



Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК637.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.002

EDN: LLDEXU

ЦИФРОВОЙ СЕРВИС ТЕХНОЛОГА: ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВЫХ РЕЦЕПТУР ПЛАВЛЕННЫХ СЫРОВ

Елена Михайловна Нагорных ¹, Ольга Николаевна Мусина ²

^{1,2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия,

¹ elena_nagornikh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3051-1381>

² musinaolga@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4938-8136>

Аннотация. В статье представлена разработка цифрового сервиса для технологов, включающего базу данных «Рецептуры плавленых сыров», компьютерные программы: «Программа для управления электронным справочником рецептов плавленых сыров» и программы для обучения нейросети «Пищевые системы». Разработанный инструментарий позволяет прогнозировать ожидаемое качество рецептов с достоверностью не менее 80 %, ускоряя разработку новых продуктов и сокращая затраты на опытные выработки.

Ключевые слова: плавленые сыры, база данных, нейросеть, прогнозирование качества, цифровой сервис.

Для цитирования: Нагорных Е. М., Мусина О. Н. Цифровой сервис технолога: проектирование новых рецептов плавленых сыров // Ползуновский вестник. 2026. № 2, С. 14–19. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.002. EDN: <https://elibrary.ru/LLDEXU>.

Original article

DIGITAL TECHNOLOGIST SERVICE: DESIGNING NEW RECIPES FOR MELTED CHEESES

Elena M. Nagornyh ¹, Olga N. Musina ²

^{1,2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia,

¹ elena_nagornikh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3051-1381>

² musinaolga@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4938-8136>

Abstract. The article presents the development of a digital service for technologists, including the database "Recipes of Processed Cheeses," computer programs: "Program for Managing the Electronic Reference of Processed Cheese Recipes" and programs for training the neural network "Food Systems." The developed toolkit allows predicting the expected quality of recipes with an accuracy of at least 80%, accelerating the development of new products and reducing the costs of pilot production.

Keywords: processed cheeses, database, neural network, quality forecasting, digital service.

For citation: Nagornyh, E. M. & Musina, O. N. (2026). Digital technologist service: designing new recipes for melted cheeses. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 14-19. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.02.002. EDN: <https://elibrary.ru/LLDEXU>.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с нестабильными качественными характеристиками сырья, изменениями логистических цепочек поставок промышленного оборудования и сырья, постоянно меняющимися условиями производства, колебаниями спроса и предложения на продукцию, нечеткими целевыми технологическими, социальными и экономическими критериями управления и принятия решений предприятиям пищевой промышленности требуется внедрение цифровых технологий для ускорения разработки новых продуктов и повышения их качества. Плавленые сыры занимают значительную долю рынка молочной продукции, однако процесс создания новых рецептов остается трудоемким и требует обработки больших массивов данных. Актуальной задачей является создание цифрового

инструментария, позволяющего технологам накапливать, анализировать и использовать информацию о существующих рецептурах, а также прогнозировать качество разрабатываемых продуктов на ранних этапах.

Цель настоящей работы – разработка цифрового сервиса для технологов, включающего базу данных рецептов плавленых сыров, программу управления справочником и нейросеть для прогнозирования ожидаемого качества рецептур.

МЕТОДЫ

Материалы. Для наполнения базы данных выбор информации о рецептурах плавленых сыров осуществлялся из следующих источников:

- официально изданных сборников технологических инструкций по производству плавленых сыров;

©Нагорных Е. М., Мусина О. Н., 2026

ЦИФРОВОЙ СЕРВИС ТЕХНОЛОГА: ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВЫХ РЕЦЕПТУР ПЛАВЛЕННЫХ СЫРОВ

- информации из публикаций, индексированных в международных базах научного цитирования;
- диссертаций, размещенных в «Российской государственной библиотеке»;
- патентов, рецензируемых научных монографий и учебных пособий;
- статистически обработанных результатов собственных исследований.

