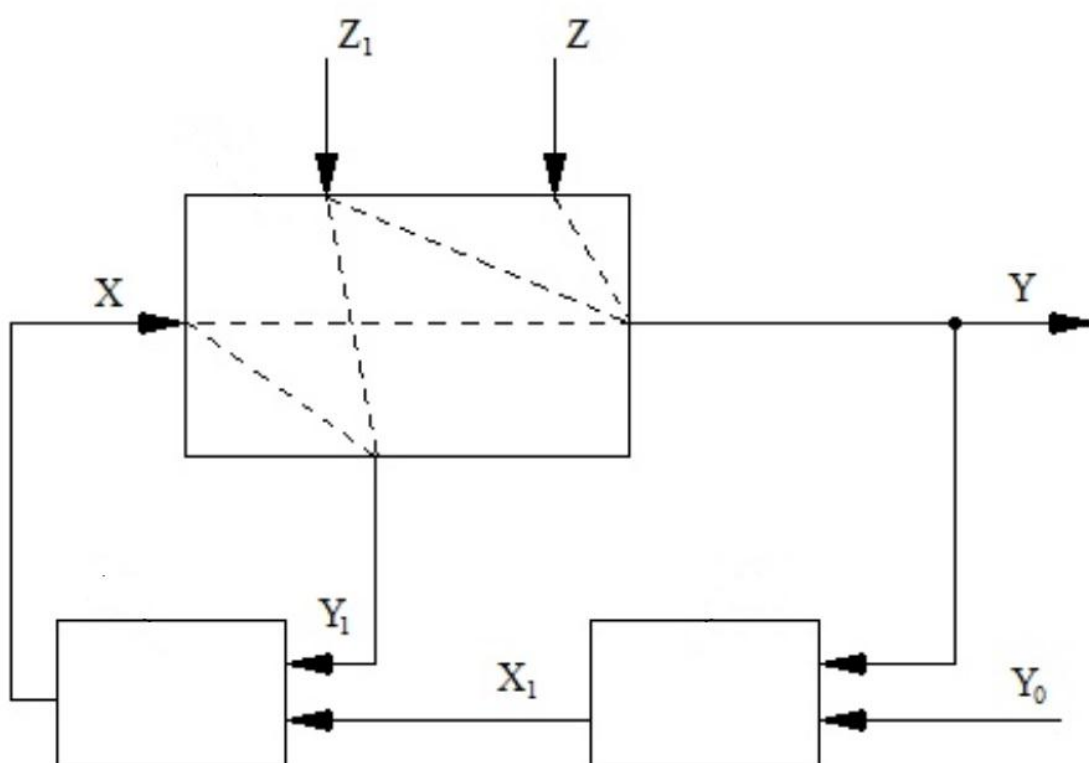


В.А. Балюбаш  
С.Е. Алешичев  
Е.А. Травина  
В.Л. Иванов

## СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

В.А. Балюбаш  
С.Е. Алешичев  
Е.А. Травина  
В.Л. Иванов

**СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ  
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО  
по направлению подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических  
процессов и производств в качестве учебно-методического пособия для  
реализации основных профессиональных образовательных программ  
высшего образования магистратуры,

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург  
2019

Алешичев С.Е., Балюбаш В.А., Травина Е.А., Иванов В.Л. Структурно-параметрический анализ аппаратурно-технологических комплексов пищевых производств– СПб: Университет ИТМО, 2019. – 39 с.

Рецензенты:

Пеленко Валерий Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор (квалификационная категория «профессор практики») факультета пищевых биотехнологий и инженерии, Университета ИТМО.

Учебно-методическое пособие предназначено для изучения методик структурно-параметрического анализа аппаратурно-технологических комплексов пищевых производств как сложных многофакторных объектов автоматизированного управления. Рассматриваются и анализируются статические характеристики и динамические свойства объектов, а также их возможные изменения в прогнозируемых производственных ситуациях на технологических объектах.

Учебно-методическое пособие предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению 15.04.04. Автоматизация технологических процессов и производств при изучении дисциплин «Технические средства систем управления», «Методы управления качеством при проектировании и эксплуатации автоматизированных систем управления», «Современные методы теории управления в биотехнологической промышленности» всех форм обучения, а также рекомендуется в качестве дополнительной литературы для бакалавров, обучающихся по направлению 15.03.04. Автоматизация технологических процессов и производств.



**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2019

© Алешичев С.Е., Балюбаш В.А., Травина Е.А., Иванов В.Л., 2019

## Содержание

Введение .....	4
1. Структурно-параметрический анализ многофакторных объектов производства пищевых продуктов .....	6
1.1. Особенности управления многофакторными объектами пищевых производств .....	6
2. Система управления процессом охлаждения хлебобулочных изделий в спиральном конвейере .....	11
3.1. Аппаратурно-технологические факторы, влияющие на содержание влаги в готовом продукте .....	18
4. Аппаратурно-параметрический анализ процесса производства сливочного масла.....	22
4.1. Разработка параметрической схемы технологического процесса и анализ факторов, влияющих на влажность готового продукта.....	22
4.1.1. Результаты анализа факторов, влияющих на формирование влажности сливочного масла .....	22
4.1.2 Обоснование выбора аппаратурно и технологически управляемых параметров и классификация вида возмущающих воздействий.....	29
4.1.3 Режимы работы маслоизготовителя непрерывного действия .....	29
4.2 Выбор каналов внесения управляющих воздействий .....	31
4.3 Условия поддержания режимов стабилизации влажности .....	33
Список литературы.....	35

## Введение

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для использования в качестве основной литературы при изучении дисциплин: «Технические средства систем управления», «Методы управления качеством при проектировании и эксплуатации автоматизированных систем управления», «Анализ аппаратурно-технологических комплексов производства пищевых продуктов», «Многоканальные системы управления качеством сырья в пищевых продуктах» в рамках подготовки магистрантов, обучающихся по направлению 15.04.04. Автоматизация технологических процессов и производств, а также в качестве дополнительной литературы для бакалавров, обучающихся по направлению 15.03.04. Автоматизация технологических процессов и производств.

Основными целями пособия является обеспечение возможности освоения студентами способности осуществлять контроль за испытанием готовой продукции, внедрением современных методов автоматизации и управления производством, качеством готовой продукции, систематизировать и обобщать информацию по формированию и использованию ресурсов предприятия, организовывать работы по осуществлению авторского надзора за выпускаемой продукцией на всех этапах ее жизненного цикла, внедрению новой техники и технологий.

В учебном пособии рассматриваются практические приемы формирования систем управления аппаратурно-технологическими комплексами (АТК) производства пищевых продуктов, являющихся многофакторными объектами, сложность задач управления которыми обусловлена применением различных взаимосвязанных технологий и аппаратов, обеспечивающих на выходе продукт с нормированными качественными показателями. Подробно рассматривается методика структурно-параметрического анализа аппаратурно-технологических комплексов пищевых производств, описаны примеры анализа различных технологических процессов с целью реализации задач автоматического управления.

Структурно-параметрический анализ объекта обеспечивает возможность применения методики использования каналов управления, снижающих время запаздывания путем предвычисления ожидаемого возмущения, повышения регулирующего воздействия при суммировании каналов управления, взаимосвязанных с качественными параметрами готового продукта и снижения влияния ступенчатых возмущений при внесении параллельно-последовательных управляющих воздействий.

Материалы пособия направлены на повышение уровня подготовки магистрантов и бакалавров в области формирования систем многоконтурного управления многофакторными объектами пищевой промышленности, а также особенно важны на этапе выполнения и защиты выпускных квалификационных работ.

Отдельное внимание уделено методике анализа и выбора факторов внесения управляющих воздействий с точки зрения аппаратурной обеспеченности каналов с использованием штатных аппаратных средств, обеспечивающих оперативное управление выбранными каналами во всех технологически рекомендованных пределах. При этом показано, что для поддержания значений параметров в технологически допустимых пределах в различных режимах эксплуатации оборудования необходимо применять комбинированный способ стабилизации.

Материалы пособия предполагается использовать в учебном процессе подготовки магистров и бакалавров с использованием разработанных компьютерных моделей многофакторных объектов производства пищевых продуктов. В целом учебно-методическое пособие дает возможность совершенствования специальных знаний в области структурно-параметрического анализа сложных технологических комплексов пищевых производств. Для более глубокого рассмотрения отдельных вопросов может быть использована литература, приведенная в списке литературы.

# **1. Структурно-параметрический анализ многофакторных объектов производства пищевых продуктов**

## **1.1. Особенности управления многофакторными объектами пищевых производств**

Особенность производства пищевых продуктов как сложной для управления системы обусловлена многообразием видов и форм аппаратурно-технологических процессов, протекающих в непрерывных, непрерывно-дискретных и дискретных режимах. Так, поочередное подключение отдельных аппаратов с отличающимися качественными параметрами процессов биотехнологической подготовки продукты вызывает появление скачкообразных возмущений, что является наиболее тяжелой формой возмущающих воздействий в системах управления. Следует также отметить, что для аппаратурно-технологических комплексов пищевых производств с последовательным включением технологических звеньев, разделенных аппаратурно-технологическими емкостями и сопротивлениями, характерен переходной (емкостной) вид запаздывания.

Такой вид запаздывания суммарно с «чистым» (транспортным) запаздыванием значительно превышает величину запаздывания в одноемкостных объектах.

При выборе структуры системы управления необходимо также учитывать специфику технологической и аппаратурной организации АТК пищевых производств, связанную с жестко нормированным временем переработки отдельных видов пищевого сырья, его переменным составом и свойствами, а также высоким уровнем требований к качественным показателям готового продукта [1].

Кроме того, в современных АТК, имеющих высокую производительность, велик риск значительных потерь, связанных с исправлением брака готовой продукции.

Широко применяющиеся в структурах АТК пищевой промышленности одноконтурные системы управления не всегда могут обеспечить управление с высокими качественными показателями, учитывая вид и характер возмущающих воздействий, а также уровень требований к показателям качества готового продукта. Для повышения качества регулирования в таких объектах используют более сложные каскадные системы.

В каскадных системах при регулировании основного выходного технологического параметра в объекте с большим запаздыванием используются также вспомогательные величины, реагирующие на изменение основных возмущений объекта и регулирующего воздействия с меньшим запаздыванием. В таких случаях стабилизация вспомогательных величин способствует более качественному регулированию основного параметра процесса. Каскадная

система состоит из нескольких контуров регулирования, каждый из которых регулирует свою технологическую основную или вспомогательную величину.

Однако применение каскадных схем эффективно только в том случае, когда регулирование основной величины технологического параметра существенно больше, чем в контуре регулирования вспомогательной величины [2].

Структурная схема двухконтурной каскадной системы, предпочтительная для применения в технологических объектах химико-технологических и пищевых производств, приведена на рис. 1 [3].

