок обуславливает невозможность формирования единого оптимального режима нагрева.

Процесс разогрева заготовки происходит следующим образом. Заготовка, имеющая начальную температуру T_0 , равную температуре окружающей среды, помещается в гнездо конвейера станции разогрева и, двигаясь поступательно, попадает в зону разогрева. Нагрев заготовки производится по всем зонам термотуннеля в течение времени t_n одного цикла прохождения конвейера. Изменение температуры заготовки по каждой зоне может производиться от начальной температуры T_0 до температуры в каждой зоне нагрева T_p . Однако необходимо отметить, что за время прохождения цикла конвейера заготовка в определенной зоне нагрева не успевает достичь установившегося значения, как показано на рис. 1.

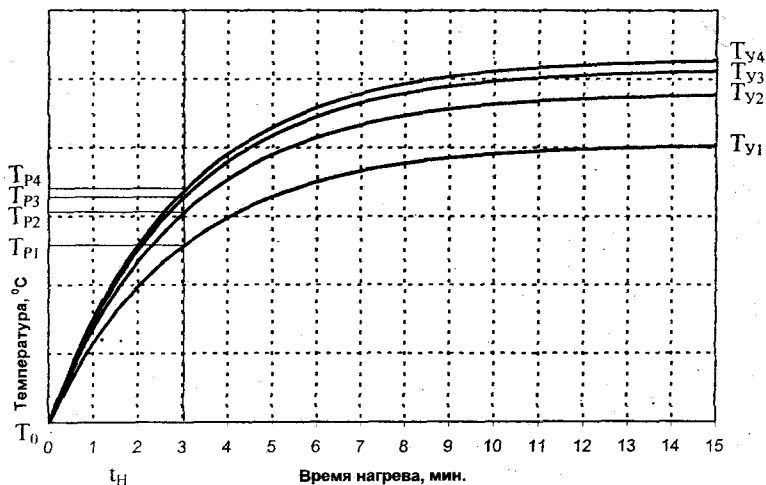


Рис. 1

Несмотря на то, что переход к установившемуся температурному режиму осуществляется за время, близкое к 15 минутам, подготавливаемая к выдуву заготовка находится в зоне разогрева около 3 минут, после чего помещается в агрегат выдува оператором станции.

Правильно выбранная температура в зонах разогрева T_p соответствует переходу к установившемуся температурному режиму. При температурах, меньших T_p , достижение требуемой пластичности произойдет за больший

промежуток времени, что неизбежно повлечет за собой снижение производительности. При установке же температуры выше T_p , производительность теоретически может повыситься. Но при этом даже незначительная неритмичность, допущенная оператором, вызовет перегрев или недогрев преформы, а значит и брак продукции. При использовании станций разогрева конвейерного типа, где ритмичность задается движением цепного механизма, допустимо работать на крутых участках характеристики (рис. 1).

Прогрев заготовок должен осуществляться до температуры

$$T_c < T_p < T_{нк},$$

где T_c – температура стеклования – минимальная температура, при которой материал преформы становится пластичным;

$T_{нк}$ – температура начала кристаллизации – наибольшая допустимая температура разогрева.

В настоящее время настройка режимов нагрева полимерных заготовок осуществляется вручную. Оператор станции регулирует процентную уставку задания для температуры каждой зоны. Существует также тенденция к автоматизации регулирования этих уставок. Оценка качества произведенных изделий также осуществляется эмпирически оператором установки. Однако такой способ оценки можно формализовать с тем, чтобы по этим эмпирическим нечетким оценкам построить систему многоканального регулирования.

Факторный анализ технологического процесса многозонного разогрева полимерных заготовок

Система управления разогревом полимерных заготовок представляет собой совокупность нескольких зон нагрева и конвейер с гнездами для преформ, движущийся вдоль нагревательных элементов вращательно-поступательно.