Методы. При проектировании базы данных использовалась реляционная модель, выбранные инструменты для разработки ИС (Oracle Database Express Edition для базы данных и Oracle Application Express для компьютерной программы), для обучения нейросети Jet Brains Py Charm Community Edition являются свободными. Модель нейросети разработана на основе обучения с учителем. Оценка точности прогнозирования выполнялась по средней абсолютной ошибке (MAE).

РЕЗУЛЬТАТЫ

База данных (БД) «Рецептуры плавленых сыров» предназначена для накопления, хранения, анализа и выдачи информации о рецептурах плавленых сыров.

Модель базы данных была разработана таким образом, чтобы дать возможность оперативно анализировать и выбирать из имеющихся рецептур плавленых сыров необходимую рецептуру, на основе различных параметров, а также практически без изменений адаптировать ее к рецептурам любых пищевых систем.

На рисунке 1 изображена модель базы данных «Рецептуры плавленых сыров».

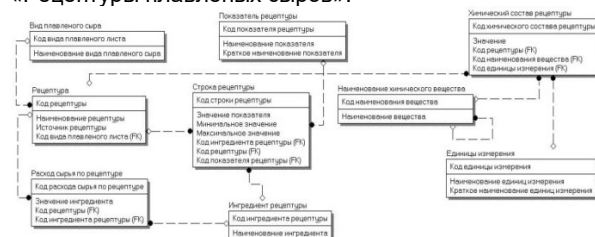


Рисунок 1 – Модель базы данных «Рецептуры плавленых сыров»

Figure 1 – Model of the "Processed Cheese Recipes" database

База данных прошла официальную государственную регистрацию под № 2023620806 [1]. На момент регистрации БД в ней содержалось 869 рецептур плавленых сыров. БД предусматривает возможность пополнения новыми рецептурами плавленых сыров и открыта для корректировки имеющихся рецептур.

Для поддержки функционирования БД нами на языке программирования Java написана программа для управления электронным справочником рецептур плавленых сыров (свидетельство о государственной регистрации № 2023618007) [2]. Программа написана в среде разработки Oracle Application Express, что позволяет реализовать web-приложение, поддерживаемое большим количеством браузеров на любой платформе.

На рисунке 2 представлена информация о рецептуре плавленого сыра

а)

б)

Рисунок 2 – Рецептура плавленого сыра:
а – рецептура сыра; б – рецептурный расчет сыра
Figure 2 – Recipe for processed cheese:
а – cheese recipe, б – cheese recipe calculation

«Программа для управления электронным справочником рецептур плавленых сыров» позволяет пользователю в удобном для него интерфейсе на основе данных о внесенных рецептурах плавленых сыров отбирать рецептуры по различным критериям и их сочетаниям, при отсутствии на складе какого-либо вида сырья из базы данных выводит предложения по замене на основе химического состава ингредиентов.

Пример отбора рецептур по ингредиенту представлен на рисунке 3.

Рисунок 3 – Поиск рецептур по ингредиенту

Figure 3 – Searching for recipes by ingredient

Возможен поиск ингредиентов для замены в составе рецептуры по конкретному показателю пищевой ценности (например, содержание аминокислот) представлен на рисунке 4. Например, программа предложит заменить в рецептуре брынзу (в качестве источника незаменимых аминокислот) на другие конкретные сыры с указанием содержания в них суммы незаменимых аминокислот.

Рисунок 4 – Поиск аналогичного сырья по химическому составу заданного ингредиента
Figure 4 – Search for similar raw materials based on the chemical composition of a given ingredient

Также в программе реализован поиск рецептов по конкретному ингредиенту. Например, будут отфильтрованы рецепты плавленого сыра, включающие в перечень используемого сырья молочный альбумин.

Функционал программы позволяет отфильтровать рецепты плавленого сыра по наличию информации о конкретном показателе пищевой ценности (например, содержание в сыре витамина В₃). В результате будут выведены рецепты, содержащие данный показатель пищевой ценности, отфильтрованные в порядке возрастания содержания витамина В₃.

Также можно рассчитать рецептуру, указав ингредиенты и нормативные показатели, пример расчета приведен на рисунке 5.

