

В диссертационный совет 24.2.425.03,
созданный на базе ФГБОУ ВО «Уральский
государственный экономический университет»

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора **Ольги Николаевны Красули**
на диссертационную работу Нагорных Елены Михайловны на тему
«Разработка цифровых инструментов для прогнозирования заданных свойств
пищевых систем на примере плавленых пастообразных сыров»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 4.3.3 Пищевые системы

Актуальность темы диссертационного исследования

Современный этап развития пищевой промышленности Российской Федерации характеризуется активным внедрением цифровых инструментов во все этапы производственной цепочки – от проектирования рецептур до управления качеством готовой продукции. В соответствии с Указом Президента РФ № 145 от 28.02.2024 г. «О Стратегии научно-технологического развития РФ», приоритетными направлениями признаны создание безопасных и качественных продуктов питания, в том числе функциональных, а также переход к передовым технологиям проектирования высокотехнологичной продукции, основанным на применении технологий машинного обучения и искусственного интеллекта. В этом контексте разработка отечественного цифрового инструментария для прогнозирования заданных свойств пищевых систем является не только научно-технической, но и социально значимой задачей, отвечающей вызовам продовольственной безопасности и технологического суверенитета страны.

В диссертационном исследовании Е. М. Нагорных объектом исследования выбран плавленый пастообразный сыр – продукт, занимающий

существенную долю молочного рынка и используемый в повседневном рационе. Технология плавленых сыров обладает высокой гибкостью, позволяя эффективно управлять составом и свойствами конечного продукта путем введения различных ингредиентов, что открывает широкие возможности для создания новых продуктов. При этом невысокая стоимость плавленого сыра позволяет ему быть доступным для разных групп населения.

Несмотря на значительный вклад отечественных и зарубежных ученых в развитие теории и практики сыроделия, до настоящего времени остается неизученной возможность комплексного использования цифрового инструментария – баз данных, информационных систем и нейросетевых моделей – для прогнозирования свойств пищевых систем на этапе их проектирования. Существующие цифровые решения в сыродельной отрасли России носят преимущественно образовательный или справочный характер.

На основании сказанного выше, диссертационное исследование Нагорных Е. М., направленное на разработку и демонстрацию эффективности цифровых технологий для прогнозирования свойств пищевых систем на примере плавленых сыров, является актуальным.

Новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Целью диссертационной работы являлась разработка и валидация информационной системы и нейросетевой модели для прогнозирования органолептических свойств плавленых пастообразных сыров при проектировании их рецептур. В работе предложен цифровой инструментарий для проектирования пищевых систем, включающий информационную систему «Рецептуры плавленых сыров», обеспечивающую поиск, фильтрацию по заданным критериям и автоматизированную замену ингредиентов. Разработана, обучена и валидирована нейросетевая модель «Пищевые системы» для прогнозирования органолептической оценки рецептур, проведена оценка робастности цифрового инструмента в условиях неопределенности и доказана эффективность работы нейросети на примере

модельной линейки плавленых сыров. Установлено влияние гидролизованного коллагена на свойства плавленого пастообразного сыра: его аминокислотный профиль, микроструктуру и реологические характеристики. Предложен механизм действия коллагена как многофункционального модификатора структуры плавленого пастообразного сыра. Подтверждением новизны технических решений являются три свидетельства о государственной регистрации базы данных и программ для ЭВМ.

Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов

Результаты диссертационного исследования обладают теоретической и практической значимостью. Расширены и систематизированы знания об использовании цифровых инструментов для сбора, обработки, анализа данных о пищевых системах, прогнозирования их свойств и повышения эффективности работы с рецептурами в пищевой отрасли. Практическая значимость заключается в разработке технологии и рецептуры плавленого пастообразного сыра «Сырте» с гидролизированным коллагеном, пшеничными отрубями, лецитином подсолнечника (СТО 02067824-006-2023 и ТИ к СТО), линейки из 14 наименований на базе сыра «Сырте», предложении практических рекомендаций по использованию гидролизованного коллагена в составе плавленых сыров; также разработан цифровой инструментарий – нейросетевая модель «Пищевые системы» и информационная система «Рецептуры плавленых сыров». Технология сыра «Сырте» апробирована и внедрена в производство на базе ООО «Сибирское подворье». Материалы диссертационной работы внедрены в учебный процесс Института биотехнологии, пищевой и химической инженерии АлтГТУ. Цифровые инструменты внедрены в работу лаборатории «Алтай-БиоЛакт» и Испытательного центра пищевых продуктов АлтГТУ.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность

При определении цели и задач исследований Нагорных Е.М. был принят во внимание обширный научный опыт отечественных и зарубежных специалистов. Анализ большого количества источников свидетельствует о достаточно глубокой теоретической проработке темы. Положения и выводы диссертации сформулированы в результате логически последовательно выстроенной научной работы, основаны на большом объеме экспериментальных данных. Часть исследований выполнена в рамках проведения НИР по Государственным заданиям Минобрнауки РФ. Достоверность результатов и обоснованность научных положений диссертационной работы подтверждается использованием современных методов анализа, проведением исследований в 3-5-кратной повторности на поверенном оборудовании, апробацией технологии плавленого сыра в промышленных условиях ООО «Сибирское подворье», использованием методов статистической обработки данных.

Основные положения работы доложены и обсуждены на конференциях различного уровня, изложены в 26 публикациях, в т.ч. в 7 статьях в журналах из Перечня ВАК, 2 статьях в изданиях, индексируемых в Scopus, 14 статьях в Сборниках конференций различного уровня.

Диссертационное исследование Нагорных Е.М. раскрывает заявленную тему, поставленные задачи решены, цель – достигнута. Научные результаты и положения, выносимые на защиту, имеют высокую степень новизны и соответствуют паспорту научной специальности 4.3.3 «Пищевые системы» (технические науки).

Оценка объема, структуры и содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Нагорных Елены Михайловны состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 8 приложений. Объем основного текста 197 страниц, который включает 25 таблиц, 49 рисунков. Список литературы включает 290 наименований, в том числе 95 иностранных источников.

Во введении приведена общая характеристика работы, в которой диссертант обосновал ее актуальность, сформулировал цель и задачи, научную новизну и практическую значимость исследования. В первой главе выполнен обзор отечественных и зарубежных источников. Изучены статистические данные по производству и потреблению плавленых сыров, проанализированы современные направления разработки обогащенных и функциональных плавленых сыров, дана оценка перспективности использования лецитина, коллагена и отрубей в составе плавленых сыров. Проанализированы российские цифровые инструменты для сыродельной отрасли, изучен мировой и отечественный опыт применения нейросетей в пищевой промышленности. Во второй главе дано организационно-методическое описание исследований. В третьей главе описана пошаговая методика разработки информационной системы «Рецептуры плавленых сыров», приведен алгоритм разработки, обучения и валидации нейросети «Пищевые системы». В четвертой главе приведены результаты практического применения разработанного цифрового инструментария в процессе создания плавленого сыра с наполнителями. Выводы основаны на полученных результатах исследования и свидетельствуют о достижении цели и задач и исследования.

Аннотация полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертационной работе

1. Представляется недостаточно полным проведенный автором анализ существующих отечественных цифровых решений для сыродельной отрасли и молочной промышленности, в целом. В заключении утверждается, что специализированное программное обеспечение для технологического проектирования в Российской Федерации отсутствует. Вместе с тем, на отечественном рынке представлен специализированный программный комплекс «МультиМилкЭксперт», предназначенный для предприятий молочной промышленности и включающий, в частности, инструменты моделирования и оптимизации рецептур молочных продуктов, в том числе,

плавленных сыров. В связи с этим, сделанный автором вывод об отсутствии в Российской Федерации специализированного программного обеспечения для технологического проектирования рецептур сыров представляется недостаточно обоснованным и требует уточнения.

2. На рис.14 стр.66 диссертации представлен алгоритм обучения нейросети «с учителем». Из рис. 14 неясно, кто и каким образом назначает начальные значения весов показателей?

3. В диссертации неоднократно упоминается термин «информационная неопределенность», но не перечислены факторы, обуславливающие ее наличие (кроме показателей химического состава) и возможные методы ее снижения.

4. В автореферате недостаточно подробно раскрыт алгоритм формирования целевого показателя QUALITY, использованного при обучении нейросетевой модели. В частности, не вполне ясно, каким образом были получены значения выбранного показателя для рецептур обучающей выборки и насколько они обеспечены экспериментальными данными, полученными при органолептической оценке. Представляется, что более подробное описание формирования целевой переменной позволило бы убедительнее обосновать достоверность прогнозной способности разработанной модели.

5. При прогнозировании органолептических свойств (гл.3) в качестве входных параметров нейросети использованы преимущественно показатели химического состава рецептуры. При этом, модель непосредственно не учитывает вид сырья и наполнителей (пищевых добавок), способных оказывать существенное влияние на вкус, запах, цвет и консистенцию продукта. В связи с этим, требуется дополнительное обоснование возможности переноса разработанной модели на рецептуры, содержащие ингредиенты, существенно различающиеся по своим сенсорным характеристикам.

6. В диссертации (гл.3) валидация прогнозной способности нейросети проведена на модельной линейке из 14 рецептов, на основании чего сделан вывод о высокой робастности разработанной модели. Представляется, что расширение независимой валидационной выборки, в том числе, за счет рецептов различного компонентного состава и продукции производителей различной географической принадлежности, позволило бы повысить доказательность данного вывода.

7. Для характеристики качества нейросетевой модели наряду с MAE автор использует показатель «достоверность прогноза», выраженный в процентах. Вместе с тем, методика его расчета представлена недостаточно подробно. Целесообразно было привести математическое определение данного показателя и обосновать его использование, совместно с традиционными метриками качества регрессионных моделей.

8. В представленной регрессионной модели (гл.4) о влиянии дозировок гидролизованного коллагена, лецитина и пшеничных отрубей на органолептическую оценку отсутствуют члены, характеризующие взаимодействие факторов (их произведение), т.к. пищевая система –это не суммативная модель, многие присутствующие в ней ингредиенты имеют биологическое происхождение и взаимодействуют между собой. Необходимость учета этих взаимодействий позволяет повысить точность модели до 20%, что было доказано в работе Николаевой С.В., Бобреновой И.В и др. На мой взгляд, было бы целесообразно пояснить, исследовались ли эффекты взаимодействия указанных компонентов и были ли они исключены из модели вследствие статистической незначимости.

9. Предложенный автором механизм формирования гибридной казеин-коллагеновой матрицы представляет значительный научный интерес(гл.4). Вместе с тем, приведенные результаты микроструктурных и реологических исследований преимущественно характеризуют макро- и микроструктурные последствия внесения гидролизованного коллагена. В этой связи, утверждение о формировании именно гибридной казеин-

коллагеновой матрицы и реализации конкретных механизмов межмолекулярного взаимодействия требует, на наш взгляд, дополнительного прямого экспериментального подтверждения.

10. Отдельные практические рекомендации по использованию разработанного продукта (стр.18 автореферата) для лиц с травмами, возрастными изменениями, спортсменов, а также при нарушениях синтеза коллагена выходят за пределы проведенных в работе технологических исследований. Требуется клиническое подтверждение полученных результатов. Представляется целесообразным более осторожно формулировать подобные рекомендации либо подтверждать их результатами специализированных исследований.

11. Разработанная информационная система сформирована и апробирована преимущественно на рецептурах плавленых сыров, однако, в работе отмечается возможность ее адаптации к рецептурам любых пищевых систем. Представляется, что столь широкое обобщение требует дополнительной апробации на пищевых системах иной природы и структуры.

12. В автореферате не указаны сведения об экономической эффективности разработанных цифровых инструментов для прогнозирования заданных свойств пищевых систем, конкретно, плавленых сыров.

Однако, высказанные замечания не снижают общей высокой положительной оценки диссертационного исследования.

Заключение о соответствии работы критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Е. М. Нагорных представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, в которой на основании проведенных автором исследований представлены комплексные решения предиктивной аналитики свойств пищевых систем и продемонстрирована эффективность разработанных цифровых инструментов на примере плавленых сыров.

Представленные в работе результаты исследований свидетельствуют о решении важной научно-прикладной задачи по разработке новых инструментов проектирования пищевой продукции, основанных на применении технологий машинного обучения и искусственного интеллекта.

На основании вышеизложенного считаю, что по актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа «Разработка цифровых инструментов для прогнозирования заданных свойств пищевых систем на примере плавленых пастообразных сыров», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, **соответствует** требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Нагорных Елена Михайловна, **заслуживает** присуждения искомой ученой степени по специальности 4.3.3 – Пищевые системы (технические науки).

Официальный оппонент:

Доктор технических наук (специальности -05.18.04 и 05.13.18), профессор,
профессор кафедры технологии хранения и
переработки продуктов животноводства
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования

«Российский государственный аграрный
университет – МСХА им. К. А. Тимирязева»
Российская Федерация,

127434, г. Москва,

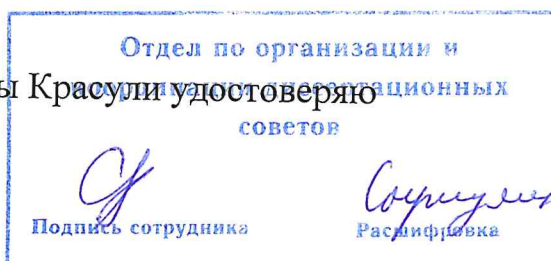
ул. Тимирязевская, 49

Тел.: +7 (499)976-46-12

e-mail: okrasulya@mail.ru

 О. Н. Красуля

Подпись Ольги Николаевны Красули удостоверяю



а 422-09/26 от 01.09.2024 9