

УДК 658.562

*Е. Г. Буданцева, В. В. Брыксина, С. С. Гайнутдинова**

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ
ПЛОДОВ ЯБЛОНИ С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ
ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ КАМЕРЫ**

Агропромышленный комплекс России – ключевая государственная сфера, объединяющая более 60 отраслей, связанных с производством и переработкой сельхозпродукции. Продовольственный рынок – важный сектор экономики и часть национальной и техногенной безопасности, обеспечивающий независимость и здоровье населения [1].

Важным направлением АПК является выращивание яблок. Перед закладкой на хранение и продажей каждая партия яблок проходит обязательный контроль качества. Требования к состоянию плодов определяются сортом, цветовой группой и дальнейшим назначением. Эти критерии установлены в нормативных документах: ГОСТ 34314–2017, ГОСТ Р 50528–93, ГОСТ 27819–88, а также в ТР ТС 021/2011, поскольку яблоки относятся к пищевой продукции. Дополнительно рекомендуется соблюдать стандарты, принятые в странах Таможенного союза и СНГ.

Оптимальные сроки сбора яблок определяются по совокупности различных критериев, одними из которых являются биохимические параметры, например количественное содержание хлорофилла, крахмала и др. Можно выделить три основные степени зрелости плодов: съемная, техническая и потребительская.

Одним из методов определения степени зрелости яблока является йод-крахмальная проба. При нанесении раствора йода на разрез плода наблюдается синее окрашивание мякоти в результате реакции йода с крахмалом (рис. 1).

Интенсивность этой реакции служит прямым показателем степени зрелости по специальной шкале. Для длительного хранения плоды большинства сортов снимают при 3–4 баллах, для перевозки и реализации при 1–2 [2].

* Работа выполнена под руководством доктора технических наук, профессора кафедры «Мехатроника и технологические измерения» ФГБОУ ВО «ПГТУ» А. Г. Дивина.



Рис. 1. Оценивание содержания крахмала

Своевременный сбор яблок при оптимальной зрелости и их оперативная закладка на хранение критически важны для сохранения качества продукции. Это создает предпосылки для внедрения систем машинного зрения, способных классифицировать яблоки по степени зрелости и другим параметрам, влияющим на лежкость и потребительские свойства. Для большей части овощей и плодов считается характерным процесс расщепления хлорофилла, а также синтез каротиноидов по мере их созревания. Поэтому зависимости спектральных кривых плодов одного сорта являются аналогичными, а отличия выявляются в абсолютных значениях коэффициента отражения только в видимой области [3].

В ходе исследования по разработке неразрушающего метода контроля зрелости яблок был проведен эксперимент по установлению корреляции между спектральными характеристиками плодов и их степенью зрелости. 16.09.2025 на агрофирме «Тамбовское яблоко» были отобраны 40 яблок сорта «Лигол». Для создания эталона сравнения использовалась йод-крахмальная проба с оценкой по 10-балльной шкале, что позволило зафиксировать степень зрелости каждого образца – от максимального содержания крахмала до его полного отсутствия. На следующем этапе образцы исследовались с помощью гиперспектральной камеры SPECIM FX10, которая проводила линейное сканирование в диапазоне 400...1000 нм по 226 каналам.

Для обеспечения стабильных условий использовалось искусственное освещение галогенными лампами, а спектры регистрировались с различных участков поверхности яблока.

В результате была получена обширная база спектральных данных, соответствующих разным стадиям зрелости. Анализ выявил четкие закономерности: по мере снижения концентрации крахмала в спектрах наблюдались системные изменения. Ключевыми маркерами зрелости стало увеличение отражаемого излучения на длинах волн 458 и 678 нм, связанное с разрушением хлорофилла [4].

Построенные графики показали, что каждой степени созревания соответствует уникальная спектральная сигнатура (рис. 2). Эксперимент подтвердил возможность создания математической модели для неразрушающей оценки зрелости плодов, что перспективно для автоматизации сортировки и определения сроков сбора урожая.

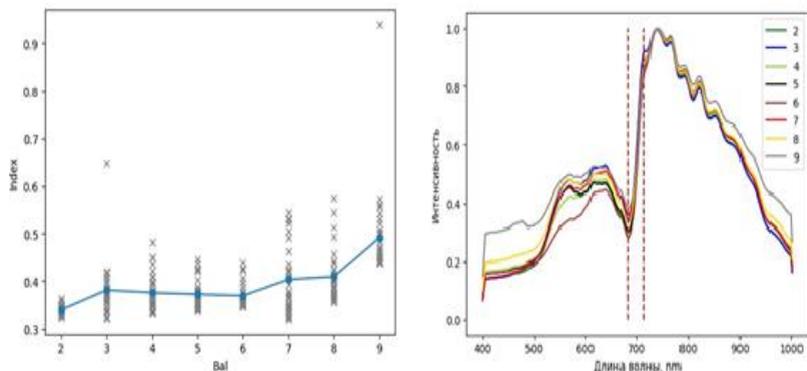


Рис. 2. Индекс хлорофилла с сопутствующими графиками спектров

В проводимом эксперименте предложено решение существующей проблемы обеспечения качества яблок, поставляемых на хранение, а впоследствии – потребителю, с помощью спектрального анализа. Анализ выполняется с использованием камеры, работающей на основе обработки гиперспектральных изображений, получаемых системой технического зрения в видимом и инфракрасном диапазонах оптического излучения.

Благодаря решению данной проблемы открывается перспектива обеспечения более длительного хранения яблок с уменьшением потерь качества, что позволит повысить имидж российского плодового подкомплекса АПК и его конкурентоспособность на мировом рынке.

Список литературы

1. Татаров, Е. Б. Агропромышленный комплекс России: современное состояние и тенденции развития / Е. Б. Татаров, Н. Б. Морозова // Международный научный журнал «Символ науки». – 2024. – № 4-2-1. – С. 105 – 109.
2. Шештанов, Г. А. Определение съемной зрелости яблок / Г. А. Шештанов, И. К. Куцева // Юный ученый. – 2017. – № 1(10). – С. 115 – 117.
3. Жиркова, А. А. Алгоритмическое обеспечение информационно-измерительных систем для классификации и контроля качества яблок : дис. ... канд. техн. наук / А. А. Жиркова. – Тамбов, 2023. – 120 с.
4. Родиков, С. А. Методы и устройства анализа зрелости яблок / С. А. Родиков. – М. : Физматлит, 2009. – 211 с. – URL : <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68821> (дата обращения: 10.10.2025).

*Кафедра «Мехатроника и технологические измерения»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»*