

В диссертационный совет 24.2.372.05
на базе ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В.
Плеханова»

О Т З Ы В

официального оппонента доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева», **Нугманова Альберта Хамед-Харисовича** на диссертационную работу **Метленкина Дмитрия Андреевича** на тему: **«Разработка методических подходов применения оптической спектроскопии и гиперспектрального изображения для идентификации и контроля качества пищевых продуктов»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3. Пищевые системы (технические науки).

Актуальность темы диссертационного исследования

В настоящий момент идентификация и контроль качества пищевых товаров проводят с помощью органолептических и инструментальных методов анализа, среди которых, например, ядерный магнитный резонанс или жидкостная хроматография. С одной стороны, такие методы точные и востребованные, но с другой, они являются трудоемкими, разрушающими и для их применения необходима высокая квалификация оператора. В связи с этим все большее распространение получают неразрушающие методы контроля, которые позволяют оценить качество быстро, в режиме реального времени и на месте. Среди неразрушающих методов одними из наиболее востребованных являются методы оптической спектроскопии и анализа изображений. Широкое распространение для мониторинга качества пищевых продуктов получили методы спектроскопии в инфракрасной и ближней инфракрасной области (ИК-, БИК-спектроскопия), спектроскопия в видимом диапазоне, машинное зрение, мультиспектральные и гиперспектральные изображения в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, полученные с помощью цифровых камер. Преимуществом таких методов является их портативность, что увеличивает число возможных приложений (дистанционная съемка, установка камер на сортировочные линии). В результате сбора информации формируется база данных: 2D- или 3D-матрицы, на основании которых с помощью многомерных методов строятся компьютерные модели, которые позволяют решать две основные задачи:

исследование данных с целью классификации и дискриминации объектов; прогнозирование новых значений. Неразрушающие методы контроля являются перспективным направлением для развития оперативного контроля пищевых продуктов на всех этапах технологического жизненного цикла товаров, однако для их эффективного использования необходима разработка методических подходов применения оптической спектроскопии и гиперспектрального изображения для идентификации и контроля качества пищевых продуктов. С учетом указанного выше, считаю, что актуальность темы диссертационной работы Метленкина Дмитрия Андреевича не вызывает сомнений.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов работы Метленкина Д.А. не вызывает сомнений, в том числе и исходя из его публикаций в высокорейтинговых журналах, в том числе входящих в перечни Scopus и Web of Science.

Краткая характеристика основного содержания диссертации. Диссертация структурирована следующим образом: обзор литературы, объекты и методы исследования, главы, описывающие результаты экспериментов.

Во введении представлена актуальность выбранной темы, сформулированы цель, задачи, изложена научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, указаны положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор отечественной и мировой научной литературы, рассматривающей применение методов оптической спектроскопии и анализа изображений для идентификации пищевых товаров. Описана характеристика многомерных методов анализа. Представлен обзор современных приложений методов оптической спектроскопии и анализа изображений для идентификации зерновых культур, животных и растительных масел, плодоовощной продукции.

Вторая глава посвящена постановке научной задачи, приведено описание этапов и объектов исследования, применяемых в работе методов. В качестве объектов исследования обоснованы и отобраны: сливочное масло, гречневая крупа и зерно гречихи, зерновой кофе, плоды авокадо сорта Хасс.

В третьей главе изложена разработка моделей классификации пищевых товаров: гречневой крупы по времени урожая (весенний, осенний), размера ядра и в зависимости от гидротермической обработки; зернового

кофе по ботаническому виду, обжарке и географическому региону произрастания. Автором были выявлены критерии идентификации гречневой крупы по времени сбора крупы (осень/весна), гидротермической обработке (ГТО) и срокам хранения по UV-VIS-NIR-спектрам и координатам спектроколориметрической системы CIE $L^*a^*b^*$; критерии идентификации – функциональные группы полос поглощения ИК-спектра в диапазоне 1700-700 см^{-1} для отличия зернового кофе от декофеинизированного кофе. В данной главе также описана разработка системы классификационных функций градации образцов зернового кофе по географическому месту произрастания.

