

На правах рукописи



Карелина Екатерина Борисовна

**Разработка интеллектуального комплекса для
адаптивного управления параметрами микроклимата
процессов хранения муки**

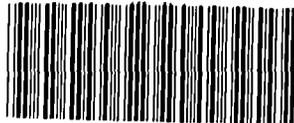
Специальность 05.13.06 –

«Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
(в пищевой промышленности) (технические науки)»

Автореферат

– 3 ОКТ 2018

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



008715974

Москва – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
Благовещенская Маргарита Михайловна

Официальные оппоненты: **Шканов Павел Михайлович**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана»,
кафедра «Теоретическая механика»,
заведующий кафедрой.

Шаверин Андрей Вениаминович
кандидат технических наук, менеджер по
продукции компании ООО «Омрон
Электроникс», г. Москва.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Омский государственный
технический университет».

Защита состоится «30» октября 2018 г. в 12.00 на заседании диссертационного совета Д.212.148.02 на базе ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» по адресу 109316, г. Москва, ул. Талалихина, дом 33, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» по адресу: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11 и на сайте ФГБОУ ВО «МГУПП» <http://mgupp.ru>.

Отзывы на автореферат и диссертацию отправлять по адресу: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11. ФГБОУ ВО «МГУПП»

Автореферат разослан «26» сентября 2018 года.

Ученый секретарь

Диссертационного совета

Д.212.148.02,

доктор технических наук, профессор



Митин Владимир Васильевич

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

В современном социально-экономическом и геополитическом развитии России на первый план выходит развитие сельского хозяйства и пищевой промышленности. Как следствие, многократно возрастают требования к качеству и безопасности готового продукта, что существенно влияет на его конкурентоспособность. Среди множества отраслей пищевой промышленности важнейшая роль принадлежит мукомольной. Её продукция является чрезвычайно востребованной населением нашей страны. А это значит, что к качеству этой готовой продукции предъявляются особые повышенные требования. Хранение муки является одним из важнейших этапов технологического процесса производства муки.

Бестарное хранение муки (БХМ) в силосах представляет собой сложный технологический процесс, который в значительной степени подвержен воздействию окружающей среды (температура, давление, влажность и др.). Если не принимать соответствующих мер, то под влиянием указанных факторов технологические свойства муки будут изменяться и выходить за пределы допустимых значений, т.е. мука может испортиться.

На практике наиболее часто для стабилизации отдельных параметров используют автоматические регуляторы, а выбор стратегии и режима управления осуществляется на усмотрение операторов-технологов. Такой подход не обеспечивает достаточный уровень автоматизации процесса и обуславливает зависимость качества процесса от субъективного влияния ведущих процесс технологов. Достичь высокого качества возможно посредством создания адаптивных автоматизированных систем управления технологическими процессами.

На сегодняшний день наиболее перспективным представляется использование нейросетевых регуляторов для управления параметрами микроклимата в процессе хранения муки. Создание такой системы позволит: улучшить адаптационные способности регулятора за счет применения более гибкой технологии управления, повысить качество управления и, следовательно, качественные показатели технологического процесса (ТП), повысить экономическую эффективность производства в результате более точного поддержания основных технологических параметров и, соответственно, снижения расхода материальных и энергетических ресурсов, уменьшения процента порчи и т.п.

Исходя из вышесказанного, тема диссертационной работы «Разработка интеллектуального комплекса для адаптивного управления параметрами микроклимата процессов хранения муки» является актуальным направлением развития мукомольной отрасли промышленности, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Цель работы. Целью диссертационной работы является разработка интеллектуального комплекса для адаптивного управления параметрами микроклимата процессов хранения муки (на примере силоса для бестарного хранения муки) и повышение эффективности управления технологическими процессами (ТП) хранения муки путем использования интеллектуальных технологий.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Анализ технологического процесса хранения муки как объекта автоматизации.
2. Обзор и анализ современных способов применения нейронных сетей для управления сложными техническими системами.
3. Разработка структурно – параметрической модели ТП бестарного хранения муки.
4. Разработка математической модели объекта управления с учетом присущих ему внутренних связей между параметрами технологического режима и внешними возмущающими факторами.
5. Разработка структуры и алгоритма нейросетевого регулятора для управления нестационарным технологическим процессом (на примере параметров микроклимата процесса бестарного хранения муки).
6. Разработка системы слежения и управления параметрами микроклимата силоса в SCADA-системе Trace Mode.
7. Разработка PC-совместимой среды для проведения опытно-промышленных испытаний.
8. Разработка технических решений для реализации системы интеллектуального управления параметрами микроклимата в процессе хранения муки и оценка результатов опытно-промышленной эксплуатации.

Объектом исследования является типовой силос для бестарного хранения муки, а также процессы сбора, анализа и обработки информации, в задачах непрерывного контроля показателей микроклимата в процессе хранения муки.

Предметом исследования и разработок являются совокупность теоретических, методологических и практических задач, связанных с созданием интеллектуального комплекса для адаптивного управления параметрами микроклимата в процессе хранения муки и соответствующее информационное, математическое, алгоритмическое и программное обеспечение.

Методы и средства исследований. В работе используются аналитические методы исследования, методы компьютерного моделирования и экспериментальные исследования, выполненные на натуральных объектах в производственных условиях.

Поставленные в работе задачи решены с использованием методологических и математических основ построения адаптивных систем поддержки и принятия решений, основных положений теории автоматического управления, теории нейронных сетей, общих принципов математического моделирования, элементов теории искусственного интеллекта. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab, системы визуального моделирования Simulink и SCADA-системы TraceMode.

Научная новизна работы.

1. Представлена математическая модель микроклимата в силосе в виде многосвязной структуры внутренних и возмущающих параметров.
2. Разработана структура нейросетевого регулятора, используемого в силосе для адаптивного управления параметрами микроклимата в процессе бестарного хранения муки.
3. Представлено математическое описание нейросетевого регулятора, структурная схема нейросети и алгоритм обучения нейросети.
4. Разработан алгоритм работы модуля контроля и регулирования параметров микроклимата в процессе бестарного хранения муки.
5. Представлено имитационное моделирование ТП БХМ в среде AnyLogic.
6. Разработана PC-совместимая платформа для проведения экспериментальных исследований с дальнейшим их анализом.

