

Московский государственный автомобильно-дорожный институт
(технический университет)

На правах рукописи
УДК 681.5.015.24

Маматов Александр Васильевич

Автоматизация процесса нагрева листового строительного
стекла при закалке на основе оптимизации рабочих режимов
многосекционной закалочной печи

Специальность 05.13.07 - Автоматизация технологических процессов
и производств (строительство)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1995

Работа выполнена на кафедре автоматизации технологических процессов и производств Белгородской государственной технологической академии строительных материалов

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Рубанов В.Г.

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Суворов Д.Н.

кандидат технических наук
Тихонов А.Ф.

Ведущая организация: АО НПО "Энерготехпром"

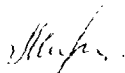
Защита состоится "11" апреля 1995 г. в 10 час. на заседании специализированного Совета Д 053.30.07 при Московском государственном автомобильно-дорожном институте по адресу: 125829, Москва, Ленинградский пр. 64, ауд.42.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МАДИ.

Просим Вас принять участие в защите и направить отзыв по адресу: 125829, ГПС, Москва, Ленинградский пр. 64, ученым Советом.

Автореферат разослан "8" марта 1995 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
кандидат технических наук, доцент



Михайлова Н.В.

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Использование закаленного стекла вместо обычного в строительстве позволяет в несколько раз уменьшить потери стекла в виде боя при транспортировке, установке и эксплуатации, а также существенно повысить безопасность эксплуатации здания и сооружения. Вместе с тем, существует ряд причин, сдерживающих расширение области применения изделий из закаленного листового стекла. Наиболее важными из них являются: возможность изменения формата стеклоизделия после закалки и более высокая стоимость закаленного стекла по сравнению с незакаленным. Оптимизация режимов термической обработки стекла до закалки является важной составной частью работ по устранению причин, сдерживающих применение изделий из закаленного листового стекла в строительстве. При наличии резервов совершенствования существующих технологических процессов проведение работ в этом направлении дает реальную возможность без значительных капитальных затрат повысить эффективность производства и улучшить стоимостные и потребительские свойства выпускаемой продукции.

Задача оптимизации теплотехнологических операций при производстве закаленного листового стекла неоднократно рассматривалась ранее, ее решения в различных постановках позволили выработать ряд практических рекомендаций, направленных на улучшение характеристик процесса термообработки, однако до настоящего времени не разработана целостная методика, позволяющая для конкретного типа стеклоизделий производить выбор оптимальных в некотором едином критерии рабочих режимов теплотехнологической установки, при которых выполняются заданные технологические требования. Поэтому при переводе закалочных установок с одного типа изделий на другой, когда требуется серьезная корректировка рабочих режимов, операторам закалочных печей приходится опытным путем осуществлять выбор режимов закалочной печи. При этом значительно снижается гибкость производства, не исключена возможность нарушения технологических эксплуатационных ограничений при выборе рабочих режимов закалочной печи, что может привести к появлению брака в виде боя или деформации стекла, к остановке печи и даже к выходу оборудования из строя. Кроме того, режимы термической обработки стекла, выбранные на основе практического опыта эксплуатации закалочной линии, часто оказываются не самыми эффективными. Все

это отрицательно сказывается на стоимостных и потребительских свойствах выпускаемой продукции. Вместе с тем, реализация оптимальных рабочих режимов закалочной печи сопряжена с выводом режимных параметров на предельный уровень и приводит к протеканию технологического процесса на грани заданных ограничений. При этом даже незначительные отклонения рабочих режимов от оптимальных значений, вызванные внешними и внутренними возмущениями, могут привести к нарушениям эксплуатационных и технологических ограничений, в результате чего существенно повышаются требования, предъявляемые к процессу регулирования рабочих режимов закалочной печи.

