

ИНФОРМАЦИОННО-СОВЕТУЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ РЕЦЕПТУР ПЛАВЛЕННЫХ СЫРОВ**О.Н. Мусина^{1,2}, Е.М. Нагорных²**¹ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Россия² ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», Россия

Современные методы проектирования рецептур, основанные на принципах пищевой комбинаторики, должны использовать возможности цифрового инструментария, в том числе нейросетей, для решения рецептурных задач по созданию продуктов с желаемым набором характеристик и без неоправданного перерасхода ингредиентов. Поэтому разработка цифрового инструментария, адаптированного к потребностям пищевой отрасли при разработке новых пищевых систем с желаемыми характеристиками, в том числе плавленых сыров, является актуальным и перспективным направлением [1–6].

Цель работы – разработка информационно-советующей системы для технолога пищевого производства, необходимая при проектировании пищевых систем и совершенствовании рецептур многокомпонентных пищевых продуктов.

Информационно-советующие системы обеспечивают формирование множества альтернатив принятия решений по управлению объектом, в нашем случае – советы-решения по вариантам рецептур пищевых систем. Технолог пищевого предприятия выбирает конкретный вариант из предложенных альтернатив с учетом своих знаний технологии и опыта работы с конкретным видом пищевой продукции.

Цель работы согласуется с основными приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации, отраженными в «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденной Указом Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642, а именно: в части пункта «г» – создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания и пункта «а» – переход к передовым цифровым производственным технологиям, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.

Для достижения поставленной цели проанализированы актуальные пути цифровой трансформации пищевой отрасли и на основе методов Data Science и Machine Learning разработана информационно-советующая система для проектирования пищевых систем, включающая [7–14]: информационную систему «Химический состав продовольственного сырья и пищевых продуктов», информационную систему «Плавленые сыры: отечественные патентные документы», информационную систему «Рецептуры плавленых сыров»,

Информационную систему «Нормы физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах для различных групп населения», а также разработана и обучена нейросеть для проектирования пищевых систем на примере плавленых сыров.

Все этапы анализа данных и машинного обучения проводились посредством самостоятельно написанной программы на языке программирования Python.

Нами разработана нейросеть, использующая обучение с учителем (рис. 1), которая получила входные обучающие данные, содержащей метки правильных и неправильных ответов (качество рецептуры QUALITY), о рецептурах плавленых сыров и показателей для рецептур. На основе базы данных «Рецептуры плавленых сыров» [13] подготовлен файл, включающий рецептуры и показатели, которые используются в рецептурах данного готового продукта. В нашем наборе входных обучающих данных участвовало 869 рецептур плавленых сыров, все значения ненулевые, не имеют пропусков, все типы корректные и являются числовыми. Если показатель для рецептуры не задан, его значение приравнивалось к 0. Также в файл было включено новое поле – качество рецептуры (QUALITY). Для данного обучения нейронной сети качество рецептуры было заполнено случайной генерацией, где собственным рецептурам присваивалось значение от 1 до 5, а рецептурам из официальных источников – от 6 до 10. Таким образом, создана нейронная сеть, у которой 9 нейронов на входном слое, 2 скрытых слоя по 65 нейрона и выходной слой, состоящий из 1 нейрона.