В общем случае технологический процесс производства полимерных заготовок можно представить следующей схемой:

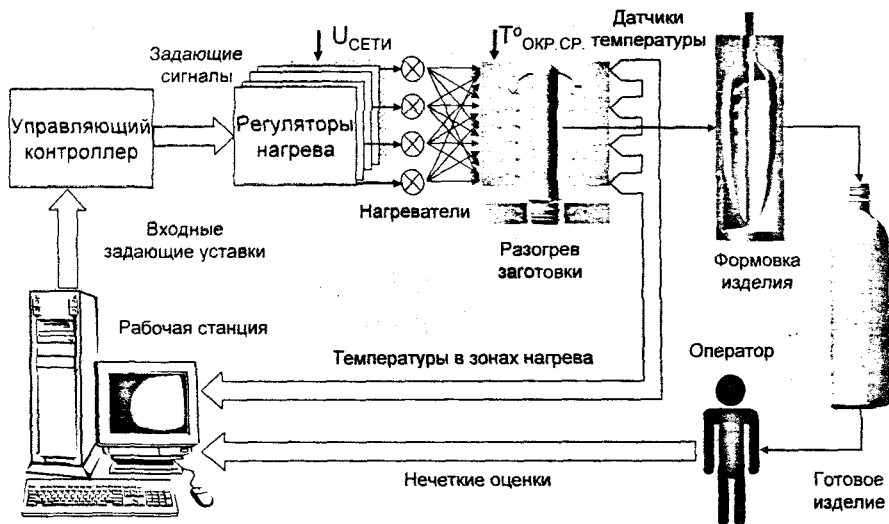


Рис. 2

В качестве входных данных в системе задается мощность нагрева элементов, установленных в зонах, и скорость движения конвейера. Мощность нагрева измеряется в процентах от максимально допустимой.

Выходными величинами в данной системе является температура в некоторых точках нагревательной печи станции разогрева. Контроль температуры в указанных точках позволяет установить влияние на ее значение входных уставок.

Оценка качества готовых изделий позволяет установить связь между температурой в зонах и качеством, что, в свою очередь, формирует условия для нахождения оптимального режима нагрева в зонах.

Статистические данные получены следующим образом. Для заданных уставок мощности зон нагрева контроллера с помощью термодатчиков измеряется температура в зонах нагрева. После формовки изделия оператор оценивает качество полученного изделия.

Оценка качества изделий на основе использования шкалы нечетких оценок

Качество разогрева полимерной заготовки в каждой зоне можно описать кривой, представленной на рис. 3. При этом наилучшее качество изделия обеспечивается при поддержании в рассматриваемой зоне температуры со значением ω .

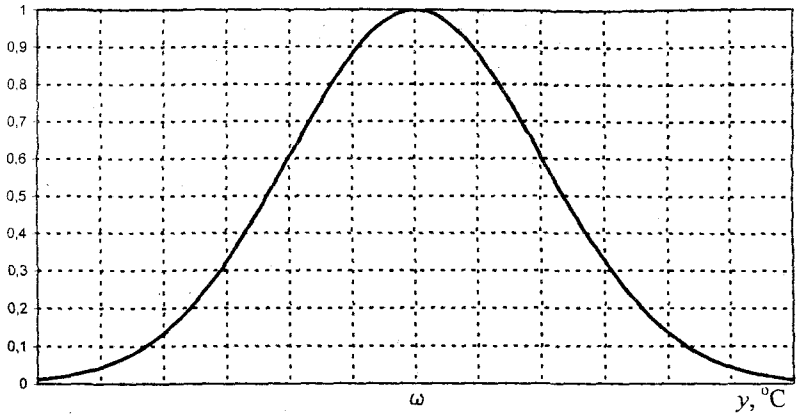


Рис. 3

Аналитическое выражение для графика (рис. 3) можно записать в форме Гаусса

$$g(y) = e^{-\frac{(y-\omega)^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad (1)$$

где $g(y)$ – значение выходной переменной (в нашем случае – оценка качества), ω и σ – определяют положение вершины и крутизну наклона кривой; y – температура в зоне нагрева ($^{\circ}\text{C}$).

Для определения оптимальной температуры в каждой зоне нагрева для конкретного типа заготовки необходимо определить параметры ω и σ выражения (1). Для этого, имея набор нечетких оценок p_i , принимающих свои значения на множестве H :

$$p_i \in H, \quad H = \{\text{отлично; хорошо; допустимо; недопустимо}\},$$

строится функция качественных показателей, имеющая вид, представленный на рис. 4.