Таким образом, имеются объективные предпосылки для решения следующей научно-технической задачи: с целью повышения эффективности производства закаленного листового строительного стекла разработать методику и средства выбора и поддержания оптимальных по продолжительности нагрева рабочих режимов многосекционной закалочной печи, при которых выполняются заданные технологические и эксплуатационные ограничения. В результате декомпозиции поставленной задачи исследования можно выделить несколько частных задач, подлежащих решению:

- 1) синтезировать закон оптимального по быстродействию управления нагревом листового стекла при закалке;
- 2) разработать алгоритмы выбора оптимальных рабочих режимов многосекционной закалочной печи по критерию производительности теплотехнологической установки;
- 3) произвести разработку средств стабилизации режимных параметров и контроля динамических режимов нагрева.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- 1) разработана математическая модель сложного теплообмена в стеклянной пластине, отличающаяся от известных формой представления (модель в пространстве состояний), что позволяет применить методы теории оптимального управления для синтеза на ее основе оптимальных динамических режимов нагрева листового стекла;
- 2) получено формальное решение задачи оптимизации по быстродействию динамических режимов сложного нагрева стеклянной пластины при заданных граничных условиях и ограничениях на градиент температуры по толщине стекла и на температуру источников тепла;
- 3) разработана методика синтеза оптимальных рабочих режимов

многосекционной закалочной печи, основанная на решении задачи оптимизации динамических режимов нагрева стеклянной пластины с учетом ограничения на пространственное распределение температуры источников тепла и эксплуатационных ограничений технологической установки.

Практическая ценность полученных результатов состоит в повышении производительности закалочной установки при одновременном снижении удельного расхода энергии на нагрев стеклоизделия при оптимизации рабочих режимов многосекционной закалочной печи в соответствии с разработанной методикой.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы излагались и обсуждались на IV Всероссийской научной конференции "Динамика ПАХТ". Полученные результаты опубликованы в статьях и докладах.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав общих выводов. Работа изложена на 129 страницах машинописного текста, содержит 22 рисунка. Список литературы включает 99 наименований.

Научный консультант работы: доктор технических наук, профессор Шутов Александр Иванович.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность исследования, указана научная новизна работы и практическая ценность полученных результатов.

Первая глава содержит анализ объекта автоматизации и стояния вопроса оптимизации режимов нагрева листового стекла и закалке. Выявлены следующие основные требования, предъявляемые к динамическим режимам нагрева стекла при закалке: одной стороны необходимо, чтобы продолжительность обработки стекла была минимальной, а с другой - температурные градиенты в процессе нагрева также должны иметь минимальное значение, при этом конечное распределение температур должно точно соответствовать закалочной температуре. Динамика нагрева при производстве закаленных стеклоизделий оказывает определяющее влияние на качество продукции и на показатели эффективности технологического процесса в целом, так как быстрый нагрев стекла создает чрезмерные температурные градиенты по ширине и толщине листа, что может привести к неравномерности

закалки и даже к разрушению изделий. Медленный нагрев позволяет существенно снизить температурные градиенты в объеме материала, однако при этом значительно увеличивается время нагрева стекла до закалочной температуры, что снижает производительность теплотехнологической установки и влечет за собой пластическую деформацию стеклоизделий под действием собственного веса при температуре, близкой к закалочной. Большое влияние на качество продукции и на количество брака оказывает также конечное распределение температур по толщине стеклоизделия, так как даже незначительный недогрев стекла до закалочной температуры может привести к разрушению изделия на стадии охлаждения, а в случае перегрева возможно появление брака в виде "оттяжки" или "волны".