Практическая значимость работы.

Практическая значимость работы представлена:

1. Структурно-параметрической моделью процесса бестарного хранения муки.
2. Рекомендациями по учету взаимосвязей технологических параметров процесса хранения муки при разработке его математической модели.
3. Рекомендациями по разработке структуры нейросетевого регулятора.
4. Методикой выбора архитектуры и алгоритма обучения нейросети.
5. Моделирование склада БХМ в среде AnyLogic.
6. Разработкой системы слежения и сбора параметров ТП хранения муки в SCADA-системе TraceMode.
7. Разработкой PC-совместимой среды для проведения опытно-промышленных испытаний.
8. Результатами исследований опытно-промышленной эксплуатации системы интеллектуального управления параметрами микроклимата в силосе.

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается адекватным использованием методов исследований и соответствующего математического аппарата,

проверкой полученных выводов, моделированием и проведением натурного эксперимента в производственных условиях ОАО "Мельничный комбинат в Сокольниках", в ходе которого получены данные, соотносящиеся с вычислительным экспериментом.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Формализованное описание параметров микроклимата технологического процесса хранения муки в виде многосвязной системы автоматического регулирования.
2. Структурная схема нейросетевого регулятора.
3. Архитектура нейросети, математическое описание и алгоритм обучения интеллектуальной нейросетевой модели (ИНСМ).
4. Алгоритмы работы нейросетевой модели и интеллектуального комплекса адаптивного управления параметрами микроклимата в процессе БХМ.
5. Имитационное моделирование ТП БХМ в среде AnyLogic.
6. Практическая реализация интеллектуального комплекса для управления параметрами микроклимата силоса.
7. Разработка системы слежения и управления параметрами микроклимата силоса в SCADA-системе Trace Mode.
8. Создание PC-совместимой среды для проведения опытно-промышленных испытаний.

Апробация работы.

Результаты работы докладывались на конференциях и семинарах:

V международной научно-практической конференции " 21 век: фундаментальная наука и технологии " (« 21 century: fundamental science and technology V»), 10-11 ноября 2014 г., North Charleston, USA; Международной научнопрактической конференции «Автоматизация и управление технологическими и бизнес – процессами пищевой промышленности», 15 – 17 апреля 2015 г., МГУПП, II международная научно-практическая конференция «Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности», май 2016 г., МГУПП, XV международная научная конференция студентов и молодых ученых «Живые системы и биологическая безопасность населения», 17 декабря, 2017, МГУПП.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 печатных работ. Из них 5 статей в журналах, входящих в список ВАК, 10 в сборниках научных докладов международных конференций.

Структура диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка используемой литературы (118 источников) и приложений. Работа изложена на 193 страницах машинописного текста, содержит 64 рисунка, 11 таблиц, 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследования, показаны научная новизна исследования и практическая значимость полученных результатов.

В **первой** главе проведен анализ технологического процесса хранения муки как объекта автоматизации. Произведен анализ технологических схем хранения муки и используемых технических средств. Выявлены основные показатели качества муки и показано, что данные параметры определяются в основном лабораторными методами и зависят от параметров микроклимата в силосе. Поэтому для поддержания стабильности технологического процесса хранения целесообразно управлять именно параметрами микроклимата в силосе. При этом необходимо учесть, что параметры муки и параметры микроклимата тесно связаны между собой и подвержены всевозможным внешним возмущающим факторам. На основании многочисленных исследований основными параметрами микроклимата были выделены: температура воздуха в технологическом помещении, влажность воздуха и химический состав воздуха, а именно концентрация углекислого газа. Определены основные возмущающие факторы, влияющие на протекание технологического процесса (рисунок 1).

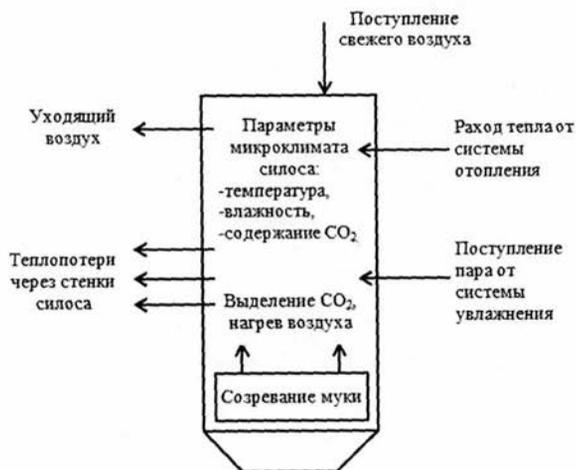


Рисунок 1. Основные параметры микроклимата в силосе и действующие на них возмущающие воздействия.

Возмущающие воздействия на схеме следующие:

1. Потребление свежего воздуха системой вентиляции.
2. Уходящий воздух.

3. Теплопотери через стенки силоса.
4. Выделение CO_2 и нагрев воздуха в процессе созревания муки.

Управляющие воздействия следующие:

1. Расход тепла от системы отопления.
2. Расход пара от системы увлажнения.
3. Количество поступившего свежего воздуха.

Проанализировано влияние каждого из параметров технологического процесса на качество муки в процессе хранения. Показано, что технологический процесс хранения муки является нестационарным со множеством нелинейных связей. В настоящее время регулирование основных параметров микроклимата осуществляется технологом посредством изменения уставок на локальных регуляторах, а это является весьма субъективно и в ряде случаев затруднительно. Стандартные ПИД-регуляторы также не могут решить данную задачу, так как не могут учесть нелинейность и многосвязность параметров микроклимата. Поэтому для решения данной задачи целесообразно использовать интеллектуальные технологии нового поколения, а именно нейросетевые регуляторы, которые являются стратегическим направлением для управления подобных технологических процессов.

