

УДК 517.958

ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ВРЕМЯ ИХ ПРЕБЫВАНИЯ В ЗОНЕ НАГРЕВА

А.Г. Михеев

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрены особенности математического моделирования процесса нагрева медных проводников при реализации операции их отжига в общем технологическом процессе. Такая операция характерна для производства различных видов кабеля. Она совмещается с работой различных единиц оборудования в общей структуре автоматических линий. При таком совмещении время пребывания провода в активной зоне нагрева ограничено. Это не позволяет описывать процесс нагрева традиционными математическими моделями в виде передаточных функций. Показано, что для подобных условий нагрева математическая модель этого процесса сводится к простому усилительному звену с переменным коэффициентом передачи. Для устранения такого параметрического возмущения в общем процессе нагрева предложена простая структура алгоритма управления.

Ключевые слова: тепловые объекты, время нагрева, математическая модель, усилительное звено, параметрическое возмущение.

В общем случае понятие теплового объекта охватывает широкую гамму различных технологических процессов и операций, связанных с нагревом или охлаждением различных материалов. Поэтому мы ограничиваемся рассмотрением одного из возможных частных случаев подобных объектов, когда речь идет об управлении процессом нагрева малого объема материала, имеющего, например, цилиндрическую форму. Практически речь идет об операции отжига медных жил телефонного кабеля при их изготовлении на волочильных машинах. Это одна из основных операций при производстве одиночных жил, и она сопровождается обработкой давлением исходного материала, который протягивается через волокна, имеющие меньшие геометрические размеры поперечного сечения, чем исходная заготовка. В результате происходит снижение диаметра исходной заготовки до нужных геометрических размеров, но одновременно происходит увеличение прочности и снижение пластичности самого материала (при этом также снижается электропроводность этого материала). Подобные изменения механических характеристик материала и его физических свойств обычно затрудняют выполнение последующих технологических операций, хотя при этом мы получаем гарантированный геометрический размер провода или жилы кабеля. Следовательно, возникает необходимость в восстановлении основных характеристик исходного материала. Например, для повышения пластичности, т.е. относительного удлинения материала провода, и его электрической проводимости после завершения операции волочения этого провода он подвергается операции отжига. Сущность этой операции сводится к нагреву провода до определенной температуры (400÷650) °С и последующему его охлаждению в среде защитного газа. Ис-

Александр Григорьевич Михеев (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

точником тепла в различных установках отжига, как правило, является электрическая энергия. При этом речь идет либо о специальных печах, где имеются нагреватели, подключаемые к источнику электрической энергии, либо о нагреве простым пропусканием тока непосредственно через отжигаемую проволоку. Каждый из вариантов отжига имеет свои положительные и отрицательные стороны, но оба они широко распространены в кабельной промышленности. Алгоритмы управления работой печи отжига и установок непрерывного отжига проволоки существенно различаются, хотя при этом решается одна и та же задача нагрева этой проволоки до заданной температуры. Но в основу разработки таких алгоритмов может быть положен один и тот же принцип, основанный на использовании математической модели соответствующего процесса нагрева проволоки либо в условиях используемых для этих целей печей отжига, либо в условиях непрерывного совмещенного отжига, когда установка для его реализации встроена в структуру автоматической линии непосредственно после волочильного оборудования. Для тепловых процессов их математическое моделирование всегда основано на использовании общего уравнения баланса тепла применительно к конкретным условиям теплообмена. Практика подобного моделирования показывает, что для отжига в печах процесс нагрева катушек с медной проволокой моделируется по своим динамическим свойствам – аperiодическим звеном первого порядка [Л1-Л3], т. е. имеет следующую передаточную функцию:

$$W(P) = \frac{K}{1 + TP}, \quad (1)$$

где K – коэффициент передачи, который определяет уровень конечной температуры при завершении всего процесса нагрева катушек;

T – постоянная времени, которая определяет динамику процесса нагрева.

Если эта операция нагрева реализуется в печах периодического действия, то в них целесообразно установить постоянную температуру, равную температуре отжига, и катушка выдерживается в этой печи до момента, когда завершится весь процесс нагрева. В этом частном случае время выдержки катушек в зоне нагрева должно быть больше общего времени переходного процесса нагрева, равного $4T$, а коэффициент передачи в выражении (1) принимаем равным единице. Общий временной цикл отжига при этом должен учесть дополнительное технологическое время выдержки катушки в зоне печи и время ее последующего охлаждения, что существенно снижает производительность такого отжига. В этом отношении более производителен отжиг проволоки в печах конвейерного типа. Для них вопрос стабилизации температуры внутри печи решается автономным регулятором, который управляет током нагревателей в этой печи, например, по обычному П-закону регулирования. Аналогичный локальный регулятор предусмотрен и в печах периодического действия. Если говорить об управлении печами конвейерного типа, то при $\theta_{\text{печи}} = \theta_{\text{отжига}}$ нам необходимо лишь определить требования к скорости движения катушек в зоне нагрева, которая должна обеспечить их общее время пребывания в активной зоне печи не менее $4T$. Количественная оценка постоянной времени T обычно проводится по результатам экспериментального исследования реальной конструкции печи. Для увеличения производительности печей конвейерного типа можно рекомендовать подъем температуры активной зоны печи до значений, значительно превышающих температуру отжига. Тогда скорость конвейера подбирают таким образом, чтобы за время пребывания катушки в зоне нагрева ее температура не выходила за преде-

лы заданного уровня температуры отжига. Эта задача может решаться либо оператором, либо с помощью локальной системы управления работой конвейера непосредственно по реальной температуре самой медной проволоки, которую можно контролировать с помощью термопары или термометра сопротивления. Локальная система управления отжигом катушек с проволокой в печах конвейерного типа ориентирована на использование скорости конвейера как управляющего воздействия для этого процесса. Если известна постоянная времени нагрева катушки, то привод конвейера должен обеспечить выполнение неравенства

$$V_{TP} \leq \frac{L_{печ}}{(3-4)T_K},$$

где $L_{печ}$ – конструктивная длина рабочей зоны печи;

T_K – эквивалентная постоянная времени процесса нагрева катушек с проводом;

V_{TP} – скорость движения конвейерной ленты.