Наиболее приемлемым с точки зрения выявленных требований является кондуктивно-радиационный нагрев стекла поточным способом в многосекционной закалочной печи, в которой поддерживаются выбранные специальным образом температурные и скоростные режимы. Динамические режимы нагрева при этом задают выбором распределения температур и скоростей транспортирования изделий по секциям печи. На рисунке 1 показан поперечный разрез нагревательной секции, в которой происходит кондуктивно-радиационный нагрев стеклянной пластины 1. Кондуктивная составляющая теплообмена внутри стеклянной пластины определяется теплопроводностью материала и распределением температур в соответствующий момент времени. У поверхности пластины, вследствие теплового взаимодействия материала с прилегающими слоями газовой среды, кондуктивная составляющая также определяется условиями конвекции и разности температур поверхности и газа. Радиационная составляющая теплообмена для стекла, как теплопрозрачного поглощающего материала, в произвольной точке объема обусловлена поглощением

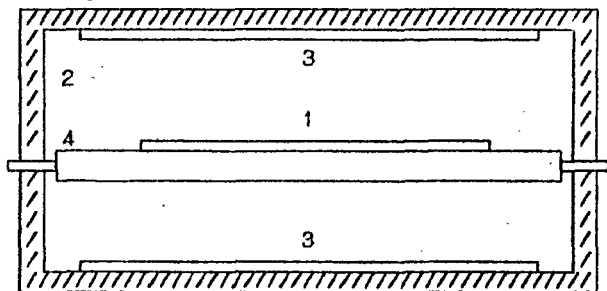


Рис. 1.

роходящих через нее потоков внешнего излучения и вторичного излучения пластины, а также собственным тепловым излучением материала в данной точке. Источниками внешнего излучения в секции являются футеровка печи 2 и внутреннее оборудование: агрегательные элементы 3, детали роликового транспортера 4.

Основным средством при решении задач исследования теплотехнологических операций при производстве листового закаленного стекла являются аналитические методы расчета стационарного температурного поля в стеклянной пластине. Согласно этим методам, рассматривается процесс сложного теплообмена в плоской стеклянной пластине, расположенной в азотной среде между двумя источниками излучения. В основе аналитических методов расчета нестационарного температурного поля в условиях сложного теплообмена лежит уравнение энергетического баланса в произвольной точке объема пластины:

$$c\rho \frac{dT(z,t)}{dt} + \eta_c(z,t) + \eta_r(z,t) = 0,$$

где c - теплоемкость среды, Дж/(кг·К); ρ - плотность среды, г/м³; η_c - объемная плотность потока кондуктивной составляющей теплообмена, Вт/м³; η_r - объемная плотность радиационной составляющей теплообмена, Вт/м³; z - расстояние от нижней поверхности пластины вдоль нормали к этой поверхности, м; t - время, с.

При решении задач оптимизации процесса термообработки стекла при закалке основные требования, предъявляемые к динамическим режимам нагрева могут быть учтены в виде технологических граничных условий. В соответствии с требованиями обеспечения заданного качества продукции и снижения количества брака формулируются граничные условия времени нагрева, градиента температуры по толщине стекла, конечного распределения температуры заготовки. Наряду с технологическими ограничениями, обусловленными свойствами обрабатываемых изделий, при решении задач оптимизации процесса термообработки необходимо также учитывать ограничения, определяемые эксплуатационными характеристиками теплотехнологической установки. Основными эксплуатационными ограничениями для многосекционной закалочной печи являются рабочий диапазон температур нагревательной секции и скоростей перемещения транспортера. Кроме того, в силу особенностей конструкции агрегательных секций, направленных на снижение теплового

взаимодействия с окружающей средой и друг с другом, установившемся режиме поле температур внутри ее выравнивается, в результате чего температуры источников неизменны в пределах одной секции. В связи с этим, необходимо учитывать также дополнительные эксплуатационные ограничения, обусловленные особенностями конструкции многосекционной закалочной печи.