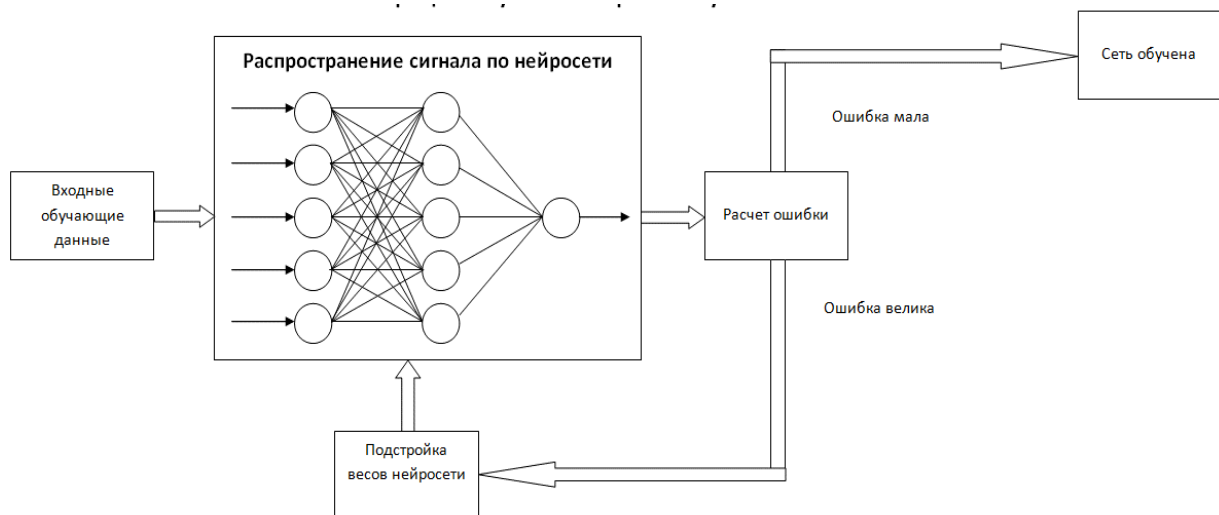


Рисунок 1 – Процесс обучения нейросети с учителем

Для визуального анализа данных, содержащихся в наборе, используют гистограммы столбцов. Для определения зависимостей между столбцами используют матрицу корреляции (рис. 2). Данная матрица визуализирует линейную зависимость между значениями столбцов с использованием коэффициента корреляции Пирсона. Значение данного коэффициента принимается в пределах от -1 до 1, где -1 указывает на отрицательную линейную корреляцию между 2 столбцами, 1 – положительную линейную корреляцию между 2 столбцами, 0 – отсутствие линейно корреляции между 2 столбцами. Чем больше по модулю коэффициент корреляции – тем сильнее связь между двумя переменными.

Следует обратить внимание на то, что диагональные значения в матрице корреляции равны 1, потому что корреляция между переменной и самой собой всегда равна 1 и на то, что матрица симметрична относительно диагональных значений, поэтому рассматриваем, нижнюю треугольную часть матрицы. Для удобства пользователя данная матрица окрашивается в разные цвета в зависимости от коэффициента корреляции.

