

Раздел 2. ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.56:664.683

О расчете времени охлаждения тортов

Д-р техн. наук, проф. В.Е. КУЦАКОВА, канд. техн. наук М.И. КРЕМЕНЕВСКАЯ, В.А. САТАНИНА
СПбГУН и ПТ

This article is devoted to describing the method of calculating the time necessary for cooling a packed cake.

Торты и пирожные являются популярным традиционным десертом. Спрос на эти виды кондитерских изделий особенно увеличивается в предпраздничные периоды. Однако ограниченные сроки хранения кондитерских изделий не позволяют предприятиям создать достаточный оперативный запас в период резкого повышения спроса.

Высокое содержание жира и влаги делает торты и пирожные малоустойчивыми к хранению. Молоко, масло, сахар, яйца и другие виды сырья, применяемые для приготовления кремов, являются благоприятной средой для развития микроорганизмов. Чаще других портится заварной крем, имеющий самую высокую влажность (40 – 54 %), реже – сливочный (влажность 8 – 14 %). Сроки хранения кондитерских изделий при температуре (4 ± 2) °С колеблются в нешироких пределах: 36 ч – со сливочным кремом, 24 ч – с творожным кремом, 6 ч – с заварным кремом и со взбитыми сливками.

При длительном хранении мучных кондитерских изделий используют более низкие температуры: в замороженном состоянии при температуре –18 °С кондитерские изделия могут храниться до двух недель. Влага, содержащаяся в выпеченных изделиях, находится в связанном состоянии, благодаря чему даже при –18 °С процесс льдообразования не протекает. Однако при этой температуре проходит процесс льдообразования в креме, поскольку его криоскопическая температура равна –6...–8 °С, а следовательно, нарушается структура. Это приводит к ухудшению органолептических свойств продукта после дефростации (возникновение мучнистости, крупитчатости).

Если же хранить продукцию при температуре, близкой к криоскопической температуре крема (–6...–8 °С), не допуская фазового перехода, то негативных изменений в органолептических свойствах не происходит, а по сравнению с традиционным способом хранения сроки увеличиваются. Очень сложно достигнуть стабильности в хранении таких популярных видов кондитерских изделий, как торты и пирожные, украшенные железированными фруктами и ягодами. Уже через сутки внешний вид изделия заметно ухудшается за счет потемнения и деформации поверхности ягод.

Кроме того, важно знать время, необходимое для достижения тортом температуры хранения, поскольку в этот период возможна его микробная порча.

Упаковка создает вокруг продукта слой неподвижного воздуха, вследствие чего процесс значительно замедляется. Однако охлаждение незатаренной продукции не рекомендуется, так как в этом случае увеличивается усушка, а также возникает риск значительного повышения микробной обсемененности и нарушения целостности кремовых украшений на этапе транспортировки готовых кондитерских изделий в холодильную камеру. Помимо этого кондитерские изделия в коробках удобнее охлаждать в штабелях, что позволяет эффективно использовать площади холодильных камер.

Как было сказано выше, связанная влага в бисквите не претерпевает фазового перехода даже при температуре хранения –18 °С. Кремовая прослойка имеет криоскопическую температуру в пределах –6...–8 °С и достаточно тонка, что позволяет пренебречь теплотой фазового перехода влаги в креме. Следовательно, можно рассматривать лишь процесс охлаждения тортов даже при температурах хранения, достигающих –18 °С.

Ниже предложен метод расчета времени охлаждения торта в упаковке. Торт представляет собой параллелепипед с длинами сторон l_1, l_2, l_3 ; величина воздушного зазора между коробкой и тортом D .

В данном случае теплоотдача от торта к окружающей среде происходит через воздушную прослойку за счет естественной конвекции. Поскольку тепловое сопротивление такой прослойки очень велико, этот процесс осуществляется достаточно медленно. Поэтому мы можем не рассматривать коэффициент теплоотдачи от коробки к окружающей среде, так как он пренебрежимо мал по сравнению с термическим сопротивлением воздушной прослойки. Кроме того, вследствие малой скорости протекания процесса охлаждения, мы можем считать, что температура во всех точках торта одинакова (поскольку теплопередача внутри торта идет намного быстрее, чем теплопередача через прослойку), т.е. коэффициент неравномерности температурного поля f практически равен единице.

Чтобы определить тепловое сопротивление воздушной прослойки, необходимо воспользоваться формулой для расчета эффективного коэффициента теплопроводности газовой прослойки λ_3 [Вт/(м · К)]:

$$\lambda_3 = 0,18 \lambda_{\text{хл}} (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/4},$$

где $\lambda_{\text{хл}}$ – теплопроводность охлаждающего воздуха, Вт/(м · К);

Gr – критерий Грасгофа;

Pr – критерий Прандтля.

$$\text{Gr} = \frac{gD^3 \rho_{\text{хл}}^2 \Delta t}{\eta_{\text{хл}}^2 t_{\text{хл}} + 273},$$

где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

D – толщина воздушной прослойки, м;

$\rho_{\text{хл}}$ – плотность охлаждаемого воздуха, кг/м³;

$\eta_{\text{хл}}$ – динамическая вязкость охлаждающего воздуха, Па · с;

Δt – разность начальной температуры торта и температуры охлаждающего воздуха, °С;

$t_{\text{хл}}$ – температура охлаждающего воздуха, °С.

Темп охлаждения m (с⁻¹) находим следующим образом:

$$m = \frac{f\alpha_3 S}{c\rho V},$$

где f – коэффициент неравномерности температур-

ного поля (принимается равным единице);

$\alpha_3 = \lambda_3/D$ – эффективный коэффициент теплоотдачи через слой, Вт/(м²·К);

$S = 2(l_1 l_2 + l_1 l_3 + l_2 l_3)$ – площадь поверхности торта, м²;

c – теплоемкость торта, Дж/(кг· К);

ρ – плотность торта, кг/м³;

$V = l_1 l_2 l_3$ – объем торта, м³.

При этих условиях продолжительность охлаждения может быть рассчитана по традиционной формуле

$$\tau = 1/m \cdot \ln[(t_{\text{нач}} - t_{\text{хл}})/(t_{\text{кон}} - t_{\text{хл}})],$$

где $t_{\text{нач}}$ – начальная температура торта, °С;

$t_{\text{кон}}$ – конечная температура торта, °С.

Рассчитанная предложенным методом продолжительность охлаждения от 30 до 4 °С ($D = 2$ см, $t_{\text{хл}} = 0$ °С) бисквитного торта высотой 8 см с длинами сторон по 20 см составляет 6 ч. Эти результаты хорошо согласуются с опытными данными. При хранении кондитерских изделий при температуре –18 °С необходимо учитывать влияние времени, требуемого для достижения конечной температуры, на качество готовых изделий, поскольку оно соизмеримо со сроками хранения кондитерских изделий при температуре (4±2) °С.