В результате проведенного исследования возможности использования основных требований, предъявляемых к динамическим режимам нагрева стекла, в качестве критериев оптимальности процесса термообработки установлено, что между этими требованиями существует тесная взаимная связь, позволяющая сводить решение оптимизационных задач к задаче максимального быстродействия обуславливающая целесообразность использования продолжительности термообработки в качестве единого критерия оптимальности динамических режимов нагрева стекла при закалке. Установлена также связь между критерием продолжительности нагрева показателями эффективности технологического процесса производительною теплотехнологической установки и удельным расходом энергии на нагрев заготовки, что позволило сделать вывод о целесообразности использования в качестве единого критерия оптимальности рабочих режимов закалочной печи время нагрева стеклоизделия до закалочной температуры и проведения оптимизации процесса термообработки стекла на основе решения задачи максимального быстродействия с учетом технологических эксплуатационных ограничений.

Вторая глава посвящена формализации и решению задачи синтеза оптимальных динамических режимов нагрева листового стекла при закалке. С целью обеспечения возможности использования методов теории оптимального управления для синтеза оптимального закона изменения температур источников тепла при нагреве стеклянной пластины была разработана модель сложного теплообмена в фазовом пространстве состояний:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu + C(x)u^* + D(u)u^*,$$

где x - вектор температур элементарных слоев пластины; u - вектор температур источников излучения и прилегающих к поверхности пластины слоев газовой среды; A, B - основные матрицы состояния и управления, определяемые свойствами стекла и газовой среды; C, D - дополнительные матрицы состояния и управления, определяемые

действиями стекла и источников излучения. В соответствии с рассмотренными требованиями, предъявляемыми к динамическим режимам нагрева стекла при закалке, с учетом технологических и эксплуатационных ограничений, на основе выбранного критерия оптимальности, задача максимального быстродействия при управлении режимом нагрева стекла сформулирована следующим образом: при заданных ограничениях на температуру источников тепла и на градиент температуры по толщине стекла необходимо найти закон изменения температуры источников тепла, при котором центральный слой стеклянной пластины, имеющей в начальный момент времени температуру окружающей среды, нагревается до закалочной температуры за минимальное время.

Синтез оптимального управления процессом нагрева стекла при закалке осуществлен на основе принципа максимума Понтрягина. Сформулированное в соответствии с постановкой задачи условие неперсальности для правого конца оптимальной траектории позволило исключить вспомогательные переменные из выражения для оптимального управления и получить следующее решение поставленной задачи синтеза:

$$u_{opt}(t) = \max_{u \in U(t)} u(t),$$

$$u \in U(t) \in U$$

$u(t)$ - значение температуры источников тепла, $u(u)$ - вектор температур источников тепла, все элементы которого имеют значение $U(t)$ - переменная область допустимых управлений, определяемая ограничениями на температуру источников тепла и на градиент температуры по толщине стекла. В результате анализа полученного решения выявлены следующие стадии оптимального процесса, в соответствии с которыми определяются оптимальные законы изменения температур источников во времени: нагрев при максимальной температуре источников до выхода градиента температуры по толщине стекла на предельный уровень; поддержание максимального допустимого значения градиента температуры за счет соответствующего изменения температур источников; нагрев при максимальной температуре источников до достижения заготовкой закалочной температуры закалки.

На рисунке 2 приведены временные диаграммы оптимального процесса нагрева стеклянной пластины толщиной 6мм. Кривые 1, 2, показывают изменение во времени температур (рис.2.а) и градиентов температуры по толщине листа (рис.2.б) нижнего,

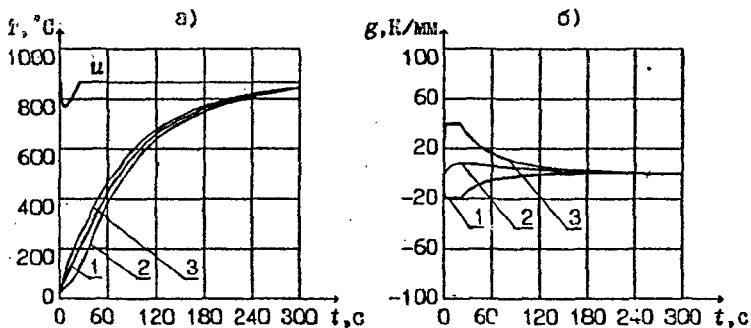


Рис. 2.

