

ISSN 0136-9172

**ПИЩЕВАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

52

3

1985

Оптимальное управление агрегатами тепловой обработки в консервной промышленности

А. П. ЛАДАНИЮК, Киев. технол. ин-т пищ. пром-сти,
Е. Л. БЕЛОУСОВА, ВНИПКИ «Консервпромкомплекс»

Процесс тепловой обработки жидких продуктов для многих отраслей пищевой промышленности и, в первую очередь, консервной является одним из основных, определяющих качество как полуфабриката, так и готового продукта. Различные виды сырья на разных стадиях переработки требуют определенных, жестко регламентированных режимов тепловой обработки. Несоблюдение этих режимов приводит к порче дорогостоящего сельскохозяйственного сырья, перерасходу энергоресурсов, снижению производительности. Поэтому температура нагрева продукта или полуфабриката должна поддерживаться с высокой точностью $\pm 2^\circ\text{C}$, а для некоторых продуктов $\pm 1^\circ\text{C}$.

Широко применяемые в консервной промышленности пастеризационно-охладительные установки (ПОУ) работают в условиях случайных возмущений по температуре входного продукта, давлению греющего пара в магистрали и т. д. Обработка экспериментальных данных, полученных в томатном цехе Измаильского консервного комбината, позволила получить основные статистические характеристики действующих возмущений. В частности, для входной температуры продукта математическое ожидание и дисперсия составили соответственно $64,5^\circ\text{C}$ и $13,9 [^\circ\text{C}]^2$, а для давления греющего пара $0,22 \text{ МПа}$ и $0,39 [\text{кПа}]^2$.

Характерной особенностью работы ПОУ является также необходимость частых остановок для санитарной обработки, переключения с одного режима на другой в связи с изменением вида обрабатываемого продукта, перекоммутации технологического тракта для работы на периоди-

чески заполняемые емкости и т. д. В связи с этим, управляемый объект работает в основном в нестационарном режиме, что требует постоянного присутствия оператора для осуществления этих функций.

Остановки ПОУ часто связаны с несоблюдением температурного режима, вследствие чего продукт по рециркуляционному трубопроводу возвращается на повторную тепловую обработку. Анализ данных о частоте и длительности переключений ПОУ в режим рециркуляции показал, что они подчиняются пуассоновскому закону распределения. По усредненным за 10 сут данным продолжительность режима рециркуляции за сутки составляет 3 ч 44 мин, при количестве переключений ~ 23 в сутки.

Сократить эти потери можно точно регулированием температуры продукта, а также уменьшением времени вывода ПОУ в рабочий режим.

Таким образом, для оптимального управления тепловым объектом типа ПОУ необходимо обеспечить максимально быстрый пуск установки как из «холодного» состояния, так и из режима рециркуляции и достичь максимальной точности стабилизации температуры продукта в режиме нормальной эксплуатации. Математически формулировка этих требований выражается в минимизации некоторых интегральных функционалов, характеризующих определенное качество управления и являющихся критериями оптимальности.

В режиме запуска ПОУ из «холодного» состояния необходимо минимизировать время разгона. Осуществление этой задачи осложняется тем, что управляющим воздействием является степень открытия парового клапана, кроме того,

требованию полного «мгновенного» открытия препятствуют нежелательные явления, возникающие в связи с гидравлическими и тепловыми ударами. Поэтому стремление к максимальному быстродействию ограничивается допустимой скоростью изменения регулируемой величины. Критерий оптимальности имеет вид

$$I = \int_{t_0}^{t_k} f \left[x, \frac{dx}{dt}, v \right] dt \rightarrow \min, t \in T$$

где $t_k - t_0$ — время, необходимое для разгона; x — регулируемая величина; v — регулирующее воздействие, причем $(v) \geq S$. $S \in \Omega_s$.

В режиме нормальной эксплуатации в качестве критерия оптимальности принимаем минимум среднеквадратичного отклонения регулируемой величины от заданного значения.

Таким образом, система оптимального управления тепловыми объектами состоит из двух подсистем, одна из которых обеспечивает оптимальный пуск ПОУ, а вторая — оптимальное ведение процесса пастеризации продукта в условиях действия внутренних и внешних возмущений. Блок-схема оптимального алгоритма представлена на рис. 1. Реализация данного алгоритма ориентирована на использование управляющих мини- или микро-ЭВМ.

