

На правах рукописи



ИВАНОВ Яков Викторович

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ КОНДИТЕРСКИХ
МАСС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ
ВИДЕОСЪЕМКИ**

Специальности: 05.13.06 – Автоматизация и управление техно-
логическими процессами и произ-
водствами (в пищевой промышлен-
ности)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

11 2 / ДЕК 2008

Москва - 2008

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Московский государственный университет прикладной биотехнологии" (ГОУ ВПО МГУПБ) на кафедре «Автоматизация биотехнических систем»

Научный руководитель: -заслуженный деятель науки
Российской Федерации, доктор
технических наук, профессор
Благовещенская Маргарита Михайловна

Официальные оппоненты: -доктор технических наук, профессор
Сорокин Анатолий Иванович

-доктор технических наук, профессор
Володин Виктор Михайлович

Ведущая организация: Государственное научное учреждение
Научно-исследовательский институт
кондитерской промышленности РАСХН

Защита состоится "26" сентября 2008 г. в 12 час на заседании Диссертационного совета Д 212.149.04 при ГОУ ВПО "Московский Государственный университет прикладной биотехнологии"

по адресу: 109316, Москва, ул. Талалихина, д. 33, конференцзал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке "Московского государственного университета прикладной биотехнологии"

Автореферат разослан

"24" ноября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент



Потапов А.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Обеспечение населения Российской Федерации качественными, разнообразными отечественными продуктами питания является первоочередной социально-экономической проблемой. Развитие отраслей агропромышленного комплекса требует широкого внедрения высокоэффективных поточно-механизированных линий, оборудованных средствами автоматического контроля и регулирования для обеспечения стабильности производственных процессов, соблюдения установленных технологических режимов.

Кондитерская отрасль является одной из ведущих в пищевой промышленности, ее продукция традиционно пользуется неизменным спросом. Большинство кондитерских изделий получают из полуфабрикатов и пищевых масс, имеющих вязкую или пластичную консистенцию. В общем комплексе производственных процессов кондитерской промышленности процессы формирования таких пищевых масс занимают ведущее место. Из-за сложности и неоднородности кондитерских масс происходят частые колебания процесса формирования, особенно при формировании конфетных жгутов. Стабилизация процессов формирования с целью повышения их эффективности – одна из основных проблем кондитерской промышленности. Ее решение предусматривает создание устройств для непрерывного автоматического слежения за ходом процесса и введения соответствующих поправок. Однако, при решении задач автоматизации возникают значительные трудности из-за отсутствия измерительных преобразователей контроля, работающих в потоке во время формирования.

В настоящее время все большей популярностью для бесконтактного контроля за состоянием различных процессов пользуются интеллектуальные измерительные преобразователи на основе цифровых видеокамер (ЦВК).

Эффективное использование цифровой видеотехники в системах автоматизации производства прежде всего наблюдается на наиболее развитых производствах с общей высокой культурой и технологией. На менее низком уровне на цифровые видеосистемы возлагается роль дополнения, расширяющего возможности и по-

вышающего эффективность человеческого зрения, при ведущей роли человека-оператора технологического оборудования.

Более широкое использование цифровой видеосъемки в САР ТП пищевых производств сдерживается по нескольким причинам:

- отсутствие теоретических основ использования цифровой видеосъемки в САР ТП;

- отсутствие алгоритмов обработки цифровых видеок кадров с целью выделения информации, на основании которой можно принять решение о необходимости корректировки режима технологического процесса;

- отсутствие прикладных НИР по определению связи визуальных характеристик (форма, размеры, цвет, текстура) пищевого материала, проходящего стадию технологического процесса, с его физико-химическими и технологическими свойствами.

Цель работы. Целью настоящей диссертационной работы является разработка научных основ автоматизации процесса формирования кондитерских масс на базе использования в качестве интеллектуального датчика цифровой видеокамеры (на примере САР процесса формирования конфетных жгутов).

Объектом исследования в данной работе являются контроль и регулирование процесса формирования кондитерских масс с использованием в качестве средства получения информации интеллектуального датчика контроля (цифровой видеокамеры) (на примере процесса формирования конфетных жгутов).

Предметом исследования является метод получения и обработки первичной информации о процессе формирования кондитерских масс и разработка математического и алгоритмического обеспечения для автоматизации этого процесса.