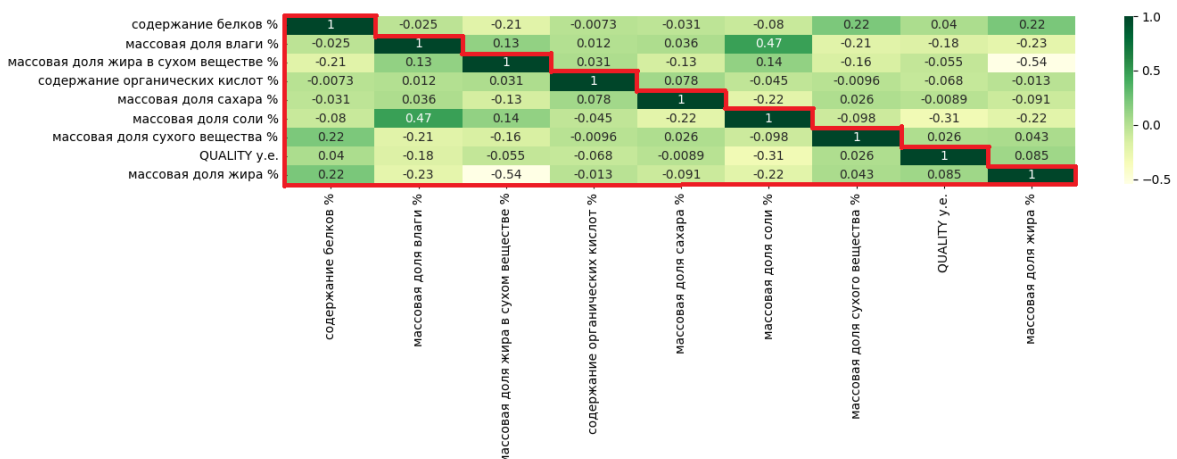


Рисунок 2 – Матрица корреляции данных

После анализа данных запускаем обучение нейросети: из набора данных, содержащего 869 рецептов плавленых сыров, выделяем обучающую выборку, содержащую 695 рецептов (80 % от общего количества). Выделяем тестовую выборку, которая составляет 87 рецептов (10 % от общего количества рецептов). Выделяем проверочную выборку, которая составляет 87 рецептов (10 % от общего количества рецептов). В среднем на небольших наборах данных, таких как наш, проводят 100 циклов обучения.

В результате получаем гистограммы зависимости количества рецептов от балла качества рецептуры обучающей выборки, количества рецептов от балла качества рецептуры тестовой выборки, количества рецептов от балла качества рецептуры проверочной выборки и график средней абсолютной ошибки от количества циклов для обучающей и проверочной выборки (рис. 3).

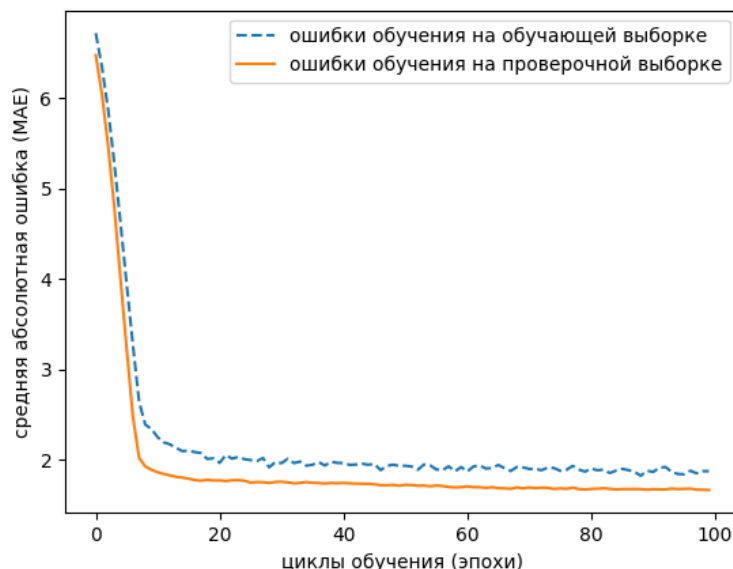


Рисунок 3 – График средней абсолютной ошибки от количества циклов для обучающей и проверочной выборки

Результаты обучения нейронной сети с вариантом рецептуры плавленого сыра «Сырте», по которому была разработана техническая документация и проведена промышленная апробация, представлены на рис. 4.

```

Результат обучения нейросети:
Достоверность - 63.58576409596202%
Обучение завершено. Пожалуйста, введите входные параметры рецепта. Если параметр для рецепта не задан, введите 0.
Введите значение показателя - массовая доля жира%
0
Введите значение показателя - содержание белков %
0
Введите значение показателя - массовая доля влаги %
52
Введите значение показателя - массовая доля жира в сухом веществе %
55
Введите значение показателя - содержание органических кислот %
6.5
Введите значение показателя - массовая доля сахара %
0
Введите значение показателя - массовая доля соли %
0.2
Введите значение показателя - массовая доля сухого вещества %
0
[0.0, 0.0, 52.0, 55.0, 6.5, 0.0, 0.2, 0.0]
[[ 0.  0.  52.  55.  6.5  0.  0.2  0. ]]
1/1 [=====] - 0s 12ms/step
[[7.704522]]
Ожидаемое значение - [7.704522]
    
```

Рисунок 4 – Результаты обучения нейронной сети для рецептуры нового плавленого сыра

С достоверностью 63,6 % интегральный показатель качества рецептуры нового сыра, спроектированной с помощью информационно-советующей системы, будет составлять 7,7 условных единиц. Это прогнозируемое значение подтвердилось при практической выработке сыра по спроектированной рецептуре.

