

Холодоснабжение систем кондиционирования воздуха сушильных камер для сырокопченых колбас

На всех стадиях тепловой обработки сырокопченых колбас (осадка, копчение, сушка) необходимо использование холода. Для поддержания пониженных температур при тепловой обработке продуктов наиболее эффективными являются схемы с промежуточным хладагентом при охлаждении его в водоохлаждающих холодильных машинах, позволяющие более гибко управлять технологическими процессами. В настоящей статье рассматриваются вопросы холодоснабжения систем кондиционирования воздуха сушильных камер для сырокопченых колбас на примере использования оборудования, выпускаемого компанией ТЕРМОКУЛ, которое полностью соответствует технологическим требованиям мясоперерабатывающего предприятия.

В настоящее время сушильные камеры для сырокопченых колбас проектируют в основном в виде теплоизолированных аппаратов с размещением напольных тележек в два ряда. По длине камеры предусматривают установку от 5 до 10 напольных тележек. Такие компоновочные решения сушильных камер позволяют разместить их в строительном пролете между колоннами, равном 6 и 12 м. Кроме того, при таких компоновочных решениях камер появляется возможность применения более совершенных систем воздухораспределения по сравнению с системами, применяемыми в камерах зального типа, а также предусмотреть возможность размещения автономного холодильного оборудования. При этом исключаются режимы сушки, которые зависят от дополнительно загружаемых продуктов, что отрицательно влияет на их качество при проведении сушки в камерах зального типа.

Ограждающие конструкции камер выполнены в виде панелей, изготовленных из различных теплоизоляционных материалов. В сушильных камерах такой конструкции основным теплопритоком является теплоприток через ограждающие конструкции $\Sigma Q_{\text{огр}}$. Теплоприток $\Sigma Q_{\text{огр}}$ является незначительным по сравнению



с теплопритоками от других источников, так как он учитывает поступление теплоты окружающего воздуха из сушильного отделения, температура в котором не превышает 24 °С. В начальной стадии сушки продукта в общем теплопритоке, поступающем в камеру, необходимо учесть также теплоприток от продукта, так как его начальная температура составляет примерно 20–22 °С и зависит от режима холодного копчения, режимов загрузки и температуры воздуха в сушильном отделении. Практические замеры показали, что температура продукта выравнивается и становится равной температуре воздуха, циркулирующего в сушильной камере, примерно за сутки. Следовательно, можно принять, что основной процесс сушки сырокопченых колбас происходит при незначительном теплопритоке $\Sigma Q_{\text{огр}}$.

При этом отсутствуют теплопритоки при открывании дверей для дополнительной загрузки продукта, так как камеры характеризуются одновременной загрузкой. Отсутствуют теплопритоки от рабочих, погрузчиков, системы освещения и др.

Тепловлажностные коэффициенты лучей процесса, характеризующие изменение состояния воздуха при сушке сырокопченых колбас в изолированных аппаратах, имеют значения, не превышающие $\epsilon_c < 500$ кДж/кг. Указанные значения тепловлажностного коэффициента ϵ_c показывают на незначительные отклонения лучей процесса сушки от линии постоянной энтальпии внутреннего воздуха сушильной камеры. Следовательно, процессы сушки колбас в теплоизолированных аппаратах можно считать изоэнтальпийными, т. е. может быть принято условие, что сушка осуществляется при постоянной энтальпии циркулирующего воздуха.

По рекомендациям ГИПРОмясомолпром рабочая разность температур циркулирующего воздуха не должна превышать $\Delta t_p \leq 2$ °С, где Δt_p — разность между температурами приточного и удаляемого рециркуляционного воздуха. При максимальном значении Δt_p температура точки росы $t_{p.n}$ приточного воздуха имеет минимальное значение и характеризует начало «летнего» режима работы системы кондиционирования. При температуре наружного воздуха, соответствующей минимальной температуре точки росы приточного воздуха ($t_{нар} \geq t_{p.n}$), осуществляется реверс клапанов смесительной камеры и включается холодильная машина. Клапаны смесительной камеры обеспечивают подачу 10 % наружного воздуха и 90 % внутреннего воздуха и оставляют постоянное количественное соотношение подаваемых потоков воздуха в течение всего летнего режима работы.