Основные задачи исследования. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи исследований:

- разработать теоретические основы обработки информации, поступающей от видеокамеры в систему автоматического регулирования (САР) и алгоритм получения первичной информации из исходного цветного изображения видеокadra;

- разработать параметрическое описание процесса формования конфетных жгутов с учетом визуальных параметров;

- определить динамические характеристики процесса формования по экспериментальным результатам видеосъемки;

- разработать математическую модель траектории движения конфетного жгута после выхода из матричного отверстия для определения его визуальных параметров;

- разработать математическую модель САР с использованием эталонного видеокadra в качестве задатчика и алгоритм принятия решений для формирования регулирующего воздействия на основе анализа видеоизображения;

- разработать схему контроля и регулирования процесса формования конфетных жгутов с использованием ЦВК в качестве интеллектуального датчика.

Методы исследования. Для решения поставленных задач были использованы следующие методы исследования: цифровая видеозапись процесса формования конфетных жгутов в производственных условиях при различных режимах нагнетания конфетной массы; методы компьютерного зрения; математическая обработка в среде MATLAB цифровых видеofilьмов, полученных в ходе эксперимента; математическое моделирование в Maple траектории конфетного жгута; математическое моделирование САР формования жгута из конфетной массы с использованием SIMULINK MATLAB; методы теории автоматического управления и математического моделирования; методы системного анализа.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– впервые определена последовательность функционалов для преобра-

зования трёхмерной матрицы цветного изображения процесса формирования жгута в численное значение визуального параметра;

– выполнено параметрическое описание процесса формирования конфетных жгутов с учетом визуальных параметров;

– впервые введено понятие удельной площади в качестве визуального параметра процесса формирования жгутов из пищевых масс;

– получена математическая модель траектории движения конфетного жгута после выхода из матричного отверстия для определения его визуальных параметров;

– разработана в Simulink в программной среде MATLAB схема САП процесса формирования конфетного жгута, позволяющая исследовать переходные процессы, происходящие в системе регулирования, использующей цифровую видеокамеру в качестве интеллектуального датчика.

Практическую ценность работы определяют следующие полученные результаты:

1. Разработано математическое и алгоритмическое обеспечение для решения задач автоматизации процессов формирования кондитерских масс.

2. Даны рекомендации по созданию программно-аппаратного комплекса системы контроля и регулирования процессом формирования кондитерских масс с использованием ЦВК в качестве интеллектуального датчика. Данная разработка позволит контролировать состояние процесса формирования кондитерских масс.

3. Сформулированы предложения по обеспечению широкого использования ЦВК в качестве интеллектуального датчика.

4. Результаты анализа процесса формирования с точки зрения определения параметров, характеризующих качество формирования и доступных для регистрации с помощью компьютерных видеотехнологий, и результаты исследования операций формирования изделий конфетного производства в различных режимах с одновременным созданием базы видеоданных были пере-

даны ОАО "Кондитерский концерн Бабаевский", что подтверждается соответствующим актом сдачи-приемки научно-технической продукции.

5. Полученные в рамках настоящего исследования научные и практические результаты внедрены в учебном процессе МГУПБ на кафедре "Автоматизация биотехнических систем" для студентов направлений "Автоматика и управление" и "Управление и информатика в технических системах", а также специальности "Автоматизация технологических процессов и производств". Имеется соответствующий акт внедрения.

6. По итогам работы поданы три заявки на изобретения: "Способ бесконтактного измерения геометрических параметров жгутов", "Способ контроля процесса формования жгутов из вязко-пластичных масс", "Способ автоматического регулирования процесса формования жгутов из вязко-пластичных масс".

Результаты, полученные в процессе выполнения диссертационной работы, были использованы при проведении научных исследований по заданию Федерального агентства по образованию Министерства образования и науки Российской Федерации.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается экспериментальными исследованиями процесса формования конфетных жгутов, проведенными в производственных условиях ОАО "Кондитерский концерн Бабаевский", а также обеспечивается совпадением расчетных данных и результатов эксперимента.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены на:

- IV международной конференции-выставке "Высокоэффективные пищевые технологии, методы и средства для их реализации", Москва, МГУПП, 2006;

- V юбилейной школе-конференции с международным участием "Высокоэффективные пищевые технологии, методы и средства для их реализации", Москва, МГУПП, 2007;

- X Международной научно-практической конференции "Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве", Углич, ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, 2008;

- Седьмой международной научной конференции "Живые системы и биологическая безопасность населения", Москва, МГУПБ, 2008;

- IX Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Кемерово, Институт вычислительных технологий СО РАН, 2008.

На различных этапах выполнения результаты исследований докладывались и обсуждались также на заседаниях кафедры "Автоматика и электротехника" МГУПП и кафедры "Автоматизация биотехнических систем" МГУПБ.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ. Из них 2 статьи в журналах, входящих в список ВАК, и 3 доклада в сборниках докладов международных или всероссийских конференций. Поданы три заявки на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав с краткими выводами, заключения, списка литературы, включающего 46 отечественных и зарубежных источников. Работа изложена на 162 страницах машинописного текста и содержит 71 рисунок и 9 приложений.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, определены цели и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность работы.