Далее проведен обзор и анализ научно - технической информации о развитии и применении этого важнейшего направления искусственного интеллекта. Указаны основные области применения нейронных сетей, представлены архитектуры и разновидности нейронных сетей. Отдельно рассматривается нейросетевой регулятор, а также разнообразные способы его включения в контур управления. Проведен анализ основных способов настройки нейросетевого регулятора, представленных в различных литературных источниках. Также проведен обзор существующих нейросетевых пакетов и на основании сравнительных таблиц, выбран оптимальный для использования в процессе обучения и расчетов.

Во второй главе представлено структурно-параметрическое моделирование процесса БХМ, с последующим получением таблицы корреляционных связей и проверке её значимости по критерию Стьюдента. После получения характеристик связей между параметрами, был подобран критерий качества, удовлетворяющий текущим требованиям к регулированию технологического процесса, происходящего на складе БХМ. Данный критерий необходим при построении интеллектуальной нейросетевой модели. Для построения интеллектуального комплекса адаптивного управления процессами хранения муки необходимо уточнение математической модели параметров микроклимата технологического помещения для хранения пищевой продукции с использованием

формализованного метода, в основе которого лежит физический подход с интерпретацией физических переменных, определяющих динамические качества систем.

Данная модель должна учитывать, что параметры микроклимата тесно связаны между собой и подвержены влиянию различных возмущающих факторов. Для этого была построена структура взаимосвязи входных и выходных параметров микроклимата в силосе (рисунок 2).

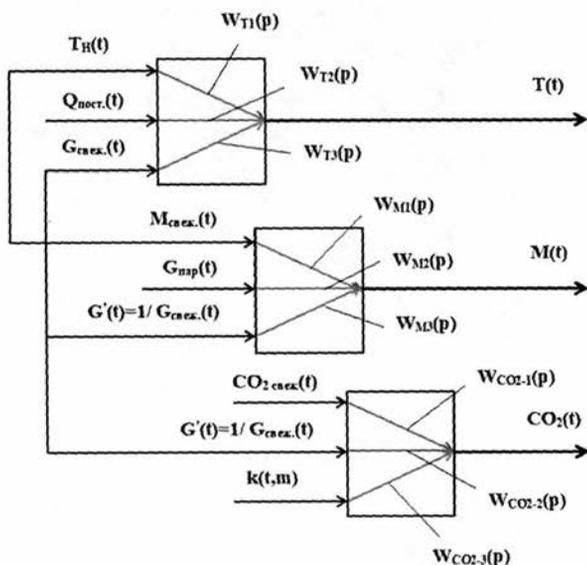


Рисунок 2. Структурная схема взаимосвязи параметров микроклимата с управляющими и возмущающими воздействиями.

Взаимосвязи параметров микроклимата и различных возмущающих и управляющих факторов представлены в виде передаточных функций.

На температуру воздуха в силосе влияют следующие возмущающие и управляющие воздействия (1), (2) и (3):

$$W_{T1}(p) = \frac{T(p)}{T_H(p)} = \frac{1}{(T_T p + 1)} \quad (1)$$

$$W_{T2}(p) = \frac{T(p)}{Q_{пост.}(p)} = \frac{k_1}{(T_T p + 1)} \quad (2)$$

$$W_{T3}(p) = \frac{T(p)}{G_{свек.}(p)} = \frac{k_2}{(T_T p + 1)} \quad (3)$$

$T(p)$ – изображение Лапласа для температуры внутри силоса.

$T_H(p)$ – изображение Лапласа для наружной температуры воздуха.

T_T – постоянная времени.

$Q_{\text{пост.}}$ – расход теплого воздуха.

$G_{\text{свеж.}}$ – расход свежего воздуха.

$k_{1,2}$ – коэффициенты работы системы отопления.

Проанализировав параметр влажности воздуха внутри силоса $M(t)$, были выявлены следующие возмущающие и управляющие параметры (4), (5), (6):

На влажность воздуха $M(t)$ влияние управляющего и возмущающих воздействий представлено передаточными функциями (5), (6) и (7):

$$W_{M1}(p) = \frac{M(p)}{M_{\text{свеж.}}(p)} = \frac{1}{(T_M p + 1)} \quad (4)$$

$$W_{M2}(p) = \frac{M(p)}{G_{\text{пар.}}(p)} = \frac{k_3}{(T_M p + 1)} \quad (5)$$

$$W_{M3}(p) = \frac{M(p)}{G'(p)} = \frac{k_4}{(T_M p + 1)} \quad (6)$$

$M(p)$ – изображение Лапласа для влажности воздуха внутри силоса.

$M_{\text{свеж.}}(p)$ – изображение Лапласа для влажности свежего воздуха.

T_M – постоянная времени процесса увлажнения паром.

$G_{\text{пар.}}$ – расход пара для увлажнения.

$G'(p)$ – изображение Лапласа для расхода пара.

k_3, k_4 – коэффициенты преобразования по расходу пара и свежего воздуха.

Передаточные функции взаимосвязи возмущающих и управляющих воздействий на качество воздуха, т.е. содержания CO_2 в силосе представлено следующими передаточными функциями (7), (8) и (9):

$$W_{\text{CO}_2-1}(p) = \frac{C_{\text{O}_2}(p)}{C_{\text{O}_2 \text{ свеж.}}(p)} = \frac{1}{(T_{\text{CO}_2} p + 1)} \quad (7)$$

$$W_{\text{CO}_2-2}(p) = \frac{C_{\text{O}_2}(p)}{G'(p)} = \frac{k_5}{(T_{\text{CO}_2} p + 1)} \quad (8)$$

$$W_{\text{CO}_2-3}(p) = \frac{C_{\text{O}_2}(p)}{K(p.m)} = \frac{k_6}{(T_{\text{CO}_2} p + 1)} \quad (9)$$

$C_{\text{O}_2}(p)$ – изображение Лапласа для концентрации углекислого газа в силосе.

$C_{\text{O}_2 \text{ свеж.}}$ – изображение Лапласа для концентрации углекислого газа в поступающем свежем воздухе.

T_{CO_2} – постоянная времени процесса воздухообмена.

$G'(p)$ – изображение Лапласа для расхода воздуха в системе воздухообмена.

K, k_5, k_6 – коэффициенты преобразования по расходу воздуха и выделению CO_2 .