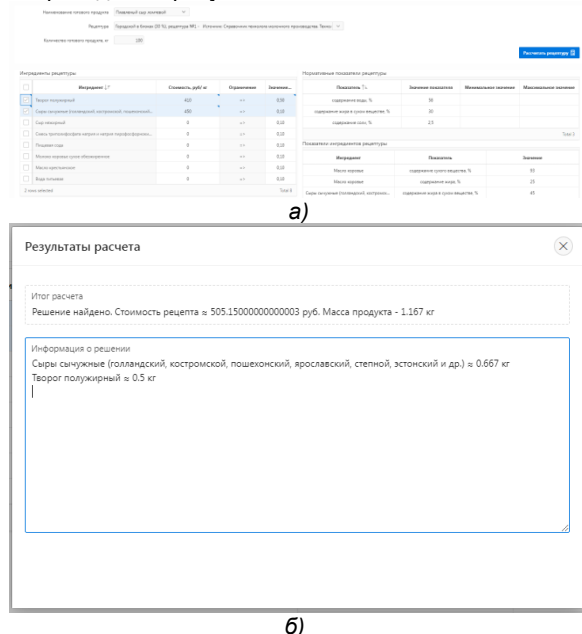


Рисунок 5 – Расчет рецептуры с применением симплекс-метода

Figure 5 – Recipe calculation using the simplex method

При работе с программой можно при необходимости выгружать рецепты в формате отчета в формате xls (рисунок 6).

«Программа для управления электронным справочником рецептов плавленых сыров» может использоваться в качестве электронного справочника технологов, других специалистов молочной промышленности, научных работников пищевой отрасли, может быть полезна в расчетах сбалансированных рационов питания.

Для разработки новых рецептов и изменения уже существующих для технологов была разработана специальная программа для обучения нейросети «Пищевые системы» с помощью библиотеки Keras [3].

В связи с относительно небольшим объемом данных, с которыми будет работать нейросеть (менее 1000 рецептов плавленых сыров) и для повышения достоверности прогнозирования, было принято решение разработать модель обучения с учителем (рисунок 7).

При использовании этой модели нейросеть получает входные обучающие данные, содержащие метки правильных ответов, что позволяет нейросети выявлять закономерности на примерах и в дальнейшем самой устанавливать метки для данных.

Входные обучающие данные в нашем случае –

значения столбцов рецептов, а меткой, содержащей правильный ответ, или целевой переменной, будет введенный нами условный показатель QUALITY, отражающий интегральное ожидаемое качество рецептуры.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	плавленый сыр														
2															
3	Рецептура														
4	на плавленый сыр														
5	«Сливочный», рецептура №1»														
6															
7	Ароматизатор «Сливочный»														
8	Молоко коровье сухое обезжиренное														
9	Соль-120														
10	Соль-620														
11	Соль-90														
12	Соль поваренная														
13	Сорбат калия														
14	Стабилизатор														
15	Сыворотка сухая														
16	Сыр нежирный для плавления														
17	Сыры полужирные														
18															
19															
20	Рецептура														
21	на плавленый сыр														
22	«Без добавок (45 %), рецептура №1»														
23															
24	Вода питьевая														
25	Масло коровье														
26	Молоко коровье сухое обезжиренное														
27	Соль-120														
28	Сыр нежирный														
29	Сыры полужирные														
30	Творог обезжиренный														
31	Стандарт														
32															
33															
34	Рецептура														
35	на плавленый сыр														
36	«Венский сливочный, рецептура №1»														
37															
38	Вода питьевая														
39	Масло коровье														
40															

Рисунок 6 – Отчет из «Программы для управления электронным справочником рецептов плавленых сыров»

Figure 6 – Report from the "Program for Managing the Electronic Handbook of Processed Cheese Formulations"

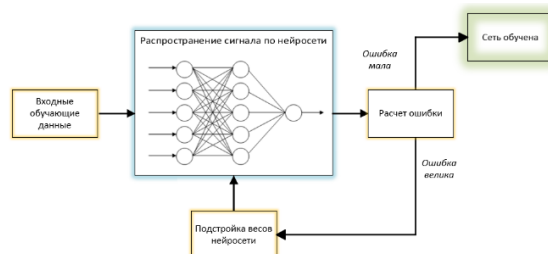


Рисунок 7 – Обучение нейросети с учителем (схема процесса)

Figure 7 – Neural network training with a teacher

Обучение нейросетей начинается с перемешивания данных в наборе данных, чтобы избежать возможной сортировки по какому-либо признаку и сохранить случайность данных, затем происходит разделение набора на 3 выборки: обучающая выборка, тестовая выборка, проверочная выборка.