В **первой главе** показано, что теоретический анализ течения вязкопластичных масс, компьютерное моделирование и разработка математических моделей проводились только для внутренних объемов экструдера: валковых и шнековых нагнетателей, предматричных камер, формирующих головок, матриц. Математический анализ движения в воздухе сформованного жгута после выхода из матричного отверстия не проводился. Дан обзор ис-

пользования ЦВК в различных научно-технических и промышленных системах. В настоящее время наблюдаются две взаимосвязанные тенденции: расширение выпуска цифровых видеокамер с улучшенными техническими характеристиками по более дешевым ценам и расширение сфер применения цифровых видеокамер. При этом постепенно расширяются области использования цифровых видеокамер в различных отраслях пищевой промышленности. Существующие и разрабатываемые математические методы обработки видеок кадров в большинстве ориентированы на зрительное восприятие человека, а не на использование цифровых видеокамер в качестве интеллектуальных датчиков в САР. В научно-технических источниках информации отсутствуют сведения об автоматизации процесса формирования жгутов из вязкопластичных масс (конфетные, макаронные, полимерные и пр.) и отсутствуют сообщения об использовании цифровых видеокамер в САР технологических процессов пищевых производств и, в том числе, при регулировании процесса формирования конфетных жгутов.

Во второй главе теоретически обоснована возможность использования цифровой видеокамеры в качестве интеллектуального датчика в САР. Для получения из видеок кадра информации о величине управляющего сигнала, подаваемого на исполнительное устройство, необходимо определить последовательность функционалов, преобразующих матрицу изображения видеок кадра:

$$u_{ijl} = \bar{\Phi}_m \langle \dots \{ \bar{\Phi}_3 [\bar{\Phi}_2 (\bar{\Phi}_1 [a_{ijk} v_{ijl}])] \} \rangle, \quad (1)$$

где Φ – векторный функционал, обеспечивающий одностороннее отображение множества (матрицы) M_a в другое множество (матрицу) M_b действительных чисел; i – строка, j – столбец и $k = 1, 2, 3$ – соответственно, красный, зелёный и синий компоненты цвета. Векторность функционала говорит о невозможности обратного однозначного отображения. Для решения задачи сведения трехмерной матрицы изображения к численному значению

определяемого параметра необходимо найти последовательность $\Phi_1 \dots \Phi_n$ отображений.

На первом этапе повышается резкость изображения за счёт использования лапласиана к каждому элементу матрицы цветного изображения. В результате матрица улучшенного изображения может быть получена после обработки матрицы исходного изображения по формуле

$$a1_{ijk} = b_{ijk} + a_{ijk} = \sum_{n=-1}^1 \left(\sum_{m=-1}^1 a_{(i+m)(j+n)k} \right) - 8 \cdot a_{ijk}. \quad (2)$$

На втором этапе из матрицы $a1$ вырезается элемент изображения $\varphi_{\chi\zeta k} \in a1_{ijk}$ при условиях $\chi \in i$, $\zeta \in j$, предназначенный для определения регулируемого параметра. На третьем этапе цветное изображение выделенного участка переводится в градации серого цвета по формуле

$$\Psi_{\chi\zeta} = \frac{1}{2} \left[\text{MAX}(\varphi_{\chi\zeta 1}; \varphi_{\chi\zeta 2}; \varphi_{\chi\zeta 3}) + \text{MIN}(\varphi_{\chi\zeta 1}; \varphi_{\chi\zeta 2}; \varphi_{\chi\zeta 3}) \right]. \quad (3)$$

Так как после этой операции интенсивность оттенков серого цвета может быть неравномерной, в результате чего изображение может быть слишком светлым или слишком тёмным со смазанными границами, то на четвёртом этапе проводится выравнивание гистограммы распределения оттенков серого цвета. Для этого по всем значениям элементов матрицы $\Psi_{\chi\zeta}$ строится гистограмма распределения уровней яркости серого цвета. Если принять $k = 1, \dots, L$, где L – общее количество градаций яркости серого цвета, то гистограмма для матрицы будет иметь вид $h(r_k) = n_k/n$, где r_k есть k -ый уровень яркости, n_k – число пикселей на изображении, имеющих яркость r_k , $n = (\chi_{\max} - \chi_{\min} + 1) \cdot (\zeta_{\max} - \zeta_{\min} + 1)$ – общее количество пикселей на вырезанном изображении. Для получения нового улучшенного изображения необходимо в

матрице $\Psi_{\chi\zeta}$ заменить значения уровней яркости r_k на $S_k = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$. В резуль-

тате чего получим новую матрицу $\Psi_{I_{\chi^c}}$, на которой будут более чёткие изображения границ визуальных объектов.