На основании структуры взаимосвязи параметров микроклимата и различных влияющих факторов, сделан вывод, что большое значение для адаптивного управления

процессом хранения муки является не только точное поддержание контролируемых параметров, но и их сочетания между собой, что требует использования интеллектуальных технологий.

В третьей главе решается задача разработки интеллектуальной системы, способной решать эвристические задачи без участия человека, принимающего решения по выбору управления. Предложена система со специально разработанным нейросетевым регулятором (НС-Р), как наиболее соответствующая данному технологическому процессу. Далее рассмотрены и реализованы основные этапы разработки нейросетевого регулятора.

Разработанная структура нейросетевого регулятора представлена на рисунке 3. На вход регулятора подаются такие входные параметры как температура $T(t)$, влажность $M(t)$, содержание CO_2 $Q(t)$, а также возмущающие параметры: наружная температура $T_{\text{out}}(t)$ и наружное содержание CO_2 $Q_{\text{out}}(t)$. НС-Р состоит из четырех основных блоков. От системы сбора данных, например SCADA-системы, сведения о параметрах и возмущающих воздействиях объекта управления поступают в базу данных, которая передает параметры на модуль обучения, где происходит обучение нейросети. Вместе со входными параметрами база данных передает на нейросеть также предыдущие значения параметров микроклимата, значения управляющих воздействий и информацию об исходном качестве сырья.

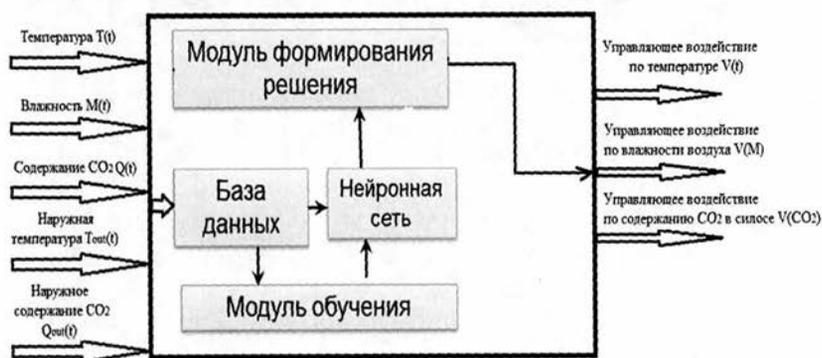


Рисунок 3. Структура НС-Р.

Далее обученная нейросеть посредством модуля формирования решения, выдает рекомендации об управлении технологическим процессом оператору – технологу, либо направляет управляющие воздействия непосредственно на исполнительные механизмы в случае полностью автоматизированного режима управления. Соответственно на выходе НС-Р выдаются физические величины управляющего воздействия на температуру $V_T(t)$, влажность $V_M(t)$ и содержание CO_2 $V_{\text{CO}_2}(t)$ в силосе.

В основе нейросетевого регулятора лежит нейронная сеть прямого распространения типа многослойный персептрон с одним скрытым слоем и тремя выходными параметрами. В данной сети каждый нейрон предыдущего слоя связан со всеми нейронами последующего слоя. Структура нейронной сети представлена на рисунке 4.

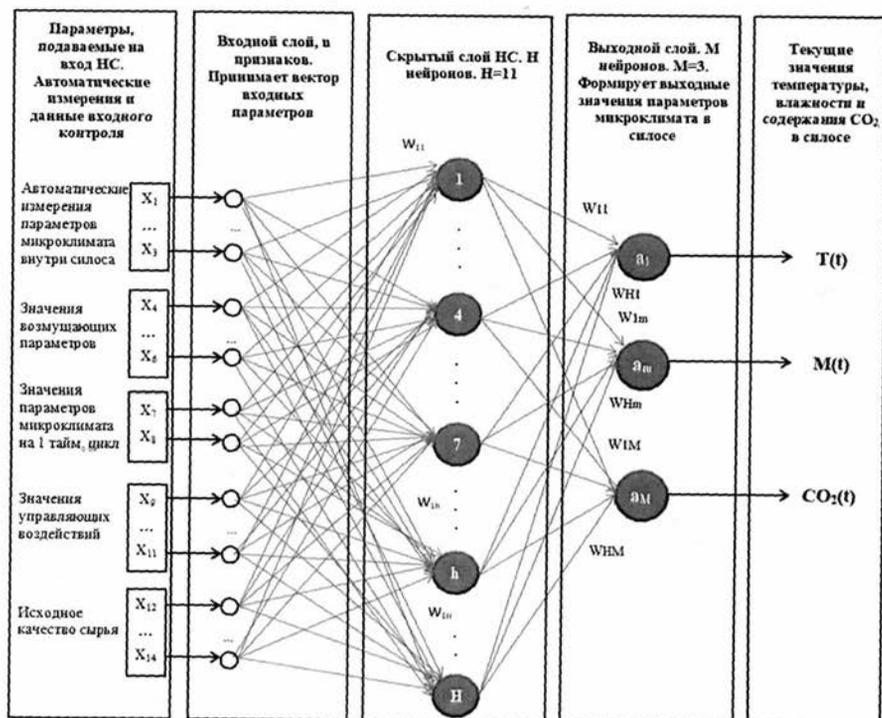


Рисунок 4. Структура разработанной искусственной нейронной сети с тремя выходными параметрами.

На входной слой нейросети подается вектор входных параметров X_n , отраженных в таблице 1. Каждый нейрон скрытого слоя подает на нейроны выходного слоя сигнал весов синаптических связей. Таковых нейронов в скрытом слое равно одиннадцати. Веса синаптических связей между h -м нейроном скрытого слоя и m -м нейроном выходного слоя обозначены через w_{hm} . Изменение синаптических весов происходит по градиентному методу обратного распространения ошибки. Взаимодействие искусственной нейронной сети с обратным распространением ошибки может эффективно решать задачи, связанные с недостаточной определенностью параметров ПИД-управления. Это объясняется возможностью НС аппроксимировать любую нелинейную функцию, простотой структуры

сети и особенностями алгоритма обучения. Данная нейронная сеть непосредственно выполняет функции регулятора.

