

УДК 621.514

Линия охлаждения вареных колбасных изделий в аппарате на основе ХОЛОДИЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

Канд. техн. наук, доц. Крупененков Н.Ф. krupenenkov@mail.ru,

Сасс П.Б. sasspavel@gmail.com

Университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Приведены соотношения для расчета времени процесса охлаждения колбас и промежуточной температуры продукта. Предложено применение конвейерного аппарата на основе холодильных модулей. Важным преимуществом данной технологии является то, что готовая продукция не теряет своих качественных и вкусовых характеристик. Охлаждение с использованием традиционных технологий вызывает повышенное образование в пищевых продуктах водных молекул и последующий разрыв их связей, что ухудшает консистенцию изделий, приводит к быстрому сморщиванию готового продукта. К тому же в процессе охлаждения колбасные изделия теряют влагу и, следовательно, 10—20 % своей массы. Потери массы при традиционном охлаждении колбасных изделий составляют 6—20%, в зависимости от вида продукта. При интенсивном методе охлаждения они сокращаются до 0,5—0,8 %. Использование камер интенсивного охлаждения создает возможности для более гибкого управления процессом планирования производства. Наличие определенного накопительного остатка каждого наименования из ассортимента предприятия дает возможность заблаговременного изготовления заказа в наиболее подходящее для этого время и при участии наименьшего числа работников, обеспечивается длительная сохранность готовой продукции.

Ключевые слова: охлаждение вареных колбасных изделий в аппарате на основе холодильных модулей.

The line of cooling of boiled sausage products in the device on the basis of refrigerating modules

Krupenenkov N.F. krupenenkov@mail.ru, **Sass P.B.** sasspavel@gmail.com

University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Relations are given to calculate the time of the cooling process of sausages and intermediate product temperature. Proposed use of the conveyor device based refrigeration units. An important advantage of this technology is that the finished product does not lose its quality and flavor characteristics. Cooling using conventional techniques to cause increased production of food and water molecules after ties them gap that impairs the consistency of product, leading to a rapid shrinkage of the finished product. Moreover, in the cooling process sausages lose moisture and therefore 10-20 % of its weight. Weight loss at typical cooling sausage constitute 6-20 % , depending on the product type. With intensive cooling method they are reduced to 0,5-0,8 %. Using intensive cooling creates opportunities for more flexible management planning process of production. Availability of certain cumulative balance of each item from the range of businesses enables advance manufacturing order in the most appropriate time and with the participation of the least number of workers, permanent preservation of the finished product.

Key words: cooling of boiled sausage products in the device on the basis of refrigerating modules.

В настоящее время одной из важнейших задач является обеспечение населения страны продовольствием. В этой связи вопрос интенсификации процесса охлаждения вареных колбасных изделий, который является замыкающим в технологической цепи, приобретает особое значение. От его решения во многом зависит качество конечного продукта, энергетическая эффективность и производительность всего цикла охлаждения.

Улучшение технологии охлаждения колбас позволяет: сократить длительность процесса охлаждения; снизить массовые потери; сократить время перехода через критический интервал температур; обеспечить увеличение срока годности колбас; сократить промежуток времени между термообработкой колбас и их отгрузкой в торговые сети; снизить затраты электроэнергии на охлаждение колбас в складских помещениях.

В практике производства колбасные изделия после варки обычно охлаждают водой, разбрызгиваемой при помощи форсунок в душевых устройствах, а затем их перемещают в камеры воздушного охлаждения для достижения температуры, внутри батона $+12 \div +15$ °С. При этом потери массы достигают $3 \div 5\%$.

При орошении только водой продолжительность охлаждения велика и требует значительных объемов охлаждающих камер, поэтому длительность охлаждения становится определяющим фактором в производстве колбасных изделий. Следовательно, продукция поступает в камеры хранения с превышением температуры хранения на $4 \div 8$ градусов, увеличивая тепловую нагрузку на холодильное оборудование камер хранения, которое не рассчитано на дополнительные теплопритоки. Такой алгоритм работы приводит к циклическому повышению температуры в камерах хранения, при поступлении в них новых партий продукта, повышая опасность микробиологической порчи готовой продукции.