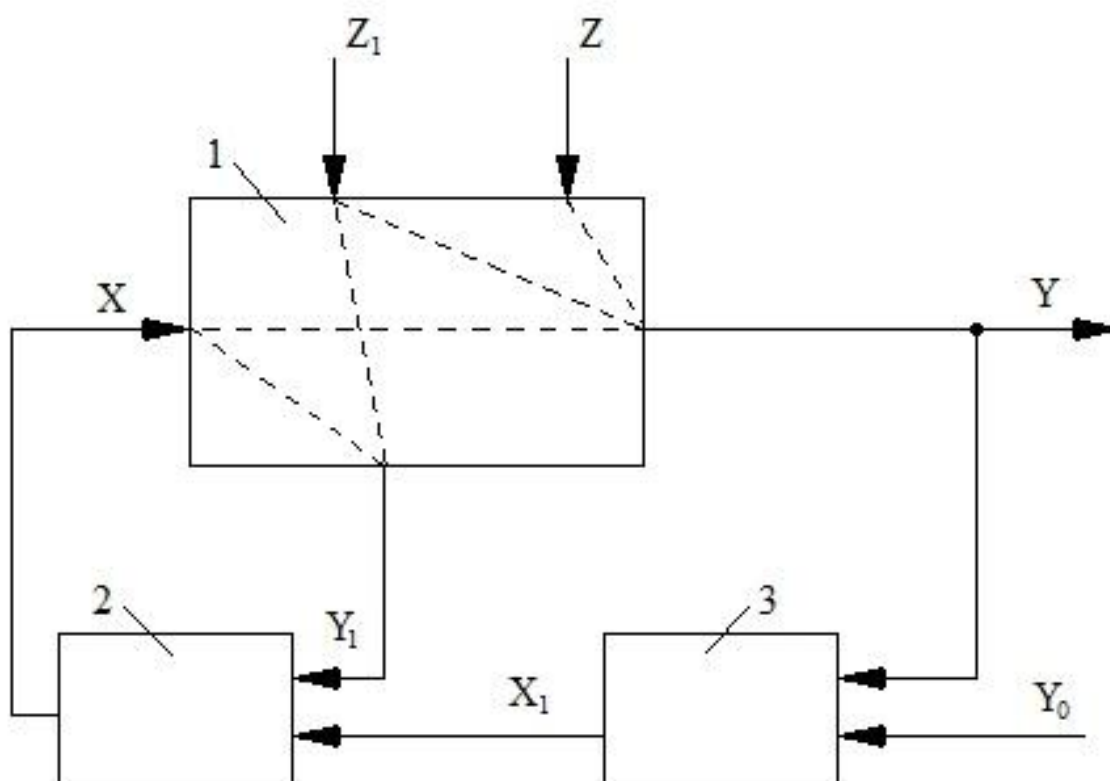


Рис. 1. Структурная схема двухконтурной каскадной системы

В объекте регулирования 1 на основную  $Y$  и вспомогательную  $Y_0$  технологические величины воздействуют регулирующая входная величина  $X$  и основное наиболее сильное возмущающее воздействие  $Z_1$ , а также небольшое по величине периодическое возмущение  $Z$ .

Двухконтурная каскадная система имеет вспомогательный (стабилизирующий) контур регулирования и основной (корректирующий) контур. В стабилизирующий контур входит технологический объект 1 (канал  $X \rightarrow Y_1$ ) и стабилизирующий регулятор 2, вырабатывающий регулирующее воздействие  $X$ . Корректирующий контур регулирования состоит из объекта 1



(канал  $Y \rightarrow X_1$ ) и корректирующего регулятора 3 с независимым заданием  $Y_0$ . На вход регулятора 3 поступает основная регулирующая величина  $Y$ , а на вход регулятора 2 – вспомогательная величина  $Y_1$ . Выходная величина  $X_1$  регулятора 3 направляется на регулятор 2 для изменения его задания. Стабилизирующий контур предназначен для регулирования вспомогательной величины  $Y_1$ , а корректирующий – основной величины объекта  $Y$ .

Возмущающее воздействие  $Z$ , приводит к изменению сначала вспомогательной величины  $Y_1$ , поступающей на вход регулятора 2, а затем – основной величины  $Y$ . Поэтому стабилизирующий контур регулирования быстрее, чем корректирующий, вступит в работу и выработает регулирующее воздействие, которое частично скомпенсирует отклонение величины  $Y$  от заданного значения  $Y_0$ . Нескомпенсированное значение величины  $Y$  приведет в действие корректирующий контур регулирования, который постепенно скомпенсирует это отклонение. Влияние возмущения  $Z$  на величину  $Y$  подавляется корректирующим контуром регулирования. При этом стабилизирующий контур регулирования является быстродействующим, а корректирующий – медленнодействующим.

Таким образом, применение стабилизирующего контура регулирования приводит к значительному повышению качества регулирования основного технологического параметра.

На рис. 2 приведены сравнительные графики переходных процессов в каскадной и одноконтурной системах, полученные при внесении одинакового возмущающего воздействия на один и тот же объект. Приведенные переходные процессы носят колебательный характер и не имеют статической ошибки регулирования. В то же время при использовании каскадной системы динамическая ошибка и время регулирования имеют меньшие значения.

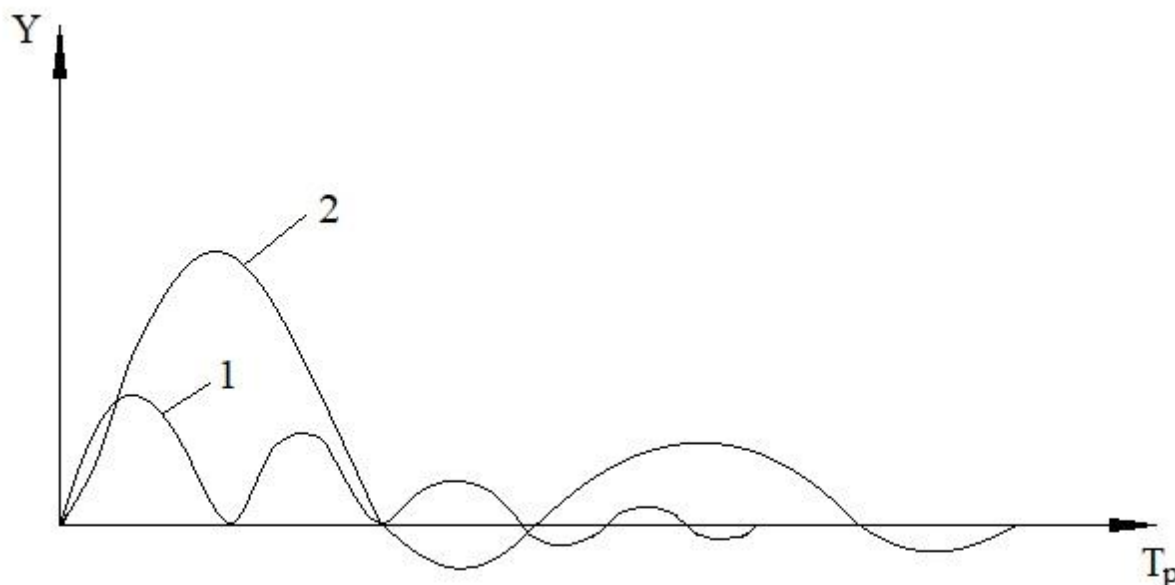


Рис. 2. Переходные процессы в каскадной (1) и одноконтурной (2) системах регулирования

Для формирования структур управления многофакторными технологическими процессами пищевых производств на основе многоконтурных систем управления необходимо выполнить этапы анализа технологических процессов, оборудования, каналы перерабатываемого сырья, готового продукта и энергоносителей. Это обеспечит получение информации о состоянии объекта автоматизации и каналов, по которым могут формироваться управляющие воздействия, а также определить виды, знак и характер возмущающих воздействий, что и позволит оформить структурно-параметрическую схему процесса (рис. 3) и приступить к выбору структуры многоконтурного управления.

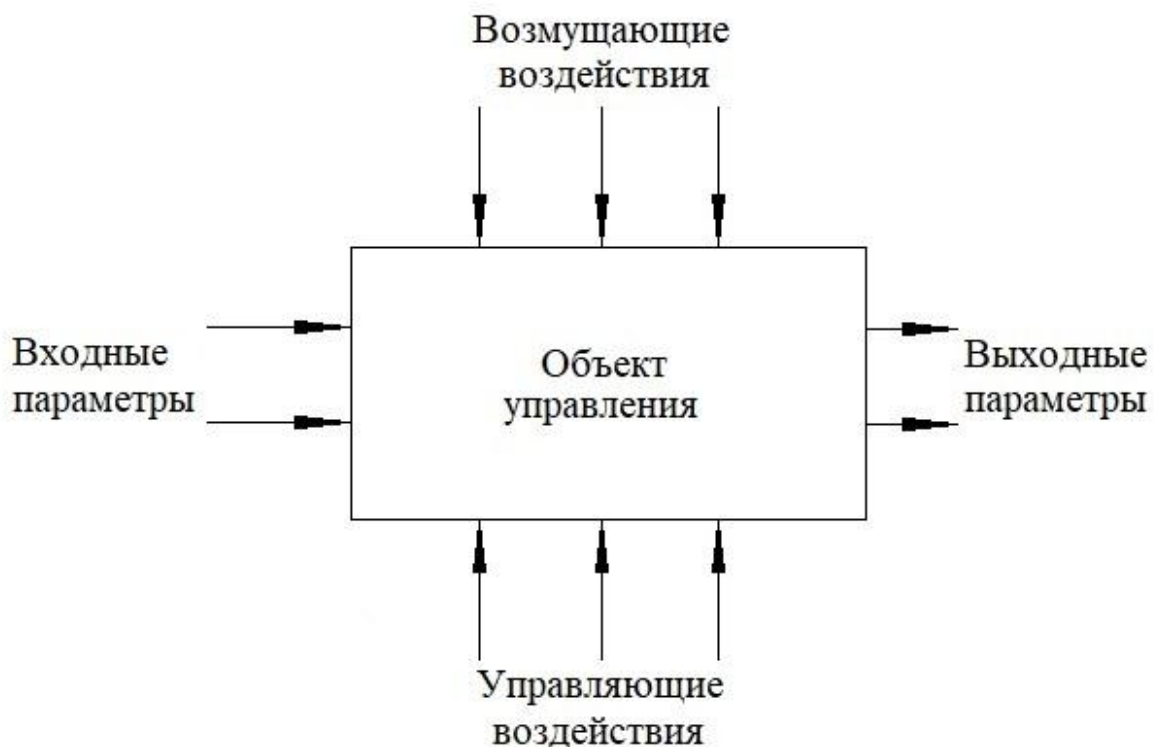


Рис. 3. Структурно-параметрическая схема управления аппаратно-технологическим комплексом

При проектировании систем многоконтурного управления необходимо учитывать, что аппаратно-технологические комплексы пищевых производств отличаются аппаратурной многоканальностью и многообразием технологических режимов на промежуточных стадиях процессов формирования готового продукта и имеют на выходе, как правило, ограниченное число нормируемых качественных показателей, например, температура, влажность.

В этой связи для повышения эффективности систем управления многоконтурными объектами необходимо предусмотреть каналы внесения управляющих воздействий на промежуточных стадиях процесса при появлении на этих этапах процесса возмущающего воздействия. При этом вносить управляющие воздействия следует с предвычислением поступающего

возмущения, с одновременной передачей информации на этап, предшествующий этапу выхода готового продукта. В этом случае управляющее воздействие вносится своевременно, что в итоге исключает появление брака [4].

В многофакторных процессах с использованием отличающихся технологий предпочтительно использовать процедуру поэтапного внесения управляющих воздействий, обеспечивающих повышение качественных показателей переходного процесса регулирования. Это может быть реализовано:

- сокращением времени запаздывания, используя предвычисление ожидаемого возмущения;
- внесением управляющих воздействий по нескольким каналам управления, функционально связанным с одним регулируемым параметром;
- применением параллельно-последовательного внесения управляющих воздействий по двум каналам управления, используя фактор взаимозаменяемого воздействия с одним и тем же регулируемым параметром.

Для практической реализации совершенствования систем управления многофакторного объекта необходимо проведение процедур составления структурно-параметрической схемы аппаратурно-технологических комплексов охлаждения хлебобулочных изделий в спиральном конвейере и производства сливочного масла в маслоизготовителе непрерывного действия. По результатам анализа аппаратурных и технологических факторов разработаны структурно-параметрические схемы, которые позволили выбрать каналы внесения управляющих воздействий и создать структуру многоканального управления в многофакторных объектах, обеспечив повышение качественных показателей процесса управления.