Четвертая глава посвящена разработке калибровочных моделей определения показателей качества пищевых продуктов сочетанием методов ИК-спектроскопии и многомерного анализа: кислотного числа жира (КЧЖ) гречневой крупы и содержания пальмового масла в составе сливочного и растительно-сливочного масла.

В пятой главе описана разработка методического подхода для анализа гиперспектральных изображений, полученных с использованием портативной и лабораторной камер, для контроля качества пищевых товаров:

– для сортировки зерен гречихи по степени выполненности на основании отбора спектральных сигнатур из гиперспектрального изображения разработана классификационная модель PLS-DA.

– для обнаружения визуально не выявляемых дефектов авокадо разработаны компьютерные модели классификации плодов авокадо по наличию дефектов методами PLS-DA, SIMCA;

– для определения влажности плодов авокадо посредством отбора спектральных сигнатур HSI случайным образом со всей поверхности плодов или всей поверхности изображения HSI плодов как области интереса и компьютерного моделирования;

– для сортировки плодов авокадо по степени зрелости путем расчета и модификации вегетационных индексов (PWI и NDVI757/679 соответственно) и визуализации гиперспектрального изображения по их значениям.

В заключении работы проведено обобщение полученных данных и представлены выводы по диссертации.

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

В диссертационном исследовании показаны результаты, обладающие научной новизной, теоретической и практической значимостью. На основании проведенного исследования разработан методический подход применения гиперспектральных изображений для контроля качества пищевой продукции: для классификации плодов авокадо по наличию дефектов; для определения сухого вещества в составе плодов авокадо; применение вегетационных индексов, включая их визуализацию, для оценки степени зрелости плодов авокадо; для классификации зерна гречихи по степени выполненности.

С использованием специализированных спектров и координат колориметрической системы установлены критерии идентификации гречневой крупы от времени сбора крупы (осень/весна), гидротермической обработки и срока хранения. Разработаны компьютерные модели по ИК-спектрам: для определения содержания пальмового масла в составе сливочного и растительно-сливочного масла методом проекции на латентные структуры; для определения кислотного числа жира гречневой крупы этим же методом. На примере плодов авокадо и гречневой крупы определены зависимости изменения спектральных характеристик в диапазоне «красный край» и в диапазоне первого обертона колебаний в зависимости от степени созревания и изменения качества пищевой продукции.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что предложенные методические подходы позволяют оптимизировать и ускорить процесс контроля качества пищевых товаров. Потенциальными потребителями результатов диссертационного исследования могут выступить ритейл, а именно складские пункты приема и контрольные лаборатории, исследовательские лаборатории по контролю пищевых продуктов, а также таможенные органы при подозрении на недостоверную информацию о продукте, о фальсификации. Предлагаемые научно-практические решения прошли апробацию в лаборатории качества Qlab сети «Азбука Вкуса», что подтверждается справкой о внедрении. Зарегистрирована база данных «Спектральные характеристики по данным гиперспектральных изображений плодов авокадо, различающиеся по влажности и наличию дефектов», позволяющая использовать градуировочные модели прогнозирования влажности и сухого остатка, а также классифицировать плоды авокадо по наличию дефектов.

Значимость для науки и практики выводов и результатов

Весомость выводов и рекомендаций диссертационной работы базируется на совершенствовании и углублении научно-технических основ неразрушающих методов контроля, дальнейшем развитии способов оперативного контроля пищевых продуктов на всех этапах их технологического цикла, реализации результатов аналитических исследований в технических решениях, включающих создание реальных приборов, работающих на основе разработанных соискателем методических подходов с применением оптической спектроскопии и гиперспектрального изображения в сочетании с его многомерным анализом.

Печатные труды в полной мере отражают материалы диссертации, по теме которой опубликовано 14 научных работ, включая 5 публикаций в рецензируемых научных изданиях, из них 2 публикации категории К1 и одна публикация категории К2, а также 2 публикации в журналах, индексируемых в наукометрической базе данных «Scopus» (Q3 и Q4), зарегистрирована база данных (№ 2023620470, дата регистрации 20.02.2023).

