

УДК 637.231

## Система управления процессом тепловой обработки пищевых продуктов

*Д-р техн. наук, проф. Балубаш В.А.*

*канд. техн. наук Алёшичев С.Е. sergspbcrpf@rambler.ru*

*канд. техн. наук Добряков В.А.*

*Университет ИТМО*

*191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

*Формирование нормируемого показателя качества пищевых продуктов – влажности связано с технологическими параметрами его производства. С точки зрения управления процессом формирования влажности творога основными параметрами являются производительность обезвоживателя по сгустку и температура его тепловой обработки перед обезвоживанием. На основе анализа возможных возмущающих воздействий в реальных условиях ведения технологического процесса производства творога рассматривается целесообразность внесения корректирующего воздействия по каналу температуры тепловой обработки сгустка в зависимости от его кислотности. Для процесса производства сливочного масла анализируется возможность внесения управляющих воздействий по трем каналам управления.*

*Ключевые слова:* влажность, творог, масло, производительность, температура, кислотность, стабилизация, управление, регулирование, возмущение.

---

## The process control system of heat treatment food

*D.Sc. prof. Balubash V.A.*

*Ph.D. Aleshichev S.E. sergspbcrpf@rambler.ru*

*Ph.D. Dobryakov V.A.*

*ITMO University*

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

*Formation Regulated quality food - moisture associated with the technological parameters of its production. From the point of view of process control moisture forming curds are the main parameters on the performance of the dehydrator clot and the temperature of its heat treatment before dehydration. Based on the analysis of possible disturbances in the actual conditions of Reference production process of cheese making the expediency corrective action via the heat treatment temperature clot, depending on its acidity. For the process of production of butter analyzed the possibility of making the control actions on the three control channels.*

*Keywords:* moisture, curd, butter, performance, temperature, acidity, stabilization, management, regulation, indignation.

---

Одним из основных параметров, определяющих качество пищевых продуктов в процессе их производства, является содержание влаги. Поддержание влажности готового продукта на нормируемом уровне в непрерывном потоке требует синхронного внесения управляющих воздействий по нескольким каналам управления.

Установленная по результатам исследований зависимость влажности творога и сливочного масла от режимов на стадии тепловой обработки творожного сгустка и сливок позволила сформировать системы автоматической стабилизации влажности с использованием дополнительных каналов внесения регулирующих воздействий.

Так, например, при производстве творога основными технологическими операциями, формирующими влажность готового продукта, являются сквашивание молока, тепловая обработка сгустка и механическое отделение сыворотки.

Известные способы стабилизации на нормируемом уровне содержания влаги в готовом продукте предусматривают изменение производительности обезвоживателя барабанного типа для творога традиционной консистенции и сепаратора для мягкого творога соответственно. Недостатком отмеченных способов является изменение производительности технологических линий, что обуславливает нарушение синхронизации процесса и увеличение энергозатрат. Кроме того, величина регулирующего воздействия с использованием канала производительности аппарата барабанного типа или сепаратора ограничена аппаратурными и технологическими режимами работы, что усложняет задачи стабилизации влажности при значительной величине возмущающих воздействий.

С учетом недостатков отмеченных способов управления предложено одновременно с внесением стабилизирующих воздействий на стадии механического отделения сыворотки дополнительно изменять температуру тепловой обработки на величину эквивалентную изменению влажности творожной массы на выходе и снижать по мере повышения влияния управляющего воздействия по каналу тепловой обработки сгустка, управляющее воздействие по каналу механического отделения сыворотки [1].

Предложенная структура системы стабилизации влажности творога в условиях поступления скачкообразных возмущающих воздействий, обусловленных поочередным подключением резервуаров с творожным сгустком к аппарату для его тепловой обработки, не обеспечивает требуемых качественных показателей влажности. Это связано с тем, что значение тепловой обработки технологически нормировано величиной начальной кислотности сгустка и является определяющим фактором содержания влаги в готовом продукте. Но, учитывая, что начальная кислотность творожного сгустка в подключаемых резервуарах может быть различна, а принятая система регулирования тепловой обработки реализует косвенный принцип управления, возникают отклонения влажности в готовом продукте, обусловленные временем запаздывания.

Для снижения времени запаздывания предложено с предварением корректировать задание в системе управления процессом тепловой обработки сгустка в соответствии с кислотностью сгустка в подключаемом резервуаре.

По результатам анализа проведенных исследований [2] представлена зависимость температуры нагрева сгустка от его кислотности  $K$  (рис.1) и получено уравнение для коррекции системы управления режимом тепловой обработки сгустка:

$$t = -0,303 \cdot K + 73,563.$$

Реализация предлагаемого решения в два раза сокращает время запаздывания и соответственно повышает качественные показатели управления процессом стабилизации влажности готового продукта.