Результаты исследований использованы при реализации государственного задания № 075–00316–20–01, мнемокод 0611–2020–013, номер темы FZMM-2020–0013.

Литература

1. Цифровая нутрициология: применение информационных технологий при разработке и совершенствовании пищевых продуктов: монография / В.А. Тутельян, О.Н. Мусина, М.Г. Балыхин, М.П. Щетинин, Д.Б. Никитюк. – Москва; Барнаул: АЗБУКА, 2020. – 378 с.
2. Мусина, О.Н. Комбинированные продукты в отечественном сыроделии: монография. – Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2007. – 165 с.
3. Musina O., Putnik P., Koubaa M., Barba F.J., Greiner R., Roohinejad S., Granato D. Application of modern computer algebra systems in food formulations and development: a case study // Trends in Food Science & Technology. – 2017– № 64. – С. 48–59. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.011>
4. Портнов, Н.М. Методология компьютерного проектирования персонализированных рационов питания: дисс... канд. техн. наук 05.18.15 / Н.М. Портнов. – Москва, 2020. – 255 с.
5. Marconi S., Durazzo A., Camilli E., Lisciani S., Gabrielli P., Aguzzi A., Gambelli L., Lucarini M., Marletta L. Food composition databases: considerations about complex food matrices // Foods. – 2018. – Vol. 7. – Issue 1. – P. 2. <https://doi.org/10.3390/foods7010002>
6. Бессонов В.В., Богачук М.Н., Боков Д.О., Макаренко М.А., Малинкин А.Д., Сокурено М.С., Зотов В.А., Шевякова Л.В. Базы данных химического состава пищевых продуктов в эпоху цифровой нутрициологии // Вопросы питания. – 2020. – Т. 89. – № 4. – С. 211–219. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10058>
7. Мусина О.Н., Нагорных Е.М., Мелёшкина Л.Е., Аверьянова Е.В., Школьников М.Н., Орлова Т.Н., Потапова В.А. Химический состав продовольственного сырья и пищевых продуктов // Свидетельство о государственной регистрации № 2021622647; заявка 2021622592; заявл. 17.11.2021; опублик. 24.11.2021
8. Мусина О.Н., Нагорных Е.М. Программа для управления справочником «Химический состав продовольственного сырья и пищевых продуктов» // Свидетельство о государственной регистрации № 2022617444; заявка 2022612821; заявл. 28.02.2022; опублик. 21.04.2022
9. Мусина О.Н., Нагорных Е.М. Нормы физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах для различных групп населения // Свидетельство о государственной регистрации № 2022622121; заявка 2022621449; заявл. 21.06.2022; опублик. 23.08.2022
10. Мусина О.Н., Нагорных Е.М. Программа для управления справочником «Нормы физиологических потребностей в энергии, пищевых и биологически активных веществах для различных групп населения» // Свидетельство о государственной регистрации № 2022663300; заявка 2022662542; заявл. 05.07.2022; опублик. 13.07.2022
11. Мусина О.Н., Нагорных Е.М. Плавленные сыры: отечественные патентные документы // Свидетельство о государственной регистрации № 2023620805; заявка 2023620499; заявл. 22.02.2023; опублик. 06.03.2023
12. Мусина О.Н., Нагорных Е.М. Программа для управления электронным справочником «Плавленные сыры: отечественные патентные документы» // Свидетельство о государственной регистрации № 2023614758РФ; заявка 2023613398; заявл. 22.02.2023; опублик. 06.03.2023
13. Мусина О.Н., Нагорных Е.М. Рецептуры плавленных сыров // Свидетельство о государственной регистрации № 2023620806; заявка 2023620498; заявл. 22.02.2023; опублик. 06.03.2023
14. Мусина О.Н., Нагорных Е.М. Программа для управления электронным справочником рецептур плавленных сыров // Свидетельство о государственной регистрации № 2023618007; заявка 2023616639; заявл. 04.04.2023; опублик. 18.04.2023