В технических решениях могут быть использованы различные варианты многоконтурного управления, включая внесение управляющих воздействий на промежуточных этапах процесса. При этом предвычисление ожидаемого возмущения в сочетании с возможностью внесения управляющего воздействия по нескольким каналам объекта обуславливает снижение времени запаздывания. Формирующий общий выходной параметр увеличивает суммарное регулирующее воздействие, а использование параллельно-последовательного внесения управляющих воздействий по двум каналам, функционально связанным с регулируемым параметром, увеличивает оперативность приведения параметра к нормируемому значению.

Реализация в аппаратурно-технологических комплексах многоконтурных систем управления обеспечивает, например, сокращение времени внесения управляющих воздействий в процессе охлаждения хлебобулочных изделий до 2,0-2,5 часов при введении контроля и управления температурой внутри хлебобулочного изделия на входе в систему охлаждения, а не на выходе при выборочном контроле температуры внутри изделия. Введение такой системы управления позволит исключить брак до 200 изделий при поступлении неуправляемых возмущающих воздействий (на стадиях тестоприготовления, расстойки и режимов выпечки).

В процессе производства сливочного масла подключение очередного сливоксозревательного резервуара для подачи в маслоизготовитель сливок с отклонением температуры на  $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  приводит к изменению содержания влажности масла до  $2,5\%$ . Время запаздывания на приведение параметра влажности к нормируемому значению составляет  $5-10$  мин., а производительность маслоизготовителя  $2-3$  т/час.

## 2. Система управления процессом охлаждения хлебобулочных изделий в спиральном конвейере

В современных производствах охлаждение хлебобулочных изделий осуществляется в спиральных конвейерных установках (рис. 4).

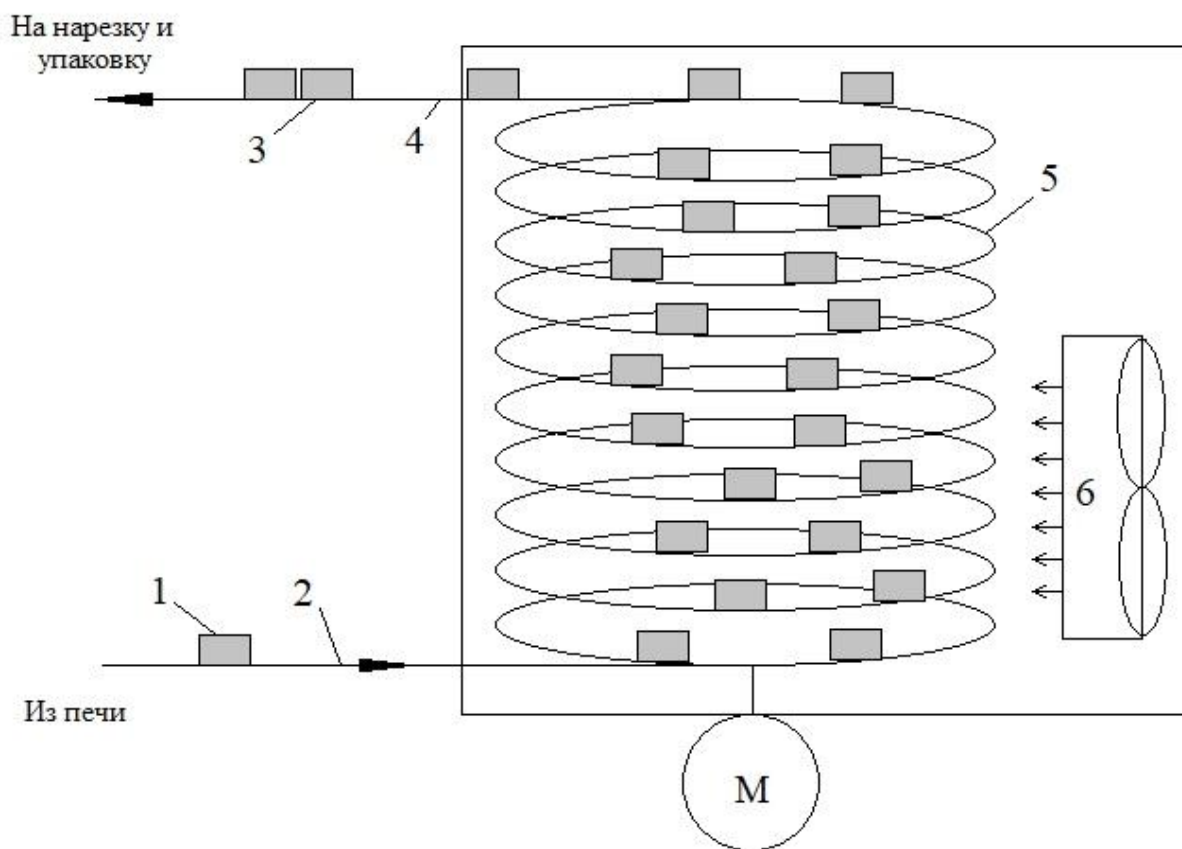


Рис. 4. Система спирального конвейера

Хлебобулочные изделия 1 при выходе из печи по промежуточному транспортеру 2 подаются на вход рабочей камеры спирального конвейерного устройства и проходят по всем ярусам – с нижнего до верхнего. В конце подъема охлажденная продукция 3 разгружается с транспортера 4 и поступает на участок нарезки и упаковки. Охлаждение хлеба происходит в рабочей камере, в которой размещена спиральная конвейерная система 5 с потоком охлажденного

воздуха 6. Изменение температуры и скорость обдувающего продукт воздуха нормализована в пределах 20-26 °С и 0,2-3,0 м/мин. соответственно.

При этом на выходе из зоны охлаждения 4 спирального конвейера необходимо обеспечить температуру внутри мякиша хлебобулочного изделия  $30 \pm 5$  °С. Однако возмущающие воздействия, к которым могут быть отнесены изменения на стадиях тестоприготовления, температурно-влажностных режимов в процессе расстойки и выпечки, а также форма и вид изделия, могут привести к отклонению температуры внутри изделия на выходе из печи от значений температуры изделий предыдущего установившегося режима, что потребует оперативной корректировки режима охлаждения [5].

Вместе с тем выборочный контроль температуры внутри хлебобулочного изделия в сегодняшней практике проводится на участке выхода изделия из конвейерной системы уже после завершения процесса охлаждения, обуславливая тем самым время запаздывания на корректировку режимов охлаждения на 1,5-2,0 часа, учитывая время охлаждения. При этом в определённом объеме хлебобулочных изделий, уже поступивших в зону охлаждения в этот период времени, температура в центре мякиша будет отличаться от нормированного значения на выходе из зоны охлаждения. В этом случае снижение температуры приводит к сверхнормативной усушке, а превышение – к появлению конденсационной влаги внутри упаковки изделия, сокращая сроки хранения, а также усложняя операцию нарезки [6].

Отмеченное выше обуславливает необходимость совершенствования процесса охлаждения хлебобулочных изделий в части, касающейся формирования аппаратурно-технологической структуры оперативного управления режимом охлаждения на основе мониторинга температуры на этапах, обеспечивающих качественные и экономические показатели хлебобулочных изделий [7]. Выполнение этих задач может быть реализовано с помощью структурно-параметрической схемы, представленной на рис. 5.

На основе аппаратурно-технологического анализа установлено, что основным возмущающим воздействием, обуславливающим необходимость корректировки режимов охлаждения, являются отклонения температуры до +15,0 °С от предыдущего установившегося значения температуры внутри хлебобулочного изделия при поступлении на спиральную конвейерную систему охлаждения. Источники этих возмущений могут возникать на стадиях тестоприготовления, расстойки и выпечки хлебобулочных изделий и влиять на теплофизические свойства, форму и массу изделий. В результате при выборочном контроле температуры внутри изделия на выходе из зоны охлаждения обуславливает запаздывание корректировки режима охлаждения, что приводит к снижению качества и появлению брака готового продукта.

Анализ процесса обосновал необходимость выбора технологической зоны измерения температуры внутри хлебобулочного изделия при поступлении на конвейер системы охлаждения после выпечки, что позволит определить факт отклонения от установившегося значения температуры предыдущих изделий при поступлении на конвейер перед охлаждением и предвычислить величину

## ВОЗМУЩАЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ



Рис. 5. Структурно-параметрическая схема системы охлаждения

внесения соответствующей корректировки в режим системы охлаждения.

Необходимость оперативного мониторинга температуры также и в ходе процесса охлаждения хлебобулочных изделий обусловлена протеканием двух периодов самого процесса охлаждения, влияющих на усушку изделий и важностью их разграничения (рис. 6) [8].

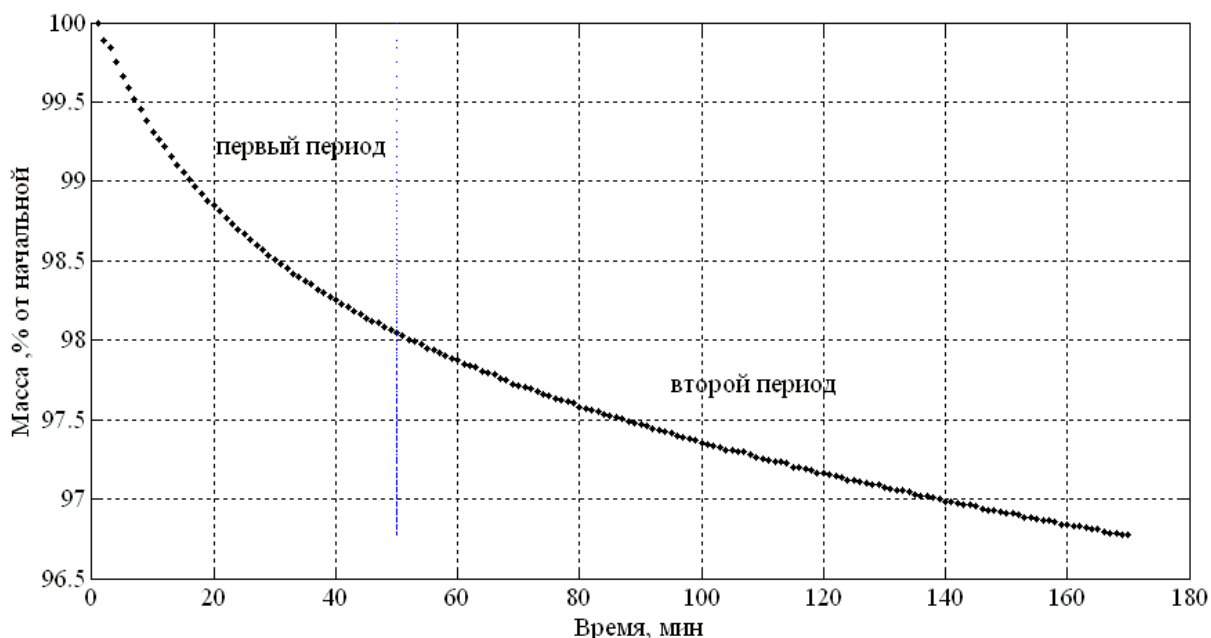


Рис. 6. Два периода усушки хлебобулочных изделий

Для сокращения сверхнормативной усушки температура внутри хлебобулочного изделия в период первого этапа по времени охлаждения после выхода изделия из печи должна быть снижена на 40-50 % от общего интервала снижения температур [9, 10].

Проведенный анализ показал, что основным параметром совершенствования процесса охлаждения хлебобулочных изделий является температура внутри изделия.

### 3. Производство сливочного масла способом непрерывного сбивания сливок

Процесс производства масла методом сбивания сливок выполняется по следующей технологической схеме: сепарирование молока и получение сливок; физическое созревание сливок; сбивание сливок путем механической обработки масляного зерна и масла.

Созревание сливок происходит в сливоксозревательных резервуарах, а маслообработка – в маслоизготовителе непрерывного действия. Эти стадии технологического процесса являются определяющими при формировании влажности готового продукта (рис. 7).

