

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

**на диссертационную работу Тарачкова Михаила Владимировича  
на тему: «Автоматизация технологического процесса уплотнения  
полуфабрикатов с применением робота-манипулятора»,**

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

В диссертационной работе Тарачкова М.В. исследуется технологический процесс уплотнения полуфабрикатов, которые перемещаются по скоростной конвейерной линии. Предлагается осуществлять уплотнение с помощью робота-манипулятора и размещенного на нем рабочего органа. Рабочий органа оказывает на полуфабрикаты вибрационно-силовое воздействия, в виду чего полуфабрикаты распределяются по всему объему коробки. Приведенный в диссертационной работе Тарачкова М.В. анализ научной литературы показывает, что для реализации прототипа системы автоматизации необходима модернизация существующих математических моделей и алгоритмов. Кроме того, автор показывает, что уплотнения полуфабрикатов позволяет сократить количество бракованных коробок с 25% до 2-3%. Таким образом, работу можно считать актуальной как с точки зрения науки, так и с точки зрения производства.

Цель работы заключается в повышении эффективности производственной линии по упаковке полуфабрикатов при сохранении существующего уровня брака или его уменьшении.

Задачи:

1. Исследовать работу участка скоростной линии пищевого производства, на которой происходит упаковка полуфабрикатов в коробки, где ключевым этапом является уплотнение полуфабрикатов. Определить основные параметры линии. Сформировать и описать предлагаемый метод уплотнения полуфабрикатов.

2. Разработать математическую модель вибрационно-силового уплотнения полуфабрикатов. Ввести оценку выступания полуфабрикатов за верхнюю границу коробки. Определить зависимость качества уплотнения от прикладываемого усилия, времени, в течение которого усилие прикладывается, амплитуды и частоты колебаний.
3. Предложить методику автоматизации процесса уплотнения полуфабрикатов, заключающуюся в объединении набора методов, которые позволят повысить эффективность производственной линии.
4. Разработать систему технического зрения на основе искусственных нейронных сетей для оценки выступания полуфабрикатов за пределы коробки. Оценить качество ее работы.
5. Разработать алгоритм управления процессом уплотнения полуфабрикатов. Ввести в функциональную схему автоматизированной системы контроллер силы надавливания и сформировать критерий качества его работы. Провести имитационное моделирование системы автоматизации процесса уплотнения полуфабрикатов.
6. Реализовать прототип системы автоматизации процесса уплотнения полуфабрикатов с применением робота-манипулятора согласно предложенной методике, провести испытания для подтверждения её работоспособности и эффективности, адекватности разработанных математических моделей и алгоритма управления.

### **Структура, объем и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа содержит 162 страницы основного текста, 15 таблиц, 80 рисунков. Список использованной литературы включает 108 наименований.

*Во введении* обосновывается актуальность темы исследования, ставится цель и задачи, приводится теоретическая и практическая значимость, список публикаций, апробация работы.

*Первая глава* посвящена изучению степени проработанности темы исследования. Автор рассматривает исследуемый технологический процесс, приводит его характеристики. Приводится обзор научной литературы, похожих технологических процессов и систем автоматизации, а также их компонентов. Отдельное внимание уделяется способам уплотнения объектов, расположенных в емкости. Изучаются методы подведения рабочего органа робота-манипулятора к объекту воздействия, способы организации обработки коробок, подходы к реализации системы управления. Проведенная в первой главе работа позволяет понять, какие подходы к реализации системы автоматизации можно использовать без доработки, а какие необходимо изменять или улучшать. Глава поясняет цель и задачи исследования, которые были озвучены во введении.

*Во второй главе* вводится понятие ошибки для коробки с полуфабрикатами. Разрабатывается математическая модель вибрационно-силового воздействия на полуфабрикаты, ключевым отличием которой являются размеры объектов, которые сопоставимы по размерам с коробкой, а также подведение вибрационного устройства сверху. Приводится описание метода уплотнения полуфабрикатов в коробках и математическая постановка задачи. Определяются параметры модели уплотнения полуфабрикатов.

*Третья глава* посвящена методике автоматизации процесса уплотнения полуфабрикатов. Автор предлагает методику автоматизации, которая заключается в объединении набора методов: методы решения задач прямой и обратной кинематики, методы искусственного интеллекта для оценки выступления полуфабрикатов за пределы коробки, методы составления цеховых расписаний и др. Приводится функциональная схема системы автоматизации. Глава завершается параграфом, в котором осуществляется имитационное моделирование системы автоматизации.

Четвертая глава содержит информацию о проектировании, изготовлении, сборке, наладке и испытаниях системы автоматизация технологического процесса уплотнения полуфабрикатов. Рассматривается

процесс разработки конструкции и электроники робота-манипулятора и рабочего органа, реализация алгоритма уплотнения полуфабрикатов. Приводится таблица с результатами испытаний.