Обучающая выборка – это набор данных, на котором модель обучается, настраивая свои веса и определяя зависимости между входными обучающими данными и целевой переменной. Тестовая выборка – это набор данных, на которых модель не обучалась, этот набор нужен для оценки качества и точности будущих прогнозов, необходим разработчику программы для контроля и отладки своего кода. Проверочная выборка – это набор данных, на которых модель не обучалась, этот набор нужен для оценки качества и точности будущих прогнозов. Обучающая выборка необходима для обучения нейросети, тестовая – для оценки качества обучения нейросети, проверочная выборка поможет еще раз оценить качество

ЦИФРОВОЙ СЕРВИС ТЕХНОЛОГА: ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВЫХ РЕЦЕПТУР ПЛАВЛЕННЫХ СЫРОВ

обучения нейросети. Обычно при таком разделении выборки соблюдают пропорцию 70/30, где 70 % – обучающая выборка, 30 % – тестовая и проверочная выборки, или 80/20, где 80 % – обучающая выборка, а 20 % – тестовая и проверочные выборки.

Далее необходимо разработать модель нейросети. Под моделью нейросети подразумевается результат работы алгоритма машинного обучения, выполняемый на обучающей выборке и представляющий собой правила, веса и другие данные, специфичные для алгоритма и необходимые для прогнозирования.

Для нашего набора данных мы предлагаем модель нейросети, состоящую из входного слоя на 8 нейронов, двух скрытых слоев по 64 нейрона и выходного слоя из одного нейрона. Входной слой – значения столбцов рецептов: массовая доля (%) жира, белков, влаги, жира в сухом веществе, золы, органических кислот, сахарозы, пищевой соли, сухого вещества (рисунок 8), выходной слой (целевая переменная) – условный показатель QUALITY, отражающий интегральное ожидаемое качество рецептуры и принимающий условное значение от 0 до 10 условных единиц.

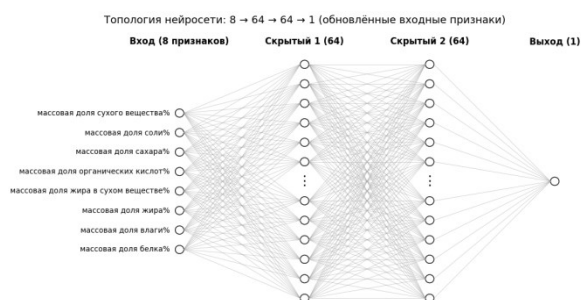


Рисунок 8 – Модель нейросети «Пищевые системы»

Figure 8 – Neural Network Model “Food Systems”

Обучение нейросети происходит до тех пор, пока она не сможет прогнозировать правильные ответы для тестовой выборки. В связи с тем, что нейросеть не в состоянии освоить с первого раза информацию, содержащуюся в обучающей выборке, необходимо несколько циклов обучения (эпох). Под эпохой понимается, что вся обучающая выборка прошла через нейронную сеть в прямом и обратном направлении. Так как обучающая выборка не может вся проходить через нейросеть, ее делят на пакеты (батчи). Количество итераций – это число пакетов (батчей), необходимых для завершения эпохи.

Для того чтобы определить оптимальное количество циклов обучения, необходимо контролировать в процессе обучения модели нейросети среднюю абсолютную ошибку (Mean Absolute Error, MAE), которая позволяет определить точность функционирования предлагаемой нами модели нейросети. Чем ниже MAE, тем точнее модель способна предсказывать (прогнозировать) фактические значения.