Для определения расхода холода на охлаждение и осушение смеси воздуха были проведены исследования режимов работы системы кондиционирования при изменении параметров наружного воздуха в области климатической кривой, учитывающей изменение его параметров, соответствующих минимальной температуре точки росы приточного воздуха, до параметров, соответствующих верхней точке климатической кривой. При исследовании режимов охлаждения смеси воздуха с одновременным осушением учитывались изменения параметров воздуха в сушильной камере в зависимости от стадии сушки продукта.

Исследования выполнены с учетом климатической кривой Москвы и рекомендуемых внутренних параметров ($t_b = 12$ °С, $\phi_b = 75$ %). В результате получены следующие данные по удельному расходу холода на 1 кг воздуха для начальной стадии сушки: максимальный расход $q_{o.макс} = 12,5$ кДж/кг; минимальный расход $q_{o.мин} = 4$ кДж/кг. Изменение удельного расхода холода на конечных стадиях сушки продукта находится в пределах от 70 до 30 % от значений, соответствующих начальной стадии, и зависит от параметров наружного воздуха, вида продуктов и продолжительности технологического процесса.

При графическом построении процессов обработки воздуха одновременно определены параметры хладоносителя: $t_{хл1} = -2$ °С, $t_{хл2} = 3$ °С. При средней температуре хладоносителя $t_{хл.ср} = 0,5$ °С температура кипения хладогента $t_o = -6$ °С.

Полезный расход холода (Q_o , кВт), необходимого на обработку циркулирующего воздуха:

$$Q_o = \frac{V_n}{3600} \rho q_o, \quad (1)$$

где V_n — полный объемный расход воздуха, м³/ч;

ρ — плотность воздуха, кг/м³;

q_o — удельный расход холода, кДж/кг.

Полный объемный расход воздуха (V_n , м³/ч):

$$V_n = V k_v, \quad (2)$$

где V — расход воздуха, необходимый для удаления влагопоступлений от продукта, м³/ч;

k_v — коэффициент, учитывающий объемные потери воздуха между рядами напольных тележек и между тележками; $k_v = 1,2$.

Расход воздуха (V , м³/ч) определяется из уравнения влажностного баланса сушильной камеры по воздуху:

$$V = \frac{\Sigma W}{\rho \cdot \Delta d_p} 10^3, \quad (3)$$

где ΣW — общий влагоприток в сушильную камеру, кг/ч;

Δd_p — рабочая разность влагосодержаний, соответствующая изменению температуры и относительной влажности воздуха в сушильной камере, г/кг.

Общий влагоприток (ΣW , кг/ч):

$$\Sigma W = 1,1 W_{пр}, \quad (4)$$

где 1,1 — коэффициент, учитывающий дополнительные влагопоступления (при открывании дверей, через неплотности в дверных проемах и др.);

$W_{пр}$ — влагоприток от продукта, кг/ч.

Холодопроизводительность ($Q_{хл}$, кВт) машины:

$$Q_{хл} = \frac{Q_o K_{ном}}{\eta_{во} \epsilon_{раб}}, \quad (5)$$

где $K_{ном}$ — коэффициент, учитывающий потери холода в трубопроводах; $K_{зап} = 1,1$;

$\eta_{во}$ — коэффициент эффективности воздухоохлади-теля; $\eta_{во} = 0,95$;

$\epsilon_{раб}$ — коэффициент рабочего времени; при холодноснабжении систем технологического кондиционирования $\epsilon_{раб} = 0,75$.

При известном значении расхода холода Q_o объемный расход хладоносителя ($V_{хл}$, м³/с):

$$V_{хл} = \frac{Q_o}{C_{хл} \Delta t_{хл} \rho_{хл}}, \quad (6)$$

где $C_{хл}$ — теплоемкость хладоносителя, кДж/кг·К;

$\Delta t_{хл}$ — перепад температур по хладоносителю,

$\Delta t_{хл} = 5$ °С;

$\rho_{хл}$ — плотность хладоносителя, кг/м³.

(Окончание следует)

*Н.Д. Малова, А.А. Капитонов,
МГУ прикладной биотехнологии;
А.В. Казаков, А.В. Селин, ООО ТЕРМОКУЛ*