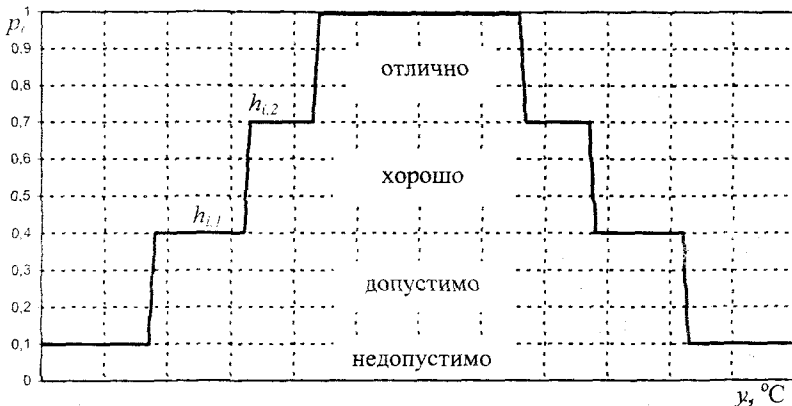


Рис. 4

Ставится задача: по экспериментальным значениям нечетких оценок p_i оптимальным образом подобрать коэффициенты ω и σ выражения (1). Экспериментальные статистические данные представляются в форме

$$T_i = \{y_i, p_i : \alpha_i\}, \quad (2)$$

где i — номер экземпляра экспериментальных данных;

α_i — субъективная достоверность оценки.

Зная нижнюю и верхнюю границы диапазонов $h_{i,1}$ и $h_{i,2}$ множества H , можно для каждого i -ого экземпляра экспериментальных данных определить неравенства

$$h_{i,1} < g(y_i) < h_{i,2} \quad (3)$$

или

$$\ln h_{i,1} < -\frac{(y_i - \omega)^2}{2\sigma^2} < \ln h_{i,2} \quad (4)$$

Для определения коэффициентов ω и σ в выражении (4) составим целевую функцию

$$Q = \sum_i \left[\alpha_i \left(\ln h_{i,1} + \frac{(y_i - \omega)^2}{2\sigma^2} \right)^{+2} + \alpha_i \left(-\frac{(y_i - \omega)^2}{2\sigma^2} - \ln h_{i,2} \right)^{+2} \right]. \quad (5)$$

Знак «+» в выражении (5) означает включение только положительных членов. Отрицательные члены выражения (5) обнуляются.

Принимая $a = \frac{1}{2\sigma^2}$, получим

$$Q = \sum_i \alpha_i \left[\left(\ln h_{i,1} + a(y_i - \omega)^2 \right)^{+2} + \left(-a(y_i - \omega)^2 - \ln h_{i,2} \right)^{+2} \right]. \quad (6)$$

Необходимо определить коэффициенты σ и ω , минимизирующих целевую функцию (6). Поскольку данная задача является двухпараметрической, для ее решения используется градиентный метод, в соответствии с которым

$$\begin{cases} a_{k+1} = a_k - \gamma_1 \frac{\partial Q(a_k, \omega_k)}{\partial a} \\ \omega_{k+1} = \omega_k - \gamma_2 \frac{\partial Q(a_k, \omega_k)}{\partial \omega} \end{cases}, \quad (7)$$

где k — номер шага приближения;

γ_1, γ_2 — коэффициенты, определяющие скорость движения по градиенту.

Определим частные производные для целевой функции (6)

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \sum_i \left[2\alpha_i \cdot (y_i - \omega)^2 \cdot \left[\left(\ln h_{i,1} + a \cdot (y_i - \omega)^2 \right)^+ - \left(-a(y_i - \omega)^2 - \ln h_{i,2} \right)^+ \right] \right] \quad (8)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \omega} = \sum_i \left[4\alpha_i \cdot a \cdot (y_i - \omega) \cdot \left[- \left(\ln h_{i,1} + a \cdot (y_i - \omega)^2 \right)^+ + \left(-a(y_i - \omega)^2 - \ln h_{i,2} \right)^+ \right] \right] \quad (9)$$

Составленный алгоритм позволяет подобрать значения коэффициентов a_k и ω_k с использованием метода наискорейшего спуска.

Определение коэффициентов связи между входными значениями уставок и выходными значениями температуры

Технологический процесс, представленный на рис. 2, отражает связь между входными значениями уставок и выходными значениями температуры. Для данного технологического процесса температуры в зонах нагрева можно представить в виде суммы взвешенных уставок. В этом случае схему, представленную на рис. 2, можно описать выражением:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{1,1} & k_{1,2} & \dots & k_{1,n} & k_{1,n+1} \\ k_{2,1} & k_{2,2} & \dots & k_{2,n} & k_{2,n+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{m,1} & k_{m,2} & \dots & k_{m,n} & k_{m,n+1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \\ 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

или

$$Y = K \cdot X. \quad (11)$$

Для определения матрицы K необходимо определить статистические данные в форме

$$T_i = \{x_i, y_i\}, \quad (12)$$

где искомыми величинами являются коэффициенты матрицы K . Целевая функция (13) составлена по методу наименьших квадратов отклонения суммы взвешенных уставок от значения температуры в зоне нагрева:

$$L = \sum_{i=1}^m \left(\left(\sum_{j=1}^n k_{i,j} \cdot x_j + k_{i,n+1} \right) - y_i \right)^2. \quad (13)$$

Оптимизируемыми параметрами в выражении (13) являются значения коэффициентов $k_{i,j}$.