Средняя абсолютная ошибка MAE вычисляется по формуле 1:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|, \quad (1)$$

где y_i – наблюдаемое значение для i -го цикла обучения или эпохи; $\hat{y}_i$ – прогнозируемое значение для i -го цикла обучения или эпохи; n – общее количество циклов обучения или эпох. Нейросеть «Пищевые системы» создана для прогнозирования ожидаемого качества рецептуры. Точность прогноза будем оценивать

по значению MAE проверочной выборки (формула 1). Оптимальное количество циклов обучения будем определять исходя из минимального значения средней абсолютной ошибки проверочной выборки.

Для нейросети «Пищевые системы» путем перебора циклов обучения от 8 до 5000 эпох и анализа величины MAE установлено, что среднюю абсолютную ошибку проверочной выборки на уровне не более 20 % позволят обеспечить следующие параметры:

- количество циклов обучения (эпох) – не менее 40;
- количество пакетов (батчей) – 10;
- количество итераций – 10 % от исходного набора данных (для нашего набора данных, содержащего 869 рецептов плавленых сыров, количество итераций 87).

Все этапы машинного обучения нейросети «Пищевые системы» проводились посредством самостоятельно написанной на языке программирования Python программы (№ 2023684297 от 14.11.2023 г.) [3] с использованием датасета «Программа для управления электронным справочником рецептов плавленых сыров». Предварительно было проверено, что все значения в датасете не имеют пропусков, все типы корректные и являются числовыми.

На первом этапе был подготовлен файл данных CSV с разделителями-запятыми (Comma-Separated Values), включающий рецепты и показатели, типичные для плавленых сыров (массовая доля белка, влаги, сухих веществ, жира в сухом веществе и т.д.), фигурирующие в предлагаемой нами модели нейросети «Пищевые системы». Если единичный показатель для конкретной рецептуры не задан, его значение приравнивалось к 0.

Также в файл CSV включено поле «QUALITY» – введенный нами условный показатель ожидаемого интегрального качества рецептуры. Для обучения нейронной сети «Пищевые системы» поле QUALITY предварительно заполнено на основе органолептических свойств рецептур.

Таким образом, нейросеть «Пищевые системы» получила входные обучающие данные, содержащей метки правильных и неправильных ответов о рецептурах и показателях для плавленого сыра.

Перед обучением нейросети сделана предварительная оценка входных обучающих данных, а затем происходит собственно процесс обучения нейросети.

Обучение начинается с перемешивания данных в наборе, чтобы избежать возможной сортировки по какому-либо признаку и сохранить случайность данных.

Затем набор данных разделяется на 3 выборки: обучающая выборка, тестовая выборка, проверочная выборка, в пропорции 80/20, где 80 % – обучающая выборка, а 20 % – тестовая и проверочные выборки.

Из набора данных, содержащего 869 рецептов плавленых сыров, выделяем обучающую выборку, содержащую 695 рецептов (80 % от общего количества рецептов), тестовую выборку, которая составляет 87 рецептов (10 % от общего количества рецептов) и проверочную выборку, которая также составляет 87 рецептов (10 % от общего количества рецептов).

Обучение проведено в соответствии с ранее установленными параметрами: количество циклов обучения 200, количество пакетов – 10, количество итераций – 87.

Сначала нейросетью «Пищевые системы» был проведен анализ, все ли значения заполнены корректно по всей базе рецептов в целом.

После анализа данных запускаем обучение

нейросети «Пищевые системы», из набора данных, содержащего 869 рецептов плавящихся сыров, выделяем обучающую выборку, содержащую 695 рецептов (80 % от общего количества), тестовую выборку, которая составляет 87 рецептов (10 % от общего количества рецептов) и проверочную выборку, которая также составляет 87 рецептов (10 % от общего количества рецептов). Гистограммы, отражающие распределение баллов качества рецептов в этих выборках, представлены на рисунке 9.

Для смоделированной нами тестовой рецептуры плавленого пастообразного сыра, с входными параметрами, указанными на рисунке 4.2.10, нейросеть «Пищевые системы» прогнозирует ожидаемое значение качества рецептуры $QUALITY = 8,91$ условных единиц, достоверность прогноза – 81,04 %.

