

Интенсификация охлаждения вареных колбасных изделий гидроаэрозольно-испарительным методом с циклическим наложением электростатического поля (ЭСП)

Крупененков Н.Ф., Хохлов Е.В.
krupenenkov@mail.ru

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
Информационных технологий, механики и оптики
Институт холода и биотехнологий*

Приведены соотношения для расчета времени процесса охлаждения колбас и промежуточной температуры продукта. Предложено циклическое наложение электростатического поля на распыляемую воду для ее равномерного распределения и удержания на поверхности колбас.

Ключевые слова: гидроаэрозольно-испарительное охлаждение колбас в циклическом электростатическом поле.

Совершенствование технологии интенсивного охлаждения колбас представляется весьма привлекательной задачей, поскольку позволяет:

1. существенно сократить длительность процесса охлаждения;
2. снизить массовые потери;
3. сократить время перехода через критический интервал температур ($40\text{ }^{\circ}\text{C} \div 15\text{ }^{\circ}\text{C}$), при которых и происходит наиболее активный рост микроорганизмов;
4. обеспечить увеличение срока годности колбас;
5. сократить промежуток времени между термообработкой колбас и их отгрузкой в торговые сети;
6. снизить затраты электроэнергии на охлаждение колбас в складских помещениях.

В отечественной и зарубежной практике колбасные изделия после варки в основном охлаждают водой, разбрызгиваемой при помощи форсунок в душевых устройствах, затем их направляют в камеры для воздушного охлаждения, где температура внутри батона доводится до $12\text{-}15\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом потери массы могут достигать $3\text{-}5\%$.

Охлаждающей средой являются вода, воздух или их сочетание, при этом наиболее целесообразно проводить последовательное охлаждение колбас водой и потоком холодного воздуха в специальной холодильной камере.

Традиционно колбасные изделия охлаждают холодной водой в течение $6\text{...}10$ мин до температуры в центре батона $25\text{...}35\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем подсушивают оболочки при естественной температуре в течение $60\text{...}120$ мин и на этих же рамах направляют в камеры охлаждения, где поддерживают температуру воздуха $4\text{ }^{\circ}\text{C}$

и относительную влажность около 95%. Продолжительность этой стадии охлаждения от 4 до 8 часов. К концу охлаждения температура изделий должна достигать 8...12 °С. Охлаждать до более низкой температуры колбасы не рекомендуется, так как при последующем транспортировании и реализации они могут увлажняться в результате конденсации влаги на их поверхности. В этом случае колбасная оболочка тускнеет, ухудшается внешний вид изделий, и создаются благоприятные условия для развития плесени. Колбасы в целлофановой оболочке под душем не охлаждают.

При орошении водой продолжительность охлаждения велика, что требует значительных объемов охлаждающих камер и, следовательно, охлаждение становится лимитирующим фактором в производстве колбасных изделий. Таким образом, при данном методе охлаждения продукт поступает в камеры хранения не охлажденным до температуры хранения, что увеличивает тепловую нагрузку на холодильное оборудование камер, не рассчитанное на такие теплопритоки. В свою очередь это приводит к повышению температуры в камере хранения, при поступлении новых партий продукта, и к возможности микробиологической порчи продукта.

Предложен новый метод охлаждения колбас, позволяющий интенсифицировать этот процесс и сократить затраты. Метод заключается в напылении тонкодиспергированной влаги на поверхность продукта и последующем ее испарении.

Приведены соотношения для расчета времени процесса и температуры продукта. Суть предлагаемого метода заключается в увеличении коэффициента теплоотдачи от продукта к охлаждающей среде за счет периодического напыления на поверхность продукта воды в виде аэрозоля с фиксированной температурой и расходом, с последующим обдувом воздухом при фиксированной скорости до тех пор, пока напыленная влага не испарится с поверхности батона. Далее цикл повторяется, причем время между напылениями возрастает по мере охлаждения батона.

На испарение воды затрачивается значительное количество теплоты, которая отводится от продукта. Поверхность продукта в течение всего процесса необходимо поддерживать во влажном состоянии. Напыление тонкодиспергированной влаги осуществляется через форсунки пневматического типа, поскольку при использовании распылителей другого типа столь тонкого распыления влаги добиться сложно. Тонкодисперсное распыление воды особенно важно при охлаждении продукта в пучке (батоны на раме). Чем мельче распыление, тем лучше влага распределяется внутри пучка и равномернее оседает на всех объектах. К тому же данный метод прост для применения в промышленном производстве.