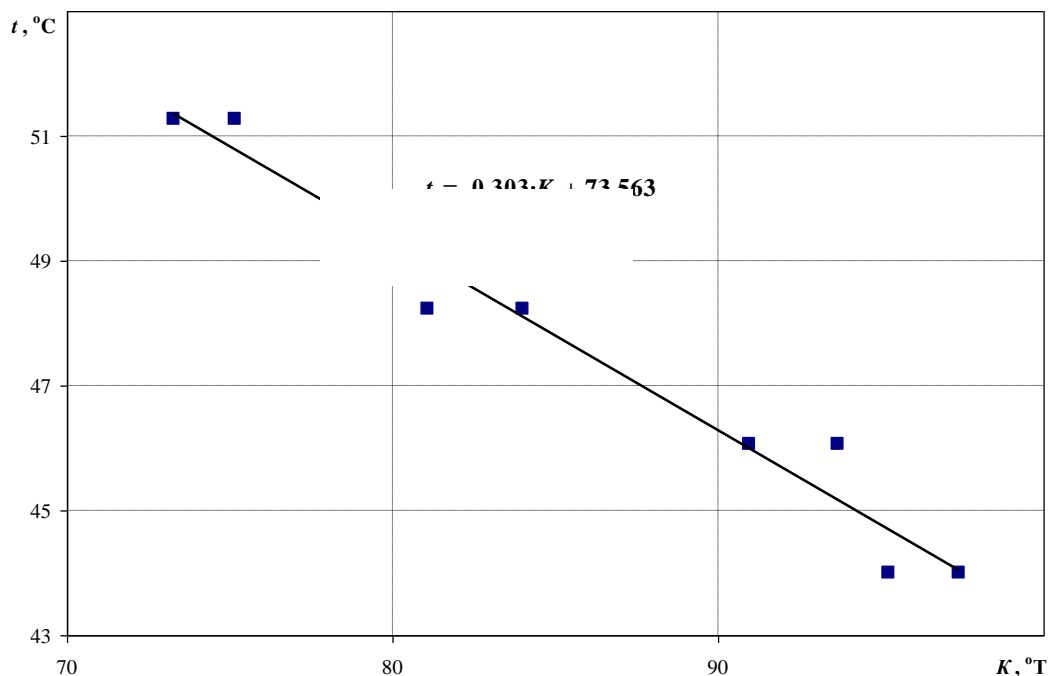
Предложенная структура системы стабилизации влажности творога использует принцип регулирования «по отклонению», который имеет существенный недостаток, обусловленный большим показателем инерционности системы – временем запаздывания.

Одно из направлений совершенствования функциональных возможностей системы стабилизации можно сформулировать аналитически:

$$\frac{\tau_{\text{зап}}}{T_{\Pi}} \rightarrow \min, \tag{1}$$

где  $\tau_{\text{зап}}$  – время запаздывания системы, с;

$T_{\Pi}$  – постоянная времени объекта регулирования, с.

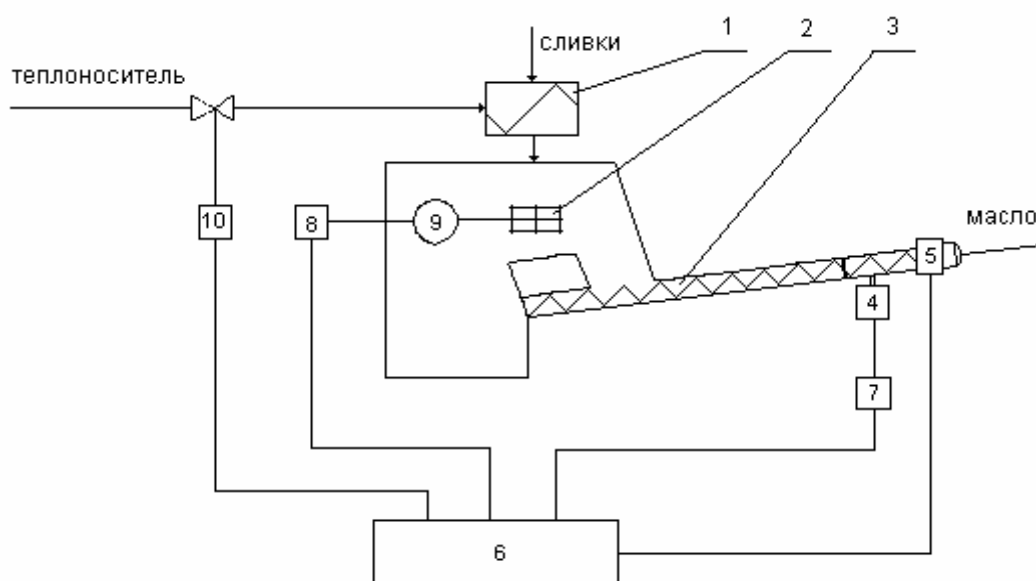


**Рис. 1. Зависимость температуры нагрева влажного сгустка от кислотности при заданной влажности готового продукта 73%**

Так как постоянную времени действующего объекта можно считать величиной неизменной, то для уменьшения отношения (1) необходимо сокращать время запаздывания системы. Этого можно добиться использованием дополнительных систем компенсации возмущающих воздействий, построенных по принципу регулирования «по возмущению» или внесением корректирующих воздействий в систему управления.