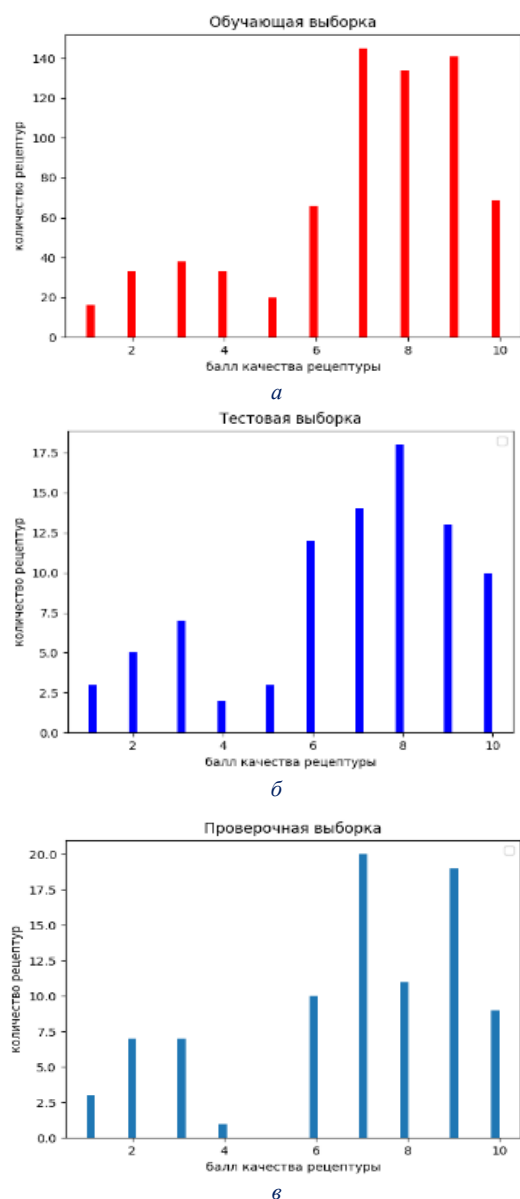


Рисунок 9 – Гистограммы плавленого сыра: а – обучающая выборка, б – тестовая выборка, в – проверочная выборка

Figure 9 – Histograms of processed cheese: a – training sample, b – test sample, c – validation sample
Целевой показатель достоверности прогнози-

вания, установленный нами, составляет не менее 80 % (рисунок 10).

Кроме того, в результате анализа процесса обучения нейросети установлено, что для корректной работы нейросети необходимо, чтобы после разделения набора данных на обучающую, тестовую и проверочную выборку все возможные значения баллов качества рецептуры фигурировали в каждой выборке, что обычно достигается при наличии в наборе данных более 200 рецептов.

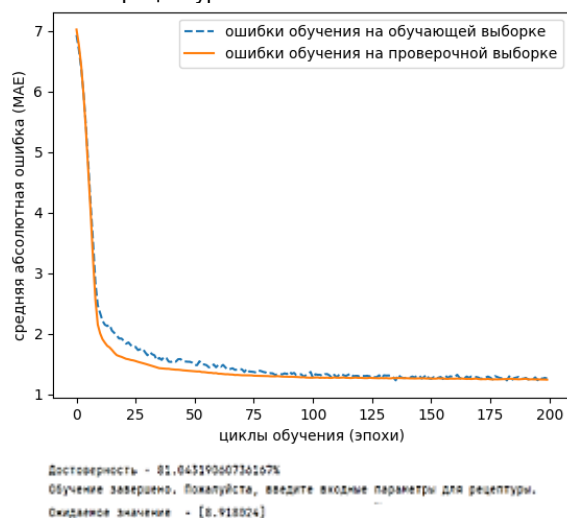


Рисунок 10 – Прогнозирование нейросетью «Пищевые системы» ожидаемого качества рецептуры плавленого сыра

Figure 10 – Prediction of the expected quality of processed cheese by the Food Systems neural network

Апробация нейросети в лаборатории ЦКИ «АлтайБиоЛакт» подтвердила эффективность разработанного инструментария для прогнозирования ожидаемого качества новых вариантов рецептов.