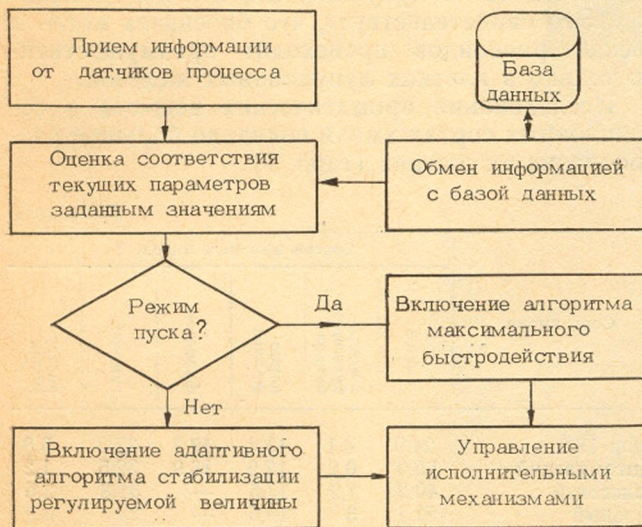


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оптимального управления.

Алгоритм оптимального пуска реализован на основе принципа максимума Л. С. Понтрягина. Адаптивные свойства алгоритма стабилизации температуры в режиме нормальной эксплуатации обеспечиваются автоколебательным режимом работы системы управления, чем достигается инвариантность к возмущающим воздействиям.

Для оценки эффективности оптимальных алгоритмов проведено имитационное моделирование системы «объект—алгоритм». Действие

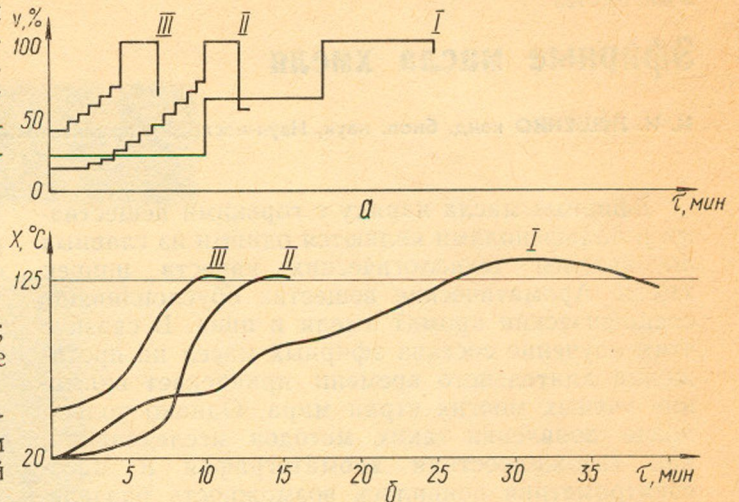


Рис. 2. Результаты имитационного моделирования:

а — степень открытия клапана в функции времени; б — переходные процессы по температуре продукта.

внешних и внутренних возмущений моделируется с помощью генераторов псевдослучайных функций.

Данные, полученные в процессе имитационного моделирования (рис. 2), позволяют сравнить качество переходных процессов при ручном выводе на режим I, при управлении с помощью алгоритма максимального быстродействия для запуска из «холодного» состояния II и из режима рециркуляции III. Оптимальный алгоритм позволяет выводить ПОУ в заданную температурную зону с более высокой точностью, а время запуска по сравнению с ручным управлением сокращается на 41 %.

Благодаря высокой точности поддержания температуры продукта на заданном уровне количество переключений в режим рециркуляции сокращается в 3,2 раза, а общая длительность режима рециркуляции — в 1,2 раза за сутки. Адаптивные свойства алгоритма стабилизации позволяют обеспечивать заданную точность регулирования при изменении коэффициента передачи управляемого объекта в 10 раз.

Эффективность разработанных алгоритмов прямого цифрового управления была подтверждена в процессе производственных испытаний опытного образца системы на Измайльском консервном комбинате. Испытания показали, что высокая точность регулирования и сокращение времени вывода ПОУ в рабочий режим повышают производительность установки в среднем на 23 %. Ожидаемый экономический эффект составляет 7,12 тыс. р. на одну систему.

Большей эффективности можно достичь при использовании микропроцессорной техники, что обеспечивает также повышение надежности по сравнению с системами с одним центральным процессором.