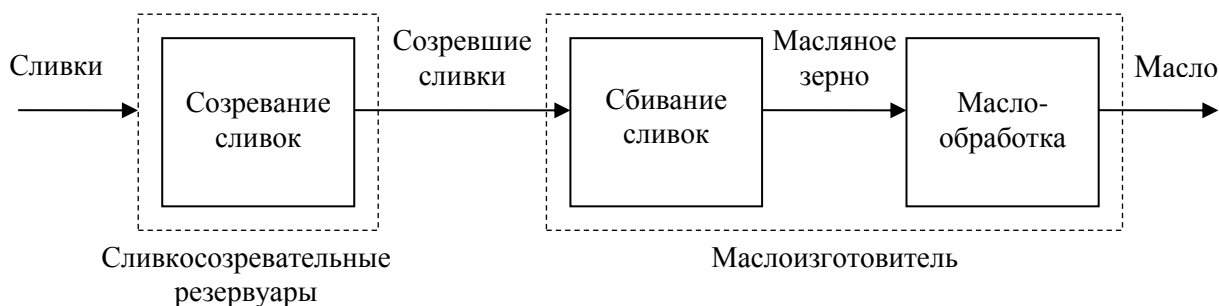


Рис. 7. Основные стадии технологического процесса производства сливочного масла способом непрерывного сбивания

Маслоизготовитель непрерывного действия типа А1-ОЛЮ включает основные конструктивные аппаратурные и технологические особенности, а также функциональные блоки, характеризующие основные принципы работы маслоизготовителя непрерывного действия (МНД).

Созревание сливок происходит в сливкосозревательных резервуарах, имеющих охлаждающую рубашку для обеспечения требуемой температуры. По мере созревания сливок сливкосозревательные резервуары поочередно подключаются на сбивание.

Сливки, подготовленные для производства масла, поступают в сбиватель 1 (рис. 8), который состоит из корпуса сбивателя 2, цилиндра сбивателя 3 и лопастной мешалки сбивателя 4. Результатом операции сбивания сливок является получение молочного жира, находящегося в сливках в виде масляного зерна размером до 1-3 мм [11]. Для получения масляного зерна в процессе сбивания должен быть обеспечен зазор между краями лопастей мешалки и стенкой цилиндра, предварительная установка величины которого составляет 1,5-6,2 мм в зависимости от содержания жира в исходных сливках. В маслоизготовителе аппаратурно предусмотрено изменение частоты вращения мешалки сбивателя в процессе работы, что обеспечивает возможность управления режимом сбивания, в том числе и формированием влажности масла.

Для предотвращения прироста температуры сливок в процессе сбивания технологическими инструкциями рекомендована подача ледяной воды в рубашку сбивателя 5. Номинальная температура сливок в процессе сбивания должна поддерживаться в зависимости от сезона года с превышением не более 2-3 °С по отношению к температуре сливок, поступающих на сбивание. Однако выполнение отмеченных выше требований не может быть строго обеспечено из-за отсутствия оперативного управления.

Из сбивателя масляное зерно вместе с пахтой поступает в шнековый текстуратор 10, состоящий из трех последовательно расположенных камер со шнеками 11. Первая камера имеет рубашку 12 для охлаждения водой и устройство для промывки масляного зерна. На этой стадии продолжается процесс формирования влажности, операторно управляемый изменением частоты вращения шнеков и уровня пахты. В последующих камерах завершается процесс образования масляного пласта.



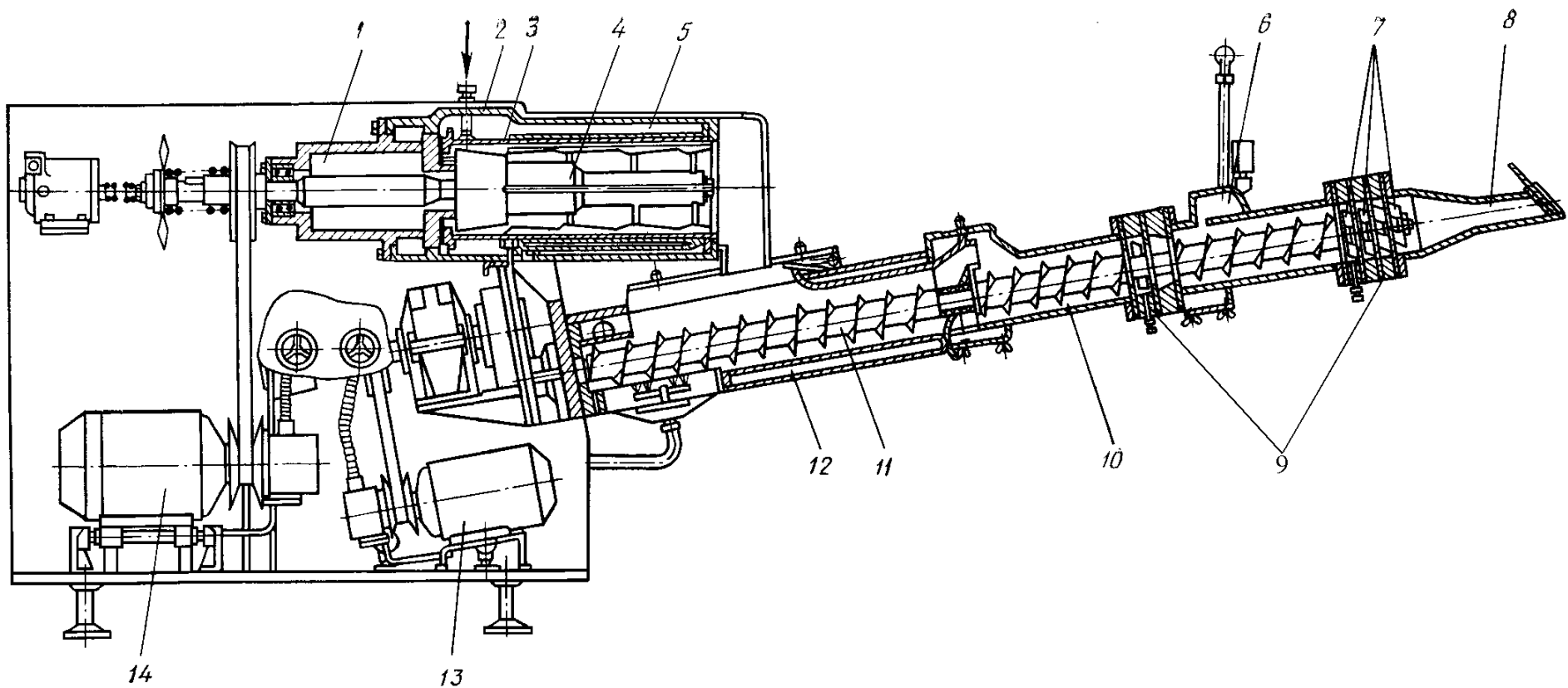


Рис. 8 – Маслоизготовитель непрерывного действия А1-ОЛО:

- 1 – сбиватель; 2 – корпус сбивателя; 3 – цилиндр сбивателя; 4 – мешалка лопастная; 5 – рубашка сбивателя; 6 – вакуум-камера;  
 7 – лопастные мешалки; 8 – насадка; 9 – решетки; 10 – шнековый текстуратор; 11 – шнеки; 12 – рубашка охлаждающая;  
 13 – электродвигатель текстуратора; 14 – электродвигатель сбивателя

Маслоизготовитель имеет устройство для стабилизации содержания влаги в масле на выходе путем изменения количества вносимого в масло нормализующего компонента, подача которого осуществляется специальным насосом-дозатором. Технологические инструкции рекомендуют применять подачу нормализующего компонента для повышения влажности готового продукта в пределах не более 2 %. Поэтому в производственных условиях отсутствие системы автоматического контроля содержания влаги в готовом продукте вынуждает поддерживать содержание влаги в масле ниже нормированного значения, оставляя возможность, в случае необходимости, его операторной стабилизации. Для равномерного распределения влаги масло продавливается через ряд решеток 9, между которыми расположены лопастные мешалки 7.

Анализ готового продукта на содержание влаги обеспечивается за счет отбора проб на выходе маслоизготовителя. Периодический анализ проб проводится в соответствии с ГОСТ 3626-73. В ряде случаев процедура анализа занимает до 20 минут. В течение этого времени маслоизготовитель продолжает работать и при производительности, например, 1 т/час выработает около 300 кг готового продукта. При этом в случае превышения массовой доли влаги нормируемого значения полученная продукция попадает в разряд некондиционной. Учитывая, что маслоизготовитель является конечным аппаратом, в котором завершается формирование влажности масла, отсутствие возможности исправления брака приводит к производственным потерям.

Контроль технологических параметров процесса производства масла предусмотрен в зонах, позволяющих информационно обеспечить выполнение основных операций, а учитывая их многофакторность, следует иметь в виду, что поступление возмущений, способных вызвать отклонение влажности масла, возможно по различным каналам. К ним относятся возмущения, вызванные изменением физико-химического состава сливок при периодическом подключении сливок созревательных резервуаров, а также внутренними возмущениями в самом маслоизготовителе. Все это усложняет процедуру стабилизации содержания влаги в масле, особенно если она базируется на операторном управлении по результатам периодического лабораторного анализа. В таких условиях операторное управление на основе периодического лабораторного анализа повышает вероятность выпуска некондиционной продукции.

Важным фактором, вызывающим отклонение влажности масла от номинального значения, является переменный физико-химический состав сливок, поступающих на сбивание. Учитывая, что в настоящее время снижается количество крупных товарных производителей сырья, поставки сырья могут отличаться своими физико-химическими характеристиками. Это определяет возможность возникновения режима работы маслоизготовителя, при котором возникающие возмущающие воздействия могут привести к отклонению влажности масла до 4 % (пусковой режим).

### 3.1. Аппаратурно-технологические факторы, влияющие на содержание влаги в готовом продукте

В технологическом процессе производства сливочного масла способом непрерывного сбивания для комплексного изучения влияния на влажность аппаратурно-технологических факторов предпочтительно рассматривать операции, в процессе которых не только формируется содержание влаги готового продукта, но и обеспечивается потенциальная возможность ее управляемой стабилизации. К ним относятся операции созревания сливок, сбивания сливок и маслообработки (рис. 7).

Содержание жира в сливках, поступающих на сбивание, в соответствии с рекомендациями технологических инструкций составляет 38-45 % [12]. При этом следует учитывать, что с изменением содержания жира в сливках изменяется содержание влаги в масляном зерне (рис. 9), что, соответственно, окажет влияние на изменение влажности готового продукта.

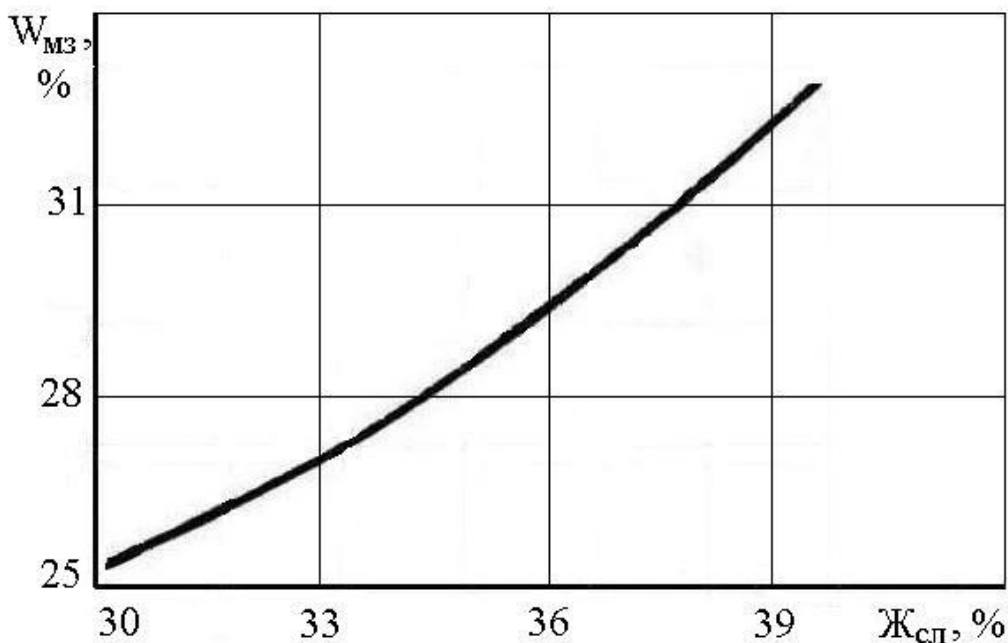


Рис. 9. Зависимость содержания влаги в масляном зерне от содержания жира в сливках:

$Ж_{сл}$  – содержание жира в сливках, %

$W_{мз}$  – содержание влаги в масляном зерне, %,

Созревание сливок происходит в сливокосозревательных резервуарах, как правило, в течение 5-7 часов при технологически рекомендованной температуре 4-7 °С в зависимости от физико-химических характеристик сырья.

