

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени
К.А. Тимирязева»



На правах рукописи

Абделхамид Махмуд Абделхамид Абделтаваб

**ОПТИЧЕСКИЙ СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТЕПЕНИ
ЗРЕЛОСТИ ТОМАТОВ**

Специальность: 05.20.02 – Электротехнологии и
электрооборудование в сельском хозяйстве

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Судник Юрий Александрович
доктор технических наук, профессор

Москва – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ ТОМАТОВ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	7
1.1. Показатели зрелости плодов томатов	7
1.2. Современные методы и средства для оценки зрелости томатов	8
1.3. Флуоресценция хлорофилла и степень зрелости плодов томатов.....	21
1.4. Цель и задачи исследования	25
1.5. Выводы из главы 1	26
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БЫСТРОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА ТОМАТОВ.....	27
2.1. Разработка математических моделей интенсивности быстрой флуоресценции хлорофилла томатов сорта “Алькасара”	27
2.2. Разработка математических моделей интенсивности быстрой флуоресценции хлорофилла томатов сорта «Лезгинка».....	31
2.3. Разработка математических моделей интенсивности быстрой флуоресценции хлорофилла томатов сорта “Розанчик”	35
2.4. Усреднённые математических моделей быстрой флуоресценции хлорофилла для различных сортов томатов	39
2.5. Выводы из главы 2	43
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ ТОМАТОВ.....	44
3.1. Разработка схемы и конструкции устройства.....	44
3.2. Разработка методика проведения экспериментальных исследований ...	46
3.3. Выводы из главы 3	48
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОЦЕНКА ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ ТОМАТОВ.....	49
4.1. Анализ полученных результатов.....	49

4.2. Оценка технико-экономической эффективности устройства для контроля степени зрелости томатов.....	55
4.3. Выводы из главы 4	61
РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.....	62
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	63
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	74

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Среди распространенных овощных культур томату принадлежит первое место в мире по площадям (более 4,7 млн. га) и второе место по объемам потребления. Россия занимает 12-е место (2,9 млн. т), а Египет - 5-е место (6,62 млн. т) по валовому сбору томатов в мире.

Зрелость томатов – базовый показатель, связанный с оценкой их качества. Поэтому достоверный и оперативный контроль степени зрелости томатов является актуальной и практически значимой задачей сегодняшнего дня. В настоящее время известные методы такого контроля основаны на измерении цвета томатов. Таким методам присущи недостатки, низкая его оперативность, сложность и дороговизна оборудования для контроля степени зрелости томатов.

В данном исследовании предложен способ такого контроля, исключающий недостатки существующих методов и основанный на измерении интенсивности быстрой флуоресценции хлорофилла томатов в зависимости от их степени зрелости.

Цель исследования - разработка оптического способа и устройства для контроля степени зрелости томатов.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих методов и средств для контроля степени зрелости томатов.
2. Разработка математических моделей интенсивностей флуоресценции хлорофилла томатов в зависимости от их степени зрелости.
3. Разработка устройства для контроля степени зрелости томатов по их интенсивности флуоресценции хлорофилла.
4. Проведение экспериментальных исследований разработанного устройства.
5. Оценка технико-экономической эффективности устройства для контроля степени зрелости томатов.

Научная новизна работы:

- разработка новых математических моделей интенсивности флуоресценции хлорофилла томатов в зависимости от их степени зрелости;

- разработка нового устройства для контроля степени зрелости томатов.

Теоретическая и практическая значимость работы. Предложены способ и математические модели для оценки степени зрелости томатов по интенсивности их быстрой флуоресценции хлорофилла. Такие модели могут быть использованы для анализа физиологических состояний и контроля качества, степени зрелости плодов различных сельскохозяйственных культур. Перспективы настоящей работы заключаются в том, что результаты исследования могут быть применены в НИИ сельскохозяйственного профиля, фермерских хозяйствах и учебных заведениях.

Методология и методы исследования. В работе использованы графо – аналитические и математические методы статистики, планирования эксперимента, а также дифференциальный, дисперсионный и регрессионный анализы.

На защиту выносятся:

- математические модели интенсивностей флуоресценции хлорофилла томатов в зависимости от их степени зрелости;

- устройство для контроля степени зрелости томатов;

- результаты экспериментальных исследований и технико-экономическая эффективность применения такого устройства.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты исследований внедрены в отделе технологий и инновационных проектов Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха, селекционной станции имени Н.Н. Тимофеева, а также в учебном процессе кафедры электрооборудования и электротехнических систем ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет».

