

Б. А. Крижевский, М. П. Кухтик

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
КАЧЕСТВА ПОМАДНЫХ КОНФЕТ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТИ**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: krizhevskiy.boris@gmail.com, mpkuhtik@gmail.com

Разработана автоматизированная система прогнозирования качества помадных конфет на основе нейронной сети. Описана обучающая выборка технологических параметров и модель нейронной сети. Рассмотрен алгоритм работы системы прогнозирования. Получены рекомендации по корректировке технологических параметров, и установлено их влияние на оценку качества продукции для обучающей выборки.

Ключевые слова: помадные конфеты, нейронная сеть, прогнозирование качества, обучающая выборка

B. A. Krizhevskiy, M. P. Kukhtik

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATED SYSTEM
FOR PREDICTING THE QUALITY OF FONDANT CANDIES
BASED ON A NEURAL NETWORK**

Volgograd State Technical University

An automated system for predicting the quality of fondant candies based on a neural network has been developed. The training sample of technological parameters and the neural network model have been described. The algorithm of the forecasting system operation has been considered. Recommendations for adjusting process parameters have been obtained and their impact on the assessment of product quality for the training sample have been determined.

Keywords: fondant candies, neural network, quality predicting, training sample

Контроль качества пищевой продукции является ключевым фактором успешного функционирования предприятий пищевой промышленности. Особую актуальность данная задача приобретает в условиях значительного износа оборудования кондитерской промышленности

РФ, что приводит к колебаниям технологических параметров и снижению качества продукции [1]. Процесс производства помадных конфет представляет собой сложную систему множества взаимодействующих факторов. Современные системы контроля и управления не могут

в полной мере учесть взаимосвязь между параметрами и их влияние на конечный результат. При слабоформализованных связях контролируемых параметров хода процесса производства с показателями вкуса конфет задача повышения качества продукции может быть решена на основе использования искусственной нейронной сети [2].

Предлагается разработать нейронную сеть, интегрированную в автоматизированную систему производства помадных конфет для того, чтобы на основе технологических данных, получаемых с датчиков оборудования, предсказывать оценку качества продукта и выдавать оператору рекомендации по изменению технологических параметров для улучшения качества.

Для обучения модели нейронной сети была создана обучающая выборка (таблица) [3].

Обучающая выборка

Параметр	Значение
Температура нагрева смеси, °C	116,9
Время варки массы, мин	24,6
Скорость перемешивания, об/мин	51
Время кристаллизации, мин	21,9
Температура кристаллизации, °C	21,3
Время выдержки в тоннеле, ч	8,3
Температура тоннеля, °C	16,7
Оценка экспертов (от 1 до 10)	6

Данная выборка содержит в себе все требуемые входные и итоговые параметры для обучения, такие как: температура нагрева смеси, время варки массы, скорость перемешивания, время кристаллизации, температура кристаллизации, время выдержки в тоннеле, температура тоннеля, оценка экспертов. Выборка состоит из 2100 строк (каждая строка представляет собой отдельное наблюдение), каждая строка разбита на столбцы, в каждом столбце свой параметр. Пример одного наблюдения обучающей выборки приведен в таблице.

Как видно из обучающей выборки, входами нейросетевой модели являются технологические параметры: температура операции, время операции, скорость. Выходным значением модели является оценка экспертов (субъективная оценка вкуса по шкале от 1 до 10), на основе которой будет прогнозироваться качество произведенной продукции.

Структура нейронной сети представлена на рис. 1. Она состоит из входного и выходного слоя, а также слоя активации. Ее структура предназначена для решения задач регрессии (прогнозирования числового значения) [4].

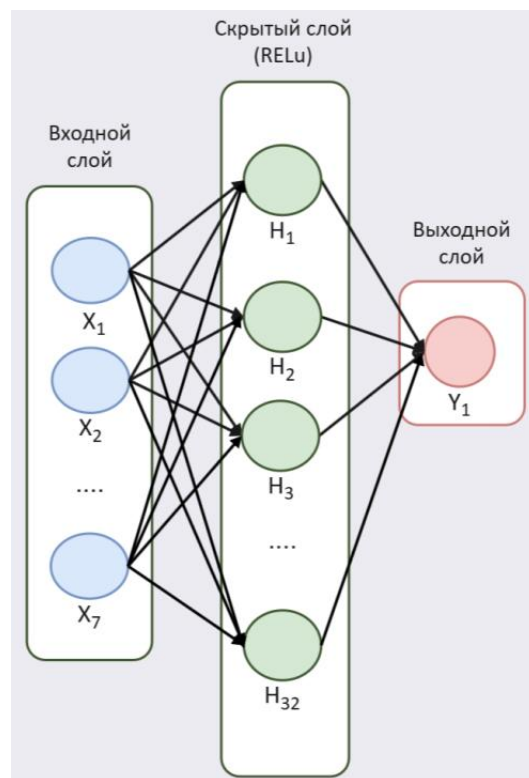


Рис. 1. Структура нейронной сети

Входной слой служит для приема исходных данных – семи технологических параметров, таких как температура, время операции, скорость и др. Эти параметры предварительно нормализуются в диапазоне от 0 до 1, что устраняет влияние разницы в масштабах признаков и ускоряет процесс обучения. Нормализация также снижает риск доминирования отдельных параметров над остальными, обеспечивая сбалансированный вклад каждого признака в прогноз.