*В заключении* представлены выводы, полностью отражающие основные результаты работы.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

1. Предложена методика автоматизации технологического процесса уплотнения полуфабрикатов на скоростной конвейерной линии по упаковке полуфабрикатов, которая заключается в проектировании робота-манипулятора следующими методами:
  - a. математическое моделирование вибрационно-силового уплотнения полуфабрикатов;
  - b. методы искусственного интеллекта для оценки выступления полуфабрикатов за границы коробки;
  - c. разработка алгоритмов планирования обработки коробок с полуфабрикатами и вибрационно-силовым уплотнением полуфабрикатов.
2. Разработана математическая модель вибрационно-силового уплотнения полуфабрикатов, отличающаяся от существующих расположением источника вибраций (над объектом) и размерами объектов внутри нее (объекты в несколько раз меньше размера емкости). Модель позволила установить зависимость между качеством уплотнения, воздействующей силой и временем, в течение которого оказывается воздействие. Введена оценка выступления полуфабрикатов за пределы коробки. Определена зависимость качества уплотнения от прикладываемого усилия, времени, в течение которого усилие прикладывается, амплитуды и частоты колебаний. Определены значения основных параметров: амплитуда, частота, коэффициент трения между рабочим органом и полуфабрикатами.

3. Предложен метод уплотнения полуфабрикатов на скоростной конвейерной линии, заключающийся в оказании вибрационно-силового воздействия на полуфабрикаты. Разработан алгоритм управления процессом уплотнения полуфабрикатов.
4. Создана система автоматизации на основе алгоритма обработки коробок с полуфабрикатами с элементами технического зрения для определения положения коробки, оценки выступания полуфабрикатов за ее пределы и регулирования силы надавливания, введен критерий качества его работы. Проведено имитационное моделирование системы автоматизации в среде Matlab Simulink.

**Практическая значимость диссертационной работы** заключается в том, что был спроектирован, изготовлен, собран и запрограммирован прототип системы автоматизации процесса уплотнения полуфабрикатов. Испытания прототипа показали, что его использование приводит к увеличению эффективности линии на 30%. При этом количество брака не изменяется.

**Достоверность и новизна основных положений, выводов, результатов диссертации** подтверждается наличием акта о готовности к опытно-промышленным испытаниям (приложение 2). Акт свидетельствует о том, что созданный в результате исследований прототип системы автоматизации технологического процесса уплотнения полуфабрикатов успешно прошел испытания, а значит, теоретические модели и расчеты, приведенные в диссертации, верны.

**Оформление диссертации, публикации, апробация, содержание автореферата**

В диссертационной работе Тарачкова М.В. выдержан научный стиль, последовательно и корректно излагается материал, добавлено необходимое количество рисунков таблиц и приложений.

Изучение публикаций автора по материалам диссертационного исследования (11 публикаций, из которых 1 – в издании, входящем в базу Scopus, 3 – в изданиях, входящих в перечень утверждённых ВАК РФ) позволяет считать их количество достаточным.

Апробация работы проводилась на различных конференциях в 2020-2022 годах.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Автору следовало бы привести обзор методов настройки дискретного ПИД-регулятора;
2. Автор не поясняет, почему для получения облака точек используется именно камера Microsoft Kinect;
3. В параграфе про имитационное моделирование автор не рассматривает работу системы автоматизации на скоростях, отличных от 0.56 м/с;
4. На рисунке 52 автору следовало сделать белый фон.

Сделанные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационного исследования.

### **Заключение**

Диссертационная работа Тарачкова Михаила Владимировича на тему «Автоматизация технологического процесса уплотнения полуфабрикатов с применением робота-манипулятора» является законченной научно-квалификационной работой. Научные положения, выводы и рекомендации обоснованны, работа обладает теоретической и практической значимостью.

Диссертационная работа соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., поэтому соискателю Тарачкову Михаилу Владимировичу может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки).

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Автоматизация  
производственных процессов»  
Новомосковского института (филиала)  
ФГБОУ ВО «Российский химико-  
технологический университет имени  
Д.И. Менделеева»  
кандидат технических наук, доцент

А. Г. Лопатин

«20» сентября 2024 г.

Лопатин Александр Геннадиевич  
Почтовый адрес: 301665, Тульская область,  
г. Новомосковск, ул. Дружбы, д.8  
Телефон: 8-903-843-80-42  
e-mail: a\_lopatin@mail.ru



Личную подпись Лопатина А.Г. заверяю  
Ученый секретарь  
Новомосковского института (филиала)  
ФГБОУ ВО РХТУ имени Д.И. Менделеева  
к.т.н., доцент

О.В. Дмитриева