Предлагается применение нового алгоритма охлаждения прогрессивным гидроаэрозольно-испарительным методом, при котором подразумевается использование автоматической линии охлаждения колбас представляющей собой конвейер, состоящий из пяти модулей, которые разделены между собой автоматически открывающимися герметичными перегородками. Перегородки открываются одновременно и автоматически через заданное время τ^M (время холодильной обработки батониров колбасы в модуле - зависит от вида и размера колбасных изделий, одинаковое во всех модулях). Ограждения модулей, в которых применяется холодильное оборудование, изолированы пенополиуретаном. У аппарата с торцевых сторон устанавливаются распашные двустворчатые двери с углом раскрытия 170° . Дверные проемы герметизируются двойным уплотнением из нескольких слоев резины различного профиля.

Колбасные изделия, после варки поступают на линию охлаждения. Развешенные в шахматном порядке на раме колбасные изделия закатывают на захват конвейера первого модуля. В первом модуле колбасные изделия охлаждаются до температуры $T_{пр} = +68 \div +70$ °С воздухом с температурой $+20 \div +25$ °С (рис. 1). Воду в первом модуле можно не использовать, потому что температура в этом модуле высокая, и капли будут испаряться, не долетев до батониров колбасы. Через время τ^M перегородки открываются и рама, с подвешенной на ней колбасой, автоматически перемещается во второй модуль. Во втором модуле колбасные изделия, подвешенные на раме, охлаждаются до температуры $T_{пр} = +52 \div +54$ °С воздухом с температурой $+20 \div +25$ °С и мелкодисперсной водой с размером капли $d=0,05$ мм, охлажденной до температуры $+5$ °С. Мелкодисперсную воду

предлагается получать путем прохождения ее через форсунки пневматического типа. Через время τ^M перегородки снова открываются, и рама автоматически перемещается в третий модуль. В третьем модуле колбаса охлаждается до температуры $T_{пр} = +37 \div +39 \text{ }^\circ\text{C}$ воздухом из воздухоохладителя с температурой $+12 \div +14 \text{ }^\circ\text{C}$ и мелкодисперсной водой, распыливаемой форсунками пневматического типа, с температурой $+5 \text{ }^\circ\text{C}$. Спустя время τ^M перегородки открываются, и рама автоматически перемещается в четвертый модуль. В этом модуле для охлаждения батонов до температуры $T_{пр} = +21 \div +23 \text{ }^\circ\text{C}$ также используется воздух, охлажденный в воздухоохладителе до температуры $+3 \div +5 \text{ }^\circ\text{C}$ и мелкодисперсной водой, с температурой $+5 \text{ }^\circ\text{C}$. Через время τ^M перегородки открываются, и рама автоматически перемещается в пятый модуль. В пятом модуле используется только воздух, охлажденный в воздухоохладителе до температуры $-2 \div -4 \text{ }^\circ\text{C}$. По завершении холодильной обработки в пятом модуле, через промежуток времени τ^M рама, с колбасными изделиями, охлажденными до температуры $T_{пр} = +6 \div +8 \text{ }^\circ\text{C}$, автоматически выкатывается из аппарата и направляется в камеры хранения (рис. 2).

1	2	3	4	5
Воздух $t=+25 \text{ }^\circ\text{C}$	Воздух $t=+25 \text{ }^\circ\text{C}$ Вода мелкодисперсная $t=+5 \text{ }^\circ\text{C}$	Воздух $t=+13 \text{ }^\circ\text{C}$ Вода мелкодисперсная $t=+5 \text{ }^\circ\text{C}$	Воздух $t=+3-5 \text{ }^\circ\text{C}$ Вода мелкодисперсная $t=+5 \text{ }^\circ\text{C}$	Воздух $t=-3 \text{ }^\circ\text{C}$
$T_{пр.нач.}=+85 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{пр.кон.}=+69.2 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{пр.нач.}=+69.2 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{пр.кон.}=+53.4 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{пр.нач.}=+53.4 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{пр.кон.}=+37.6 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{пр.нач.}=+37.6 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{пр.кон.}=+21.8 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{пр.нач.}=+21.8 \text{ }^\circ\text{C}$ $T_{пр.кон.}=+6 \text{ }^\circ\text{C}$

Мелкодисперсная вода с $d=0,05 \text{ мм}$ получается после прохождения через форсунки

Рис.1 Охлаждающие среды в модулях

Таким образом, первая рама с готовой для хранения продукцией, выходит из аппарата через время $\tau_0 = 5 \cdot \tau^M$, соответствующее времени полного охлаждения колбасных изделий до температуры хранения. При этом, через каждый промежуток времени τ^M на линию закатывается новая рама с продукцией из варочной печи и выкатывается рама с охлажденной до температуры хранения продукцией. Такой алгоритм работы аппарата обеспечивает непрерывность процесса охлаждения колбасных изделий, способствует повышению качества продукции и позволяет снизить энергетические затраты производства.