Таблица 1. Параметры, подаваемые на вход нейросети.

Обозначение	Параметр	Обозначение	Параметр
X ₁	Температура внутри силоса T(t)	X ₈	Предыдущее значение влажности воздуха внутри силоса M(t-1)
X ₂	Влажность воздуха внутри силоса M(t)	X ₉	Количества тепла за единицу времени, поступающее от системы обогрева Q _{пост.} (t)
X ₃	Содержание CO ₂ в силосе Q _{CO2}	X ₁₀	Количество свежего воздуха, поступающего в силос от системы вентиляции G _{свеж.} (t)
X ₄	Температура наружного воздуха T _н (t)	X ₁₁	Расход пара от системы увлажнения в силосе G _{пар} (t)
X ₅	Влажность свежего воздуха M _н (t)	X ₁₂	Температура поступившей в силос муки T _м (t)
X ₆	Содержание CO ₂ в приходящем воздухе	X ₁₃	Влажность поступившей в силос муки M _м (t)
X ₇	Предыдущее значение температуры воздуха внутри силоса T(t-1)	X ₁₄	Масса созревающей в силосе муки W _м (t)

Алгоритм обучения сети методом back-propagation — обратного распространения ошибки состоит из некоторого количества повторяющихся шагов (рисунок 5). В случае, когда все весовые коэффициенты скорректированы, снова проходит прямое распространение сигналов от входов НС к выходам, и т.д. За счет постоянного корректирования параметра обучения и весовых коэффициентов, нейрорегулятор адаптируется к изменениям параметров объекта управления, основываясь на измеренных значениях показателей рассогласования.

Анализ работоспособности нейросетевой модели показал, что для данной системы ошибка обучения составила 3%, это значение укладывается в предел допустимой погрешности, определенный 5%. Предел допустимой погрешности был выбран и согласован с главным технологом, отвечающим за качество помолотой и отлежавшей (созревшей) муки. Таким образом, применение метода, основанного на работе НС-Р позволяет работать с наборами входных параметров любого уровня декомпозиции и учитывать влияние каждого параметра на итоговые оценки величин значений температуры, влажности воздуха и содержания CO₂ в силосе с помощью значений весовых коэффициентов. Полученные значения сравниваются с контрольными показателями путем статистической обработки данных, в результате чего рассчитывается отклонение значений параметров микроклимата в

силосе от эталонных и выдается результат о соответствии этих показателей заданным значениям для выполнения дальнейших действий в процессе бестарного хранения муки в силосах.

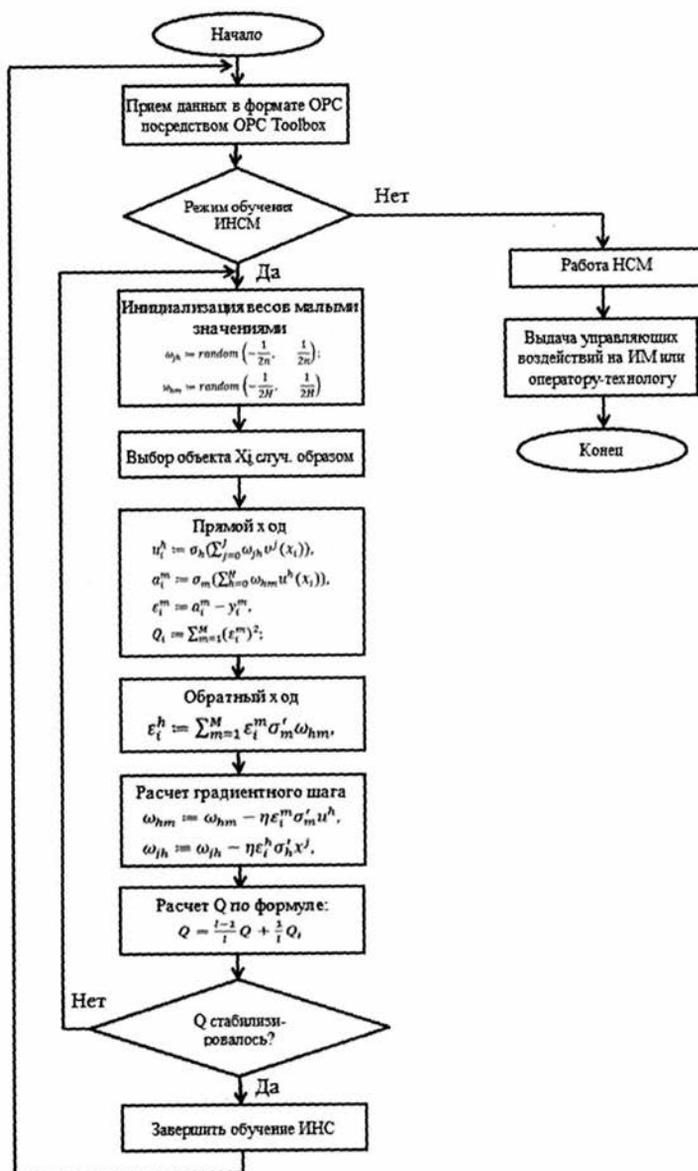


Рисунок 5. Алгоритм работы нейросетевой модели.

На основании проведенных исследований и полученных результатов был построен алгоритм работы интеллектуального комплекса адаптивного управления параметрами микроклимата процесса БХМ (рисунок 6).