Каждой температуре созревания соответствует максимально возможная степень отвердевания жира, при которой наступает равновесное состояние между жидким и твердым жиром в сливках. Степень отвердевания жира в сливках должна составлять 30-35% от общего объема жира в сливках.

Анализ исследований показывает, что температура в процессе созревания сливок (рис. 10) обуславливает изменение содержания влаги в масляном зерне [13]. Таким образом, температуру созревания сливок необходимо учитывать как фактор формирования влажности сливочного масла.

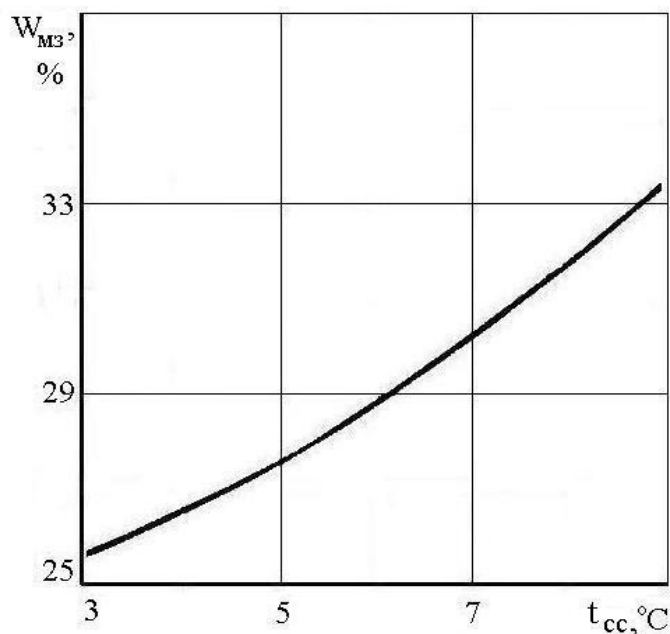


Рис. 10 – Зависимость содержания влаги в масляном зерне от температуры созревания сливок с содержанием жира 35 %:

$t_{сс}$  – температура созревания сливок,  $^\circ\text{C}$ ;  
 $W_{мз}$  – содержание влаги в масляном зерне, %

С изменением значения йодного числа в весенне-летний и осенне-зимний периоды изменяется соотношение содержания высокоплавких глицеридов в составе молочного жира и соответственно изменяется время ожидания наступления равновесного состояния между твердой и жидкой фазами молочного жира, что определяет характер изменения влаги в масляном зерне и соответственно в готовом продукте в зависимости от сезона. Вызванное таким образом изменение соотношения фаз молочного жира определяет содержание влаги в масляном зерне и соответственно в готовом продукте. С увеличением йодного числа улучшается способность молочного жира к связыванию влаги. Поэтому в весенне-летний период легче вырабатывать масло с повышенным содержанием влаги, чем зимой. И наоборот, в осенне-зимний период легче вырабатывать масло с пониженным содержанием влаги. Таким образом, йодное число влияет на изменение содержание влаги в готовом продукте в зависимости от сезона [14].

К факторам, влияющим на содержание влаги в масле, относится также продолжительность созревания сливок. В соответствии с технологическими инструкциями в весенне-летний сезон продолжительность созревания сливок составляет не менее 5 часов, а в осенне-зимний – не менее 7 часов. Этот период

времени необходим для установления равновесного состояния между жидким и твердым жиром в сливках. Каждой температуре созревания сливок соответствует максимально возможная степень отвердевания молочного жира. Рекомендованная степень отвердевания молочного жира в сливках должна составлять 30-35 % от общего объема жира в сливках.

Получение требуемого соотношения твердого и жидкого жира в сливках, являющегося основной целью процесса созревания сливок, определяется технологическими параметрами, характеризующими процесс созревания. Такими параметрами, одновременно влияющими на содержание влаги в готовом продукте, являются: содержание жира в сливках, температура созревания и кислотность сливок, йодное число молочного жира, продолжительность созревания сливок. Следовательно, влияние этих параметров необходимо учитывать в процессе производства сливочного масла, а также при выборе способов стабилизации влажности готового продукта [15].

На стадии маслоизготовления, включающей операции сбивания сливок и маслообработки, факторами, влияющими на процесс формирования влажности в масле являются скорость подачи сливок в сбиватель, температура сливок, поступающих на сбивание, частота вращения мешалки сбивателя, ширина зазора между краями лопастей и стенками цилиндра сбивателя, температура сбивания сливок, уровень пахты в первой камере шнекового текстуратора, частота вращения шнеков текстуратора, подача нормализующего компонента и конструктивные особенности маслоизготовителя [16].

С изменением скорости подачи сливок в сбиватель изменяется производительность маслоизготовителя и размер масляного зерна. При увеличении производительности маслоизготовителя получается мелкое масляное зерно, которое легко отдает влагу во время обработки. При этом увеличивается степень заполнения первой шнековой камеры маслом, повышается прессующее давление шнеков, ускоряется выпрессовывание пахты, что приводит к уменьшению содержания влаги в масле. С уменьшением производительности маслоизготовителя, наоборот, получается крупное масляное зерно, степень заполнения шнековой камеры маслом уменьшается, в результате чего снижается прессующее давление шнеков, замедляется выпрессовывание пахты и содержание влаги повышается. Однако при изменении производительности маслоизготовителя нарушается синхронизация его работы, что может потребовать дополнительных настроек оборудования, а также привести к повышению содержания жира в пахте. Таким образом, изменение подачи сливок в сбиватель необходимо учитывать при формировании параметра влажности готового продукта.

На содержание влаги в масле оказывает влияние температура сливок, поступающих на сбивание. Ее повышение приводит к увеличению содержания влаги в масляном зерне и, соответственно, в масле. Снижение температуры сливок, поступающих на сбивание, приводит к уменьшению влажности готового продукта. Технологическими инструкциями рекомендованы температурные режимы сбивания сливок 8-14 °С. При этом для получения сливочного масла с

одинаковым содержанием влаги в течение всего периода работы маслоизготовителя необходимо, чтобы колебания температуры сливок, поступающих на сбивание, составляли не более  $\pm 0,25$  °С, поскольку это может отрицательно сказаться на отход жира в пахту. Аналогично оказывает влияние на влажность готового продукта и температура сбивания сливок. С ее повышением содержание влаги в масле увеличивается, и наоборот, при снижении температуры сбивания содержание влаги в масле уменьшается. Таким образом, температура сливок, поступающих на сбивание, и температура сбивания сливок являются факторами, которые необходимо учитывать при формировании параметра влажности масла [12].

Частота вращения мешалки сбивателя оказывает влияние на содержание влаги в масле. Для повышения содержания влаги в масле увеличивают частоту вращения мешалки сбивателя, для снижения влажности, наоборот, уменьшают. Рекомендованные режимы работы мешалки сбивателя от  $18,0$  до  $30,0$  с<sup>-1</sup> [17].

Величина зазора между краем лопасти мешалки сбивателя и стенкой цилиндра сбивателя устанавливается перед началом работы маслоизготовителя и остается постоянной в процессе работы маслоизготовителя. При ее увеличении содержание влаги в масляном зерне и, соответственно, в масле снижается, при уменьшении - содержание влаги увеличивается [18]. Поэтому следует учитывать влияние на содержание влаги в масле величины зазора между краем лопасти мешалки сбивателя и стенкой цилиндра сбивателя [19].

Изменение уровня пахты в первой камере шнекового текстуратора приводит к изменению содержания влаги в масле. При снижении уровня пахты в первой камере шнекового текстуратора содержание влаги уменьшается, при повышении, наоборот, увеличивается вследствие увеличения времени контакта пахты с маслом, что способствует капиллярному всасыванию пахты маслом. Путем изменения уровня пахты в первой камере шнекового текстуратора на 2 см можно изменить содержание влаги в масле на 0,1 %. Таким образом, уровень пахты в первой камере шнекового текстуратора следует учитывать как фактор, влияющий на параметр влажности.

Содержание влаги в масле изменяется с изменением частоты вращения шнеков текстуратора. Рекомендованная частота вращения шнеков текстуратора  $0,66-0,92$  с<sup>-1</sup>. Влияние частоты вращения шнеков на содержание влаги в масле связано с изменением прессующего давления шнеков на масло. При снижении частоты вращения шнеков степень заполнения шнековой камеры увеличивается, повышается прессующее давление шнеков на масло, ускоряется выпрессовывание пахты из масляного зерна, что приводит к уменьшению содержания влаги в масле. При повышении частоты вращения шнеков, наоборот, содержание влаги в масле увеличивается, так как при быстром движении масла в шнековой камере выпрессовывается меньшее количество пахты. Таким образом, частота вращения шнеков текстуратора оказывает влияние на содержание влаги в готовом продукте.

Изменение подачи нормализующего компонента с помощью насоса-дозатора в технологическую зону обработки масла приводит к изменению

содержания влаги в масле. При увеличении подачи нормализующего компонента содержание влаги увеличивается, при уменьшении подачи нормализующего компонента влагосодержание масла уменьшается. Рекомендуется использовать насос-дозатор для повышения содержания влаги в масле до 2 %.

Таким образом, стадия маслоизготовления, основной целью которой является получение масла с заданным содержанием влаги, характеризуется аппаратными параметрами, оказывающими влияние на содержание влаги в готовом продукте. К ним относятся: 1. подача сливок в сбиватель; 2. температура сливок, поступающих на сбивание; 3. частота вращения мешалки сбивателя; 4. величина зазора между краями лопастей и стенками цилиндра сбивателя; 5. температура сбивания сливок; 6. уровень пахты в первой камере шнекового текстуратора; 7. частота вращения шнеков текстуратора; 8. подача нормализующего компонента; 9. конструктивные особенности маслоизготовителя. Влияние этих параметров необходимо учитывать в процессе производства сливочного масла, а также при выборе способов стабилизации влажности готового продукта.

#### **4. Аппаратурно-параметрический анализ процесса производства сливочного масла**

##### **4.1. Разработка параметрической схемы технологического процесса и анализ факторов, влияющих на влажность готового продукта**

Процесс производства сливочного масла способом непрерывного сбивания сливок можно рассматривать как результат направленного воздействия ряда последовательных аппаратных и технологических операций, формирующих влажность готового продукта на исходное сырье – сливки.

Анализ процесса производства сливочного масла направлен на выявление технологических зон формирования влажности готового продукта и выбор каналов для внесения стабилизирующих воздействий, обеспечивающих поддержание нормированных значений влажности.

##### **4.1.1. Результаты анализа факторов, влияющих на формирование влажности сливочного масла**

Анализ технологического процесса производства масла способом непрерывного сбивания и его аппаратной реализации позволяет ограничить исследование процесса формирования влажности сливочного масла в МНД стадиями созревания и маслоизготовления.

Рассматривая взаимосвязь аппаратно-технологических факторов и параметра влажности масла на стадии созревания сливок, следует отметить,

что содержание влаги в готовом продукте в значительной степени определяются составом и физико-химическими свойствами сливок, поступающих на сбивание в маслоизготовитель.