Научная апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на: международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию А.В.

Леонтовича (Сборник статей. / М. – Издательство РГАУ-МСХА, г. Москва, 2019 г.); международной научно- практической конференции «Наука без границ и языковых барьеров» (Орловский ГАУ, 2019 г.); международной научной конференции, посвященной 125-летию со дня рождения В.С. Немчинова, (Сборник статей. Выпуск 292 Часть I / М. – Издательство РГАУ – МСХА, 2020 г.); IV национальной научно-практической конференции (Кузбасская ГСХА. – Кемерово, 2020 г.); международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию В.А. Михельсона (Сборник статей. Том 1/ М. – Издательство РГАУ-МСХА, 2020 г.).

Публикации. По материалам исследований опубликовано 12 научных работ, в том числе 4 статьи в ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 статьи в Scopus и 6 статей по материалам докладов на международных конференциях.

Структура и объём диссертации. Диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 93 наименований. Объём диссертации – 99 страниц, содержит 20 таблиц и 32 рисунка.

ГЛАВА 1. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ ТОМАТОВ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Показатели зрелости плодов томатов

Томат - один из самых важных фруктов в мире и богатый источник витаминов «А» и «С», калия, ликопина, фолиевой кислоты и витамина «К» [51, 83].

После цветения, оплодотворения и набора плодов плод томата достигает. Во время зрелости цвет томатов, в зависимости от сорта, меняется с зеленого на красный (сорта Яхонт, Алькасара, Лезгинка), розовый (сорта Розовая груша, Розанчик), желтый (сорт Де барао золотой), оранжевой (сорт Каротинка), черно-малиновой (сорт Черный принц) из-за деградации хлорофилла, при которой синтезируется ликопин [24, 47] .

Зрелость является одним из важнейших факторов, связанных с оценкой качества томатов. Общие показатели оценки зрелости включают физические признаки, такие как цвет кожицы, твердость плоти, размер, форма и содержание влаги [52].

Процесс зрелости томатов включает в себя отчетливые изменения цвета плодов, обусловленные биохимическими изменениями, происходящими в тканях плодов. Плод томата, в течение первых фаз его зрелости, характеризуется высоким содержанием зеленого пигмента хлорофилла в органеллах, называемых хлоропластами. Хлоропласт зеленых томатов затем начинает дифференцироваться в хромопласты во время зрелости, что инициирует деграцию хлорофилла в тетрапирролы, позволяя разоблачать или экспрессировать красные пигменты, называемые каротиноидами, которые находятся в хлоропласте [77, 83].

Цвет плодов томата - один из самых важных и сложных атрибутов их качества. Сложность окраски томатов обусловлена наличием разнообразной каротиноидной пигментной системы, внешний вид которой обусловлен типами и

концентрациями пигментов и подчиняется как генетической, так и экологической регуляции. Красный цвет является результатом деградации хлорофилла, а также синтеза ликопина и других каротиноидов, поскольку хлоропласты превращаются в хромопласты [45, 52, 62].

Хлорофилл - важный пигмент, который содержится во всех тканях растений, содержащих хлоропласты, и необходим для удовлетворения потребностей растений в энергии для роста. После полной дифференциации пластид на хлоропласты уровни хлорофилла становятся высокими, что позволяет частям растений иметь повышенную способность поглощать свет. Когда плод достигает своего зеленого зрелого состояния, хлоропласт снова дифференцируется на хромопласт или другие типы протопластов, разлагающих хлорофилл [48, 64, 75].

С прогрессированием зрелости плодов синтез и накопление каротиноидов становятся все более заметными [80]. Среди других каротиноидов ликопин является наиболее важным в плодах помидоров, что придает им красный спелый цвет [60]. Наиболее важные показатели качества и зрелости томатов является цвет кожицы томатов. Вторым характерным признаком зрелости томатов является размягчение, сопровождающее изменением цвета [62].

1.2. Современные методы и средства для оценки зрелости томатов

На рис. 1.1 приведена классификация устройств для распознавания качества плодов томатов.