Для расчета конечных температур продукта в каждом модуле предлагается использовать формулу определения теплопритока от продукта.

1. Определяем общий теплоприток от продукта:

$$Q_{2\text{общ}} = m \cdot c \cdot \Delta t / 3600 \cdot \tau = m \cdot c \cdot (t_n - t_k) / 3600 \cdot \tau = 800 \cdot 3238 \cdot (85-6) / 3600 \cdot 0,8 = 71056,11 \text{ Вт}$$

где m – масса продукта на раме, кг;

c - теплоемкость колбасы, Дж/кгК;

Δt – разность температур, К;

τ – общее время охлаждения колбасных изделий, ч;

t_n и t_k – температура продукта начальная и конечная соответственно, $^\circ\text{C}$.

2. Определяем теплоприток от продукта в каждом модуле:

$$Q_{2\text{мод}} = (m \cdot c \cdot \Delta t / 3600 \cdot \tau) / 5 = (m \cdot c \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}) / 3600 \cdot \tau) / 5 = (800 \cdot 3238 \cdot (85-6) / 3600 \cdot 0,8) / 5 = 14211,22 \text{ Вт}$$

3. Определяем конечную температуру продукта в каждом модуле:

Конечная температура продукта в предыдущем модуле также является начальной температурой продукта в следующем модуле $t_{\text{к1}} = t_{\text{н2}}$, $t_{\text{к2}} = t_{\text{н3}}$, $t_{\text{к3}} = t_{\text{н4}}$, $t_{\text{к4}} = t_{\text{н5}}$.

$$Q_{2\text{мод}} = m \cdot c \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}) / 3600 \cdot \tau$$

$$(t_{\text{н}} - t_{\text{к}}) = Q_{2\text{мод}} \cdot 3600 \cdot \tau / m \cdot c$$

$$t_{\text{к}} = -(Q_{2\text{мод}} \cdot 3600 \cdot \tau / m \cdot c) + t_{\text{н}}$$

Первый модуль:

$$t_{\text{к1}} = - (Q_{2\text{мод}} \cdot 3600 \cdot \tau / m \cdot c) + t_{\text{н1}} = - (14211,22 \cdot 3600 \cdot 0,8 / 800 \cdot 3238) + 85 = = -15,8 + 85 = 69,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Второй модуль:

$$t_{\text{к2}} = - (Q_{2\text{мод}} \cdot 3600 \cdot \tau / m \cdot c) + t_{\text{н2}} = - (14211,22 \cdot 3600 \cdot 0,8 / 800 \cdot 3238) + 69,2 = = -15,8 + 69,2 = 53,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Третий модуль:

$$t_{\text{к3}} = - (Q_{2\text{мод}} \cdot 3600 \cdot \tau / m \cdot c) + t_{\text{н3}} = - (14211,22 \cdot 3600 \cdot 0,8 / 800 \cdot 3238) + 53,4 = = -15,8 + 53,4 = 37,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Четвертый модуль:

$$t_{\text{к4}} = - (Q_{2\text{мод}} \cdot 3600 \cdot \tau / m \cdot c) + t_{\text{н4}} = - (14211,22 \cdot 3600 \cdot 0,8 / 800 \cdot 3238) + 37,6 = = -15,8 + 37,6 = 21,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Пятый модуль:

$$t_{\text{к5}} = - (Q_{2\text{мод}} \cdot 3600 \cdot \tau / m \cdot c) + t_{\text{н5}} = - (14211,22 \cdot 3600 \cdot 0,8 / 800 \cdot 3238) + 21,8 = = -15,8 + 21,8 = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

В итоге предполагается заменить энергоемкое холодильное оборудование можно менее энергоемким, работающим согласно функциональной гидравлической схеме рис.3, используя в процессе охлаждения колбасных изделий эффективную смесь - «вода-воздух». При использовании в цикле охлаждения смеси - «вода-воздух», часть теплопритока будет отводиться этой смесью за счет испарения воды с поверхности батонов и обдува холодным воздухом, следовательно на холодильное оборудование тепловая нагрузка будет существенно снижена.