Так, при жирности сливок, поступающих на сбивание 30 %, содержание влаги в масляном зерне составляет 25,3 %, при жирности 40 %, влажность составляет 33,0 %. Ориентировочно при уменьшении содержания жира в сливках на 1 % содержание влаги в масляном зерне уменьшается приблизительно на 0,8 %.

При последующей механической обработке из масляного зерна формируется пласт масла с нормальной консистенцией и требуемым содержанием влаги. В результате проведенного анализа получена зависимость влажности масляного зерна и содержания влаги в масле от содержания жира в сливках (рис. 11).

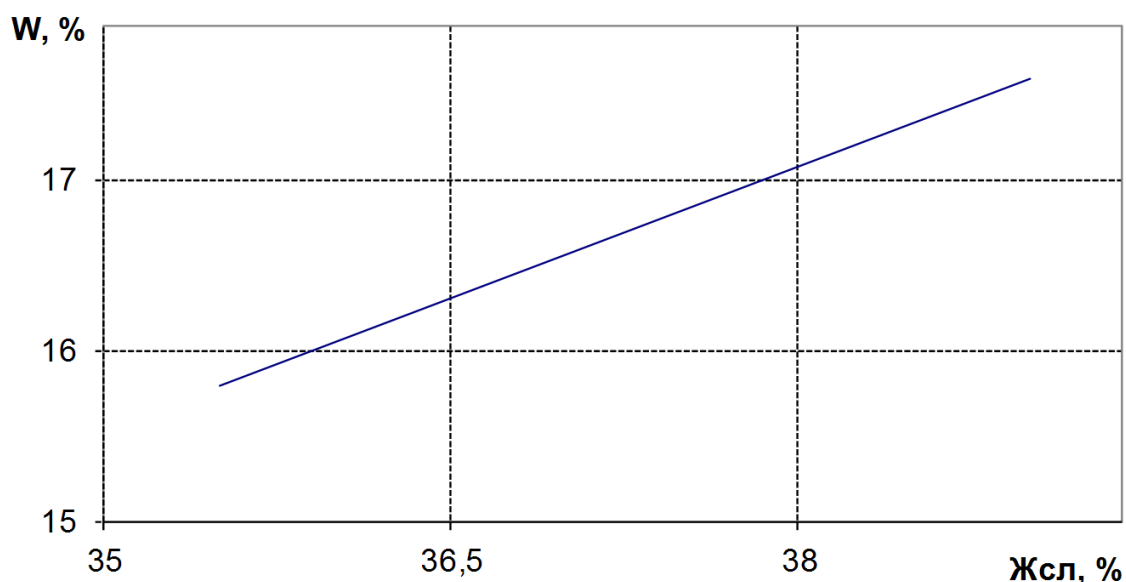


Рис. 11. Зависимость содержания влаги в масле (W, %) от содержания жира в сливках (Жсл, %)

Технологическими инструкциями рекомендованы допустимые диапазоны изменения жирности сливок для сбивания в маслоизготовителях непрерывного действия – от 38 до 45 % [12]. При этом следует отметить, что повышенное содержание жира в сливках приводит также и к увеличению содержания жира в пахте.

Таким образом, проведенный анализ подтверждает влияние содержания жира в сливках на влажность масляного зерна уже на стадии его образования в МНД и, соответственно, на влагосодержание готового продукта.

На стадии сбивания сливок в маслоизготовителе происходит агрегация жировых шариков, находящихся в сливках, и она заканчивается образованием масляного зерна. Оптимальное количество твердого жира в сливках во время сбивания должно быть 30-35 % [20]. Приведение этого соотношения к



оптимальному значению является одной из задач стадии физического созревания сливок. При этом мягкое масляное зерно получается при сбивании сливок с пониженным содержанием твердого жира, что приводит к повышению влажности масла. При сбивании сливок с избыточным содержанием твердого жира (более 35 %), наоборот, влажность масла понижается.

Количество твердого жира в сливках зависит от температуры созревания сливок. Чем ниже температура созревания сливок, тем выше степень отвердевания жира и ниже влажность масла. В таблице 1 приведены результаты анализа данных влияния температуры созревания сливок на содержание влаги в масле.

Таблица 1 – Влияние температуры созревания сливок на содержание влажности в масле

Температура созревания сливок, °С	Содержание влажности в масле, %
3	18,1
5	20,4
7	21,7
9	23,7

При изменении температуры физического созревания сливок на 0,8 °С содержание влаги в масле изменяется ориентировочно на 1 %.

Формирование параметра влажности готового продукта находится под влиянием кислотности сливок [13, 21, 22]. Допустимые рекомендуемые диапазоны изменения кислотности сливок – 12-18 °Т [12]. Повышение кислотности сливок в результате их сквашивания способствует сравнительно большему разрушению оболочек жировых шариков и их агрегацию, обуславливая при этом снижение влажности масла, а также содержания жира в пахте.

Технологическими инструкциями строго регламентированы требования к кислотности сливок, поступающих на сбивание в МНД, а также к её допустимым колебаниям, при которых изменение *pH* не должно превышать значение 0,2 для получения сливочного масла с одинаковым содержанием влаги в течение переработки однородной партии сырья. Указанные колебания *pH* не оказывают заметного влияния на влажность готового продукта.

Анализ процесса созревания сливок позволил определить влияющие на формирование влажности готового продукта технологические факторы процесса, которые на следующей стадии уже не могут быть принудительно изменены, а их влияние на конечную влажность продукта с учетом взаимного сочетания может быть значительным.

При значительных отклонениях параметров сливок, приводящих к изменению содержания влаги в масле до 4,0 %, возникает необходимость определения ожидаемых отклонений содержания влаги в готовом продукте

с целью своевременного внесения управляющих воздействий и обеспечения штатного протекания операций сбивания и маслообработки. При этом границы, в которых допускается изменение факторов процесса, определены технологическими инструкциями.

На стадии маслоизготовления, включающей операции сбивания сливок и маслообработку, влияние на формирование влажности готового продукта оказывают факторы – температура сливок, поступающих на сбивание, частота вращения мешалки сбивателя и шнеков маслообработника, уровень пахты в первой шнековой камере, а также аппаратурно встроенный узел дозирования нормализующего компонента.

Температурные режимы сбивания регламентированы технологическими инструкциями и выбираются с учетом содержания жира в сливках, режима физического созревания сливок, сезона года и разновидности масла (таблица 2).

Таблица 2 – Режимы сбивания сливок при выработке сладкосливочного масла

Разновидность сладкосливочного масла	Массовая доля влаги в масле, %	Температура сливок, поступающих на сбивание по периодам года, °С	
		Весенне-летний	Осенне-зимний
Традиционного состава	16	7-12	8-13
Любительское	20	8-13	9-14
Крестьянское	25	9-14	10-15
Российское	27	10-14	11-15
Бутербродное	35	11-15	12-16

Изменение температуры сливок, поступающих на сбивание, на 1 °С приводит к изменению влажности сливочного масла до 2,5 %. Однако следует учитывать, что за время сбивания температура сливок повышается. При этом температуру сливок, находящихся в сбивателе рекомендуется поддерживать с превышением не более 2-3 °С по отношению к температуре сливок, поступающих на сбивание с погрешностью  $\pm 0,25$  °С. В маслоизготовителях выполнение отмеченных выше требований к температуре сбивания не может быть гарантировано, так как аппаратурно не предусмотрено оперативное управление температурой сливок в процессе сбивания, а уровень избыточного тепла, выделяющегося при сбивании, изменяется за время производственного цикла работы маслоизготовителя.

Прирост температуры сливок, находящихся в сбивателе, обусловлен их нагреванием во время сбивания, включая выделение скрытой теплоты отвердевания молочного жира. За счет теплоты, образующейся при сбивании сливок, температура продукта (смеси масляного зерна и пахты) может повыситься на 3-5 °С, что обусловит повышение влажности масла.

Температура сливок, поступающих на сбивание, является важным параметром при выборе ориентировочной частоты вращения мешалки сбивателя при запуске маслоизготовителя или отсутствии автоматической системы управления. Аппаратурно-технологические режимы работы выбранного маслоизготовителя А1-ОЛО при выработке сливочного масла приведены в таблице 3 [23].

В целях повышения содержания влаги в масле увеличивают частоту вращения мешалки сбивателя, в результате чего увеличивается содержание влаги в масляном зерне, что приводит к увеличению содержания влаги в масле. Содержание влаги в масле увеличивается на 1 % при увеличении частоты вращения мешалки сбивателя на  $0,9-1,0 \text{ с}^{-1}$  в весенне-летний период и на  $0,5-0,66 \text{ с}^{-1}$  в осенне-зимний период производства.

Таблица 3 – Режимы работы маслоизготовителя А1-ОЛО-1

Разновидность масла	Производительность, кг/час	Температура сбивания сливок, °С	Частота вращения			
			мешалки сбивателя		шнеков обработника	
			$\text{с}^{-1}$	об/мин	$\text{с}^{-1}$	об/мин
Традиционного состава	1000-1100	7-12	23,0-28,3	1500-1700	0,66-0,91	40-55
Любительское	900-1000	8-13	26,7-30,0	1600-1800	0,75-0,91	45-55
Крестьянское	800-900	9-14	28,3-31,7	1700-1900	0,83-0,91	50-55
Российское	750-850	10-14	29,1-34,2	1750-2000	0,83-0,91	50-55
Бутербродное	650-800	11-15	30,0-36,7	1800-2200	0,83-0,91	50-55

На содержание влаги в сливочном масле оказывает влияние также уровень пахты в первой шнековой камере. При снижении уровня пахты содержание влаги готового продукта уменьшается, при повышении, наоборот, содержание влаги увеличивается вследствие увеличения времени контакта пахты с маслом. Изменение уровня пахты в первой шнековой камере на 2 см приводит к изменению содержания влаги в масле на 0,1 %.

Влияние частоты вращения шнеков маслообработника на содержание влаги в масле связано с изменением величины прессующего давления шнеков на масло. При снижении частоты вращения шнеков степень заполнения шнековой камеры увеличивается, соответственно увеличивается прессующее давление шнеков на масло, ускоряется выпрессовывание пахты из масляного зерна, что приводит к уменьшению содержания влаги в масле. При повышении частоты вращения шнеков, наоборот, содержание влаги в масле увеличивается, так как при большой скорости движения масла в шнековой камере выпрессовывается меньше пахты. При увеличении частоты вращения шнеков в маслоизготовителе на  $0,25 \text{ с}^{-1}$  содержание влаги в масле увеличивается на 0,5-1,0 %, а уменьшение частоты вращения шнеков маслообработника приводит к снижению содержания

влаги в тех же пределах. При изменении частоты вращения шнеков требуется синхронизация процесса производства масла.

Аппаратурно в МНД предусмотрено принудительное изменение содержания влаги путем внесения в масло недостающего количества нормализующего компонента при помощи насоса-дозатора. Во избежание неудовлетворительного диспергирования капель плазмы в масле технологическими инструкциями рекомендуется использовать насос-дозатор для внесения недостающей влаги в пределах до 2 %.

На содержание влаги в масле оказывает влияние количество сливок, поступающих в сбиватель. Увеличение подачи сливок приводит к снижению содержания влаги в масле, уменьшение подачи сливок обуславливает повышение влажности масла. Ориентировочно при уменьшении производительности МНД на 10 % содержание влаги повышается на 1 %. Однако при изменении производительности нарушается синхронизация работы маслоизготовителя, что может потребовать дополнительных настроек оборудования, а также привести к изменению содержания жира в пахте.

С учетом выполненного анализа факторы, формирующие параметр влажности, представлены на параметрической схеме (рис. 12), а также приведены в таблице 4.