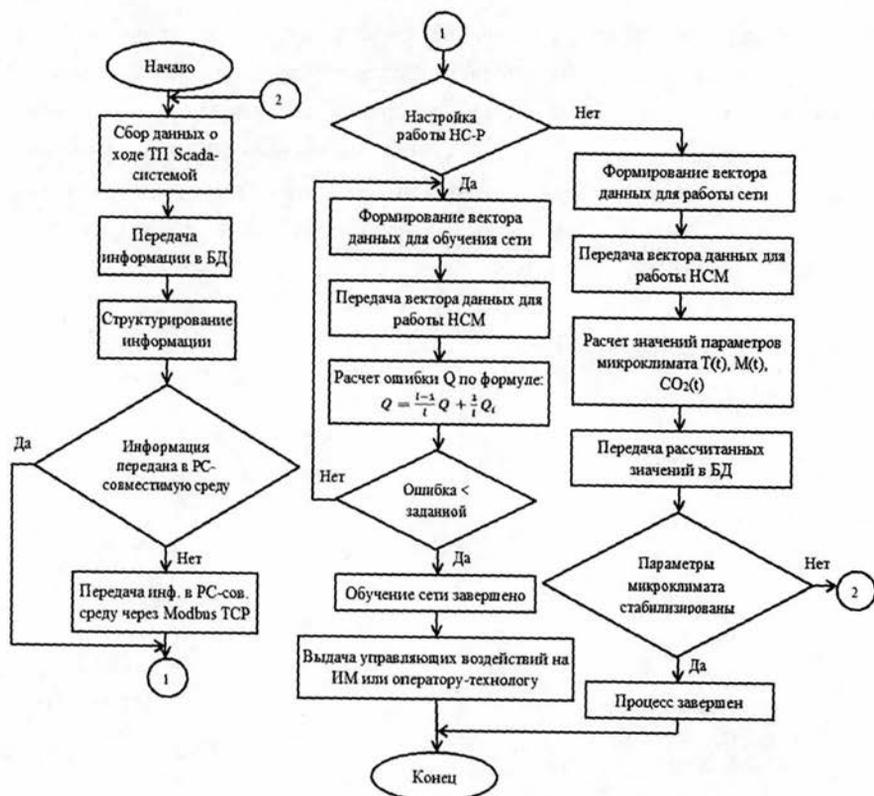


Рисунок 6. Алгоритм работы интеллектуального комплекса адаптивного управления параметрами микроклимата процесса БХМ.

От SCADA-системы информация о ходе ТП подается в БД, где она хранится в структурированном виде. Разработанная нейросетевая модель с использованием Matlab, в состав пакета которого входит инструмент для синтеза, обучения и анализа НС (Neural Network Toolbox), производит автоматический расчет основных величин параметров микроклимата: температуры, влажности и содержания CO_2 внутри силоса. НСМ в определенные промежутки времени получает данные из БД и в среде Matlab преобразовывает полученные векторы данных в необходимые нам величины параметров микроклимата в силосе. В результате работы данного алгоритма в зависимости от режима

управления ТП на экран монитора технолога будет выдаваться информация о прогнозируемых величинах параметров микроклимата с рекомендациями об изменении хода ТП, либо в случае полностью автоматизированного управления, управляющие воздействия будут поданы непосредственно на исполнительные механизмы.

Для анализа таких сложных и многопараметрических систем, построенных на основе применения интеллектуальных технологий, как БХМ используют технологии имитационного моделирования. Имитационная модель всегда создается как реализуемая во времени, позволяя после запуска строить для пользователя траектории изменения состояния системы. Данная модель является набором правил, по которым происходит переход системы из одного состояния в другое. В связи с этим построена имитационная модель системы управления складом БХМ (рисунок 7).

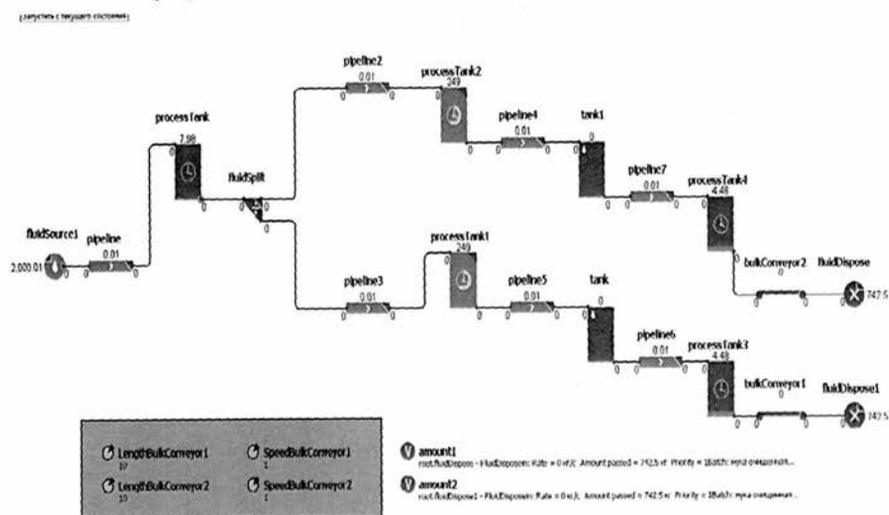


Рисунок 7. Имитационная модель БХМ.

Представленная имитационная модель содержит набор объектов, имитирующих работу оборудования склада БХМ и обеспечивающих бесперебойную подачу муки в силосы и своевременную её выгрузку. Для отражения динамического поведения логической имитационной модели создана двумерная модель, содержащая описание процесса хранения и просеивания муки (рисунок 8). Данная модель включает два временных графика, описывающих цикличность просеивания муки (кг), столбиковую диаграмму для отображения информации об общем количестве муки, прошедшей этап обработки. Все параметры модели поддаются регулированию для имитации конкретного объема данного

технологического процесса при изменяющихся внешних условиях и возмущающих факторах.

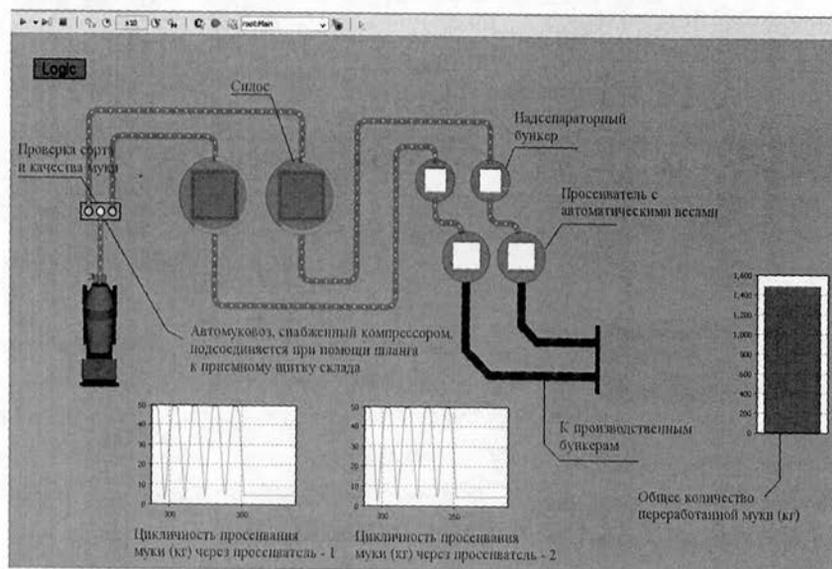


Рисунок 8. Визуализация модели в двумерной графике.

