

УДК 637.523.66.045.5

Охлаждение колбасных изделий гидроаэрозольным способом

Д-р техн. наук, проф. В.Е. КУЦАКОВА, д-р техн. наук, проф. С.В. ФРОЛОВ, А.Н. ТРУБНИКОВ, Е.В. ХОХЛОВ
Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий

In the article a new way of cooling of sausages has been suggested, which allows to intensify the process and to reduce expenditures. Gist of the method consists in drifting of air dispersion of water on the cooling object with following its evaporation. Have been listed calculation ratios of time of the process and object's temperature, which were correlated with results of experiment.

Известно, что качество и сроки хранения колбасных изделий в значительной степени зависят от технологии их охлаждения после термообработки. На большинстве предприятий в настоящее время для охлаждения колбасных изделий в полиамидной оболочке применяют орошение водой, при этом используют распылители с капельным распылом. Капли больших размеров, попадающие на поверхность батона, скатываются по полиамидной оболочке в связи с малым коэффициентом трения и большой массой капли. Небольшая площадь и малое время контакта капли с поверхностью обуславливают малую эффективность этого метода. При орошении водой продолжительность охлаждения велика и процесс охлаждения становится лимитирующей стадией в производстве колбасных изделий. Требования же неразрывности технологической цепи приводит к тому, что продукт поступает в камеры хранения недоохлажденным, в результате чего при поступлении в камеры хранения увеличивается нагрузка на холодильное оборудование, не рассчитанное на такие теплопотоки. Это приводит к повышению температуры в камере хранения и возможности микробиологической порчи продукта. Нельзя забывать и о больших расходах охлаждающей воды.

Таким образом, возникает необходимость разработки новой технологии охлаждения колбасных изделий. Суть предлагаемого метода заключается в увеличении коэффициента теплоотдачи от продукта к охлаждающей среде за счет периодического напыления на поверхность продукта в виде аэрозоля воды с фиксированными температурой и расходом, с последующим обдувом воздухом, также с фиксированными температурой и скоростью до тех пор, пока вода не испарится с поверхности батона. Далее цикл повторяется. При этом продолжительность между напылениями возрастает по мере охлаждения батона.

На испарение воды затрачивается значительное количество теплоты, которая отнимается от продукта. Поверхность продукта необходимо постоянно поддер-

живать влажной. Напыление тонкодиспергированной влаги осуществляется из оригинальных форсунок пневматического типа, поскольку при использовании распылителей другого типа столь тонкого распыления влаги добиться достаточно трудно. Тонкодисперсное распыление воды особенно важно при охлаждении продукта в пучке (батоны на раме). Чем мельче распыление воды, тем лучше влага проникает внутрь пучка и равномернее оседает на всех объектах. Этот метод достаточно прост для применения в промышленном производстве.

Сложность расчета времени охлаждения гидроаэрозольным способом состоит в том, что время, за которое испаряется вода, зависит от температуры поверхности самого батона и соответственно по мере охлаждения паузы между напылением воды будут увеличиваться. Для математического описания такого процесса был предложен следующий алгоритм расчета.

1. Выбираем шаг по времени Δt .
2. Определяем коэффициент теплоотдачи с учетом испаряющейся влаги (так называемый «влажный») коэффициент теплоотдачи) по следующей формуле:

$$\alpha_{\text{вл}}(T_{\text{пов}} - T_{\text{ср}}) = \alpha_{\text{сух}}(T_{\text{пов}} - T_{\text{ср}}) + \beta(d_{\text{пов}} - d_{\text{ср}})r, \quad (1)$$

где r – удельная теплота парообразования воды, $r = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг;

$\alpha_{\text{вл}}$ и $\alpha_{\text{сух}}$ – соответственно «сухой» и «влажный» коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м²·К);

$d_{\text{пов}}$ и $d_{\text{ср}}$ – абсолютная влажность воздуха непосредственно у поверхности тела и в ядре омывающего потока соответственно, кг/м³.

