

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ КАМЕРЫ

Ульянов Н.И.

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
г. Могилев, Беларусь

В пищевой промышленности, в частности в мясомолочной, одну из ведущих позиций занимают процессы охлаждения и хранения готового продукта с использованием холодильных установок. Процесс охлаждения основан на физическом явлении поглощения тепла при кипении (испарении) жидкости (жидкого хладагента). Компрессор холодильной машины предназначен для отсасывания газа из испарителя и сжатия, нагнетания его в конденсатор. При сжатии и нагревании паров хладагента мы сообщаем им энергию (или тепло), охлаждая и расширяя, мы отбираем энергию. Это основной принцип, на основе которого происходит перенос тепла и работает холодильная установка. В холодильном оборудовании для переноса тепла применяют хладагенты.

Однако при регулировании температуры встречаются серьезные трудности, обусловленные широким диапазоном ее измерения, неравномерностью распределения температуры по площади или объему аппарата, большие тепловые нагрузки при форсировании тепловых процессов и, как следствие, неэффективное использование хладоносителей. Корректировка параметров осуществляется технологическим персоналом методом проб и ошибок.

Зная физический закон, положенный в основу работы данного объекта регулирования и его конструкцию, в большинстве случаев можно дать его математическое описание, необходимое при исследовании и выборе системы регулирования, обеспечивающих поддержание технологических параметров в оптимальных режимах.

Выбор каналов управления холодильной камерой основан на линеаризации ее динамической модели. Для этого холодильная камера проанализирована как многомерный объект автоматического регулирования, выполнена линеаризация ее динамической модели и получены передаточные функции, которые позволяют исследовать каналы управления.

Холодильная камера относится к той категории регулируемых объектов, в которых энергетический процесс осуществляется в виде теплообмена. Поэтому регулируемый объект представляет собой объем, к которому подводится тепло и из которого тепло отводится.

Задачей системы автоматического регулирования холодильной камерой является поддержание в заданных пределах температуры T_k внутренней полости камеры. Подвод тепла в холодильную камеру осуществляется, во-первых, за счет разности температуры окружающей среды T_g и температуры внутри камеры T_k (теплопереход через стенку); и, во-вторых, за счет загрузки холодильной камеры предметами, температура которых отлична от T_k .

Количество тепла, прошедшего через стенку в единицу времени, определяется зависимостью вида

$$Q_n = k_c F_c (T_g - T_k), \quad (1)$$

где k_c – коэффициент теплопередачи через стенку; F_c – площадь стенки.

Количество тепла, вносимое в камеру во время загрузки, определяется из соотношения

$$Q_{nn} = G_n c_n (T_n - T_k), \quad (2)$$

где G_n – весовой секундный расход вносимых предметов; c_n – теплоемкость предметов; T_n – температура предметов до загрузки.

Количество тепла, вносимое в камеру во время загрузки, можно представить в виде функции $Q_{nn}(t)$. Так как в состоянии равновесия объекта $Q_{nn}(t)=0$, то

$$Q_{nn}(t)=\Delta Q_{nn}(t).$$

Отвод тепла Q_{δ} из камеры осуществляется с помощью холодильного агента, циркулирующего в холодильной батарее, благодаря разности температур камеры T_k и холодильного агента T_x , причем

$$Q_{\delta}=k_{\delta}F_{\delta}(T_k - T_x), \quad (3)$$

где k_{δ} – коэффициент теплопередачи через поверхность холодильной батареи; F_{δ} – площадь теплопередачи холодильной батареи.

Уравнение статики данного регулируемого объекта имеет вид

$$Q_n=Q_{\delta}. \quad (4)$$

При нарушении равновесного состояния обе части равенства (4) получают приращения, в общем случае не равные между собой. Нарушения равновесного состояния сопровождаются изменением регулируемого параметра – температуры камеры T_k . Возникающая при этом разность количеств подводимого и отводимого тепла определяет собой количество тепла, аккумулируемое в данной камере.

Тогда, с учетом дополнительного теплопритока $Q_{nn}(t)$, уравнение холодильной камеры получит вид

$$c_k dT_k/dt=Q_n-Q_{\delta}+Q_{nn}(t) \quad (5)$$

$$c_k dT_k/dt=\Delta Q_n-\Delta Q_{\delta}+\Delta Q_{nn}(t), \quad (6)$$

где c_k – теплоемкость камеры.

В соответствии с выражениями (1) и (3), можно записать зависимости

$$Q_n=Q_n(T_{\theta}; T_k),$$

$$Q_{\delta}=Q_{\delta}(T_k; T_x), \quad (7)$$

где T_k – выходная величина; T_x , T_{θ} , $\Delta Q_{nn}(t)$ – входные возмущения.

Зависимости (7) позволяют найти выражения линеаризованных приращений

$$\begin{aligned} \Delta Q_n &= \partial Q_n \Delta T_{\theta} / \partial T_{\theta} + \partial Q_n \Delta T_k / \partial T_k, \\ \Delta Q_{\delta} &= \partial Q_{\delta} \Delta T_k / \partial T_k + \partial Q_{\delta} \Delta T_x / \partial T_x. \end{aligned} \quad (8)$$

Так как $T_k=T_{k0}+\Delta T_k$, то подстановка выражений (7) в уравнение (8) приводит его к виду

$$\begin{aligned} c_k dT_k/dt + (\partial Q_{\delta} / \partial T_k - \partial Q_n / \partial T_k), \\ \Delta T_k = \partial Q_n \Delta T_{\theta} / \partial T_{\theta} - \partial Q_{\delta} \Delta T_x / \partial T_x - \Delta Q_{nn}(t). \end{aligned}$$

Температура холодильного агента T_x определяется его количеством G_x , проходящим в единицу времени через змеевик холодильной камеры. Следовательно,

$$T_x=T_k(G_x), \quad (9)$$

$$\Delta T_x=dT_x \Delta G_x/dG_x. \quad (10)$$

Величина секундного расхода холодильного агента определяется положением регулирующего органа x , поэтому

$$G_x=G_x(x), \quad (11)$$

$$\Delta G_x=dG_x \Delta x/dx. \quad (12)$$

С учетом сделанных выводов уравнение холодильной камеры примет вид

$$c_k dT_k/dt + F_{\delta} \Delta T_k = \partial Q_n \Delta T_{\theta} / \partial T_{\theta} - \partial Q_{\delta} \Delta x / \partial x + \Delta Q_{nn}(t), \quad (13)$$

где $F_{\delta} = \partial Q_{\delta} / \partial T_k - \partial Q_n / \partial T_k$ – фактор устойчивости холодильной камеры.

Предложенная модель может быть использована для синтеза комбинированных систем регулирования температуры в холодильной камере в зависимости от загрузки холодильной камеры и температуры окружающей среды, а также для определения оптимальных настроек автоматических регуляторов.