Степень завершенности. Диссертация Метленкина Д.А. представляет собой завершенное научное исследование. Она обладает логическим единством, все ее элементы служат достижению поставленной цели.

Замечания по диссертационной работе

1. Во введении к диссертации, а также в автореферате научная новизна сформулирована очень развернуто и подробно, что затрудняет восприятие и чтение пунктов научной новизны.

2. Отбор объектов исследования в диссертации представляется разрозненным и не полностью понятны критерии отбора тех или иных объектов исследования. Также во второй главе рисунки 3 и 10 представляются достаточно близкими по своему содержанию, правильно было бы указать лишь один из них, например, рисунок 3.

3. Соискателем при описании характеристик исследуемых образцов пищевых товаров указано (стр. 41, 42 диссертации, табл. 3), что проведена разработка и апробация метода идентификации зернового кофе в том числе и по его обжарке с применением методов ИК-Фурье спектроскопии и многомерного анализа, при этом, различия образцов по обжарке могут быть представлены как «обжаренный» и «необжаренный». Непонятно, для чего требуется применение таких сложных методов определения обжаренного или не обжаренного кофе, когда это можно установить и визуально, к тому же, в

каком виде (обжаренном или нет) анализируют кофе по ботаническому виду и географии?

4. Соискатель в работе (стр. 80 диссертации) утверждает, что разделение кофейных зерен по третьей главной компоненте (3 ГК) реализуется по ботаническому виду, при этом, значение факторной нагрузки при 3284 см^{-1} (валентные колебания ОН) со знаком (+) по 3 ГК соответствует большему содержанию воды в Робусте в отличие от Арабики. Следует отметить, что содержание влаги в образце кофейного зерна определяется по массе удаленной влаги, применяя технологию сушки при определенных режимных параметрах проведения этого процесса и при послеуборочной его обработке, а не ботаническим видом. При этом массовая доля влаги в зеленых зернах может варьироваться от 8% до 13% вне зависимости от принадлежности к тому или иному ботаническому виду.

5. Непонятно, какова теоретическая и практическая значимость идентификации по географическому происхождению кофе, если его товароборот предусматривает прослеживаемость происхождения по номеру ИСО, который присваивается каждой партии кофе на этапе экспорта, и печатается на каждом мешке, а также указывается во всей документации, сопровождающейся договором экспорта-импорта, включая инвойсы и другие товарно-сопроводительные документы.

6. При обсуждении результатов разработки методического подхода анализа гиперспектральных изображений, полученных с использованием портативной и лабораторной камер, для контроля качества пищевой продукции, соискателем предлагается использование подхода для сортировки зерна гречихи и плодов авокадо. Автору следовало бы расширить обсуждение потенциальных приложений предлагаемого подхода, к примеру, возможно ли использование подхода для контроля качества других пищевых товаров.

7. Рисунки 22 и 23 в главе 4 диссертационной работы представлены в низком разрешении, что затрудняет их чтение. Некоторые аббревиатуры, например, «PLS-DA», расшифровываются только в списке сокращений и условных обозначений, но не расшифровываются по тексту работы.

8. Результаты, приведенные в диссертационной работе, представляли бы большую практическую значимость, если бы автором в завершении исследований и в выводах был сделан акцент на возможностях использования полученных результатов в решении конкретных практических задач и преимуществах предложенных подходов в отличие от стандартных

методик.

Приведенные замечания не носят принципиального характера и не снижают положительной оценки диссертационной работы.

Заключение

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа **Метленкина Дмитрия Андреевича** удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 4.3.3. Пищевые системы (технические науки).

Официальный оппонент:

Профессор кафедры «Технологии хранения и переработки плодоовощной

и растениеводческой продукции»

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская

сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»

доктор технических наук, профессор

Нугманов

Альберт Хамед-Харисович

Почтовый адрес:

127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, тел. (499) 976-33-13

e-mail: nugmanov@rgau-msha.ru

«04» июня 2024 г.