Данная задача является многопараметрической и многосвязной. Причем характер взаимного влияния коэффициентов связи представляется сложным. Для решения задачи минимизации целевой функции (13) используется генетический алгоритм, включающий в себя процедуры кроссовера, мутации и отбора скрещиваемых особей. Отличительной особенностью генетического алгоритма является возможность поиска глобального экстремума на всей области допустимых значений аргументов.

Определение значений входных процентных уставок для достижения наилучшего качества разогрева полимерных заготовок

Решение данной задачи осуществляется с использованием результатов решения двух рассмотренных выше задач. Определив параметры σ и ω кривой качества (рис. 3), получим требуемую для поддержания температуру нагрева – значение ω . Подставляя полученную матрицу коэффициентов $k_{i,j}$ в правую

часть выражения (10), а значения ω в качестве значений y в левую часть выражения (10), получим систему линейных уравнений с неизвестными значениями x . Полученная система в общем случае является несовместной.

Задача формулируется следующим образом: нахождение оптимальных значений уставок для достижения требуемой температуры нагрева в каждой из зон при известной матрице взаимного влияния уставок на температуру в зонах нагрева. Для решения данной задачи составляем целевую функцию

$$P = \sum_{i=1}^m \left(\left(\sum_{j=1}^n k_{i,j} \cdot x_j + k_{i,n+1} \right) - \omega_i \right)^2 \quad (14)$$

Минимум целевой функции (14) находится для коэффициентов x_j . Данная задача также является многопараметрической и решается с использованием генетического алгоритма.

Моделирование процессов управления станциями разогрева полимерных заготовок

Модель технологического процесса производства полимерных изделий строится на основе эмпирических данных, полученных от операторов установок в процессе многолетней их эксплуатации.

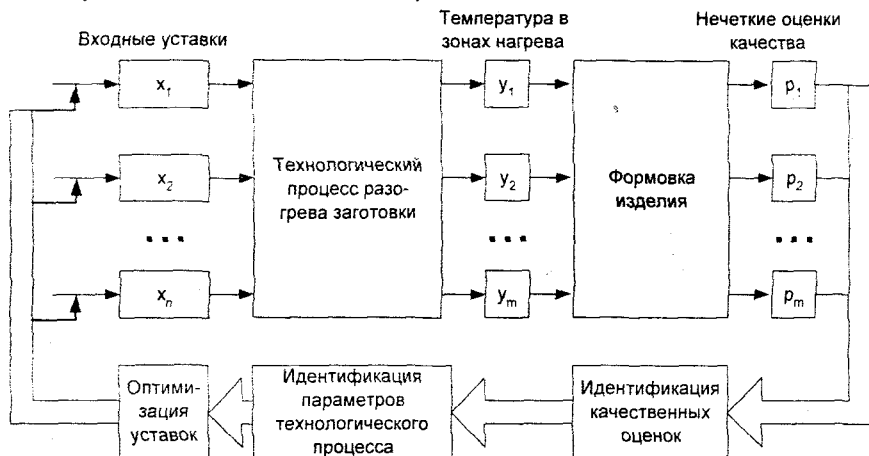


Рис. 5

Входные уставки формируют задающие сигналы для регуляторов нагрева в зонах. Измеренная температура в зонах передается в рабочую станцию. Нечеткие оценки качества произведенных изделий также передаются в рабочую станцию для определения параметров кривой качества. Формирование задающих уставок происходит в 3 этапа: идентификация нечетких качественных оценок, идентификация параметров технологического процесса и оптимизация уставок.

Для реализации алгоритмов, примененных для настройки режимов разогрева полимерных заготовок, а также проверки работоспособности изложенных алгоритмов на модели была разработана программа с использованием среды программирования Borland C++ Builder 5.0. Интерфейсная оболочка программы представлена на рис. 6.