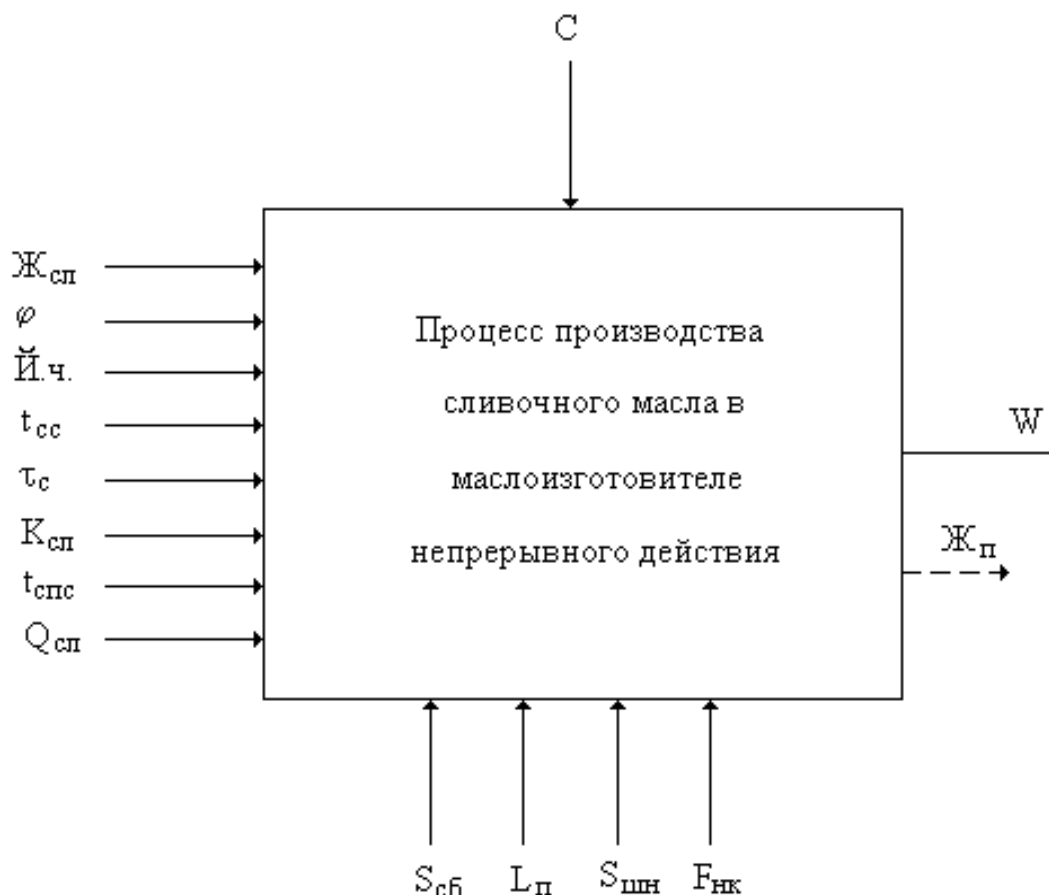


Рис. 12. Параметрическая схема, характеризующая процесс производства сливочного масла по влажности в маслоизготовителе непрерывного действия

Таблица 4 – Факторы, влияющие на содержание влаги в масле

Наименование факторов процесса формирования влажности масла	Обозначение факторов	Единицы измерения	Диапазон изменения, рекомендованный техническими инструкциями	Метрологическая обоснованность	Отвечает ли требованию управляемости
Содержание жира в сливках	$J_{сл}$	%	38-45	Да	Нет
Степень отвердевания молочного жира	$\phi$	%	30-35	Нет	Нет
Йодное число	Й.ч.	%	25-45	Нет	Нет
Температура созревания сливок	$t_{сс}$	°С	4-7	Да	Да
Продолжительность выдержки	$\tau_c$	час	5-7	Нет	Да
Кислотность сливок	$K_{сл}$	°Т	13-18	Нет	Нет
Температура сливок, поступающих на сбивание	$t_{спс}$	°С	8-14	Да	Да
Расход сливок в сбиватель	$Q_{сл}$	л/час	*)	Да	Да
Частота вращения мешалки сбивателя	$S_{сб}$	$c^{-1}$	18-30	Да	Да
Уровень пахты в первой шнековой камере обработника	$L_{п}$	см	0,09-0,14	Да	Да
Частота вращения шнеков обработника	$S_{шн}$	$c^{-1}$	0,45-0,55	Да	Да
Расход нормализующего компонента	$F_{нк}$	% *)	не более 2	Да	Да
Конструктивные особенности маслоизготовителя	С	Нет	Нет	Нет	Нет

\*) – рассчитывается в соответствии с производительностью маслоизготовителя

#### 4.1.2 Обоснование выбора аппаратурно и технологически управляемых параметров и классификация вида возмущающих воздействий

Результаты проведенного анализа факторов, влияющих на формирование параметра влажности сливочного масла, дают основание для выбора факторов процесса, оказывающих значительное влияние на формирование параметра влажности сливочного масла и отвечающих требованиям, предъявляемым к факторам и сочетаниям факторов.

Различные требования к классификации факторов обусловили необходимость их систематизации, применительно к задачам обеспечения единства подходов к определению роли факторов в аппаратурно-технологическом процессе формирования влажности масла. Результаты проведенного анализа приведены в таблице 5.

Для решения задач стабилизации влажности управляемость факторов процесса производства масла является одним из основных требований [24]. Именно управляемость факторов может быть положена в основу выбора каналов управления, удовлетворяющих поставленной задаче стабилизации влажности при обязательном соблюдении возможности аппаратурной (штатной) обеспеченности маслоизготовителя. Причем управляемость рассматривается в границах самого аппарата во всех допустимых с технологической точки зрения диапазонах изменения факторов и не распространяется на другие стадии производства масла.

Как видно из таблицы 5, требованию управляемости отвечают лишь факторы  $Q_{сл}$ ,  $S_{сб}$ ,  $L_{п}$ ,  $S_{шн}$  и  $F_{нк}$ . При этом для задач стабилизации влажности целесообразно использовать лишь внутренние факторы, а также фактор температуры сливок, поступающих на сбивание  $t_{спс}$ . Использование фактора подачи сливок в сбиватель, а также частоты вращения шнеков маслообработника обуславливает необходимость синхронизации режимов работы маслоизготовителя в целом, что может привести к выпуску продукции с ненормированным содержанием влаги в период настройки оборудования, а также в переходном режиме.

#### 4.1.3 Режимы работы маслоизготовителя непрерывного действия

Процесс производства масла в маслоизготовителе можно рассматривать как последовательное направленное воздействие на исходное сырье (сливки) с целью придания ему заданных свойств в некотором промежутке времени. На основании проведенного анализа процесса производства масла в МНД можно выделить, в зависимости от величины отклонений содержания влаги в масле и длительности этих отклонений, эксплуатационный и переходный режимы.

Таблица 5 – Управляемость факторов процесса формирования влажности

Наименование факторов процесса формирования влажности	Обозначение фактора	Аппаратурные	Технологические	Внутренние	Внешние	Управляемые	Неуправляемые	Контролируемые	Неконтролируемые
Содержание жира в сливках	$J_{сл}$		Да		Да		Да	Да	
Степень отвердевания молочного жира	$\varphi$		Да				Да	Да	
Йодное число	Й.ч.		Да		Да		Да	Да	
Температура созревания сливок	$t_{сс}$		Да		Да	Да		Да	
Продолжительность выдержки	$\tau_c$	Да			Да	Да		Да	
Кислотность сливок	$K_{сл}$		Да		Да		Да	Да	
Температура сливок, поступающих на сбивание	$t_{спс}$		Да		Да	Да		Да	
Расход сливок в сбиватель	$Q_{сл}$	Да		Да		Да		Да	
Частота вращения мешалки сбивателя	$S_{сб}$	Да		Да		Да		Да	
Уровень пахты в первой шнековой камере обработника	$L_{п}$	Да		Да		Да		Да	
Частота вращения шнеков обработника	$S_{шн}$	Да		Да		Да		Да	
Расход нормализующего компонента	$F_{нк}$	Да		Да		Да		Да	
Конструктивные особенности маслоизготовителя	С		Да	Да			Да		Да

В эксплуатационном режиме наблюдаемые при исследованиях отклонения содержания влаги в масле от заданного значения составляют, как правило, 0,2-0,4 %. Однако при возникновении внутренних возмущающих воздействий,

обусловленных аппаратурными особенностями маслоизготовителя, отклонение влажности масла может достигать 1,5 %. К аппаратурным особенностям маслоизготовителя следует отнести следующее:

- нештатное изменение частоты вращения мешалки сбивателя и шнеков маслообработника;
- изменение температурного режима и количества промывочной воды (для зерна);
- изменение температуры сбивания сливок в мешалке сбивателя;
- налипание масла на стенки аппарата, образование застойных зон.

Переходный режим работы обусловлен возникновением внешних возмущающих воздействий, имеющих, как правило, «ступенчатый» характер и поступающих вместе со сливками с отличающимися физико-химическими характеристиками при подключении очередного сливокосозревательного резервуара. При этом параметры сливок, поступающих на сбивание, формируются на стадии, предшествующей операции сбивания, т.е. на стадии созревания сливок под влиянием внешних факторов. Эти факторы при определенном стечении обстоятельств могут повлиять на результирующее значение отклонения влажности масла в пределах до 4 %.

#### 4.2 Выбор каналов внесения управляющих воздействий

При выборе каналов управления процессом стабилизации влажности в МНД как в многофакторном объекте управления должен быть проведен анализ факторов внесения управляющих воздействий с точки зрения аппаратурной обеспеченности каналов. При этом особое внимание должно быть обращено на возможность использования штатных аппаратных средств, обеспечивающих оперативное управление выбранными каналами во всех технологически рекомендованных пределах.

Факторы процесса формирования влажности в маслоизготовителе непрерывного действия оказывают свое влияние на влажность готового продукта таким образом, что невозможно аналитически описать механизм трансформации изменения того или иного фактора в изменение влажности масла. Лишь при изменении подачи нормализующего компонента в рабочую зону маслоизготовителя возможно определить ожидаемое отклонение влажности готового продукта. При этом для удобства расчета единицы измерения данного фактора приводят к процентному содержанию влаги в масле:

$$F_{НК} = \frac{\rho}{Q} F_{НКО} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где  $F_{НК}$  - подача нормализующего компонента (расход) в процентах содержания влаги в масле (%);

$F_{НКО}$  – объемный расход нормализующего компонента (л/час);



- $\rho$  – плотность нормализующего компонента, (кг/л);  
 $Q$  – производительность маслоизготовителя, (кг/час).

Уровень влияния фактора процесса на 1 % изменения влажности готового продукта характеризуется коэффициентом формирования влажности (коэффициентом передачи)  $k_n$ , представляющим собой отношение изменения влажности масла  $\Delta W$  (%) под влиянием данного фактора к величине изменения последнего  $\Delta S$  (ед. измерения фактора):

$$k_n = \frac{\Delta W}{\Delta S}. \quad (2)$$

В таблице 6 приведены значения коэффициентов формирования влажности для масла любительского для обобщенной структуры маслоизготовителя непрерывного действия производительностью 1000 кг масла в час с учетом технологически разрешенных интервалов отклонений факторов.

Таблица 6 – Уровни влияния факторов на 1 % изменения содержание влаги в масле в технологически разрешенных пределах

Факторы формирования параметра влажности		Технологически разрешенный диапазон изменения фактора	Возможное отклонение влажности масла, %	Коэффициент формирования влажности (коэффициент передачи), $k_n$
внешние	Содержание жира сливок, поступающих на сбивание, %	38-45	5,6	0,8
	Температура созревания сливок, °С	4-7	2,6	0,9
	Температура сливок, поступающих на сбивание, °С	8-14	15,0	2,5
внутренние	Частота вращения мешалки сбивателя, с <sup>-1</sup>	17,4-30,0	13,6	1,0
	Подача нормализующего компонента, %	0-2	2,0	1,0

Из анализа представленных данных видно, что в результате возмущающих воздействий неуправляемых факторов максимально возможное суммарное отклонение влажности может составить до 4 %, а потенциальный запас управляющего воздействия со стороны управляемых факторов находится в пределах до 15 % влажности. При этом наиболее значимые коэффициенты формирования влажности имеют значения более 1. Однако ограничения в применении управляющих воздействий с использованием того или иного фактора диктуются технологическим процессом, что необходимо строго учитывать в задачах стабилизации влажности.