центрального и верхнего слоев соответственно.

Третья глава включает вопросы, связанные с разработкой алгоритмов выбора оптимальных температурных и скоростных режимов многосекционной закалочной печи. Полученное решение задачи оптимизации динамических режимов нагрева стеклянной пластины не может быть реализовано в промышленных закалочных печах, так как при оптимизации динамических режимов нагрева стекла предполагалось, что управляющие переменные изменяются непрерывно, но в силу особенностей конструкции нагревательных секций, изменение управляющих переменных в пределах одной секции невозможно. Поэтому при разработке алгоритмов выбора оптимальных рабочих режимов закалочной печи необходимо учесть ограничение на пространственное распределение температур источников тепла, которое определяет следующее дополнительное ограничение на элементы вектора управления в задаче оптимизации динамических режимов нагрева стекла: $u(t) = u(t_j)$, $t_{j-1} < t < t_j$, $j = 1, m$, где t_j - время перемещения стеклоизделия от начала печи до выхода из j -й секции, с; m - число секций. Выполнение дополнительного ограничения приводит к тому, что элементы вектора управления меняют свое значение только в дискретные моменты времени и остаются неизменными между ними. Следует отметить, что в общем случае, в силу неравенства длин секций и скоростей транспортирования заготовок по зонам закалочной печи, шаг дискретизации управления по времени является переменным.

Оптимальное распределение температур источников тепла по секциям печи определяется на основе решения задачи максимального быстродействия с учетом дополнительного ограничения на

управляющие переменные. При этом скорости транспортирования стеклоизделий по секциям предполагаются заданными. Оптимальный закон изменения температуры источников тепла в данном случае является кусочно-постоянной функцией времени и определяется рекуррентным соотношением:

$$u_{opt}(t) = \max_{u(u(t)) \in \Omega(t_{j-1}, t_j)} u(t), \quad t_{j-1} < t \leq t_j, \quad j=1, n,$$

где $\Omega(t_{j-1}, t_j)$ - подмножество возможных управлений, которые, будучи применены в момент времени t_{j-1} и оставаясь, неизменными на интервале $t_{j-1} < t \leq t_j$, не приводят к нарушению ограничения переменных состояния на этом интервале. Найденные на n интервалах управления значения управляющих переменных определяют распределение температур источников по секциям печи при котором нагрев центрального слоя пластины до закалочной температуры происходит за минимальное время. При этом вследствие произвольности выбора скоростей транспортирования заготовок по зонам печи в результате реализации найденного распределения температур источников по секциям при перемещении изделий по печи с выбранными скоростями на выходе из теплотехнологической установки может наблюдаться перегрев или недогрев стекла.

Определение оптимального распределения скоростей транспортирования заготовок по зонам печи осуществляется на основе анализа возникающей на выходе из печи ситуации и соответствующего изменения скоростей транспортирования стеклоизделий с учетом заданного соотношения скоростей между зонами: $v(y_j) = \alpha_j V$, $j=1, k$, где $v(y)$ - скорость перемещения заготовок на расстоянии y от начала печи, м/с; y_j - расстояние до конца j -й зоны, м; α_j - заданный весовой коэффициент; V - фиктивная скорость, м/с; k - число зон печи.

Разработанные алгоритмы оптимизации температурных и скоростных режимов позволяют производить выбор оптимальных рабочих режимов многосекционной закалочной печи, при которых обеспечивается нагрев заготовки до закалочной температуры и выполняются заданные технологические и эксплуатационные ограничения, а в случае невозможности решения задачи оптимизации вырабатывать соответствующие рекомендации по изменению типа теплотехнологической установки.