Скрытый слой, состоящий из 32 нейронов, выполняет ключевую роль в преобразовании входных данных. Каждый нейрон этого слоя анализирует комбинации признаков, выявляя нелинейные зависимости между технологическими параметрами и итоговой оценкой качества. Функция активации ReLU, используемая в этом слое, позволяет модели эффективно обучаться: она «включает» нейроны только при положительных значениях входных сигналов, что ускоряет расчеты и предотвращает затуха-

ние градиентов – распространенную проблему при обучении глубоких сетей [5]. Для повышения обобщающей способности в скрытый слой добавлена L2-регуляризация, которая штрафует модель за избыточно большие веса, тем самым снижая риск переобучения на шумах или случайных паттернах в данных.

Выходной слой содержит один нейрон с линейной функцией активации, который формирует итоговый прогноз – числовое значение оценки качества в диапазоне от 1 до 10. Линейная активация выбрана для обеспечения непрерывного вывода, что критично для регрессионных задач. Этот слой агрегирует информацию, извлеченную скрытым слоем, и преобразует ее в окончательную оценку, соответствующую экспертной шкале.

Алгоритм работы автоматизированной системы прогнозирования на основе нейросети состоит в следующем. При необходимости произ-

вести оценку качества продукции оператор со своего ПК (сервера хранения и обработки данных) посредством клика кнопки в веб-интерфейсе системы отправляет запрос на получение информации технологических параметров с датчиков. После поступления данных от датчиков на ПК оператора происходит перенаправление информации на обученную модель нейросети посредством обработчика серверного фреймворка Django. После обработки информации от модели поступают данные о предсказанной оценке и ее зависимостях от технологических параметров, а также рекомендации по корректировке технологических параметров. Полученные данные от модели выводятся на веб-странице с отображением информативного графика зависимостей (градиента) качества продукции от технологических параметров. На рис. 2 приведен пример выводимой информации в веб-интерфейсе системы оператору.

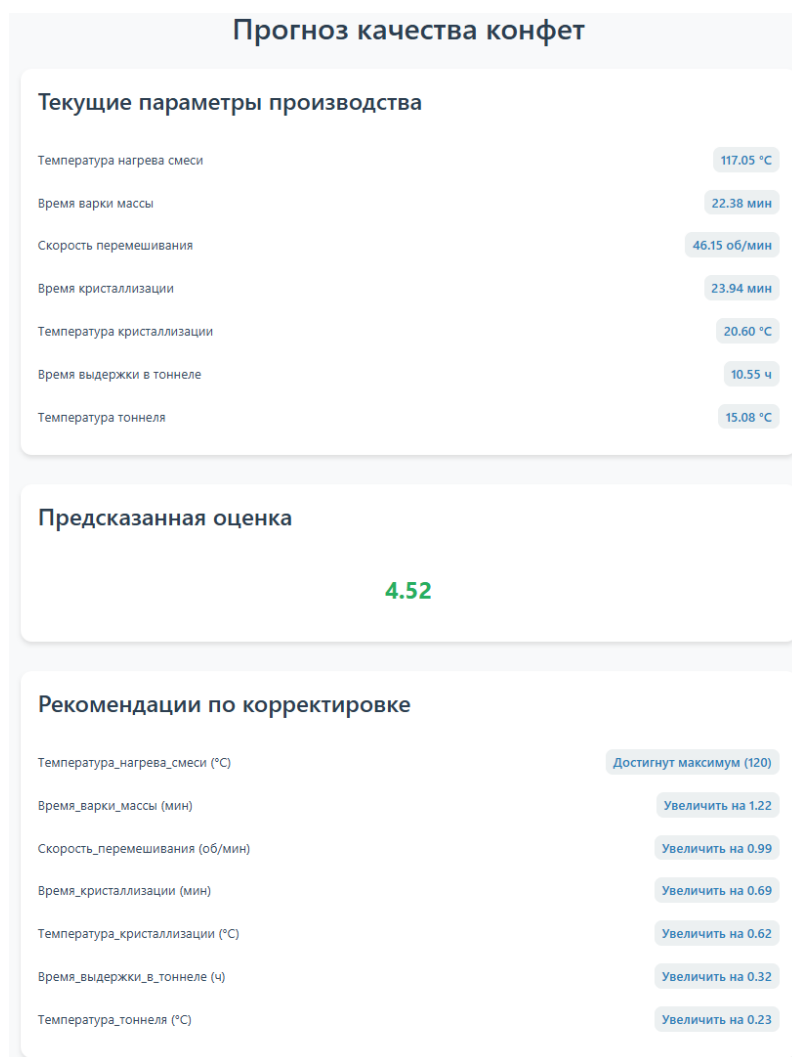


Рис. 2. Данные о технологических параметрах и рекомендации по корректировке

На рис. 3 представлен выводимый график зависимости оценки качества от технологических параметров, у каждого параметра есть свой градиент (положительное или отрицательное влияние на показатель оценки вкуса). Градиенты в нейронной сети выполняют роль «инструктора», который корректирует внутренние