Известно, что при выборе факторов процесса, оказывающих влияние на формирование выходного параметра, во внимание должны приниматься только те, которые имеют четкий метрологический смысл и отвечают требованиям, предъявляемым к факторам и к совокупности факторов. Это позволяет исключить из дальнейшего рассмотрения факторы, обуславливающие влияние конструктивных особенностей маслоизготовителя (С), а также технологический фактор – йодное число. Вместе с тем следует обеспечить возможность технологического и конструкционного использования неуправляемых факторов на основе их анализа путём предварительного мониторинга, например, на стадии созревания сливок.

При выборе управляющих воздействий преимущество должен иметь тот канал управления, по которому можно использовать достаточно широкий диапазон варьирования, ограниченный технологическими особенностями аппарата и имеющий наибольшее численное значение коэффициента формирования влажности. Реально мы для этих задач можем использовать только те, на которые можем воздействовать с точки зрения аппаратурно-технологических решений с условием оперативности внесения управляющего воздействия. Причем выбирать следует только факторы, обеспеченные штатными средствами управления, которыми комплектуются промышленные маслоизготовители.

На основании представленных выше классификации возмущающих воздействий и анализа факторов процесса производства масла предлагается принятая для исследований параметрическая схема с учетом указанных допущений (рис. 13).

#### 4.3 Условия поддержания режимов стабилизации влажности

По материалам аппаратурно-технологического анализа для переходного и эксплуатационного режимов работы маслоизготовителя обоснован выбор управляемых и неуправляемых факторов процесса, установлен уровень их влияния на формирование влажности готового продукта, а также вид и характер потенциально возможных возмущающих воздействий на стадиях созревания сливок и маслоизготовления.

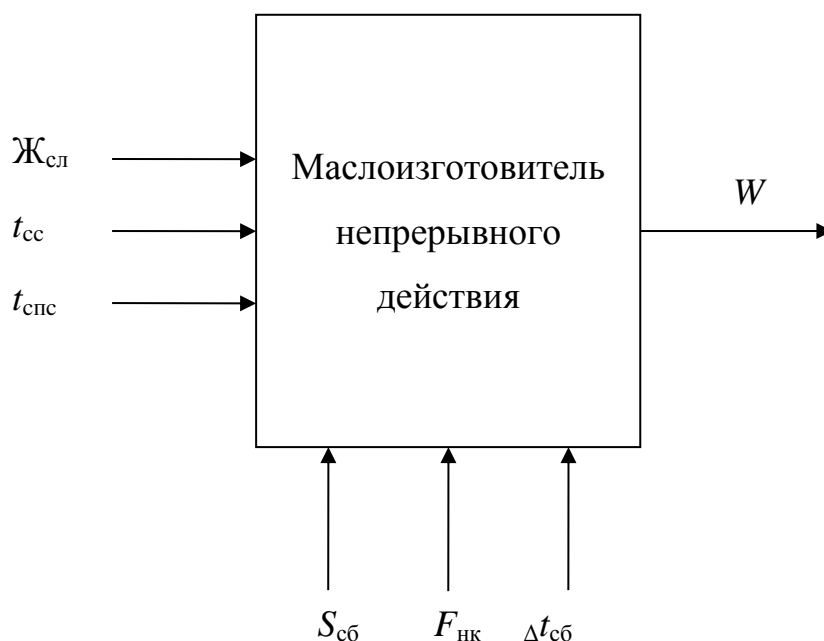


Рис. 13. Принятая параметрическая схема процесса формирования влажности сливочного масла

С учетом многофакторности процесса формирования влажности сливочного масла, наличия внешних возмущающих воздействий ступенчатого характера и системного запаздывания аппаратно-технологической системы сливкосозревательный резервуар-маслоизготовитель был принят комбинированный способ стабилизации влажности. Предложенная структура способа стабилизации включает многоканальную систему с внесением управляющих воздействий по величине текущего значения влажности с предвычислением потенциально ожидаемого отклонения влажности при подключениях очередного сливкосозревательного резервуара. Структура также предусматривает стабилизацию температуры сливок в зоне сбивания на заданном технологическими инструкциями уровне.

Использование многоканальной системы стабилизации, как подтверждает практика применения подобных систем для многофакторных процессов, повышает качество стабилизации, снижая величину отклонения влажности и время стабилизации в переходном процессе стабилизации, а также сокращая время запаздывания. Это обеспечивается повышением общей величины управляющего воздействия за счет суммарного увеличения коэффициента передачи используемых каналов управления и предвычисления потенциально ожидаемых отклонений влажности. Усиление управляющего воздействия особенно важно в условиях периода стабилизации влажности, связанного с моментом подачи сливок из очередного сливкосозревательного резервуара в маслоизготовитель, когда возникает мгновенное скачкообразное возмущение, представляющее наиболее трудный вид возмущений для системы стабилизации. При этом необходимо отметить, что формирование уровня стабилизирующих

воздействий по каналам управления определяется только по величине отклонения текущего содержания влаги в сливочном масле.

Принятая система обеспечивает при этом режим работы каналов управления в технологически рекомендованных пределах, создает условия технологической синхронизации всего процесса маслоизготовления, включая, например, потенциальную возможность сокращения ухода жира с пахтой и обеспечения необходимой диспергированности распределения влаги в масле.

Выбор системы стабилизации влажности, ориентированной на многоканальную структуру, обусловил необходимость дальнейшей работы по созданию математической модели процесса формирования влажности, применение которой должно обеспечить возможность предварительного вычисления, соответственно, ожидаемого и текущего отклонения влажности масла как в переходном режиме, связанном с подключением очередного сливокосозревательного резервуара, так и в эксплуатационном режиме.

## Список литературы

1. Процессы и аппараты пищевых производств : учеб. для вузов / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.В. Логинов [и др.] : под ред. А.Н. Острикова. – СПб. : ГИОРД, 2012. – 616 с.
2. Стегаличев Ю.Г., Балюбаш В.А., Замарашкина В.Н. Технологические процессы пищевых производств. Структурно-параметрический анализ объектов управления: Учеб. пособие. – Ростов н/Д - СПб: Феникс, 2006. – 254 с.
3. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. М.: Химия, 1982. - 295 с.
4. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. – М.: Высшая школа, 2005. – 767 с.
5. Балюбаш, В.А. Совершенствование систем управления аппаратно – технологическими комплексами пищевой промышленности / В.А. Балюбаш, С.Е. Алёшичев, В.А. Добряков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2012. – №1.
6. Горячева, А.Ф. Сохранение свежести хлеба / А.Ф. Горячева, Р.В. Кузьминский. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 240 с.
7. Щербатенко В.В. Регулирование технологических процессов производства хлеба и повышение его качества. – М.: Пищевая пром-сть, 1976. – 231 с.
8. Стегаличев, Ю.Г. Технологические процессы пищевых производств (Структурно-параметрический анализ объектов управления) / Ю.Г. Стегаличев, В.А. Балюбаш, В.Н. Замарашкина // Учеб. пособие. – С.-Пб.: СПбГУНиПТ, 2005. – 253 с.

9. Литвинчук А.А., Комарова О.В., Арнаут С.А. Исследование процесса вакуумно-испарительного охлаждения хлеба // Пищевая промышленность: наука и технология, 2014. – №2(24). – С. 45-53.
10. Галаган Т.В. Вакуумно-испарительное охлаждение пищевых продуктов / Т.В. Галаган // Материалы международной научно-практической конференции «Потребительский рынок: качество и безопасность товаров и услуг». – Орел. – 2002. – С. 93-94.
11. Вышемирский Ф.А., Иванова Н.В. Масло из коровьего молока: стандартизация и терминология // Сыроделие и маслоделие. – 2006, № 1. – С. 23–24.
12. Сборник технологических инструкций по производству сливочного и топленого масла / Под ред. Ф.А.Вышемирского – Углич: НПО «Углич», 1994. – 364 с.
13. Алёшичев С.Е., Балюбаш В.А., Добряков В.А. Влажностные характеристики сливочного масла: Тез. докл. XI Российской конф. по теплофизическим свойствам веществ. – СПб., 2005. – С. 131.
14. Алёшичев С.Е. Аппаратурно - технологический анализ процесса производства сливочного масла применительно к задачам стабилизации влажности // Деп. в ВИНТИ. «Проблемы техники и технологии пищевых производств. СПбГУНиПТ», 07.04.2005, № 465–В2005. – С. 9–16.
15. Алёшичев С.Е., Балюбаш В.А., Лаврищев И.Б. Фактор температуры сбивания сливок в структуре стабилизации влажности сливочного масла: Известия СПбГУНиПТ. Межвузовский сборник научных трудов / Гл. ред. А.В. Бараненко. – СПб., 2006. – С. 118–119
16. Балюбаш В.А., Алёшичев С.Е. Анализ аппаратурно-технологического комплекса производства сливочного масла как объекта управления: Известия СПбГУНиПТ. Межвузовский сборник научных трудов / Гл. ред. А.В.Бараненко. – СПб., 2005. – С. 75–78.
17. Высокоэффективное оборудование в молочной промышленности // Пищевая промышленность. – 2007, № 8. – С. 16-17.
18. Грищенко А.Д. Технология масла. – В кн.: Дьяченко П.Ф., Коваленко М.С., Грищенко А.Д., Чеботарев А.И. Технология молока и молочных продуктов. М., Пищевая промышленность, 1974, с.205-332.
19. Белоусов А.П. Физико-химические процессы в производстве масла сбиванием сливок. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 264 с.
20. Горбатова К.К. Физико-химические и биохимические основы производства молочных продуктов. – СПб.: ГИОРД, 2003. – 346 с.
21. Грищенко А.Д. Сливочное масло. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 295 с.
22. Производство сливочного масла: Справочник / Андрианов Ю.П., Вышемирский Ф.А., Качераускис Д.В. и др.; Под ред. д-ра техн. наук Ф.А.Вышемирского. – М.: Агропромиздат, 1988. – 303 с.

23. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 2. Масло коровье и комбинированное. Степанова Л.И. – СПб.: ГИОРД, 2002. - 330 с.

24. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. – М.: Высшая школа, 2005. – 767 с.

## *Электронные библиотечные системы*

1 Электронные ресурсы открытого доступа библиотеки  
Университета ИТМО:

[http://lib.ifmo.ru/free\\_res/Free\\_Electronic\\_Resources.htm](http://lib.ifmo.ru/free_res/Free_Electronic_Resources.htm)

2. Электронный каталог ИХиБТ Университета ИТМО:

[http://lib.ifmo.ru/cat\\_ihbt/cat\\_ihbt.htm](http://lib.ifmo.ru/cat_ihbt/cat_ihbt.htm)

3. Научная электронная библиотека: <http://elibrary.ru>

4. Библиотека. Единое окно доступа к образовательным ресурсам:

<http://window.edu.ru>

5. Информационно-интерактивный портал «Российские  
электронные библиотеки»: <http://www.elbib.ru>

6. Электронная библиотека издательства «Лань»:

<http://e.lanbook.com/>

7. Электронный фонд правовой и нормативно-технической  
документации: <http://docs.cntd.ru/gost>

Балюбаш Виктор Александрович,  
Алёшичев Сергей Евгеньевич,  
Травина Евгения Александровна  
Иванов Владимир Леонидович

**Структурно-параметрический анализ  
аппаратурно-технологических комплексов  
пищевых производств**

**Учебно-методическое пособие**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе