

УДК 677.057.4: 681.3

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЛЮСОВКЕ КРАСИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

*Д.А.ШУРЫГИН*

(Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна)

Способы непрерывного крашения тканей – как наиболее производительные – получили широкое распространение, особенно в хлопчатобумажной, льняной и шелковой промышленности [1]. Наиболее распространенными машинами непрерывных процессов крашения тканей являются плюсовки, предназначенные для пропитывания ткани красильными растворами и равномерного отжима по ширине полотна.

Показатели качества крашения (цветовой тон, ровнота и прочность окраски) зависят от целого ряда факторов. Одним из важнейших факторов является температура красильного раствора, точность поддержания которой существенно влияет на качество крашения [2]. Заданная температура раствора в зависимости от применяемых красителей может лежать в диапазоне 50...90°C (например, при крашении кубо-

золями, прямыми и азокрасителями), а требуемая точность ее поддержания может составлять 2°C.

Для стабилизации температуры с заданной точностью применяются автоматические регуляторы, реализующие один из известных непрерывных законов регулирования, чаще всего пропорционально-интегральный (или ПИ-закон), позволяющий добиваться не только отсутствия статической ошибки, но и, как правило, удовлетворительного качества переходных процессов. Нагрев раствора осуществляется глухим паром, подаваемым в змеевик плюсовки.

Кроме регулирования температуры непрерывно осуществляется и регулирование уровня раствора в плюсовке путем долива красильного раствора, компенсирующего его унос окрашиваемой тканью. По данному параметру процесса реализуется двухпозиционное регулирование, суть которого состоит в том, что при достижении уровнем раствора нижнего допустимого значения открывается клапан долива раствора из бака хранения, а при достижении верхнего допустимого значения клапан закрывается. Поскольку доливаемый раствор имеет комнатную температуру, его периодическая подача в плюсовку является существенным возмущением для системы регулирования температуры плюсовочного раствора и значительно осложняет ее работу в части обеспечения требуемой точности регулирования.

Для исследования динамики совместного регулирования температуры и уровня плюсовочного раствора было осуществлено численное моделирование процессов на базе математической модели плюсовки ПД-1 с ванной объемом 40 л при крашении тканей с поверхностной плотностью от 70 до 800 г/м<sup>2</sup> со скоростью от 40 до 160 м/мин. Математическая модель базировалась на исходном уравнении объекта регулирования температуры в виде:

$$C_0 \frac{dT}{dt} = Q_1 - Q_2 - f, \quad (1)$$

где  $C_0$  – теплоемкость объекта, Дж/К;  $T$  –

температура раствора, °С;  $t$  – время, с;  $Q_1$  – подача тепла, Вт;  $Q_2$  – потребление тепла, Вт;  $f$  – возмущение от долива красильного раствора, Вт.

Подача тепла определяется интенсивностью подачи пара в змеевик плюсовки. Потребление тепла определяется теплоотдачей в окружающую среду и уносом нагретого красильного раствора тканью. Таким образом:

$$Q_2 = \alpha F(T - T_0) + c_1 G m (T - T_0), \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>·К;  $F$  – площадь поверхности теплоотдачи, м<sup>2</sup>;  $T_0$  – температура окружающей среды, °С;  $c_1$  – удельная теплоемкость раствора, Дж/кг·К;  $G$  – массовый расход ткани, кг/с;  $m$  – разность абсолютной влажности ткани на входе и выходе плюсовки.

Уравнение регулятора температуры, реализующего ПИ - закон регулирования, имеет вид:

$$Q_1 = k_1 (T_1 - T) + k_2 \int (T_1 - T) dt, \quad (3)$$

где  $T_1$  – заданная температура,  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты настройки пропорциональной и интегральной составляющих соответственно.

Кроме того, учтена инерционность датчика температуры (терморезистора ТМ 9201) и запаздывание в объекте регулирования, вызванное распределенностью его параметров.

Для рассматриваемой плюсовки определены следующие параметры математической модели:  $C_0 = 340000$  Дж/К;  $\alpha = 40$  Вт/м<sup>2</sup>·К;  $F = 1,4$  м<sup>2</sup>;  $c_1 = 4200$  Дж/кг·К;  $G = 0,224$  кг/с (при скорости ткани 160 м/мин и плотности 70 г/м<sup>2</sup>);  $m = 1$ . Инерционность датчика температуры 40 с, запаздывание в объекте 10 с.

При отсутствии возмущений, вызванных доливом красильного раствора, определены параметры настройки регулятора:  $k_1 = 400$  Вт/К,  $k_2 = 2$  Вт/с·К. При этом статическая ошибка отсутствует, а максимальная динамическая ошибка при изменении задания на 10°C не превышает 2°C. Время переходного процесса составляет 300 с.

Оценка возмущения выполнена при условии, что ширина "коридора" регулирования уровня раствора составляет 1 см. Для обеспечения симметричности автоколебаний уровня принято условие: интенсивность долива раствора вдвое превышает интенсивность его уноса тканью. При принятых параметрах  $G$  и  $m$  интенсивность уноса раствора составляет 0,224 л/с, значит долив следует осуществлять с интенсивностью около 0,45 л/с. При площади "зеркала" раствора 0,52 м<sup>2</sup> объем каждого долива составляет 5,2 л, следовательно, время долива 12 с. Такое же время составляет интервал между доливками. Во время долива тепловое возмущение, наносимое объекту при температуре красильного раствора в плюсовке 70°C, составляет 47 кВт, (максимальная мощность нагрева 200 кВт принята с учетом возможного диапазона возмущений). Моделирование показало, что при этом колебания температуры раствора, вызванные возмущением, лежат в пределах 7°C. Зависимость температуры от времени при ПИ-законе регулирования приведена на рис.1.