В четвертой главе проанализирована существующая на мукомольном предприятии автоматизированная система управления. Предложена структурно-функциональная схема интеллектуальной автоматизированной системы управления (АСУ), показывающая включение НС-Р в систему управления и его взаимодействие с различными блоками сбора информации. Для обеспечения автоматического управления технологическим процессом БХМ в режиме реального времени разработано автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора-технолога с помощью SCADA-системы TraceMode 6.0. Посредством объектно-ориентированного редактора представления данных создана мнемосхема технологического процесса, на которой в режиме реального времени отображается ход ТП с указанием контролируемых параметров (рисунок 9). При необходимости возможно отслеживать контролируемые параметры микроклимата в силосе посредством трендов – графиков, отображающих и анализирующих историю ТП.

Для экспериментальных испытаний адаптивной системы с применением НС-Р было разработано альтернативное решение на PC-совместимой платформе (рисунок 10). Предложена аппаратная и программная часть для реализации интеллектуальной системы управления на базе ПЛК Omron серии Cj1G.

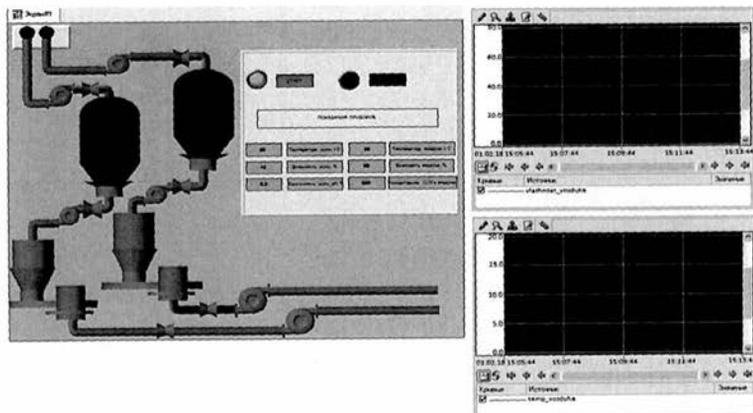


Рисунок 9. Визуализация ТП БХМ в TraceMode 6.0.

При экспериментальных исследованиях в качестве системы верхнего уровня использовался портативный персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением. В процессе исследования системы регистрировались технологические параметры процесса и параметры внешних воздействий, а также учитывалась информация от базы данных о качественных показателях муки. По результатам измерений строились временные графики (тренды), которые затем сравнивались с заданием ведущего технолога.

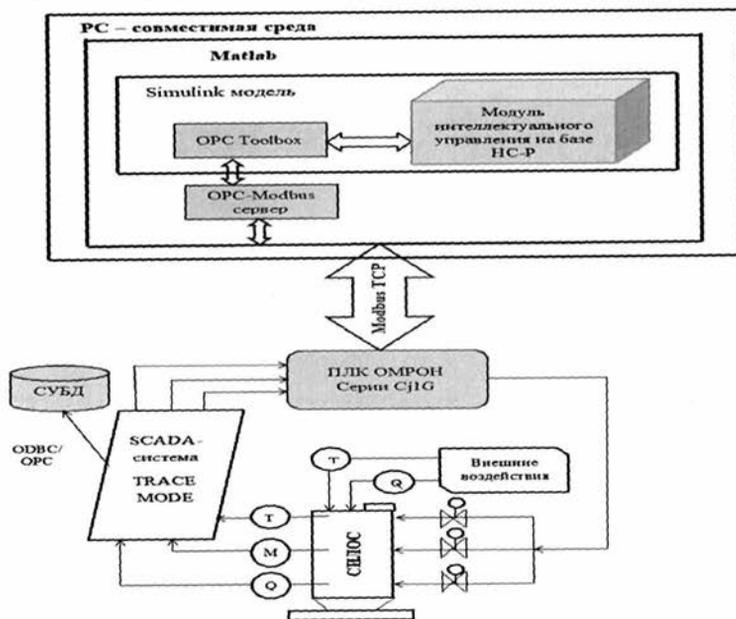


Рисунок 10. Включение PC-совместимой платформы в ТП БХМ.

На рисунке 11 представлен график изменения температуры воздуха в силосе для хранения муки при изменяющейся наружной температуре в зимний период времени. Из графиков видно, что при изменении наружной температуры воздуха, температурный режим в силосе меняется в соответствии с уставками технолога, отклонение составляет не более $0,2^{\circ}\text{C}$.



Рисунок 11. График изменения температуры воздуха внутри силоса, при возмущающем воздействии в виде изменяющейся наружной температуры.

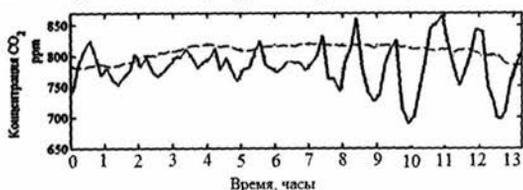
График изменения абсолютной влажности воздуха в силосе представлен на рисунке 12.



Рисунок 12. График изменения влажности воздуха в силосе при изменяющейся внутренней и наружной температуре.

На основании задания технолога, влажность воздуха внутри силоса в зимний период времени для пшеничной муки высшего сорта составляет 62%. Судя по графику, имеется отклонение от задания, но оно составляет не более 3,3%, а это входит в максимальное отклонение в 5%, установленное технологом.

На рисунке 13 представлен график изменения концентрации CO_2 в силосе по отношению к изменению наружной температуры воздуха.



