

ЛАШИН Е.Н., РОГАЧЁВ А.И., докт. техн. наук, проф.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СУШКИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

При изготовлении строительных деталей из капиллярно-пористых материалов (древесина, кирпич и пр.) наиболее энергоёмким и длительным технологическим процессом является их сушка. Поскольку от качества сушки зависит и качество изготавливаемых деталей, то задача его повышения при минимизации расхода энергии и длительности процесса сушки является весьма актуальной.

Наиболее приемлемыми установками для сушки капиллярно-пористых материалов являются паровоздушные сушильные камеры периодического действия. При сушке материалов в таких камерах можно выделить три основных этапа: 1) прогрев или пропарка материала; 2) этап постоянной скорости сушки; 3) этап с падающей скоростью сушки. На первом этапе имеется возможность осуществлять наиболее оптимальное с точки зрения энергозатрат и длительности процесса управление. В работах [3,4] рассматривалась задача оптимального быстрогодействия без учета затрат энергии на пропарку материалов, в работе [5] исследовалась задача минимизации расхода теплоносителя.

Сушильные камеры периодического действия можно характеризовать как нелинейные динамические системы с распределёнными параметрами и взаимосвязанными управляющими воздействиями [3] и описать нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных, что затрудняет решение задачи оптимизации переходных процессов. Но при интенсивной циркуляции агентов сушки неравномерность распределения температурного поля может быть снижена, а вблизи рабочего режима статические характеристики системы можно линеаризовать и описать её линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами.

На основании исследований переходных характеристик камеры была предложена математическая модель в виде дифференциального уравнения

$$\frac{d^5\theta}{dt^5} + a_4 \frac{d^4\theta}{dt^4} + a_3 \frac{d^3\theta}{dt^3} + a_2 \frac{d^2\theta}{dt^2} + a_1 \frac{d\theta}{dt} + a_0\theta = b_2 \frac{d^2U_1}{dt^2} + b_1 \frac{dU_1}{dt} + b_0U_1, \quad (1)$$

где  $\theta$  – температура внутри высушиваемого материала,  $U_1$  – задающее воздействие, а  $a_i, b_i$  зависят от постоянных времени  $T_i$  камеры.

Рассматривалось три случая: 1) оптимизация по быстродействию, для чего требует перевести объект (1) из начального состояния  $\theta(0)=\theta_0$ ,

$$\frac{d^4\theta}{dt^4}(0) = \frac{d^3\theta}{dt^3}(0) = \frac{d^2\theta}{dt^2}(0) = \frac{d\theta}{dt}(0) = 0 \quad \text{в конечное состояние } \theta(T)=\theta_k,$$

$$\frac{d^4\theta}{dt^4}(T) = \frac{d^3\theta}{dt^3}(T) = \frac{d^2\theta}{dt^2}(T) = \frac{d\theta}{dt}(T) = 0 \quad \text{за минимальное время так, чтобы}$$

$$q = \int_0^T 1 dt$$

функционал принимал наименьшее значение; 2) оптимизация по потерям теплоносителя: объект (1) надо перевести из начального состояния в

$$q = \int_0^T U_1(t) dt$$

конечное за время  $T$  так, чтобы функционал принимал наименьшее значение; 3) оптимизация по потерям теплоносителя,

$$q = \frac{1}{2} \int_0^T U_1^2(t) dt$$

определяемым с помощью квадратичного функционала

Анализ методов оптимизации процесса пропарки показал, что задача оптимального быстродействия и задача минимизации расхода теплоносителя имеет одно и то же решение, если в качестве функционала последней из них принимается интеграл от управляющего воздействия  $U_1$ , а оптимальное управление состоит из трёх интервалов с разрывами в точках переключения. Поэтому квадратичный критерий оптимальности является более предпочтительным, так как реализуется непрерывной функцией времени, что значительно проще реализуется в реальной системе.

**Список литературы:** 1. *Лыков А.В.* Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472с.; 2. *Кречетов И.В.* Сушка древесины. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 432с.; 3. *Воронов В.Г., Качанов П.А., Рогачев А.И.* Разработка алгоритма оптимального управления процессом нагрева при сушке капиллярно-пористых материалов // Труды всесоюзной конференции «Актуальные направления развития сушки древесины». – Архангельск: ЦНИИМОД, 1980. – с. 232-239; 4. *Качанов П.А., Рогачев А.И., Супрунова С.П.* оптимальное управление процессом сушки при ограничении скорости нагрева // Вестник Харьковского политехнического института. – Харьков: ХГУ, 1984. – Вып.10. - №210. – с.16-18; 5. *Рогачев А.И.* Минимизация расхода теплоносителя в объекте с вырожденной передаточной функцией // Интегрированные технологии и энергосбережение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. - №1. – с.11-14.