

И.А. Смирнова, И.В. Гралевская, Е.О. Афанасьева

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Представлен метод по установлению оптимальных температурно-временных режимов охлаждения кисломолочных продуктов, предусматривающий введение технологических ограничений, обусловленных необходимостью сохранения качества готовой продукции. Рассмотрен процесс, основанный на анализе математической модели нестационарного теплообмена охлаждения кислотных сгустков при производстве йогуртов термостатным способом.

Кислотный сгусток, йогурт, температура охлаждения, продолжительность охлаждения.

Введение

На российском рынке молочных продуктов основная часть ассортимента кисломолочных напитков вырабатывается преимущественно резервуарным способом. Зачастую такие продукты имеют жидкую, неоднородную, хлопьевидную консистенцию с отстоем сыворотки, что обуславливается влиянием интенсивного механического воздействия на сформированный кислотный сгусток [1].

Анализ наиболее эффективных методов, применяемых с целью улучшения и коррекции структуры кисломолочных напитков с нарушенным сгустком, в целом выявляет односторонность подходов, поскольку многие из них сводятся к внесению стабилизирующих компонентов [2].

Следует отметить, что наряду с указанной выше тенденцией развития рынка, в последние годы наблюдается положительная динамика спроса на традиционные кисломолочные продукты с ненарушенным сгустком термостатного производства.

Термостатное производство имеет ряд технологических ограничений, связанных главным образом с тем, что стационарные условия термостатных и хладостатных камер, в которых поддерживаются постоянные температурные режимы, резко сокращают возможности регулирования процесса гелеобразования сгустков.

В таком случае крайне затруднительно оперативно и своевременно скорректировать условия сквашивания молока и охлаждения сгустков при отклонении процессов от заданных режимов.

Решение задачи, позволяющей устранить обозначенные издержки производства, представляется возможным путем применения методов контроля технологических процессов (а именно, операции охлаждения), обеспечивающих гибкость в управлении температурно-временными режимами.

В этой связи возникает ряд вопросов, касающихся определения времени окончания процесса сквашивания и, соответственно, времени начала операции охлаждения сформированных кислотных сгустков, а также выбора оптимальных условий охлаждения.

Объект и методы исследования

Исследования, в ходе которых нами рассматривался процесс охлаждения кислотных сгустков при

производстве йогуртов термостатным способом, основывались на анализе математической модели нестационарного теплообмена.

Аналитическое описание процесса нестационарной теплопроводности включает в себя дифференциальное уравнение и условия однозначности [3].

Дифференциальное уравнение теплопроводности при отсутствии внутренних источников теплоты имеет вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right). \quad (1)$$

Принимая, что поле избыточной температуры \mathcal{G} автомодельно по времени, т.е. остается подобным при изменении времени, то начиная с некоторого момента времени избыточная температура отдельных точек тела перестает зависеть от начальных условий и приведенное выше дифференциальное уравнение (1) можно выразить следующим образом [4]:

$$\mathcal{G} = \phi(x, y, z) \cdot e^{-m\tau}, \quad (2)$$

где m – темп нагрева или охлаждения, 1/мин; τ – продолжительность нагрева или охлаждения, мин.

Для среднемассовой температуры тела получаем:

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_0 \cdot e^{-m\tau}. \quad (3)$$

Зная температуру охлаждающей среды t_0 и изменения среднемассовой температуры тела \mathcal{G} в диапазоне от t_1 до t_2 в течение времени τ и решая вышеприведенное уравнение, можно установить темп охлаждения и, следовательно, время достижения требуемой температуры (температуры прекращения развития молочнокислого брожения, равной $(12 \pm 2)^\circ\text{C}$:

$$m = \frac{\ln(t_1 - t_0) - \ln(t_2 - t_0)}{\tau}. \quad (4)$$

В ходе эксперимента исследовали теплофизические свойства кислотных сгустков с различной массовой долей жира и СОМО (сухого обезжиренного молочного остатка) в составе нормализованной сме-

си (образованных при температуре сквашивания $t_1 = 40$ °С) в процессе их охлаждения при варьировании условий внешней охлаждающей среды t_0 .

План эксперимента с указанием параметров исследуемой системы представлен в табл. 1.

Таблица 1
Параметры исследуемой системы

Входные параметры	Регулируемые внешние параметры	Выходные параметры
Температура сквашивания продукта, $t_1 = 40$ °С	Температура охлаждающей среды: $t_0 = 10$ °С; $t_0 = 4$ °С; $t_0 = 0$ °С; $t_0 = -10$ °С; $t_0 = -18$ °С.	Температура продукта после охлаждения, t_2
Массовая доля жира в продукте		Продолжительность операции охлаждения, τ
Массовая доля СОМО в продукте		

Испытания проводились на базе Магнитогорского молочного комбината, где в холодильных технологических камерах с различными температурными режимами обеспечивались заданные в эксперименте условия охлаждающей воздушной среды.