На рисунке 3 приведены временные диаграммы процесса нагрева листового стекла толщиной 6мм в многосекционной закалочной печи

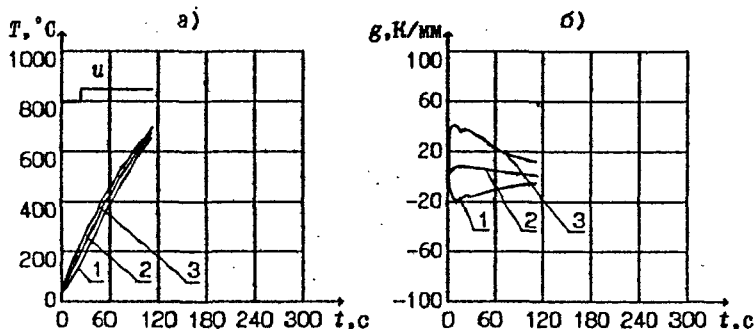


Рис.3.

ЛЗАС-500 при реализации оптимальных рабочих режимов, определенных в соответствии с разработанными алгоритмами. Кривые 1, 2, 3, показывают изменение во времени температур (рис.3.а) и градиентов температуры по толщине листа (рис.3.б) нижнего, центрального и верхнего слоев соответственно. В результате проведенной оценки изменения по сравнению с базовыми значениями основных показателей эффективности технологического процесса установлено, что для рассмотренного случая оптимизация рабочих режимов закалочной печи позволяет увеличить производительность установки на 30%, при этом потребляемая мощность возрастает на 24%, но в силу более значительного роста производительности, удельный расход энергии снижается на 4%.

В ходе проведенного исследования влияния отклонений режимных параметров закалочной печи от расчетных значений на динамику нагрева стекла установлено: тепловое взаимодействие между секциями оказывает положительное влияние на динамику нагрева стекла и создает предпосылки для дополнительного сокращения продолжительности нагрева; отклонению температур секций и скоростей транспортирования заготовок от расчетных значений при реализации оптимальных режимов нагрева приводят к нарушению заданных технологических ограничений, в связи с чем предъявляются высокие требования к качеству стабилизации оптимальных рабочих режимов закалочной печи; наличие неконтролируемых факторов, оказывающих значительное влияние на динамику нагрева стекла, может привести к нарушению заданных технологических ограничений даже при точной стабилизации рабочих режимов, что обуславливает необходимость контроля реализуемых динамических режимов нагрева стекла.

Четвертая глава содержит материалы, связанные с разработкой системы автоматизации технологического процесса нагрева листового строительного стекла при закалке. На основе анализа проведенных исследований установлен следующий набор функций, которые должна выполнять система автоматизации процесса нагрева листового стекла при закалке: выбор оптимальных рабочих режимов многосекционной закалочной печи при термической обработке заданного типа стеклоизделия; переналадку температурных и скоростных режимов нагревательных секций при переходе с одного типа стеклоизделия на другой; стабилизацию оптимальных рабочих режимов закалочной печи; контроль реализуемых динамических режимов нагрева стекла.

В соответствии с принципами проектирования систем автоматизации микропроцессорного класса, исходя из организационной иерархии технологического объекта управления, для реализации указанных функций предложена двухуровневая структура системы автоматизации, обеспечивающей выбор и поддержание оптимальных рабочих режимов многосекционной закалочной печи. На рисунке 4 приведена структура системы автоматизации процесса нагрева листового стекла при закалке, реализуемой средствами