С теплофизической точки зрения главная особенность гидроаэрозольно-испарительного охлаждения – сильное изменение коэффициента теплоотдачи во время самого процесса. Действительно, в ходе охлаждения температура поверхности продукции снижается, а следовательно, испарение влаги с поверхности продукта становится менее интенсивным. Вследствие этого испарительная составляющая коэффициента теплоотдачи уменьшается по ходу

процесса. Численные оценки показывают, что это изменение весьма значительно – “влажный” коэффициент теплоотдачи к концу процесса снижается в 2 ÷ 3 раза по сравнению с началом процесса. Поэтому при расчете продолжительности гидроаэрозольно-испарительного охлаждения нельзя применять соотношения, которые справедливы при неизменном коэффициенте теплоотдачи.

Особенность расчета времени охлаждения колбасных изделий гидроаэрозольно-испарительным способом заключается в том, что время, за которое испаряется вода, зависит от температуры поверхности самого батона и соответственно, по мере охлаждения, паузы между напылениями воды будут увеличиваться. Для математического описания такого процесса был предложен следующий алгоритм расчета:

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

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

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);

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

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

β – коэффициент массоотдачи, м/с.

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

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

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

m – темп охлаждения,

$$m = \frac{\alpha \cdot S}{V \cdot C \cdot \rho} \cdot \varphi,$$

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

C – удельная теплоемкость тела, Дж/(кг °С),

ρ – плотность тела, кг/м³,

V – объем тела, м³;

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

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м² °С);

S – площадь поверхности тела, м²;

Для конечного цилиндра радиусом R и высотой H , коэффициент формы выглядит так:

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

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

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

5. Рассчитывается убыль массы воды ΔM за время Δt :

$$\Delta M = (\alpha_{\text{сух}} \cdot (d(T_{\text{пов}}) - \varphi \cdot (dT_{\text{ср}})) \cdot S \cdot \Delta t) / (C_v \cdot \rho_v) \quad (6)$$

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

«Влажный» коэффициент теплоотдачи в несколько раз больше «сухого» (при скорости воздуха 1,5 м/с и температуре поверхности 73°C $\alpha_{\text{сух}} = 10 \text{ Вт}/(\text{мК})$ и $\alpha_{\text{вл}} = 68 \text{ Вт}/(\text{мК})$). При этом продолжительность охлаждения уменьшается с увеличением коэффициента теплоотдачи. Так же исключается усушка продукта за счет увлажнения поверхности батона.

Зависимость времени процесса от скорости воздуха при гидроаэрозольном охлаждении колбасных изделий не является значительной. Изменение скорости в пределах от 0,7 до 1,5 м/с, влияния на время процесса охлаждения не существенно.

При гидроаэрозольно-испарительном методе основной составляющей при охлаждении колбасных изделий является отвод теплоты за счет испарения влаги с поверхности батонов, особенно в начальный период процесса. Интенсивное испарение одновременно со всех батонов, расположенных в пучке, способствует равномерному охлаждению продукта на раме и в камере, чего при применении других методов охлаждения добиться трудно.

Таким образом, процесс охлаждения колбасных изделий можно интенсифицировать посредством периодического орошения батонов с последующим обдувом их холодным воздухом. Но обеспечить равномерность распределения влаги при помощи форсунок по всему объему батонов, расположенных на раме, весьма затруднительно.

Эту предлагается решить путем наложения на аэрозольную водную среду дополнительного воздействия в виде электростатического поля ЭСП, что позволит равномерно распределить тонкодиспергированную влагу по поверхности колбас на раме. Недостаточный объем, или полное отсутствие, данных по влиянию ЭСП на интенсивность охлаждения вареных колбасных изделий в аэрозольной водной среде обуславливают необходимость проведения самостоятельных исследований, направленных на разработку эффективного способа охлаждения и оборудования для промышленного производства.

При гидроаэрозольно-испарительном способе охлаждения напыление воды проводится циклически, по мере испарения влаги с поверхности батонов. Предположительно, что и наложение на водную среду дополнительного воздействия в виде ЭСП должно быть также циклическим.

В работе Киреева В.В. изучено влияние режимных параметров охлаждающей среды на коэффициент теплоотдачи для различных методов охлаждения вареных колбасных изделий. Исследовано влияние напряженности поля и начального радиуса распыливаемых капель на интенсивность теплоотдачи и экспериментально подтверждено воздействие ЭСП на процесс охлаждения в гидроаэрозольной среде.