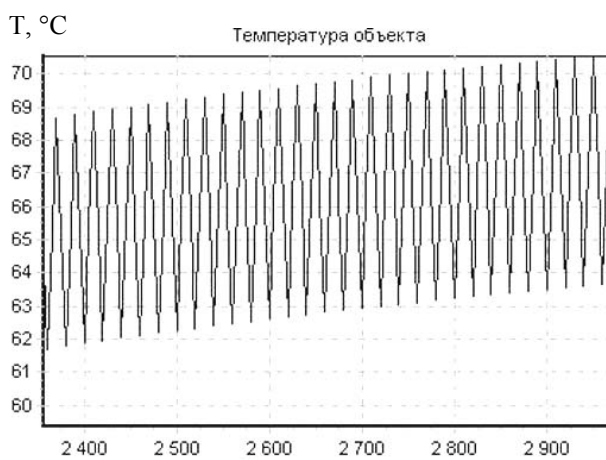


Рис. 1

Радикальным способом повышения точности регулирования температуры красильного раствора в рассматриваемом случае является введение в закон регулирования воздействия по возмущению. При этом уравнение регулятора приобретает вид:

$$Q_1 = k_1 (T_1 - T) + k_2 \int (T_1 - T) dt + k_3 f, \quad (4)$$

где  $k_3$  – параметр настройки воздействия по возмущению,  $f$  – ожидаемое возмущение от долива красильного раствора. Параметр  $k_3$  принимает значение 1 при открытом клапане долива раствора и 0 – при закрытом клапане. Величина  $f$  оценивается так:

$$f = 2 c_1 V x p m (T_1 - T_0), \quad (5)$$

где  $V$  – линейная скорость ткани; м/с;  $x$  – ширина ткани, м;  $p$  – плотность ткани, кг/м<sup>2</sup>.

Реализация такого варианта закона регулирования не представляет труда, особенно при использовании микропроцессорных регуляторов, широко применяемых на практике в настоящее время. В этом случае максимальные колебания температуры, вызванные действием периодических возмущений от долива красильного раствора, составили 0,7°C даже в условиях, когда ожидаемое возмущение определено с погрешностью 10%. Зависимость температуры от времени при наличии воздействия по возмущению показана на рис.2.

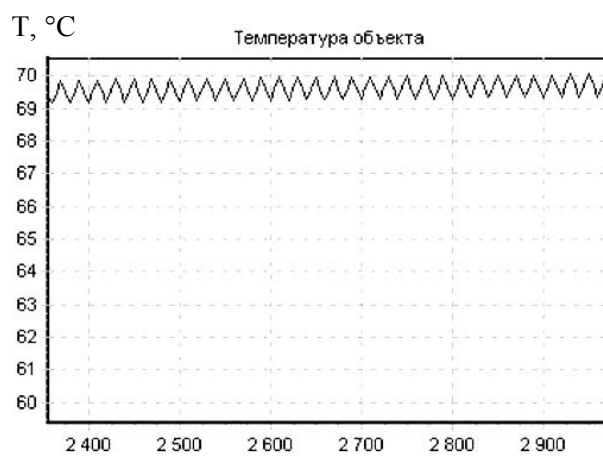


Рис. 2

Программное обеспечение, разработанное в среде C++Builder, позволяет эффективно исследовать процессы совместного регулирования температуры и уровня красильного раствора и в плюсовках другого типа, определять настройки регуляторов, обеспечивающих требуемое качество процессов. Пульт управления программой показан на рис.3.

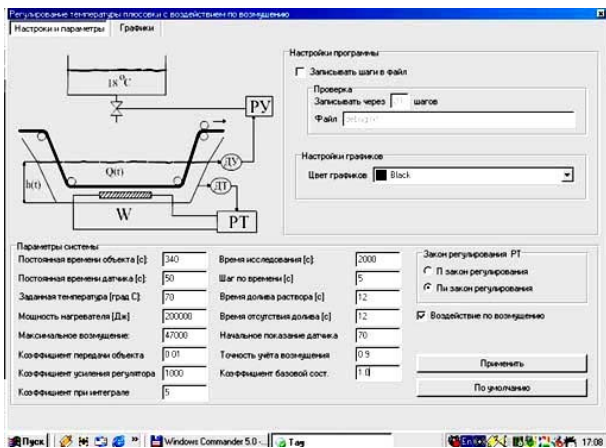


Рис. 3

## ВЫВОДЫ

1. Двухпозиционное регулирование уровня красильного раствора в плюсовке, осуществляемое совместно с непрерывным регулированием его температуры, создает тепловые возмущения, существенно снижающие точность стабилизации температуры.

2. Предложенное введение воздействия по возмущению в закон регулирования температуры позволило для исследуемой плюсовки уменьшить диапазон колебаний температуры в 10 раз, конкретно с 7 до 0,7°C. Результаты получены с помощью численного моделирования процесса, выполненного с помощью программы, разработанной в среде C++Builder и пригодной для исследования описанных процессов в плюсовках другого типа и при других параметрах крашения тканей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бельцов В.М. Оборудование текстильных отделочных предприятий: Учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – СПб., СПГУТД. 2001.
2. Отделка хлопчатобумажных тканей. В 20-х ч. Ч.1. Технология и ассортимент хлопчатобумажных тканей: Справочник / Под ред. Б.Н. Мельникова. – М.: Легпромбытиздат, 1991.

Рекомендована кафедрой автоматизации производственных процессов. Поступила 25.12.06.