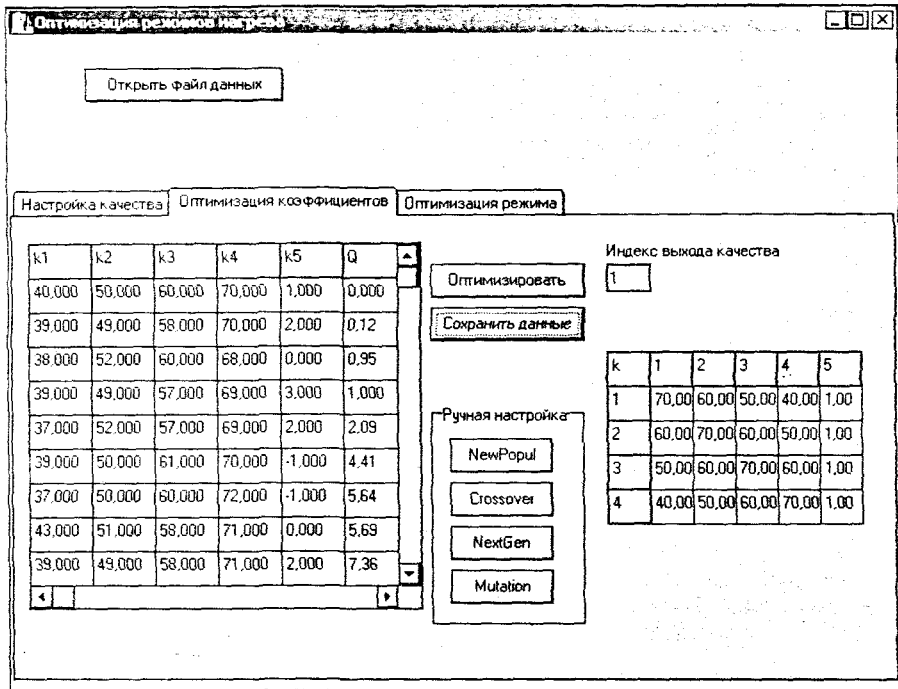


Рис. 6

Интерфейсная программная оболочка имеет 3 вкладки, позволяющие в отдельности решать задачи оптимизации качества, определения коэффициентов связи между входными процентными уставками мощности и температурами в зонах нагрева, а также определения значений входных процентных уставок мощности для достижения оптимального разогрева полимерной заготовки по всем зонам.

Задача восстановления кривой качества решается с использованием метода градиентного спуска. Определения коэффициентов связи и входных процентных уставок для обеспечения оптимальной температуры во всех зонах нагрева производится с использованием генетических алгоритмов. Операции генерации новой популяции особей, кроссовера и мутации особей с наилучшей приспособленностью (наименьшими значениями целевой функции) может производиться как вручную, так и в автоматическом режиме.

Реализация системы оптимального управления станциями разогрева полимерных заготовок

Основными управляющими элементами станции разогрева являются контроллер, формирующий задание мощности зон нагрева и фазовые регуляторы,

непосредственно регулирующие мощность ламп накаливания в зависимости от задающего сигнала, формируемого контроллером. Регуляторы мощности используются отдельно для каждой зоны. Контроллер же позволяет регулировать задание мощности каждой зоны. Для управления скоростью движения конвейера станции разогрева используется статический преобразователь. Схема управления 4-зонной станцией разогрева представлена на рис. 7.