На пятом этапе определяются границы изображений, где наблюдается резкое изменение градиента яркости (тёмный объект на светлом фоне или наоборот). Существует много сложных способов определения этих границ при корректировке рассматриваемых человеком изображений. Для определения векторов границ конфетного жгута, с целью ускорения обработки изображения, был разработан специальный алгоритм, представленный в главе 2.

На шестом этапе, используя вектора границ, определяются параметры процесса формования (высота жгута на определённом расстоянии от матричного отверстия и другие). Подобные этапы обработки производятся и с матрицей эталонного изображения, выполняющей роль задатчика регулируемого визуального параметра. На седьмом этапе из текущего значения параметра процесса формования вычитается эталонное значение и определяется величина рассогласования, исходя из значения которой выбирается регулирующее воздействие. На рисунке 1 показана блок-схема алгоритма обработки текущего видеокadra.

В третьей главе представлена методика подготовки к цифровой видеосъемке и методика проведения экспериментальной видеосъемки процесса формования конфетных жгутов в производственных условиях. В соответствии с теоретическими основами, приведенными в главе 2, была разработана методика обработки цифрового видеофильма с использованием в качестве функционалов, преобразующих матрицы изображений видеокadров, функций математических пакетов "Image Processing Toolbox (IPT)" и "Digital Image Processing Using MATLAB (DIPUM)" в среде программного комплекса MATLAB.

Цветному изображению кадра в MATLAB соответствует объемная матрица $320 \times 240 \times 3$. На первом этапе для повышения четкости изображения границ конфетного жгута на цветном видеокadre использовалась функция `imssubtract(p1, imfilter(p1, lapmask, 'replicate'))` из пакета DIPUM.

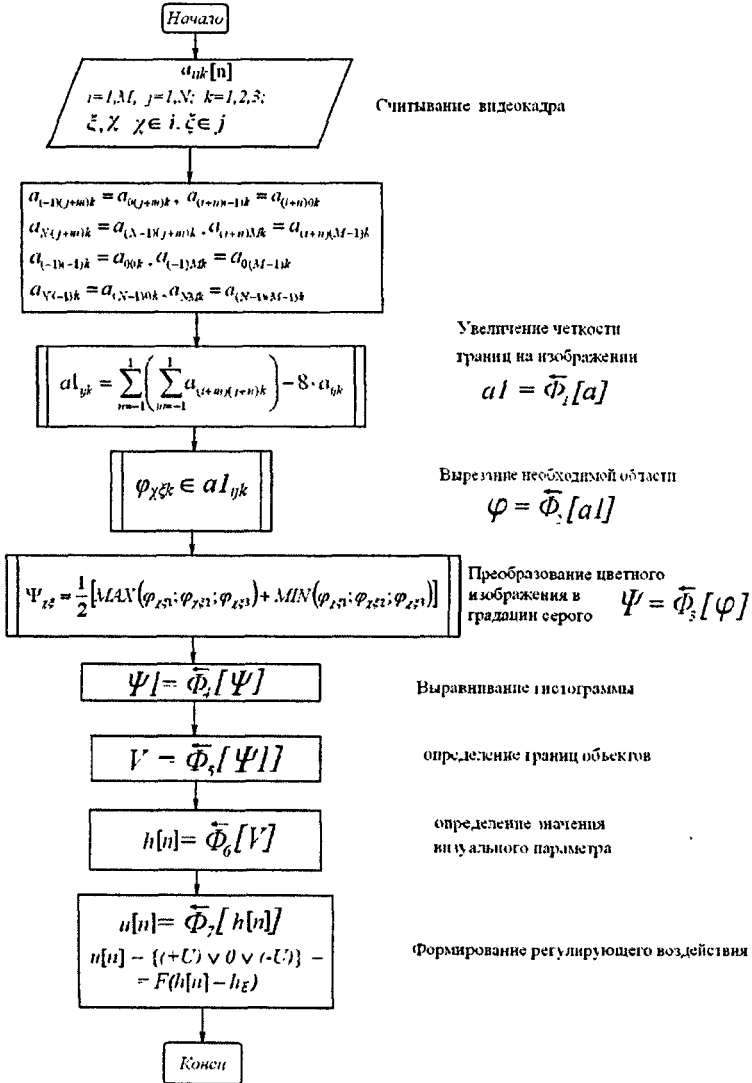


Рисунок 1 - Блок-схема алгоритма обработки видеокadra

На втором этапе вырезали участок изображения $m1=p1(x1: x2, y1:y2)$ с частью конфетного жгута, необходимого для математической обработки с целью определения искомого параметра. При этом происходило преобразование цветного изображения в серое с 256 градациями. Для повышения четкости изображения на третьем этапе использовали гистограммный метод с помощью функции `histeq(m1, 256)`.