$T_{\text{пов}}$ – температура поверхности тела (равна температуре тела в начале процесса), К;

$T_{\text{ср}}$ – температура хладоносителя (воздуха), К;

β – коэффициент массоотдачи, м/с.

3. Из уравнения, полученного при выводе формулы регулярного теплового режима, определяем $\Delta T_{\text{об}}$:

$$\Delta T_{\text{об}} = -(T_{\text{нач}} - T_{\text{ср}}) \exp(-m\tau) m \Delta t, \quad (2)$$

где $T_{\text{об}}$ – среднеобъемная температура охлаждаемого тела, °С (в начальный момент времени $T_{\text{об}} = T_{\text{нач}}$);

$$m - \text{темп охлаждения, } m = \frac{\alpha S}{V c \rho} \psi,$$

$$\psi = \left[\left(\frac{\alpha S}{\lambda V} K \right)^2 + 1,437 \left(\frac{\alpha S}{\lambda V} K \right) + 1 \right]^{-1/2}; \quad (3)$$

c – удельная теплоемкость тела, Дж/(кг·°C);

ρ – его плотность, кг/м³;

V – объем тела, м³;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C);

λ – коэффициент теплопроводности тела Вт/(м·°C);

S – площадь поверхности тела, м²;

Для конечного цилиндра радиусом R и высотой H находим коэффициент формы K в теории регулярного теплового режима:

$$K = \left\{ \frac{5,783}{R^2} + \frac{\pi^2}{H^2} \right\}^{-1}. \quad (4)$$

4. Из уравнения теплового баланса находим новое значение $T_{\text{пов}}$ через время Δt :

$$c \rho V \Delta T_{\text{об}} = -\alpha S (T_{\text{пов}} - T_{\text{ср}}) \Delta t, \quad (5)$$

5. Рассчитываем убыль массы воды ΔM за время Δt :

$$\Delta M = \frac{\alpha_{\text{сух}}}{c_{\text{возд}} \rho_{\text{возд}}} [d(T_{\text{пов}}) - \phi d(T_{\text{ср}})] S \Delta t. \quad (6)$$

6. Определяем значение «влажного» коэффициента теплоотдачи по формуле (1) с использованием нового значения $T_{\text{пов}}$.

«Влажный» коэффициент теплоотдачи в несколько раз больше «сухого» коэффициента теплоотдачи [при скорости воздуха 1,5 м/с и температуре поверхности 73 °C $\alpha_{\text{сух}} = 10$ Вт/(м·K) и $\alpha_{\text{вл}} = 68$ Вт/(м·K)]. При этом продолжительность охлаждения уменьшается с увеличением коэффициента теплоотдачи. Кроме того, так как поверхность батона остается увлажненной, исключается усушка продукта.

Для проверки методики расчета процесса гидроаэрозольно-испарительного охлаждения колбасных изделий были проведены эксперименты на ОАО «Парнас – М». Для этого была разработана и сконструирована специальная установка для охлаждения колбас с габаритными размерами 1640 × 1640 × 2200 мм. Она включает в себя (рис. 1) камеру 1, вентилятор 2 производительностью 260 м³/ч, измеритель расхода воздуха 3, фильтр для очистки подаваемого воздуха в камеру 4, два воздухораспределителя 5, патрубки для ввода воды и сжатого воздуха 6, два смотровых окна 7, воздуховод 8, дверь 9.

Камера выполнена из сэндвич-панелей «Теплам», изготовленных из вспененного полистирола (ППС) плотностью 20 – 25 кг/м³ самозатухающих марок (ПСБ-С 25), облицованных с двух сторон декорированными