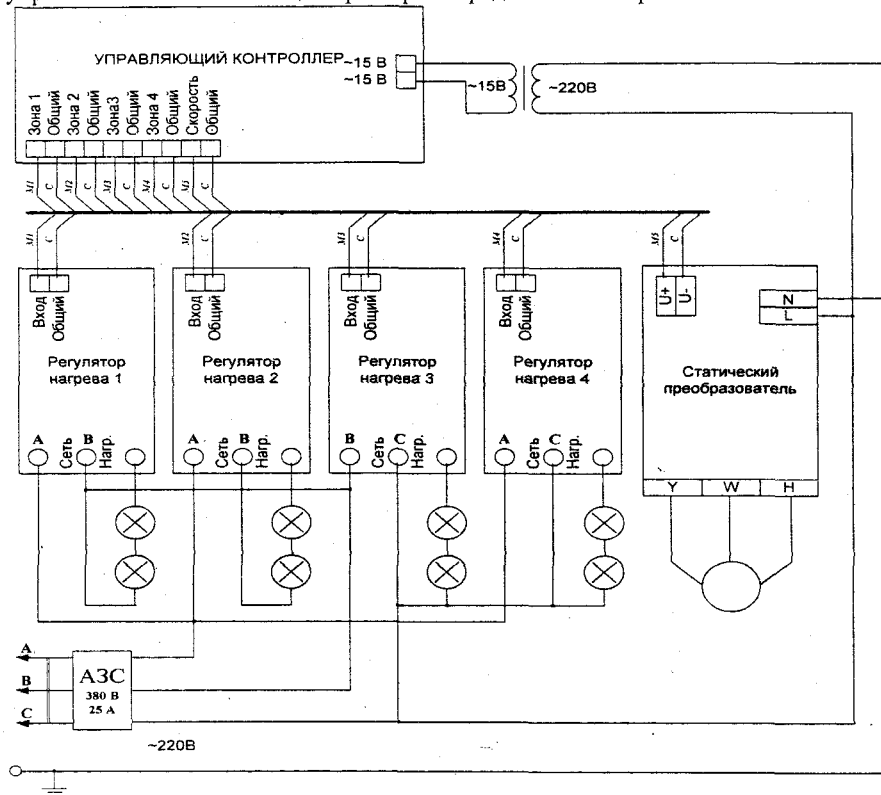


Рис. 7

Процесс формирования необходимой мощности в каждой из зон нагрева можно условно разделить на 3 этапа:

1. Формирование задающего сигнала с использованием контроллера для передачи его на управляющий вход регулятора нагрева.
2. Передача в нагрузку части мощности, пропорциональной управляющему сигналу, с использованием регулятора нагрева.
3. Оценка качества прогрева заготовки по конечному изделию и корректировка входных уставок контроллера для каждой из зон нагрева.

Для реализации данного процесса необходимо реализовать следующие функциональные узлы:

1. Контроллер для регулирования задающих сигналов мощностей всех зон нагрева.

2. Регулятор нагрева, позволяющий сформировать мощность нагревателя в каждой зоне, пропорциональную задающему сигналу контроллера.

3. Система отслеживания качества изделия. Данный узел должен функционировать в двух режимах:

а) *Режим настройки.* В режиме настройки производится оценка качества готового изделия, после чего осуществляется корректировка входных уставок для формирования мощностей зон нагрева. Процесс повторяется до достижения требуемого качества изделий.

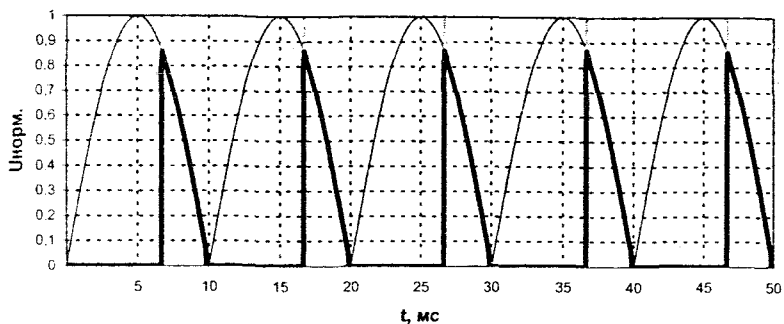
б) *Режим поддержания температур в зонах.* Данный режим позволяет поддерживать некоторые, требуемые для наилучшего качества изделий, значения температуры в зонах нагрева, корректируя для этого величины входных уставок.

Контроллер для управления нагревом полимерных заготовок представляет собой законченное электронное устройство. Основным узлом контроллера является микропроцессор *ATmega8515*, который производит обработку кнопок контроллера, вывод уставок мощности на 3-разрядные индикаторы и формирование ШИМ-сигналов с коэффициентами заполнения, соответствующими процентным уставкам каждой из зон. С выхода микропроцессора ШИМ-сигнал попадает на RC-фильтр, после чего усиливается и поступает на соответствующий вывод разъема для передачи на управляющий вход регулятора нагрева.

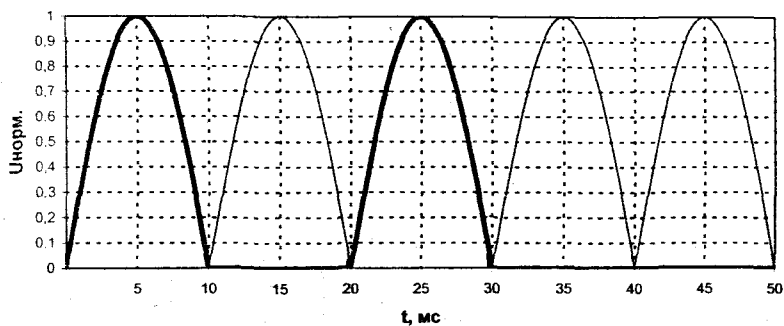
Мощностью нагревательных элементов (ламп накаливания) управляют регуляторы нагрева, которые позволяют изменять выходное напряжение при изменении входного управляющего сигнала.