параметры модели (веса) для минимизации ошибки предсказания. В контексте задачи прогнозирования экспертной оценки качества продукции градиенты определяют, как изменения технологических параметров (например, температуры, времени операции) влияют на итоговый результат.

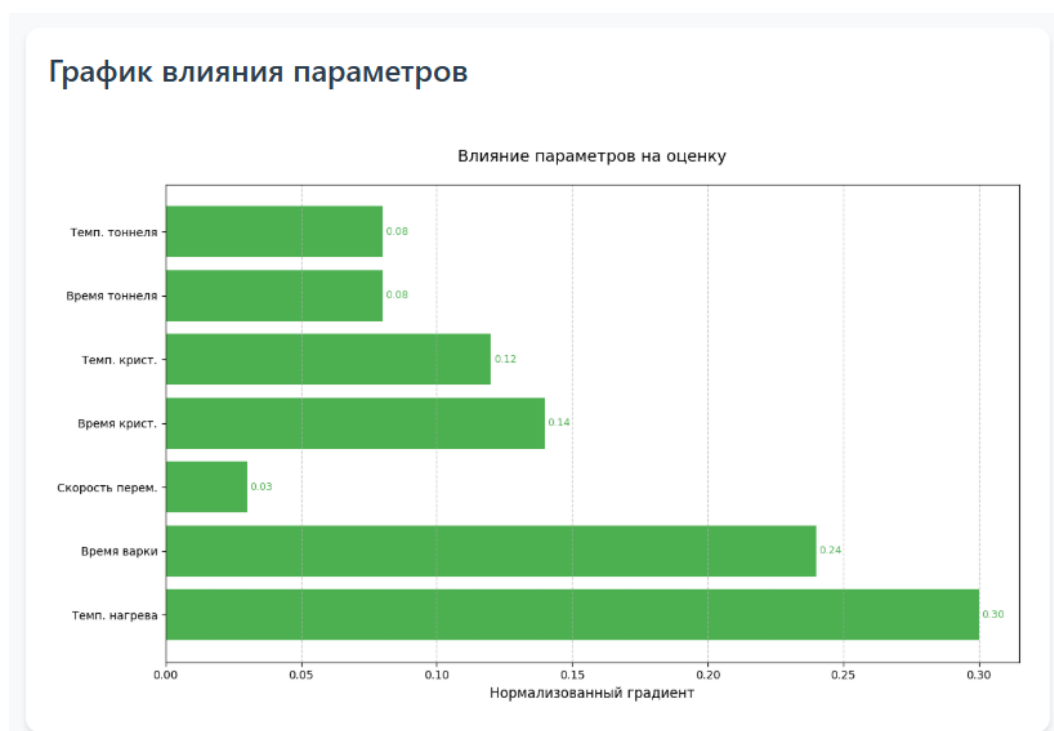


Рис. 3. График влияния параметров на оценку качества

Разработанная автоматизированная система прогнозирования на основе нейросети позволяет улучшить показатели качества кондитерской продукции и помогает определить приоритеты модернизации оборудования. Реализованный подход может быть адаптирован для других типов кондитерских изделий и технологических процессов, что делает его универсальным инструментом повышения эффективности производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Титов, А. К.* Состояние и перспективы развития кондитерской промышленности Российской Федерации на современном этапе / А. К. Титов // Вестник Академии знаний. – 2021. – № 47(6). – С. 319–323. – DOI: 10.24412/2304-6139-2021-6-319-323. – EDN VOVZNV.

2. *Благовещенский, И. Г.* Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.06 / Благовещенский И. Г. ; МГУПП. – Москва, 2018.

3. *Репников, А. И.* Разработка нейронной сети для определения кавитационного запаса насосных агрегатов / А. И. Репников, Ю. П. Сердобинцев, М. П. Кухтик // Известия ВолГГТУ : научный журнал № 3 (250) / ВолГГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 69–71. – DOI: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-69-71.

4. Введение в архитектуры нейронных сетей [Электронный ресурс]: сайт. – URL: <https://habr.com/ru/companies/oleg-bunin/articles/340184/> (дата обращения: 04.05.2025)

5. Функции активации нейросети: сигмоида, линейная, ступенчатая, ReLu, tahn [Электронный ресурс]: сайт. – URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/activation-functions/> (дата обращения: 04.05.2025)