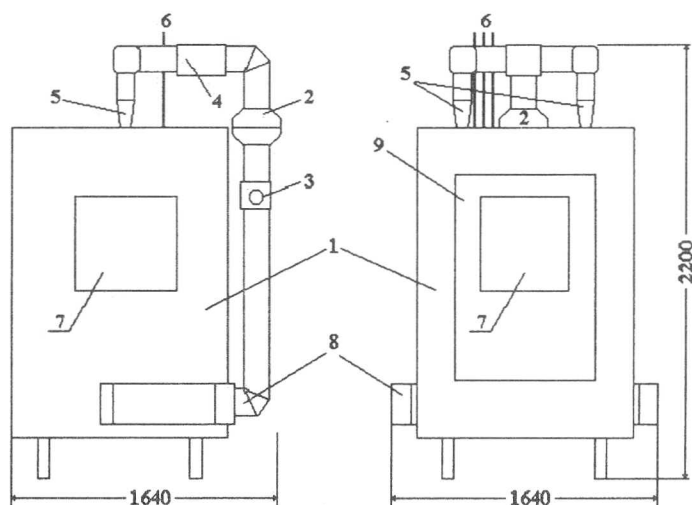


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

стальными листами толщиной 0,5 мм. Для визуального контроля за ходом процесса охлаждения в камере предусмотрены два окна, представляющие собой двухкамерные стеклопакеты со стеклами толщиной 4 мм. Материалы, из которых выполнены стены и окна камеры, позволяют, во-первых, снизить до минимума тепловой поток через ограждения; во-вторых, уменьшить шум от работы распылительных форсунок и воздухозаборных решеток.

Вентиляционный контур оснащен системой автоматизации, которая позволяет поддерживать температуру воздуха в камере с погрешностью ± 0,5 °C. Она же регистрирует температуру в любых 9 точках камеры и показывает ее на мониторе, расположенном на наружной стенке камеры. Регулирование температуры осуществляется по закону ПИД-регулирования прибором ТРМ10 (класс точности 0,5/0,25; сертификат № 17023 – 98 в Государственном реестре средств измерений). Входным сигналом регулятора является температура входящего в камеру воздуха. Первичными преобразователями температуры служат хромель-копелевые термопары. Такие термопары вместе с измерительным прибором УКТ 38 позволяют измерять температуру от 0 до 100 °C с погрешностью ± 0,1 °C. Кроме того, прибор УКТ 38 передает измеренную информацию на компьютер, который, в свою очередь, регистрирует в памяти всю измеренную информацию (температура и время) и отражает ее на мониторе.

В качестве объектов охлаждения были выбраны батоны колбас диаметром 65 мм. Опыты проводили при трех различных скоростях движения охлаждающей среды (воздуха): 0,7; 1,1 и 1,5 м/с. Каждый опыт повторяли по 3 раза. После термообработки колбасные изделия помещали в камеру охлаждения. Внутри образца помещали термопары (рис. 2). Сразу после включения вентилятора внутри камеры компьютер начинал фиксировать температуру и текущее время.

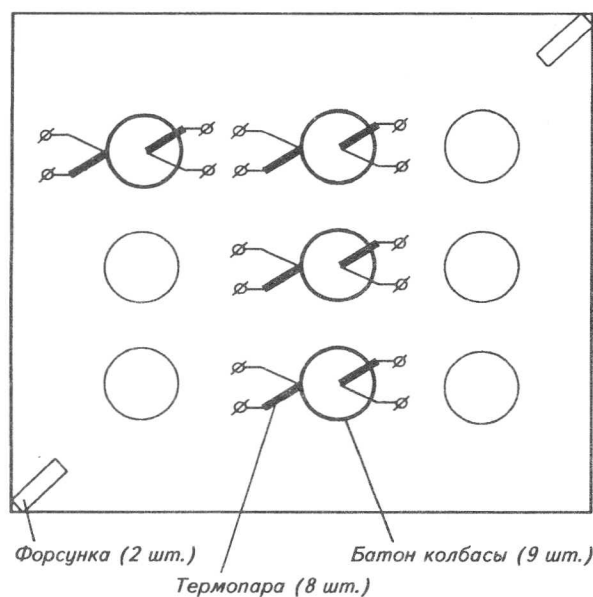


Рис. 2. Схема размещения термопар в исследуемых образцах

Для оценки гидроаэрозольно-испарительного способа охлаждения провели серию опытов по комбинированному охлаждению колбас, применяемому на заводе «Парнас – М». Суть комбинированного метода заключается в напылении капельной влаги в течение 20 мин с последующим продувом воздухом в течение 2 мин. Основным отличием от гидроаэрозольного охлаждения является капельное распыление влаги фиксированными паузами между напылениями по 2 мин.