Задача регулирования температуры электрического нагревателя в термических технологиях может быть решена с использованием регуляторов мощности, работающих в двух основных режимах:

- фазовом (рис. 8а);
- пакетно-импульсном (рис. 8б).



а)



б)

Рис. 8

Фазовый режим применяется чаще всего в схемах с неинерционной нагрузкой, но основным недостатком такого регулятора является то, что он создает значительный уровень радиопомех в питающей сети в моменты коммутации силового элемента.

При пакетно-импульсном режиме работы коммутации происходят в моменты перехода сетевого напряжения через ноль, поэтому уровень радиопомех существенно снижен. Однако такое устройство может использоваться только при работе с инерционной нагрузкой, поскольку минимальная порция энергии, поступающей в нагрузку, равна энергии, потребляемой нагрузкой за один полупериод.

Типовые нагревательные элементы, используемые в термических технологиях, обладают входным сопротивлением преимущественно активного характера. Поэтому задача стабилизации мощности сводится к задаче стабилизации действующего значения напряжения в нагрузке.

Релизованный в составе системы регулятор действующего значения напряжения на нагревательных элементах имеет в своем составе микроконтроллер PIC12F675, позволяющий регулировать действующее значение напряже-

ния на нагревателях в зависимости от величины задающего сигнала согласно рис. 8а, а также учитывать при этом регулировании неустойчивости напряжения питающей сети. С этой целью в данном микроконтроллере реализована программа, позволяющая определять действующее значение подаваемого в нагрузку напряжения в реальном масштабе времени по формуле

$$U_{\text{ВЫХ}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{T-\alpha}^T u^2(t) dt}, \quad (15)$$

где α — угол открывания силового элемента;

$U_{\text{ВЫХ}}$ — действующее значение выходного напряжения;

T — период изменения напряжения сети.

Для реализации этой формулы в цифровой системе производим интегрирование правой части (15) методом трапеций:

$$\frac{1}{T} \int_{T-\alpha}^T u^2(t) dt = \frac{1}{T} \sum_{i=n}^N \left(\frac{u_{i-1}^2 + u_i^2}{2} \right) \cdot \Delta_i, \quad (16)$$

где N — количество отсчетов мгновенных значений напряжения u_i за время открытого состояния регулирующего элемента;

$n = \frac{T-\alpha}{T} N$ — определяется углом открывания регулирующего элемента и

соответствует началу отсчетов i сетевого напряжения, отдаваемого в нагрузку;

Δ_i — величина i -ого шага.

Формула для вычисления действующего значения напряжения в нагрузке преобразуется к виду

$$U_{\text{ВЫХ}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{T-\alpha}^T u^2(t) dt} \approx \sqrt{\frac{\Delta}{T} \sum_{i=n}^N u_i^2} = \sqrt{N \sum_{i=n}^N u_i^2}. \quad (17)$$

Для решения задачи регулирования действующего значения напряжения в пакетно-импульсном режиме используется алгоритм Брезенхема, представленный на рис. 9, где угол наклона аппроксимирующей прямой определяет отношение количества открываемых полупериодов сетевого напряжения к количеству пройденных за рассматриваемое время.

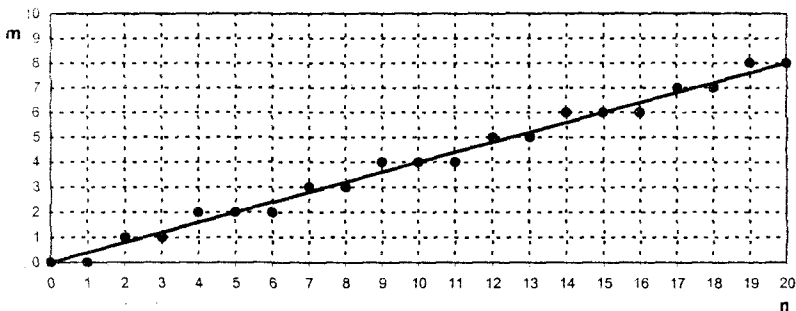


Рис. 9

Формула для вычисления действующего значения выходного напряжения в пакетно-импульсном режиме имеет вид:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{m}{n} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \frac{m}{n} U_{\text{СЕТИ}}, \quad (18)$$

где m — количество открытых полупериодов;

n — количество рассматриваемых полупериодов;

T — время, соответствующее полупериоду изменения сетевого напряжения;

$u(t)$ — мгновенное значение напряжения сети;

$U_{\text{СЕТИ}}$ — действующее значение напряжения сети за полупериод.