Опытные образцы йогурта вырабатывали по традиционной технологии. Измерение температуры готового продукта в полимерной потребительской упаковке объемом 0,25 мл и 0,50 мл осуществлялось посредством двухканального терморегулятора марки «2ТРМ-1» с использованием термопар, расположенных в трех точках опытного образца:

- с внешней стороны потребительской упаковки;
- с внутренней стороны тары в пристеночном слое;
- в центре продукта.

Показания терморегулятора «2ТРМ-1» фиксировались через интервал времени $\Delta t = 3$ мин. Анализировали изменение температуры продукта (в диапазоне от t_1 до t_2) в течение охлаждения, температуру продукта после охлаждения t_2 и продолжительность этой операции τ .

Полученные экспериментальные данные использовались для вычисления темпов охлаждения опытных образцов йогурта по формуле (4).

Результаты и их обсуждение

Согласно расчетным данным, при варьировании состава йогурта по массовой доле молочного жира и СОМО, а также объемных единиц исследуемых образцов (0,25 мл; 0,50 мл) изменения темпов охлаждения в целом незначительны и определяющими темп охлаждения кислотных сгустков факторами являются условия внешней среды.

В этой связи на следующем этапе исследования осуществлялся анализ процессов теплопередачи в кислотных гелях, компонентный состав которых распространен в ассортименте кисломолочных продуктов с массовой долей жира 4,0 % и СОМО 12,0 %.

С помощью программы MS Excel были установлены эмпирические уравнения темпов охлаждения

опытного образца йогурта с массовой долей жира 4,0 % и СОМО 12,0 % в пристеночном пространстве и в центре продукта:

$$m_{\text{внутр.стенка}} = -0,00084 \cdot t_{\text{среды}} + 0,01803, \quad (5)$$

$$m_{\text{центр}} = -2 \cdot 10^{-6} \cdot t_{\text{среды}}^3 - 3,3 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\text{среды}}^2 - 5,5 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{среды}} + 0,01527. \quad (6)$$

Установленные выше эмпирические уравнения темпов охлаждения (5) и (6) использовались в разработке метода подбора температурно-временных режимов охлаждения кисломолочных продуктов.

Зависимость темпов охлаждения опытного образца йогурта с массовой долей жира 4,0 % и СОМО 12,0 % от температуры внешней охлаждающей среды представлена на рис. 1.

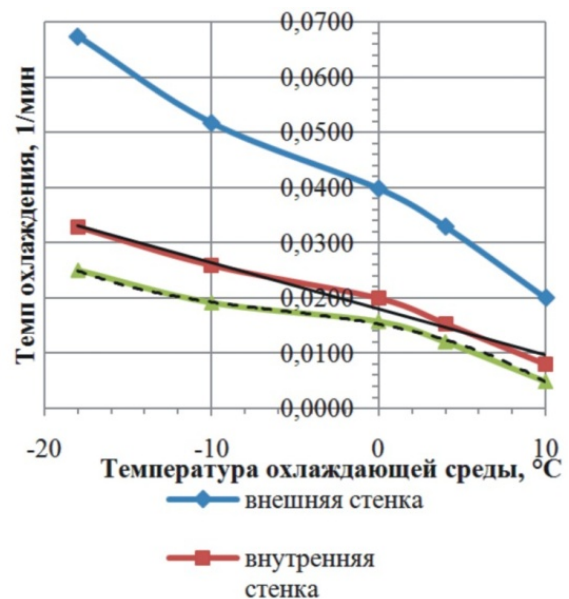


Рис. 1. Зависимость темпов охлаждения опытного образца йогурта с массовой долей жира 4,0 % и СОМО 12,0 % от температуры внешней охлаждающей среды

Предлагаемый механизм регулирования процессов охлаждения кисломолочных напитков предусматривает соблюдение следующих условий:

- с целью предотвращения возможного замораживания кислотного геля и кристаллизации влаги температуру в пристеночном пространстве принимаем равной не ниже 0 °С;
- с целью предотвращения развития молочнокислого брожения температуру сформированного сгустка в центре потребительской упаковки принимаем равной (12 ± 2) °С.

Сформулированные выше технологические ограничения обусловлены необходимостью сохранения качества готовой продукции. На основании полученных экспериментальных данных и установленных технологических ограничений был осуществлен подбор температурно-временных режимов охлаждения по следующей схеме (рис. 2).

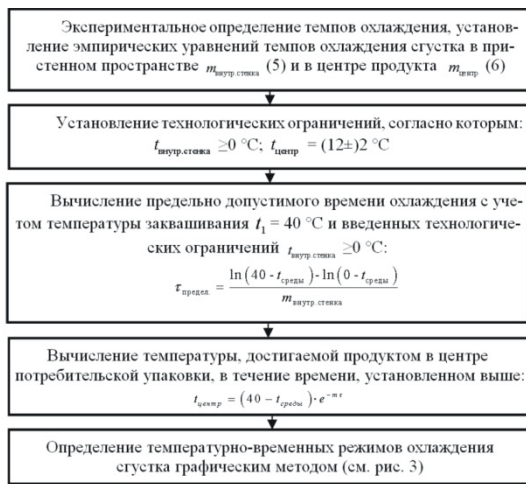


Рис. 2. Блок-схема метода установления рациональных температурно-временных режимов охлаждения кисломолочных продуктов

Результаты реализации модели в соответствии с приведенной выше схемой представлены на рис. 3.