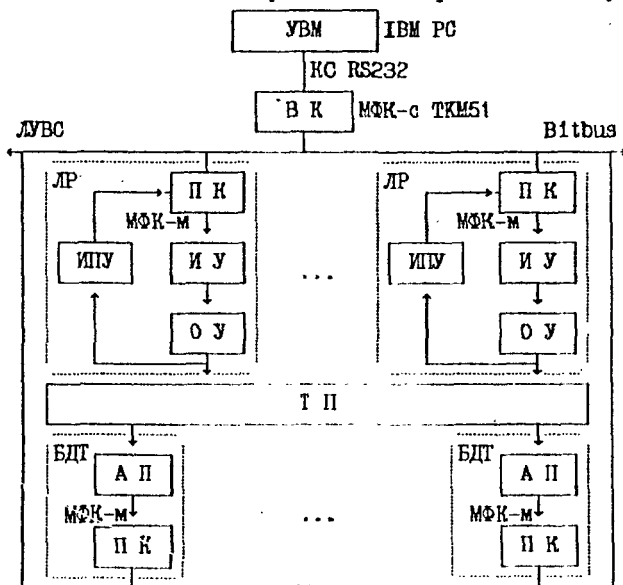


Рис. 4.

промышленного микропроцессорного комплекса "Техноконт". Управляющая вычислительная машина УВМ (IBM PC) выполняет функции верхнего уровня управления: выбор оптимальных рабочих режимов многосекционной закалочной печи при термической обработке заданного типа стеклоизделий, переналадку температурных и скоростных режимов нагревательных секций при переходе с одного типа стеклоизделий на другой путем выдачи и контроля отработки соответствующих управляющих воздействий нижнему уровню управления по локальной управляющей вычислительной сети ЛУВС (Bitbus) через последовательный канал связи КС (RS232) ведущего контроллера ВК (МФК-с); анализ состояния технологического процесса на основе информации о реализуемых динамических режимах нагрева стекла, поступающей с нижнего уровня; взаимодействие с системами автоматизации смежных процессов при комплексной автоматизации производства по локальной вычислительной сети ЛВС системы более высокого уровня, осуществляющей управление технологической линией закладки. На нижнем уровне управления обеспечивается стабилизация заданных рабочих режимов закалочной печи и производится контроль реализуемых динамических режимов нагрева стекла. Стабилизация рабочих режимов осуществляется локальными регуляторами ЛР на базе полевых контроллеров ПК (МФК-м), включающими измерительно-преобразующие ИПУ и исполнительные устройства ИУ. В зависимости от стабилизируемого режимного параметра объектом управления ОУ для локального регулятора является нагревательная секция или электропривод зоны печи. Поддержание заданных температурных и скоростных режимов секций закалочной печи определяет протекание технологического процесса ТП. Для предотвращения нарушения технологических ограничений в определенных точках закалочной печи при помощи бесконтактных датчиков температуры БДТ, выполненных на базе полевых контроллеров и автоматических пирометров АП, осуществляется контроль реализуемых динамических режимов нагрева заготовок путем измерения температуры поверхности изделий.

Решение задачи синтеза контуров стабилизации режимных параметров осуществлялось на основе метода полиномиальных уравнений. При синтезе алгоритмов цифровых регуляторов наряду с условиями осуществимости и грубости учитывались дополнительные требования, формируемые в виде критериев оптимальности и ограничений на основе цели управления и особенностей объектов управления. В качестве критерия оптимальности контуров

стабилизации режимных параметров была указана суммарная квадратическая ошибка, характеризующая отклонение стабилизируемого режимного параметра от заданного значения. Отладка управляющих алгоритмов и моделирование работы контуров стабилизации были осуществлены на аналого-цифровом моделирующем комплексе АЦМК-32/86.