В рассматриваемом варианте предложена система, предусматривающая внесение корректирующих воздействий в систему управления тепловой обработки сгустка в зависимости от изменения кислотности при подключении очередных резервуаров и обеспечению, тем самым, снижение величины возмущающих воздействий и времени запаздывания.

Структурная схема системы автоматической стабилизации влажности сливочного масла, получаемого способом непрерывного сбивания с введением дополнительного регулирующего воздействия по каналу температуры сливок, поступающих на сбивание, приведена на рис. 2.



**Рис. 2. Структурная схема системы автоматической стабилизации влажности сливочного масла**

Она содержит теплообменник 1 для сливок, мешалку сбивателя 2, шнековый обработчик 3 с насосом-дозатором 4 нормализующего компонента, являющиеся конструктивными элементами маслоизготовителя непрерывного действия. На выходе сливочного масла из маслоизготовителя установлен первичный преобразователь 5 влажности, который через микроконтроллер 6 связан с исполнительным механизмом 7 насоса-дозатора, исполнительным механизмом 8 регулирования частоты вращения привода мешалки сбивателя 9 и исполнительным механизмом 10 регулирования температуры сбивания сливок. Микроконтроллер 6 формирует регулирующее воздействие (количество подаваемого нормализующего компонента, частоту вращения мешалки сбивателя и температуру сбивания сливок) и обеспечивает взаимодействие каналов регулирования влажности в соответствии с величиной и знаком отклонения влажности от заданного значения.

При отклонении влажности масла от заданного значения в меньшую сторону (уменьшение влажности) сигнал с первичного преобразователя 5 поступает в микроконтроллер 6, который формирует управляющий сигнал на увеличение подачи нормализующего компонента. Этот сигнал подается на исполнительный механизм 7 насоса-дозатора 4 нормализующего компонента, увеличивая, тем самым, его производительность. Одновременно с этим микроконтроллер 6, формирует управляющие сигналы на изменение частоты вращения мешалки сбивателя и изменение температуры сбивания сливок и подает их соответственно на исполнительные механизмы 8 и 10, изменяя тем самым частоту вращения привода мешалки сбивателя 9 и температуру сбивания сливок, что увеличивает влажность масла. При достижении отклонения текущей влажности максимальной величины, микроконтроллер 6 сохраняет уровень управляющего воздействия по каждому каналу регулирования до момента, указанного ниже. Регулирующее воздействие, внесенное по каналу дозирования нормализующего компонента, вызовет восстановление заданного значения влажности, но не обеспечит оптимальное распределение влаги в масле. Регулирующее воздействие по каналу регулирования частоты вращения мешалки сбивателя и каналу регулирования температуры сбивания сливок окажет влияние на влажность масла с запаздыванием, что выразится в появлении сигнала рассогласования влажности с противоположным знаком. При этом микроконтроллер 6 через исполнительный механизм 7 уменьшает подачу насосом-дозатором 4 нормализующего компонента до заданного (номинального) значения, сохраняя, при этом,

уровень регулирующего воздействия по каналу изменения частоты вращения мешалки сбивателя и изменения температуры сбивания сливок без изменений и принимая его за новое номинальное значение. Таким образом, процесс нормализации сливочного масла по влажности по каналам изменения частоты вращения мешалки сбивателя и изменения температуры сбивания сливок «вытесняет» канал дозирования нормализующего компонента и приводит режим производства масла к оптимальному.