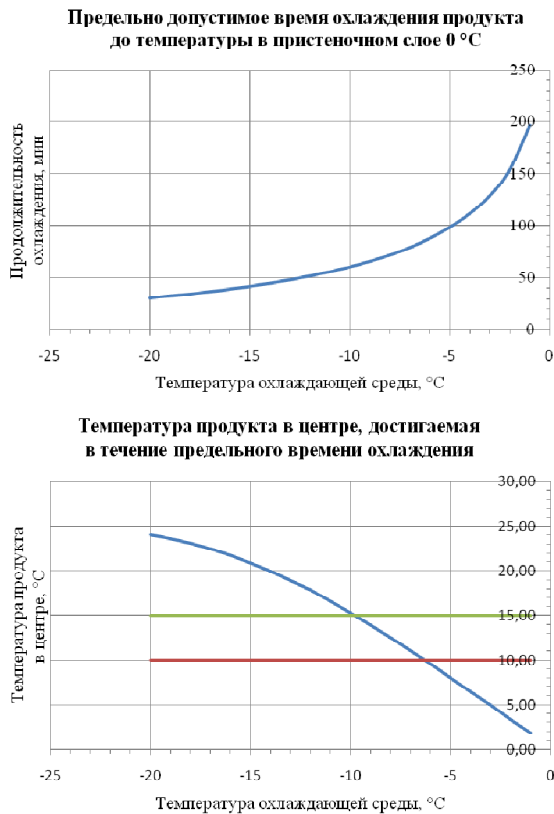


Рис. 3. Зависимость предельно допустимого времени охлаждения и температуры продукта, достигаемой за это время, от условий охлаждающей среды

Проведенный анализ позволил установить следующие температурно-временные режимы охлаждения кислотных сгустков с учетом введенных технологических ограничений (табл. 2):

1) для достижения продуктом температуры 15 °C в центре потребительской упаковки продолжительность охлаждения должна составлять 60 мин при температуре в хладостатной камере –10 °C;

2) для достижения продуктом температуры 10 °C в центре потребительской упаковки продолжительность охлаждения должна составлять 84 мин при температуре в хладостатной камере –6,5 °C и т.д.

Таблица 2

Режимы охлаждения сформированных кислотных сгустков

Технологические ограничения	Температурно-временные параметры режима охлаждения	
	Продолжительность охлаждения, мин	Температура охлаждающей среды, °C
Требуемая температура продукта в центре упаковки, °C		
15	60	–10,0
14	66	–9,0
13	72	–8,0
12	76	–7,5
11	80	–7,0
10	84	–6,5

В технологическом процессе производства кисломолочных продуктов термостатным способом, исходя из условий конкретного предприятия, рекомендовано проведение операции охлаждения сформированных кислотных сгустков в течение 60...85 мин при температуре внешней среды –10...–6 °C.

Выводы

Таким образом, в результате произведенных исследований теплообмена при охлаждении йогуртов в процессе их производства термостатным способом была установлена зависимость продолжительности охлаждения йогурта от температуры охлаждающей среды. На основании полученной зависимости были разработаны рекомендации для проведения технологического процесса охлаждения в условиях реального производства. Выполнение предложенных рекомендаций позволит интенсифицировать производственный процесс, предотвратить как замораживание кислотного геля, так и развитие молочнокислого брожения, что в конечном итоге позволит повысить качество производимой продукции и эффективность ее производства.

Список литературы

1. Зобкова, З.С. О консистенции кисломолочных продуктов / З.С. Зобкова, Т.П. Фурсова // Молочная промышленность. – 2002. – № 9. – С. 31–32.
2. Зобкова, З.С. Пищевые вещества, формирующие консистенцию и новые свойства молочных продуктов // Молочная промышленность. – 2007. – № 10. – С. 18–19.
3. Теплофизические свойства рабочих тел и процессы криогенной техники: межвузовский сборник научных трудов. – Л.: [б. и.], 1988. – 150 с.

4. Чижов, Г.Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов / Г.Б. Чижов. – 2-е изд., перераб. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 271 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел/факс: (3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

I.A. Smirnova, I.V. Gralevskaya, E.O. Afanasyeva

OPTIMIZATION OF FERMENTED MILK PRODUCT COOLING

The method of establishing the rational temperature and time modes of fermented milk product cooling is presented, providing the introduction of processing limits caused by the necessity of finished goods quality preservation. The process based on the mathematical model of non-fixed heat exchange of acid clot cooling in the thermostatic yogurt production is considered.

Acid clot, yogurt, cooling temperature, cooling time.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology,
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia.
Phone/fax: +7 (3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

Дата поступления: 20.11.2013