На четвертом этапе определяли границы жгута с помощью функции `em1=edge(m1,'canny', T, sigma)`, в которой использовали детектор, разработанный Канны (Canny), с порогами $T = [0,02 \ 0,20]$ при стандартном отклонении сглаживающего фильтра $\sigma = 3,8$. В результате детектирования получали изображение, на котором на черном фоне (значение 0) были видны белые границы (значение 1), характерные для матрицы экструдера, конфетного жгута и транспортной ленты. Негатив этого изображения приведен на рисунке 2. В случае попадания в кадр крупных фрагментов измельченного ореха, воздушных пузырей или других неровностей, на поверхности конфетного жгута на подобных рисунках наблюдались границы этих неровностей.

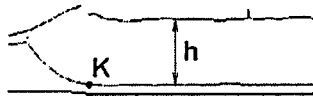


Рисунок 2 – Негативное изображение границ после использования функции `edge`

С помощью функции `boundaries(em1)` из матрицы этого двоичного (черно-белого) рисунка получали перечень векторов, описывающих не связанные между собой границы. Например, для рисунка 2 этот перечень содержал 4 вектора (граница экструдера, верхняя граница конфетного жгута, нижняя граница конфетного жгута и граница видимой части транспортной ленты).

На основе анализа полученных векторов границ определяли, как показано на рисунке 2, координаты точки K , в которой конфетный жгут касается поверхности ленты транспортера, и высоту h части жгута, лежащего на

этой ленте. Как видно из рисунка 1, координаты точки касания K определяются с точностью ± 1 пиксель, а высота конфетного жгута h с точностью ± 2 пикселя. Основная ошибка определения величин K и h возникает за счет шероховатости поверхности конфетного жгута и попадания в зону измерения частиц ореха. По изображению делений на измерительной линейке, видимой в каждом кадре, определили, что расстоянию в 1 пиксель соответствует расстояние 0,208 мм.

Помимо измерения высоты конфетного жгута, лежащего на подвижной транспортёрной ленте, и координат точки касания конфетного жгута к транспортёрной ленте, предложено измерять на изображении кадра площадь S фигуры, образованной нижней границей конфетного жгута, висящего в воздухе между матричным отверстием и транспортёрной лентой, горизонтальной осью координат и вертикальными прямыми, проведёнными в точках x_1 и x_2 . После вычитания изображений площадей на текущем и эталонном кадре получаем изображение разности площадей, показанное на рисунке 3.

В качестве параметра процесса формования предложена величина удельной площади, равная $S_{y\theta} = S/(x_2 - x_1)$.

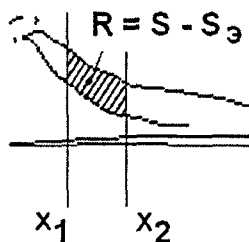


Рисунок 3 – Негативное изображение разности площадей фигур для эталонного и t -го кадров

В четвёртой главе на основе анализа процесса формования жгута под произвольным углом (рисунок 4) разработана параметрическая модель процесса формования конфетных жгутов на транспортёрную ленту (рисунок 4). В общем случае входными параметрами являются: скорость выхода жгута из матричного отверстия (v_m); реологические свойства конфетной массы

(PCM); температура формируемой массы (T_ϕ) и скорость транспортёрной ленты ($v_{тл}$). Эти параметры можно регулировать за счёт изменения: скорости нагнетания конфетной массы, введения других рецептурных компонентов в эту массу, температуры термостатирования предматричной камеры и скорости вращения вала двигателя транспортера.