Для обеспечения функции контроля реализуемых динамических режимов нагрева стекла предложен микропроцессорный бесконтактный датчик температуры на базе специализированного автоматического пирометра Argonox и полевого контроллера МФК-м. Использование для этой цели известных измерительных средств существенно затруднено в силу следующих причин: заготовки в процессе нагрева перемещаются относительно оборудования печи, что делает практически невозможным использование контактных датчиков температуры; тепловое излучение стеклянной пластины, которая представляет собой плоский слой селективной ослабляющей среды, определяется эффектами поглощения и испускания энергии излучения во всем ее объеме, при этом результирующее собственное излучение пластины складывается с излучением внешних источников, что отрицательно сказывается на точности измерения температуры поверхности заготовки при помощи бесконтактных датчиков температуры; наличие промежутков между листами стекла при их перемещении по закалочной печи вызывает периодическое изменение плотности потока теплового излучения и приводит к появлению переходных процессов на выходе бесконтактного датчика температуры, что также затрудняет измерение температуры поверхности заготовки. Разработанный алгоритм обработки показаний автоматического пирометра, реализуемый средствами полевого контроллера, обеспечивает определение моментов прохождения передней кромки заготовки под приемником излучения, осреднение показаний пирометра после окончания переходных процессов в канале измерения и проверку принадлежности результатов измерения диапазону расчетных значений. В результате обработки показаний автоматического пирометра наряду с повышением точности измерений появляется дополнительная возможность использовать бесконтактный датчик температуры для измерения текущей производительности закалочной печи. В результате проведенного исследования были определены условия работоспособности предлагаемого способа контроля режимов нагрева.

Выводы

В ходе выполнения научных исследований, проведенных по теме диссертационной работы, получены следующие результаты:

- на основе проведенного анализа требований, предъявляемых к процессу термообработки листового стекла сформулированы технологические и эксплуатационные ограничения, обоснована возможность использования требования сокращения продолжительности нагрева в качестве единого критерия оптимальности процесса;
- разработана математическая модель сложного теплообмена в стеклянной пластине в форме пространства состояний, позволяющая использовать для синтеза оптимальных динамических режимов нагрева стекла методы теории оптимального управления;
- сформулирована задача условной оптимизации по критерию максимального быстродействия динамических режимов сложного нагрева стеклянной пластины, решение которой позволило получить упрощенное условие оптимальности процесса нагрева, состоящее в необходимости поддержания в процессе нагрева максимального допустимого при заданных ограничениях значения температуры источников;
- разработана целостная методика формального синтеза оптимальных по критерию максимальной производительности теплотехнологической установки рабочих режимов закалочной печи;
- проведено исследование влияния отклонений режимных параметров закалочной печи на динамику нагрева стекла;
- разработана структура двухуровневой распределенной системы автоматизации процесса нагрева листового стекла при закалке, реализующей теоретические решения, предложенные автором;
- осуществлен синтез оптимальных по критерию суммарной квадратической ошибки цифровых регуляторов контуров стабилизации температуры нагревательных секций и скоростей транспортирования заготовок по зонам печи;
- дано теоретическое обоснование способа контроля динамических режимов нагрева стекла путем измерения температур фоновой поверхности печи и поверхности стекла при помощи специализированного автоматического пирометра.

Публикации по работе

1. Рубанов В.Г., Маматов А.В. Оптимизация динамических режимов нагрева в процессах химической технологии// Тезисы докладов IV

Всероссийской научной конференции "Динамика ПАХТ". -Ярославль: ЯГТУ, 1994.

2. Шутов А.И., Маматов А.В. Оптимизация процесса нагрева стекла при закалке// Стекло и керамика, 1994. -№9-10.

3. Маматов А.В., Рубанов В.Г. Оптимизация процесса термической обработки листового стекла при закалке// Строительные материалы, 1994. -№12.

4. Маматов А.В., Мишунин В.В., Рубанов В.Г., Подлесный В.Н. Аналого-цифровая моделирующая комплекс АЦМК-32/86// Электронное моделирование, 1995. -№1.

5. Маматов А.В., Мишунин В.В., Рубанов В.Г., Подлесный В.Н. Разработка методики и инструментальных средств исследования систем управления неполностью определенными динамическими объектами. Отчет по НИР №71/93 N гос.рег. 01940001430, 1994.



Подписано в печать 1.03.95г. Объем 1 п.л. Тир. 100 экз. Зак. 98

308012, г.Белгород, ул.Костюкова 44, типография БелГТАСМ