Концентрация CO_2 воздуха в силосе

---- задание по содержанию CO_2 в силосе

— содержание CO_2 в силосе

Рисунок 13. График изменения CO_2 в силосе.

Из графика видно, что значение концентрации CO_2 также изменяется в соответствии с уставками, показанными пунктирной линией. Наибольшее отклонение установлено в пределах 100 ppm, что также входит в предел допустимой погрешности.

В процессе исследования управления ТП БХМ на базе ОАО «Мельничный комбинат в Сокольниках», разработанный интеллектуальный комплекс с нейросетевым регулятором обеспечил адаптацию параметров процесса при непрерывно изменяющихся внешних условиях. Таким образом, контролируемые параметры были стабилизированы в пределах допустимой точности управления, что способствовало своевременному созреванию и сохранности муки.

Результаты диссертационной работы также внедрены в учебном процессе ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» на кафедре «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В ходе исследования получены следующие основные результаты:

1. Обоснована целесообразность разработки интеллектуального комплекса для адаптивного управления параметрами микроклимата процесса бестарного хранения муки, реализуемого на базе нейросетевого регулятора.

2. Представлена модель параметров микроклимата в силосе, с учетом множественных взаимосвязей между параметрами технологического процесса, а также возмущающими и управляющими воздействиями. Показана целесообразность использования систем автоматического управления параметрами микроклимата с учетом многосвязности объекта управления.

3. Обоснована целесообразность использования для автоматизации управления параметрами микроклимата интеллектуальных технологий управления на базе разработки нейросетевого регулятора.

4. Разработана архитектура и алгоритм обучения нейросети.

5. Представлен алгоритм работы интеллектуального комплекса адаптивного управления параметрами микроклимата силоса.

6. Представлено имитационное моделирование ТП БХМ в AnyLogic.

7. Разработана система слежения и сбора параметров ТП хранения муки в SCADA-системе TraceMode.

8. Разработаны технические решения по внедрению в автоматизированную систему управления технологическим процессом бестарного хранения муки интеллектуального комплекса адаптивного управления параметрами микроклимата на базе нейросетевого регулятора.

9. Разработана РС – совместимая платформа в качестве верхнего уровня над промышленной системой управления технологическими параметрами, с соответствующим программным обеспечением.

10. Представлены результаты опытно-промышленных испытаний на базе ОАО «Мельничный комбинат в Сокольниках», которые показали, что система обеспечивает требуемое качество управления и является адаптивной по отношению к условиям осуществления процесса.

Список работ, в которых опубликованы основные положения диссертации.

1. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Клехо Д.Ю. Внедрение Scada-системы Trace Mode в производственные процессы на примере бестарного хранения муки.// Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 2 (64). С. 82-85.
2. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Благовещенский И.Г. Структурно-параметрическое моделирование как инструмент определения критерия качества на складе бестарного хранения муки.// Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 4. С. 36-39.
3. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Кириллов С.Б. Автоматизация процесса бестарного хранения муки.// Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 4. С. 12-15.
4. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Клехо Д.Ю. Использование нейросетевого регулятора для управления технологическим процессом бестарного хранения муки. //Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 9. С. 38-40.

5. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Клехо Д.Ю. Построение структуры взаимосвязи параметров микроклимата силоса для бестарного хранения муки. // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 10. С. 15-18.
6. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Петряков А.И., Благовещенский И.Г. Разработка системы оценки качества пищевых изделий с использованием искусственных нейронных сетей. // В сборнике: Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. Сборник научных докладов II международной научно-практической конференции. 2016. С. 165-170.
7. Карелина Е.Б., Благовещенский И.Г., Петряков А.И. Обзор используемых на пищевых предприятиях в АСУТП рабочих станций, операторских пультов и перспективы их применения. // В сборнике: Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. Сборник научных докладов II международной научно-практической конференции. 2016. С. 16-20.
8. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Клехо Д.Ю. Разработка программно-аппаратного комплекса для контроля качественных показателей муки в потоке. // В сборнике: Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. Сборник научных докладов II международной научно-практической конференции. 2016. с. 140-145.
9. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М. Применение нейросетевых методов анализа и обработки данных для контроля качественных показателей муки в процессе хранения. // В сборнике: Общеуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых "День науки". Сборник материалов конференции: в 6 частях. 2017. С. 271-275.
10. Карелина Е.Б. Моделирование процесса поддержания микроклимата в силосах. // В сборнике: Живые системы и биологическая безопасность населения. Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2017. С. 124-128.
11. Карелина Е.Б. Применение нейросетевых регуляторов в пищевой промышленности. // В сборнике: Живые системы и биологическая безопасность населения. Сборник материалов XV международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2017. С. 121-124.
12. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Клехо Д.Ю. Разработка автоматизированного рабочего места оператора технологического процесса на зерноперерабатывающем предприятии. // В сборнике: Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности. Материалы конференции с международным

- участием. Секция «Интеллектуальные технологии в отраслях пищевой промышленности», 2018. С. 111-117.
13. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Клехо Д.Ю. Разработка адаптивной системы управления процессом бестарного хранения муки. // В сборнике: Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности. Секция «Интеллектуальные технологии в отраслях пищевой промышленности». Материалы конференции с международным участием. 2018. С. 129-133.
14. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Клехо Д.Ю. Сравнительный анализ программных пакетов для обучения нейронных сетей. // В сборнике: Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности. Секция «Интеллектуальные технологии в отраслях пищевой промышленности». Материалы конференции с международным участием. 2018. С. 133-137.
15. Карелина Е.Б., Благовещенская М.М., Клехо Д.Ю. Повышение адаптационных способностей многопараметрической системы управления с множеством нелинейных связей. // В сборнике: Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности. Секция «Интеллектуальные технологии в отраслях пищевой промышленности». Материалы конференции с международным участием. 2018. С. 137-141.

Подписано в печать 22.09.2018 г.

Формат А5

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Тираж 100 Экз. Заказ № 121602-9-18

Типография ООО «МДМпринт»

(Печатный салон МДМ)

119146, г. Москва, Комсомольский пр-кт, д.28

Тел. 8-495-256-10-00