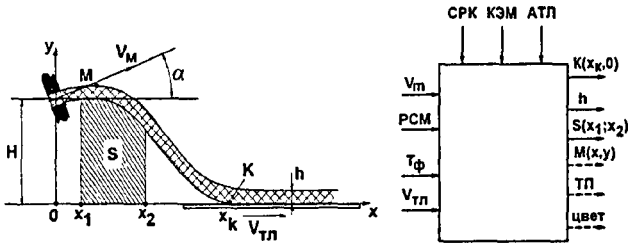


Рисунок 4 – Геометрическая и параметрическая схемы формирования жгута из матричного отверстия с переходом на транспортёрную ленту

В зависимости от изменения этих параметров будут изменяться такие выходные параметры, как расстояние до точки касания ($K(x_k, 0)$); высота конфетного жгута, лежащего на транспортёрной ленте (h); удельная площадь ($S(x_1; x_2)$); координаты максимального уровня жгута ($M(x, y)$); текстура (ТП) и цвет поверхности жгута. При этом случайным образом могут немного изменяться физико-химические свойства любого рецептурного компонента (СРК) и адгезионные свойства поверхности транспортёрной ленты (АТЛ), возникать краевые эффекты на выходе формирующего отверстия матрицы (КЭМ), влияющие на выходные параметры процесса формирования.

В этой главе показано, что с учётом конструкции рабочего экструдера и условий проведения экспериментальной видеосъёмки упрощается параметрическая схема, в которой изменяется состав входных и выходных параметров, а также влияющих случайных воздействий.

Для рабочего режима формирования выполнен анализ изменения высоты конфетного жгута, изменения расстояния до точки касания и изменения удельной площади. Произведена сравнительная оценка чувствительности этих разных выходных параметров. Наименьшая чувствительность наблюда-

лась при измерении высоты конфетного жгута, изменения которой в рабочем режиме были в пределах точности измерения этого параметра.

Проведена оценка влияния колебаний давления нагнетания конфетной массы, создаваемых валково-шестеренным нагнетателем на выходные параметры. Показано, что эти колебания не влияют на выходные параметры.

Обработаны и проанализированы экспериментальные данные переходных процессов, возникающих после резкого увеличения или снижения скорости нагнетания конфетной массы. Все три параметра реагируют на изменение скорости нагнетания, но удельная площадь оказывается более чувствительным к изменению нагнетания параметром, имеющим минимальное время запаздывания. Это позволяет использовать удельную площадь вместо высоты жгута в качестве регулируемого параметра процесса формирования конфетных жгутов. На рисунке 5 показано изменение удельной площади, возникающее после резкого увеличения скорости нагнетания конфетной массы. После обработки экспериментальной цифровой видеосъемки переходного процесса, были определены передаточные функции вида

$$W(p) = k \cdot \frac{\exp(-\tau \cdot p)}{Tp + 1}, \quad (4)$$

где k – коэффициент усиления, τ , c – время запаздывания, T , c – постоянная времени апериодического процесса.

После обработки экспериментальных данных были определены числовые значения коэффициентов передаточной функции (4) при использовании в качестве параметра изменение расстояния до точки касания ($W_k(p)$) и изменение удельной площади ($W_s(p)$) в зависимости от изменения скорости нагнетания конфетной массы:

$$W_k(p) = -6.0042 \cdot \frac{\exp(-0.4082 \cdot p)}{0.551p + 1}, \quad W_s(p) = -0.9402 \cdot \frac{\exp(-0.2501 \cdot p)}{1.5022p + 1}$$

Из численных значений видно, что время запаздывания меньше для удельной площади, поэтому этот параметр быстрее реагирует на изменение динамики процесса формирования.

При резком снижении скорости нагнетания конфетной массы происходит натяжение жгута, его поперечное сечение уменьшается, увеличивается шероховатость поверхности жгута. Через 8 с жгут провисает и на 12-й секунде разрывается. Нестационарные процессы, возникающие из-за малой прочности конфетной массы, не позволили исследовать до конца процесс перехода к замедленному нагнетанию конфетной массы в производственных условиях.



Рисунок 5 – Изменение удельной площади при увеличении скорости нагнетания конфетной массы

В пятой главе построена и проанализирована система регулирования процесса формирования конфетных жгутов с использованием цифровой видеокамеры функциональная схема которой приведена на рисунке 6.

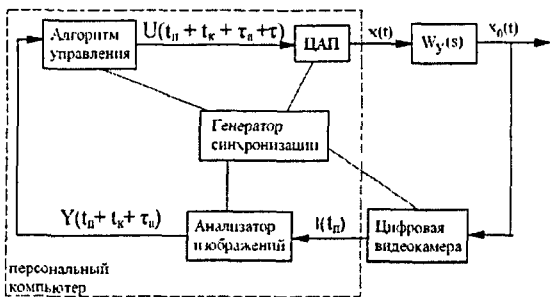


Рисунок 6 – Функциональная схема системы автоматического регулирования с использованием цифровой видеокамеры в контуре управления

После математической обработки передаточных функций (4) получены АЧХ, ФЧХ и АФЧ и проведён анализ процесса формирования, как объекта

регулирования (НСТП). На приведённой АФЧ (рисунок 7) при использовании в качестве регулируемого параметра изменения удельной площади видно, что процесс формования имеет устойчивый характер.