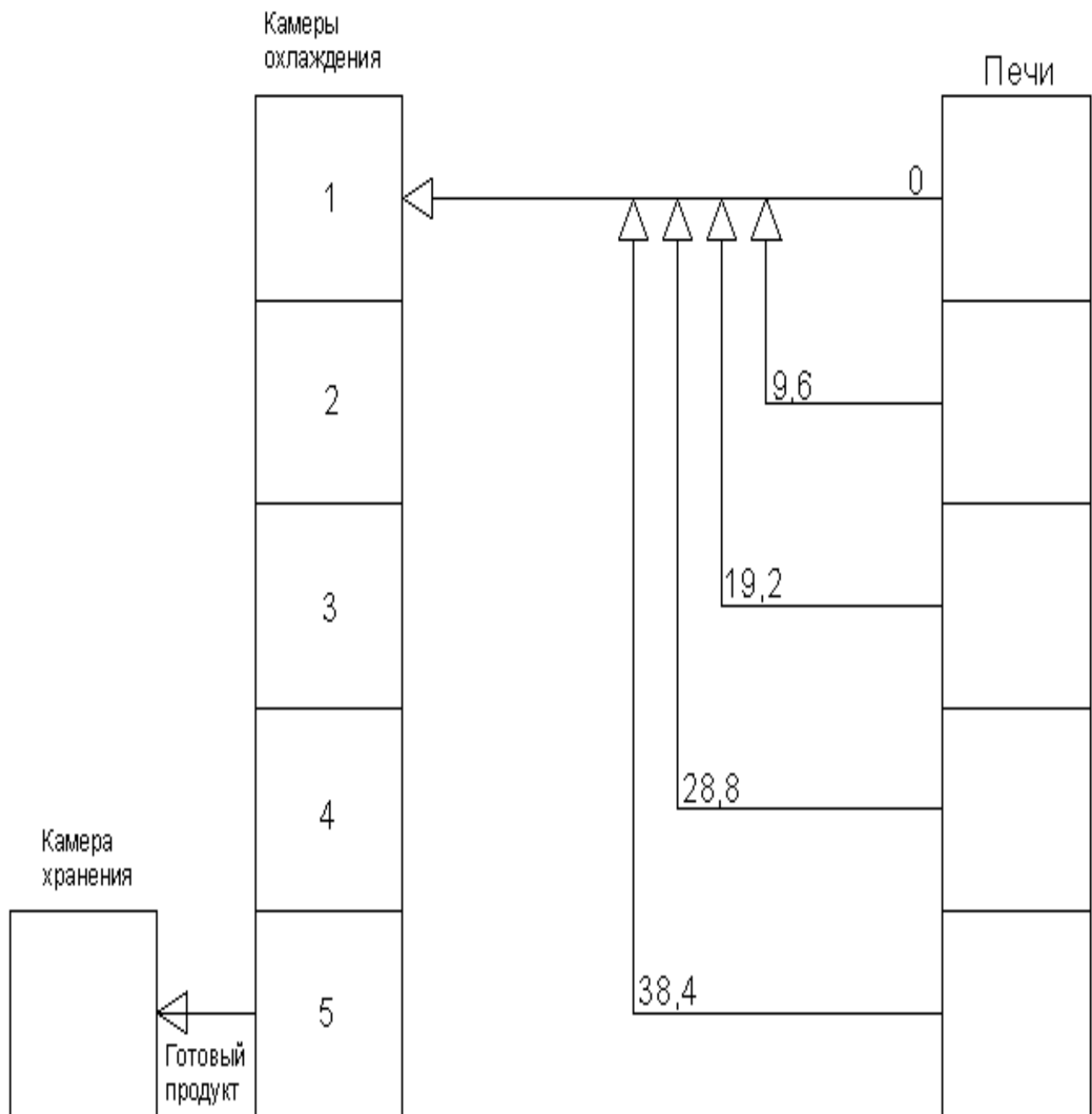


Рис.2 Предлагаемый алгоритм производства

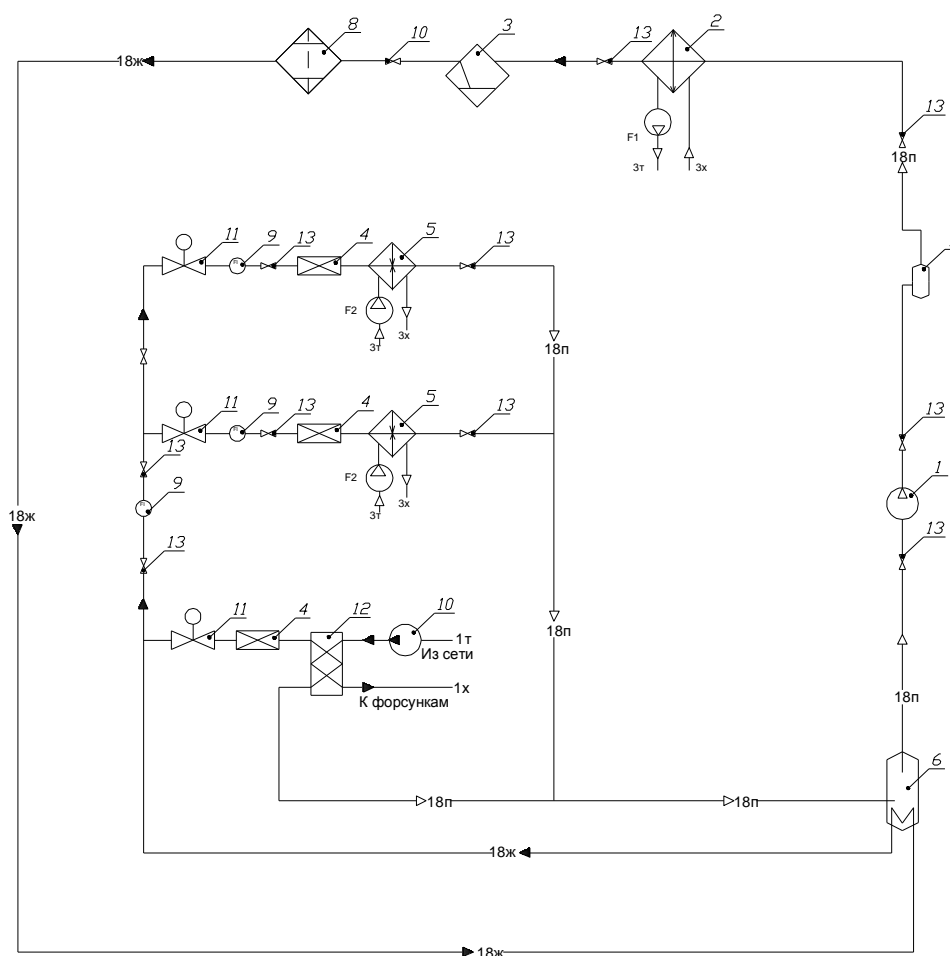


Рис.3 Функциональная гидравлическая схема холодильной системы

1-компрессор, 2- конденсатор, 3- ресивер, 4- регулирующий вентиль, 5- воздухоохладитель, 6- отделитель жидкости, 7- маслоотделитель, 8- фильтр осушитель, 9- индикаторное стекло, 10- водяной насос, 11- соленоидный вентиль, 12- охладитель жидкости, 13- запорный вентиль.

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. «Влажный» коэффициент теплоотдачи в несколько раз больше «сухого» (при скорости воздуха 1,5м/с $\alpha_{\text{сух}} = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ и $\alpha_{\text{вл}} = 68 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$). При этом продолжительность охлаждения уменьшается с увеличением коэффициента теплоотдачи. Так же исключается усушка продукта за счет увлажненности поверхности батона. Для математического описания такого процесса был предложен следующий алгоритм расчета:

1. Выбирается шаг по времени $\Delta\tau = 12 \text{ мин} = 0,2 \text{ ч}$
2. Определяется коэффициент массоотдачи с учетом испаряющейся влаги по формуле:

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

$$\beta = -\alpha_{\text{сух}} \cdot (T_{\text{пов}} - T_{\text{ср}}) + \alpha_{\text{вл}} \cdot (T_{\text{пов}} - T_{\text{ср}}) / (d_{\text{пов}} - d_{\text{ср}}) \cdot r = -10 \cdot (85 - 30) + 68 \cdot (85 - 30) / (0,06 - 0,045) \cdot 2,3 = 0,0925 \text{ м}/\text{с}$$

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

$\alpha_{\text{вл}}$ и $\alpha_{\text{сух}}$ – соответственно «влажный» и «сухой» коэффициенты теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$;

$T_{\text{пов}}$ – 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 $\Delta T_{об}$:

$$\Delta T_{об} = -(T_{нач} - T_{ср}) \cdot \exp(-m \cdot \tau) \quad m \cdot \Delta \tau = -(85 - 30) \cdot \exp(-1,29 \cdot 10^{-5} \cdot 1) \quad 1,29 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2 = 0,00014$$

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

τ – общее время охлаждения колбасных изделий, ч;

m – темп охлаждения,

$$m = \frac{\alpha S}{V C \rho} \cdot \varphi = \frac{10 \cdot 0,0433}{3200 \cdot 0,00866 \cdot 997} \cdot 0,826 = 1,29 \cdot 10^{-5},$$

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

$$\left\{ \left(\frac{10 \cdot 0,0433}{0,358 \cdot 0,00866} \cdot 0,000162 \right)^2 + 1,437 \cdot \left(\frac{10 \cdot 0,0433}{0,358 \cdot 0,00866} \cdot 0,000162 \right) + 1 \right\}^{-1/2} = 0,826$$

C – удельная теплоемкость тела, Дж/(кг · К), ρ – плотность тела, кг/м³,

V – объем тела, м³;

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

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

S – площадь поверхности тела, м²;

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

$$K = \left\{ \frac{5,783}{R^2} + \frac{\pi^2}{H^2} \right\}^{-1} = \left\{ \frac{5,783}{0,03^2} + \frac{3,14^2}{0,2^2} \right\}^{-1} = 0,000162$$

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

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

$$\Delta \tau = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T_{об} / -\alpha \cdot S \cdot (T_{пов} - T_{ср}) = 3200 \cdot 997 \cdot 0,00866 \cdot 0,00014 / 10 \cdot 0,0433 \cdot (85-30) = 0,16 = 9,6 \text{ мин}$$

$$T_{пов} = (c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T_{об} / -\alpha \cdot S \cdot \Delta \tau) + T_{ср} = (3200 \cdot 997 \cdot 0,00866 \cdot 0,00014 / 10 \cdot 0,0433 \cdot 0,2) + 30 = 74,7 \text{ °С}$$

5. Рассчитывается убыль массы воды ΔM за время $\Delta \tau$:

$$\Delta M = (\alpha_{сyx} \cdot (d(T_{пов}) - \varphi \cdot (dT_{ср})) \cdot S \cdot \Delta \tau) / (C_B \cdot \rho_B) =$$
$$= (10 \cdot (0,06 \cdot 85) - 0,826 \cdot (0,045 \cdot 30)) \cdot 0,0433 \cdot 0,2 / (1000 \cdot 1,1) = 0,039$$

При этом методе охлаждения предполагается снижение капитальных затрат на оборудование и энергетических затрат, интенсифицировать охлаждение колбасных изделий и улучшить их качество.

Список литературы

1. Куцакова В.Е., Фролов С.В., Крупененков Н.Ф. К расчёту времени гидроаэрозольно-испарительного охлаждения тушек птицы // Вестник Международной академии холода. 1999. № 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. Крупененков Н.Ф., Хохлов Е.В. Интенсификация охлаждения вареных колбасных изделий гидроаэрозольно-испарительным методом с циклическим наложением электростатического поля (ЭСП) // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. №2.
6. Крупененков Н.Ф. К вопросу применения эффекта Ранка-Хильша (Вихревая труба) на предприятиях по производству колбасных изделий // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. №1.
7. Носков А.Н., Зимков А.А. Регулирование производительности холодильного винтового компрессора с помощью внутренних устройств//Вестник международной академии холода. 2012. № 2.
8. <http://www.holodim.ru/99.html>
9. <http://www.bankpatentov.ru/node/81897>
10. <http://www.kraftlog.ru/produksiya/forsunki-i-raspylitelnye-sistemy-lechler/>
11. <http://www.bestreferat.ru/referat-116858.html>
12. <http://www.kriotek.ru/info/view/id/13>
13. <http://www.findpatent.ru/patent/226/2264113.html>
14. <http://www.8e.ru/firms/a3269.php>
15. <http://www.termocamera.narod.ru/ohl.htm>
16. http://www.avangardmm.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=23
17. http://www.infomeat.ru/equip/oborud_pre.php?select=5&ref=270
18. http://www.agros.obninsk.ru/kamery_ohlazhdeniya/
19. <http://www.holodilnye-ustanovki.ru/press/proizvodstvo-varenyh-kolbas,-sosisok,-sardelek>
20. <http://www.agroserver.ru/b/kamery-okhlazhdeniya-kolbas-178357.htm>
21. http://www.begarat.ru/BlazeServer/page.jsp?pk=node_1244202780921
22. <http://www.mtehprom.ru/?section=30&dataid=193>
23. http://www.tehtron.ru/our_products/k_intens_ohlagd/60-kamery-intensivnogo-okhlazhdenija.html