Реализация регулируемого стабилизатора действующего значения напряжения нагревателей позволила существенно сократить количество бракованной продукции.

Система отслеживания качества изделий позволяет по статистическим данным эмпирической оценки выпускаемых изделий восстановить кривую качества и определить температуру для каждой зоны, необходимую для поддержания в целях достижения наилучшего качества. Режим поддержания системы контролирует изменение температуры в зонах нагрева и в зависимости от изменения значения температур подбирает оптимальные значения входных уставок мощности нагревателей для поддержания необходимых значений температур во всех зонах нагрева.

Проведенные испытания системы многоканального регулирования термических режимов в производстве полимерных изделий показали, что внедрение разработанной системы позволило повысить производительность полуавтомата и сократить процент выпуска бракованных изделий.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Повышение эффективности полимерных технологий является важной научно-технической и практической задачей вследствие их широкого распространения в настоящее время. Поэтому является актуальной задача оптимизации термических режимов в производстве полимерных изделий по критериям качества и производительности.

2. Для оптимизации качества и производительности в производстве полимерных изделий в работе предложены методы автоматизированной настройки режимов работы соответствующих полуавтоматов, обеспечивающие повышение качества управления термическими процессами разогрева полимерных заготовок.

3. Предложен метод оперативной оценки качества полимерных изделий в процессе их производства, основанный на использовании нечетких оценок. Применение нечетких оценок позволяет значительно упростить аппаратную реализацию измерения качества изделий и достичь необходимой оперативности в работе.

4. Управление термическими процессами разогрева полимерных заготовок носит многозонный характер со сложными перекрестными связями. Предложена процедура идентификации факторных моделей объектов управления термическими технологиями с использованием генетических алгоритмов. Применение генетических алгоритмов позволяет оценивать параметры факторных моделей и их структуру.

5. Для эффективного управления термическими процессами предложен регулятор мощности, имеющий функцию стабилизации действующего значения напряжения на нагревателях вне зависимости от изменений напряжения питающей сети. Это позволяет уменьшить время оптимальной настройки системы в целом и повысить качество выпускаемой продукции.

6. Построена имитационная модель процесса многозонного разогрева полимерных заготовок и дано алгоритмическое обеспечение решения задачи настройки процессов производства, позволяющее оптимизировать уставки полуавтомата в оперативном режиме.

7. Система многоканального регулирования термических режимов в производстве полимерных изделий внедрена на станции разогрева ВРМ-8 производителя ООО «Интер-Трейдинг» и ПК-5 производителя ООО ПК «Стандарт-Плюс». Суммарный экономический эффект от внедрения разработанной системы составил 69,7 млн. руб. в год.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Константинова Е. В. (Вставская Е.В.), Константинова О. В. Регулируемый тиристорный стабилизатор мощности нагревателя // Системы автоматического управления: Тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. – 147 с.

2. Вставский А. Ю., Константинова Е. В. Применение алгоритма Брезенхема для пакетно-импульсного регулирования действующего значения выходного напряжения // Автоматизация и управление в технических системах: Тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. – С. 50–54.

3. Константинова Е. В. Регулятор мощности нагревателя с микропроцессорным управлением // Автоматизация и управление в технических системах: Тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. – С. 82–85.

4. Вставская Е.В. Регулируемые стабилизаторы мощности для полуавтоматов производства пластмассовых изделий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2001. – №9 (09) – С. 82–83.

5. Казаринов Л.С., Вставская Е.В. Комитетный метод настройки технологических процессов в порядковых шкалах // Приборостроение: Тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2002. – С. 117–120.

6. Вставская Е.В. Оптимальные режимы разогрева преформ // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2004. – Вып. 3, №9(38). – С. 29–30.

7. Вставская Е.В. Применение генетических алгоритмов для многоканального регулирования термических режимов // Информационные, измерительные и управляющие системы и устройства: Тематический сборник научных трудов. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005.

Издательство Южно-Уральского государственного
университета

Подписано в печать 31.01.2006. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 9/32.

УОП Издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.