Рисунок 7 – АФЧ при использовании в качестве регулируемого параметра изменения удельной площади

Проведён анализ устойчивости по методу Найквиста САР с использованием ЦВК с учётом дискретности, создаваемой при работе ЦВК, анализатора изображения и ЦАП, при условии использования ПИД-регулятора. По результатам анализа получено условие, при котором САР будет устойчивой:

$$\left| \frac{Tk_0 \cdot K_H}{2} \cdot \left(\frac{2K_D}{\beta T^2 \cdot K_H} - 1 \right) \right| < 1, \quad (5)$$

где T – интервал времени между кадрами с учетом обработки изображения; k_0 – коэффициент усиления из формулы (4); $\beta = T_0/T$ – округлённое до целого значения отношение постоянной времени из формулы (4) к интервалу времени между кадрами; K_D и K_H – параметры настройки регулятора.

Для этой системы регулирования была разработана блок-схема алгоритма управления, на основе которого интеллектуальная система принимает решение об изменении регулирующих воздействий.

В шестой главе построена математическая модель свободного движения конфетного жгута в воздухе. Из уравнений динамики вязкой жидкости, обладающей ползучестью,

$$kv_x + \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right), \quad (6)$$

$$kv_y + \frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \right) - g, \quad (7)$$

где $k = G/\eta$;

G – модуль сдвига при ползучести, H/m^2 ;

η – вязкость, $Па$,

и с учётом касательных напряжений

$$\tau_{xx} = 2\eta \frac{\partial v_x}{\partial x} - p; \quad \tau_{yy} = 2\eta \frac{\partial v_y}{\partial y} - p; \quad \tau_{xy} = \eta \cdot \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) \quad (8)$$

было получено уравнение траектории конфетного жгута

$$y = h + \frac{gx}{kv_m} - \frac{g}{k^2} \ln \left(\frac{v_u}{v_m - kx} \right). \quad (9)$$

На рисунке 8 показана параболическая траектория движения вязкого жгута без учёта ползучести $f_1(x)$ и показано значительное искривление траектории с учётом ползучести $f_2(x)$. Уравнение (9) является математической моделью движения конфетного жгута после выхода из матричного отверстия, в которой, помимо вязкости, учтено свойство ползучести, характерное для конфетных масс. На основе этой математической модели (9) определены теоретические передаточные функции, связывающие между собой изменения реологических свойств конфетной массы и скорости выхода жгута из матричного отверстия с изменением удельной площади и изменением расстояния до точки пересечения нулевого уровня, на котором может располагаться транспортёрная лента. При этом определены значения времени запаздывания как при измерении удельной площади, так и при измерении расстояния x_0 .

Показаны преобразования структурных схем, позволяющие совместить экспериментальные и теоретические передаточные функции в единую систему для моделирования САР процесса формования конфетного жгута.

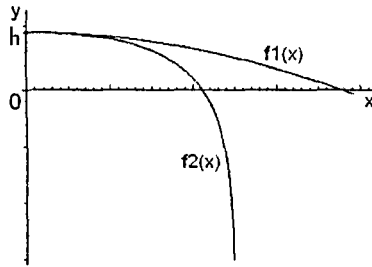


Рисунок 8 – Траектории свободного движения конфетного жгута

Разработана в Simulink модель САР процесса формирования конфетного жгута (рисунок 9), позволяющая исследовать переходные процессы, происходящие в системах регулирования процесса формирования конфетного жгута, использующих цифровую видеокамеру в качестве интеллектуального датчика.

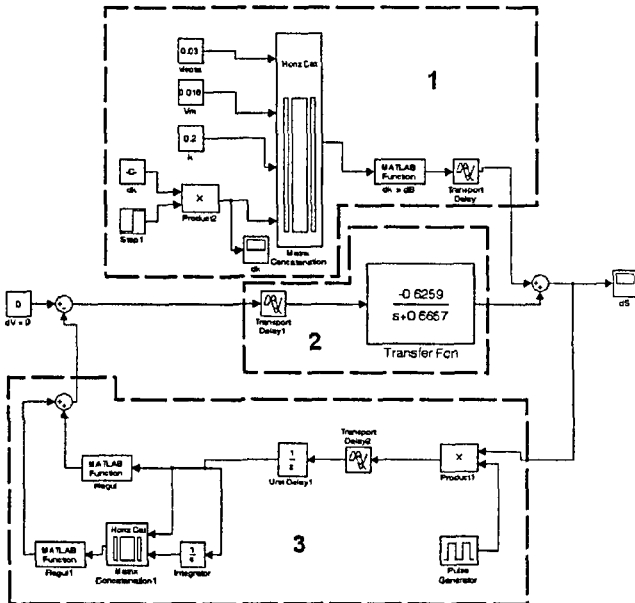


Рисунок 9 – Структурная схема математической модели САР на основе измерения удельной площади.