На графике (рис. 3) видно хорошее соответствие результатов расчетов экспериментальным данным. Абсолютная погрешность эксперимента не превышает 0,5 °С. При этом, сравнивая комбинированный и гидроаэрозольный методы, необходимо отметить, что гидроаэрозольный метод позволяет практически в 2 раза

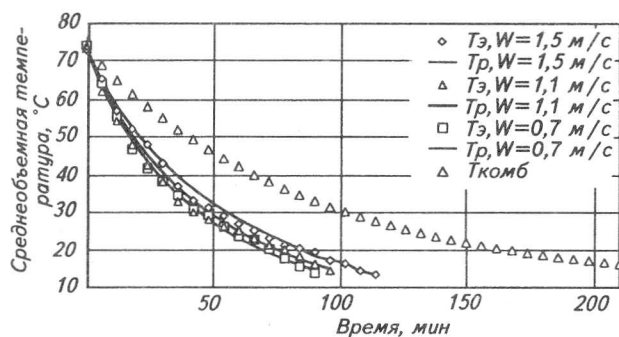


Рис. 3. Зависимость экспериментальных и расчетных значений среднеобъемных температур батона колбасы от времени:

T_p и T_3 — соответственно расчетные и экспериментальные температуры при гидроаэрозольном охлаждении; $T_{комб}$ — экспериментальные температуры при комбинированном охлаждении

сократить продолжительность охлаждения продукта. Зависимость же времени процесса от скорости воздуха при гидроаэрозольном охлаждении не является значительной, и ее изменение в пределах от 0,7 до 1,5 м/с не оказывает существенного влияния.

При гидроаэрозольно-испарительном методе основной составляющей при охлаждении является отвод теплоты за счет испарения влаги с поверхности батон, особенно в первый период процесса. Интенсивное испарение одновременно со всех батон, расположенных в пучке, способствует равномерному охлаждению продукта в камере, чего при других методах добиться сложно.

По нашему мнению, существует возможность использования данного метода для охлаждения вареных колбас в натуральной оболочке, а также сосисок, сарделек и полукопченых (варено-копченых) колбас в пронизываемых оболочках. Основное требование к охлаждению такого рода продукции — присутствие коптильных веществ на поверхности батон, которые могут смываться при орошении. Особенностью гидроаэрозольного метода является то, что вода не стекает по поверхности продукта и не смывает дым, нанесенный при копчении. Однако последнее положение требует дополнительной экспериментальной проверки.

Таким образом, процесс охлаждения колбасных изделий возможно интенсифицировать посредством гидроаэрозольного охлаждения с периодическим орошением тонкодиспергированной влагой и последующим продувом воздухом.

Предложен новый способ охлаждения колбасных изделий, позволяющий интенсифицировать процесс и сократить затраты. Суть метода заключается в напылении мелкодисперсной влаги на поверхность продукта и в последующем ее испарении. Приведены соотношения для расчета времени процесса и температуры продукта, скоррелированные с экспериментальными данными.

Список литературы

1. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. — Гос. изд-во техн. теор. лит., 1954.
2. Куцакова В.Е., Фролов С.В., Крупененков Н.Ф. К расчету гидроаэрозольно-испарительного охлаждения тушек птицы // Вестник МАХ. 1999. № 2.
3. Rogov И.А., Куцакова В.Е., Филиппов В.И., Фролов С.В. Консервирование пищевых продуктов холодом. — М.: Колос, 1999.
4. Фролов С.В., Куцакова В.Е., Кипнис В.Л. Тепло- и массообмен в расчетах процессов холодильной технологии пищевых продуктов. — М.: Колос-Пресс, 2001.