Рассмотренный вариант технической реализации операции отжига потребует наличия специального участка отжига, что не всегда возможно в реальных условиях. Поэтому для повышения производительности отжига в последнее время все более широко применяют непрерывный контактный отжиг, при котором нагрев проволоки происходит за счет ее нагрева пропусканием через нее электрического тока. Это так называемые установки совмещенного отжига. Они располагаются непосредственно за волочилкой и представляют собой управляемый источник электрического тока, выход которого подключен к роликам, через которые проходит проволока после завершения ее волочения. Ролики изолированы друг от друга, и ток нагрева проходит непосредственно через проволоку, создавая как предварительный подогрев проволоки до температуры ниже температуры начала окисления проволоки в среде атмосферного воздуха, так и окончательный нагрев до температуры отжига уже в среде защитного газа (обычно водяного пара). В качестве источника энергии предпочтительно использовать тиристорный управляемый преобразователь постоянного или переменного тока. Основная отличительная особенность совмещенного отжига – это его высокое быстродействие. Говоря же о математической модели этого процесса, следует отметить, что она по своим динамическим свойствам по-прежнему может быть представлена апериодическим звеном первого порядка [Л2, Л3]. Следовательно, переходная характеристика процесса отжига будет описываться уравнением

$$\theta = \theta_m \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{ор}}} \right), \quad (2)$$

где θ – температура жилы;

θ_m – конечная температура жилы, до которой она была бы нагрета при ее фиксированном положении между роликами;

$T_{ор}$ – величина постоянной времени, характеризующая динамику процесса нагрева участка проволоки, расположенного между контактными роликами;

t – текущее значение времени.

Приведенное уравнение справедливо для принятой модели процесса нагрева рабочего участка провода, и его реальное использование предусматривает изме-

нение времени t в пределах от нуля до бесконечности. В реальных же условиях время пребывания проволоки под действием тока отжига ограничено временем прохождения ее элементарного участка при его движении вместе с жилой между базовыми роликами. Численно оно равно

$$t = \frac{L_{отж}}{V_{ал}}, \quad (3)$$

где $L_{отж}$ – расстояние между роликами системы отжига;

$V_{ал}$ – линейная скорость работы линии.

Подставив выражение (3) в (2), получим:

$$\theta = \theta_m \left(1 - e^{-\frac{L_{отж}}{T_{от} \cdot V_{ал}}} \right). \quad (4)$$

Полученное уравнение (4) показывает, что в условиях совмещенного отжига исходная модель процесса отжига преобразуется к простому усилительному звену:

$$\theta = K_0 \cdot \theta_m, \quad (5)$$

где $K_0 = \left(1 - e^{-\frac{L_{отж}}{T_{от} \cdot V_{ал}}} \right)$.

Коэффициент передачи этого звена [K_0] зависит от скорости работы линии [$V_{ал}$], поэтому можно говорить о наличии в данном звене параметрического возмущения: [$K_0 = f(V_{ал})$].

Таким образом, учет ограничений на время пребывания проволоки в активной зоне нагрева отжига позволяет упростить общую математическую модель этого процесса, доведя ее до простого усилительного звена с переменным коэффициентом усиления. Это существенно упрощает разработку структуры алгоритма управления всем процессом отжига, сводя его к алгоритму компенсации параметрических возмущений за счет коррекции параметров источника питания участка отжига, который и будет определять конечную температуру жилы в конце нагрева проволоки на участке отжига при ее неподвижном состоянии, т. е. речь идет об изменении величины θ_m в уравнении (5). Подобное управление позволит решить задачу стабилизации температур проволоки на выходе из зоны отжига.

Полученные результаты могут быть использованы при алгоритмизации процессов управления тепловыми объектами в различных отраслях техники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бульхин А.К., Кидяев В.Ф., Кижяев С.А. Электропривод и автоматизация волоочильного оборудования. – Самара, 2002. – 482 с.
2. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. – Л.: Энергия, 1976. – 350 с.
3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 343 с.

Статья поступила в редакцию 15 января 2015 г.

SPECIAL FEATURES OF ALGORITHMIZATION FOR THERMAL FACILITIES MANAGEMENT WITHIN THE TIME LIMIT OF DWELLING IN THE HEATING ZONE

A.G. Mikheev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

The paper discusses the features of mathematical modeling of the process of heating the copper conductors in the implementation of the operation of the annealing process in general. Such operation is typical for the production of various types of cable. It is combined with the work of the various pieces of equipment in the general structure of automatic lines. With this combination, the residence time in the core wire is restricted heating. It is not possible to describe the process of heating the traditional mathematical models in the form of transfer functions. It is shown that for this type of heating mathematical model of this process will be reduced to a simple amplifying element with a variable gear ratio. To eliminate such parametric perturbations in the overall process of heating, a simple structure of the control algorithm.

Keywords: *thermal facilities, heating time, mathematical model, amplifying circuit, parametric perturbation.*

Alexander G.Mikheev (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.