В седьмой главе сформулированы предложения по обеспечению широкого использования ЦВК в качестве интеллектуального датчика для систем управления технологическими процессами пищевых производств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертации доказана возможность использования цифровой видеосъемки для автоматического регулирования технологических процессов пищевых производств на примере САР процесса формования конфетных жгутов. Использование цифровых видеокамер (ЦВК) в пищевом производстве позволит не только наблюдать, но и автоматизировать технологические процессы, в которых происходят визуальные изменения перерабатываемого полуфабриката. При этом ЦВК превращаются в интеллектуальные датчики, не контактирующие с пищевым полуфабрикатом и работающие в любых, в том числе и в герметичных условиях, что улучшает санитарные условия переработки пищевого сырья. Использование ЦВК в производственном процессе и внутри технологического оборудования позволит повысить надёжность и продлить срок эксплуатации технологического оборудования, а также снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт при одновременном увеличении качества выполняемых диагностических операций. В результате проведённых исследований получены следующие результаты.

1. Выполнен анализ возможности использования цифровой видеокамеры (ЦВК) в качестве интеллектуального датчика для систем контроля, регулирования и управления процессом формования пищевых жгутов на примере формования жгутов из конфетной массы.

2. Разработаны математические модели: 1) траектории движения конфетного жгута после выхода из матричного отверстия; 2) САР с использованием эталонного видеокadra в качестве задатчика в программной среде MATLAB. Разработана параметрическую модель процесса формования конфетных жгутов с учетом визуальных параметров.

3. Разработаны алгоритмы: 1) получения первичной информации из исходного цветного изображения видеокadra; 2) принятия решений для формирования регулирующего воздействия на основе анализа видеоизображения.

4. Разработана схема контроля и регулирования процесса формирования конфетных жгутов с использованием ЦВК в качестве интеллектуального датчика.

5. Впервые предложены: 1) последовательность преобразования трёхмерной матрицы цветного изображения процесса формирования жгута в численное значение визуального параметра этого процесса; 2) понятие удельной площади в качестве визуального параметра процесса формирования жгутов из пищевых масс; 3) способ автоматического регулирования процесса формирования конфетных масс с использованием ЦВК в качестве интеллектуального датчика.

6. С помощью цифровой видеосъемки исследованы переходные процессы при формировании конфетных жгутов и получены передаточные функции для визуальных параметров формирования.

7. Полученные решения позволяют разрабатывать комплексы систем контроля и регулирования процессов формирования жгутов из пищевых масс. Результаты анализа процесса формирования конфетных жгутов переданы по акту ОАО "Кондитерский концерн Бабаевский". Научные и практические результаты настоящего исследования используются в учебном процессе МГУПБ на кафедре "Автоматизация биотехнических систем".

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Благовещенская М.М., Иванов Я.В. Вычитание изображений в программе MATLAB. //Сб. докладов IV международной конференции-выставки "Высокоэффективные пищевые технологии, методы и средства для их реализации". – Часть 2. – М.:МГУПП, 2006. – с. 130-132.

2. Иванов Я.В., Благовещенская М.М. Использование цифровых видеокамер в системах автоматического управления технологическими процессами пищевых производств. //Сб. материалов V юбилейной школы-конференции с международным участием " Высокоэффективные пищевые технологии, методы и средства для их реализации ". – М.: МГУПП, 2007. – с. 347-349.

3. Благовещенская М.М., Иванов Я.В. Математическое моделирование движения жгута пищевой массы после горизонтального прессования. //""Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов", № 6, 2008. – с. 164- 166.

4. Благовещенская М.М., Иванов Я.В. Использование интеллектуального датчика в системе автоматического управления технологическими процессами. // Сб. докладов X международной научно-практической конференции "Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве". – Часть 2. – М.: ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, 2008. – с. 448-451.

5. Иванов Я.В. Математическое моделирование движения жгута пищевой массы. //""Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов", № 9, 2008. – с. 202- 203.

Подписано в печать 21.11.08. Усл. печ. л. 1,25.

Тираж 100 экз. Заказ 07/45

МГУПБ. 109316, Москва, ул. Талалихина, 33.

ООО «Полисувенир». 109316, Москва, ул. Талалихина, 33.

Тел. 677-03-86