При отклонении влажности масла от заданного значения в большую сторону (увеличение влажности) сигнал с первичного преобразователя 5 поступает в микроконтроллер 6, который формирует управляющий сигнал на уменьшение подачи нормализующего компонента. Этот сигнал подается на исполнительный механизм 7 насоса-дозатора 4 нормализующего компонента, уменьшая, тем самым, его производительность вплоть до полного прекращения подачи нормализующего компонента (исключения канала дозирования нормализующего компонента). Одновременно с этим микроконтроллер 6 формирует управляющие сигналы на изменение частоты вращения мешалки сбивателя и изменение температуры сбивания сливок и подает их соответственно на исполнительные механизмы 8 и 10, изменяя тем самым частоту вращения привода мешалки сбивателя 9 и температуру сбивания сливок, что уменьшает влажность масла. При достижении отклонения текущей влажности максимального значения, микроконтроллер 6 сохраняет уровень управляющего воздействия по каждому каналу до момента, указанного ниже. Регулирующее воздействие, внесенное по каналу дозирования нормализующего компонента, вызовет восстановление (частичное восстановление) заданного значения влажности. Регулирующее воздействие по каналу регулирования частоты вращения мешалки сбивателя и каналу регулирования температуры сбивания сливок окажет влияние на влажность масла с запаздыванием, что выразится в появлении сигнала рассогласования влажности с противоположным знаком. При этом микроконтроллер 6 через исполнительный механизм 7 увеличивает подачу насосом-дозатором 4 нормализующего компонента до заданного (номинального) значения, сохраняя, при этом, уровень регулирующего воздействия по каналу изменения частоты вращения мешалки сбивателя и изменения температуры сбивания сливок и принимая его за новое номинальное значение. Таким образом, процесс нормализации сливочного масла по влажности по каналам изменения частоты вращения мешалки сбивателя и изменения температуры сбивания сливок «вытесняет» канал дозирования нормализующего компонента и приводит режим производства масла к оптимальному [3].

Таким образом, при выборе способа управления технологическими процессами производства пищевых продуктов с целью стабилизации качественных параметров готового продукта и возможным обеспечением решения задач оптимизации следует обратить внимание на применение комбинированного принципа управления, сочетающего в себе регулирование «по отклонению» (выходного параметра) и «по возмущению» (входных параметров).

## Список литературы

1. Пат. 2231106 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> G05D27/02, A23C19/076. Способ автоматического регулирования влажности в процессе производства творога. [Текст] / Балюбаш В.А., Добряков В.А., Сабуров А.Г.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий. – № 2003107354/13; заявл. 17.03.2003; опубл. 20.06.2004, Бюл. № 5. – 5 с. : ил.

2. Патент на полезную модель №138201 Российская Федерация, МПК В02С13/00. Устройство для резки на части плодов и овощей. [Текст] / Алексеев Г.В., Башева Е.П., Кравцова Е.В., Минаева Л.В., Минаева Т.В.; заявитель и патентообладатель СПб НИУ ИТМО - №2013112542/13; заявл. 20.03.2014; опубл. 10.03.2014, Бюл. № 3.– 4 с.: ил.

3. *Зимин А. Ф., Фриденберг Г. В.* Режимы тепловой обработки твороженного сгустка на линиях типа Я9-ОПТ. [Текст] // Молочная промышленность. – 1998. – №2, С. 45–46 с.
4. Пат. 2298918 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> А01J15/00, G05D27/02. Способ стабилизации процесса нормализации сливочного масла по влажности. [Текст] / Алёшичев С.Е., Балюбаш В.А.; заявитель и патентообладатель СПбГУНиПТ. – № 2005100932/13; опубл. 20.05.2007., Бюл. № 7. – 5с.: ил.

## References

1. Pat. 2231106 Rossiiskaya Federatsiya, MPK7 G05D27/02, A23C19/076. A way of automatic control of humidity in the course of production of cottage cheese. [Tekst] / Balyubash V.A., Dobryakov V.A., Saburov A.G. ; заявитель i patentoobladatel' Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet nizkotemperaturnykh i pishchevykh tekhnologii. – № 2003107354/13; заявл. 17.03.2003; opubl. 20.06.2004, Byul. № 5. – 5 s. : il.
2. Patent na poleznuyu model' №138201 Rossiiskaya Federatsiya, MPK V02S13/00. The device for are sharp on part of fruits and vegetables [Tekst] / Alekseev G.V., Basheva E.P., Kravtsova E.V., Minaeva L.V., Minaeva T.V.; заявитель i patentoobladatel' SPb NIU ITMO - №2013112542/13; заявл. 20.03.2014; opubl. 10.03.2014, Byul. № 3.– 4 s.: il.
3. *Zimin A. F., Fridenberg G. V.* The modes of thermal treatment of a tvorozhenny clot on Ya9-wholesale lines. [Tekst] // Molochnaya promyshlennost'. – 1998. – №2, S. 45–46 s.
4. Pat. 2298918 Rossiiskaya Federatsiya, MPK7 A01J15/00, G05D27/02. A way of stabilization of process of normalization of butter on humidity. [Tekst] / Aleshichev S.E., Balyubash V.A.; заявитель i patentoobladatel' SPbGUNiPT. – № 2005100932/13; opubl. 20.05.2007., Byul. № 7. – 5s.: il.