ОБСУЖДЕНИЕ

1. Разработка цифрового инструментария, адаптированного к потребностям сыродельной отрасли, является актуальной научной задачей.

В разработанный нами цифровой сервис для технологий «Разработка новых рецептов плавленых сыров» входит база данных «Рецептуры плавленых сыров», включающая 869 рецептов, и «Программа для управления электронным справочником рецептов плавленых сыров» и нейросеть «Пищевые системы», обученная на наборе данных (рецептурах) из базы данных.

Модель нейросети «Пищевые системы» состоит из входного слоя на 8 нейронов, 2 скрытых слоев по 64 нейрона и выходного слоя из 1 нейрона. Выходной слой (целевая переменная) – введенный нами условный показатель $QUALITY$, отражающий интегральное ожидаемое качество рецептуры и принимающий значение от 0 до 10 условных единиц.

Обученная нейросеть «Пищевые системы» подтвердила свою эффективность во время апробации для прогнозирования ожидаемого качества новых вариантов рецептов в лаборатории «Центр комплексных исследований и экспертной оценки пищевой продукции «АлтайБиоЛакт».

Установлено, что обученная нейросеть «Пищевые системы» работает эффективно и может быть

ЦИФРОВОЙ СЕРВИС ТЕХНОЛОГА: ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВЫХ РЕЦЕПТУР ПЛАВЛЕННЫХ СЫРОВ

рекомендована для практического применения.

Разработанный инструментарий позволяет эффективно применять современные цифровые технологии для сбора, обработки, анализа открытой для редактирования БД «Рецептуры плавленых сыров», прогнозировать с помощью нейросети «Пищевые системы» интегральный ожидаемый показатель качества рецептуры на начальных этапах жизненного цикла продукта. Таким образом, предлагаемый нами цифровой инструментарий позволяет ускорить разработку новых или изменение уже имеющихся рецептов плавленых сыров, прогнозировать их качество перед опытной выработкой и до запуска в производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023620806 Рос. Федерация. Рецептуры плавленых сыров : № 2023620498 : заявл. 22.02.2023 : опубли. 06.03.2023, Бюл. № 3. 2 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023618007 Российская Федерация. Программа для управления электронным справочником рецептов плавленых сыров : № 2023616639 : заявл. 04.04.2023 : опубли. 18.04.2023, Бюл. № 4. 2 с.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023684297 Российская Федерация. Программа для обучения нейросети «Пищевые системы» : № 2023683285 : заявл. 03.11.2023 : опубли. 14.11.2023, Бюл. № 11. 2 с.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 17 декабря 2025; одобрена после рецензирования 24 апреля 2026; принята к публикации 18 мая 2026.

The article was received by the editorial board on 17 Dec 2025; approved after editing on 24 Apr 2026; accepted for publication on 18 May 2026.

Информация об авторах

Е. М. Нагорных – мл. науч. сотр. ЦКИ «АлтайБиоЛакт» ФГБОУ ВО АлтГТУ.

О. Н. Мусина – д-р техн. наук, гл. науч. сотр. ЦКИ «АлтайБиоЛакт» ФГБОУ ВО АлтГТУ.

REFERENCES

1. Musina, O.N. & Nagornykh, E.M. (2023). Recipes of processed cheeses. Certif. No. 2023620806. Russian Federation, published on 06.03.2023. Bull. No. 3. (In Russ.).
2. Musina, O.N. & Nagornykh, E.M. (2023). Program for managing an electronic reference book of recipes of processed cheeses. Certif. No. 2023618007. Russian Federation, published on 18.04.2023. Bull. No. 4. (In Russ.).
3. Musina, O.N. & Nagornykh, E.M. (2023). Program for training the neural network "Food systems". Certif. No. 2023684297. Russian Federation, published on 14.11.2023. Bull. No. 11. (In Russ.).

Information about the authors

E.M. Nagornykh - junior researcher «AltaiBio-Lact», Polzunov Altai State Technical University.

O.N. Musina - D.Sc., Professor of the Institute for Biotechnology, Food and Chemical Engineering, Polzunov Altai State Technical University.