Численные значения влияния электростатического поля на интенсивность теплоотдачи представлены на рис. 1.

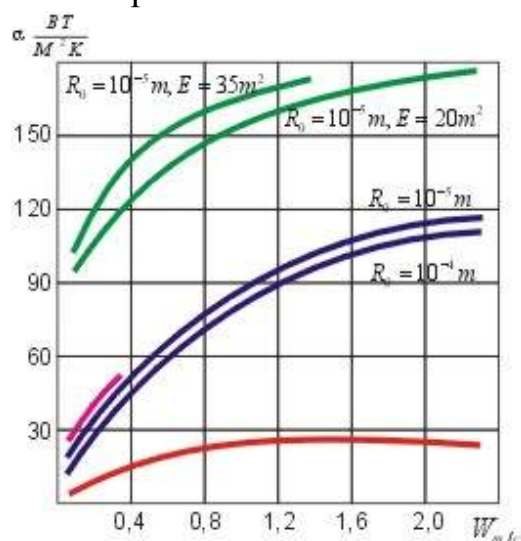


Рис.1. Зависимость изменения коэффициента теплоотдачи с поверхности колбасного батона от скорости охлаждающей среды при поперечном обтекании батона.

В ЭСП, в ГА, водой, воздухом.

Но применение ЭСП рассмотрено только для дробления капель воды (дробление капель в ЭСП особенно эффективно протекает при напряженности $E=25...30$ кВ/м²) выходящей из форсунки для получения тонкодиспергированной влаги по всему условному объему рамы и равномерному покрытию тонким слоем воды колбасных батонов, обеспечивая интенсивное охлаждение продукта, а испарительная составляющая не рассматривалась. Пневматические форсунки не могут обеспечить равномерного напыления аэрозоля по поверхности всех колбасных изделий, находящихся в пучке на раме. В результате количество воды на батонах внутри пучка меньше, а колбасные батоны, расположенные внутри рамы, охлаждаются медленнее, чем расположенные снаружи, что приводит к увеличению длительности процесса. Одним из путей совершенствования этого метода может быть наложение электростатического поля (ЭСП). Электростатическое поле внутри камеры охлаждения способствует равномерному распределению разбрызгиваемой влаги.

Сущность метода ЭСП заключается в наложении электростатического поля в камере охлаждения между форсунками и батонами колбас. Киреев В.В. определил, что наибольшую "чувствительность" к действию ЭСП проявляют капли радиусом $(1...5) \cdot 10^{-5} м$. С ростом напряженности ЭСП в большей степени начинают проявляться эффекты электростатического диспергирования, связанные с уменьшением сил поверхностного натяжения жидкости.

Циклическое наложение ЭСП на распыляемую воду позволит увеличить коэффициент теплоотдачи до $120 \div 150$ Вт/м²·К за счет удержания ее на поверхности батонов.

Список литературы

1. Куцакова В.Е., Фролов С.В., Крупененков Н.Ф. К расчёту времени гидроаэрозольно-испарительного охлаждения тушек птицы // Вестник МАХ. - 1999. - Вып. 2. - С. 44 - 45.
2. Куцакова В.Е., Фролов С.В., Крупененков Н.Ф., Судзиловский И.И. Интенсификация гидроаэрозольно-испарительного метода охлаждения тушек птицы // Холодильная техника. - 1999. - № 6. - С. 27.
3. Куцакова В.Е., Фролов С.В., Крупененков Н.Ф., Хохлов Е.В. Гидроаэрозольно-испарительный метод охлаждения колбасных изделий // Партнер мясопереработка. – 2006. - №6. – С. 27.
4. Киреев В.В., Совершенствование процесса охлаждения вареных колбасных изделий, 1990, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.
5. Киреев В.В., Афанасов Э.Э. Гидроаэрозольное охлаждение вареных колбас в электростатическом поле. Мясная и молочная промышленность, 1988г. № 6, с.13.

The intensification of the cooling of boiled sausage products gidroaerazolno-evaporatively method with cyclic overlay electrostatic field (ESP)

Krupenenkov N.F., Khokhlov E.V.

Institute of Refrigeration and Biotechnology

Contains relations for calculation of the cooling process sausages and intermediate temperature of the product. Proposed cyclical imposition of an electrostatic field on the spray of water for its uniform distribution and hold on the surface of sausages.
Key words: gidroaerazolno -evaporative cooling of sausages in a cyclic electrostatic field.