Известны средства механизированной сортировки различных плодов приведены на рисунке 1.2. Устройство для сортирования состоит из основного конвейера 1, вдоль которого находятся операторы-сортировщики 2. Над основным конвейером расположен конвейер 4 для продукции худшего качества (например, второго товарного сорта), а под ним - конвейер для отходов (третьего товарного сорта). Вдоль конвейеров 3 и 4 расположены упаковщики 8. Конвейеры движутся в направлениях, указанными стрелками. Около каждого конвейера устанавливается тара для упаковки 5, 6, 7, которая по мере её заполнения заменяется [40].



Рисунок 1.1 – Классификация устройств для распознавания качества плодов томатов.

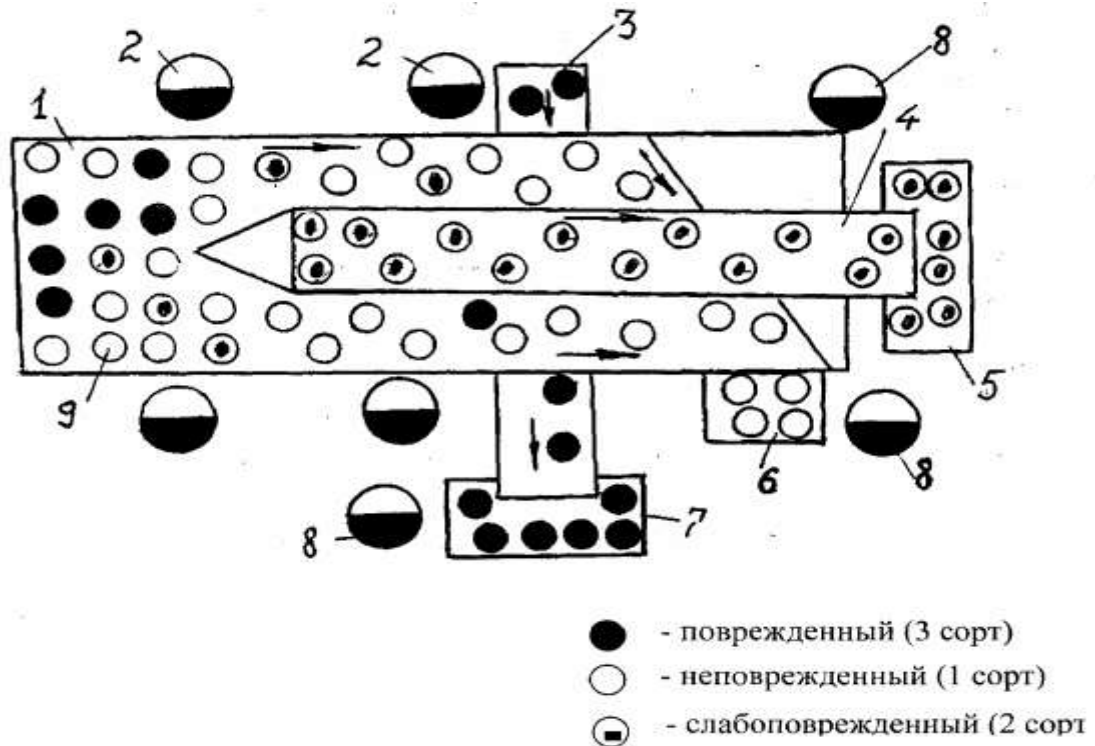


Рисунок 1.2 – Схема механизированной сортировки приведена.

1 - основной сортировочный конвейер для плодов 1 сорта; 2 - операторы-сортировщики; 3 - конвейер для нестандартной продукции (3 сорт); 4 - конвейер для слабopоврежденных плодов низкого товарного сорта (2 сорт); 5, 6, 7 - тара для продукции; 8 - упаковщики; 9 - плод.

Рассмотрим известные методы и средства контроля степени зрелости томатов

Метод Рамановской спектроскопии

Рамановская спектроскопия - метод, основанный на рассеянии света [71, 93]. Основные компоненты Рамановской системы визуализации показаны на рисунке 1.3. Такая система включает: зонд, регулятор шага мотора, спектрометр [55]. Принцип работы системы заключается в следующем: через образец исследуемого объекта пропускают луч с определенной длиной волны, который при контакте с образцом рассеивается. Полученные лучи с помощью линзы собираются в один пучок, пропускаются через светофильтр и направляются на детектор, который фиксирует частоту рamanного света значение последней зависит от зрелости цвета томатов. Метод Рамановской спектроскопии позволяет сортировать томаты по степени зрелости [78, 79].

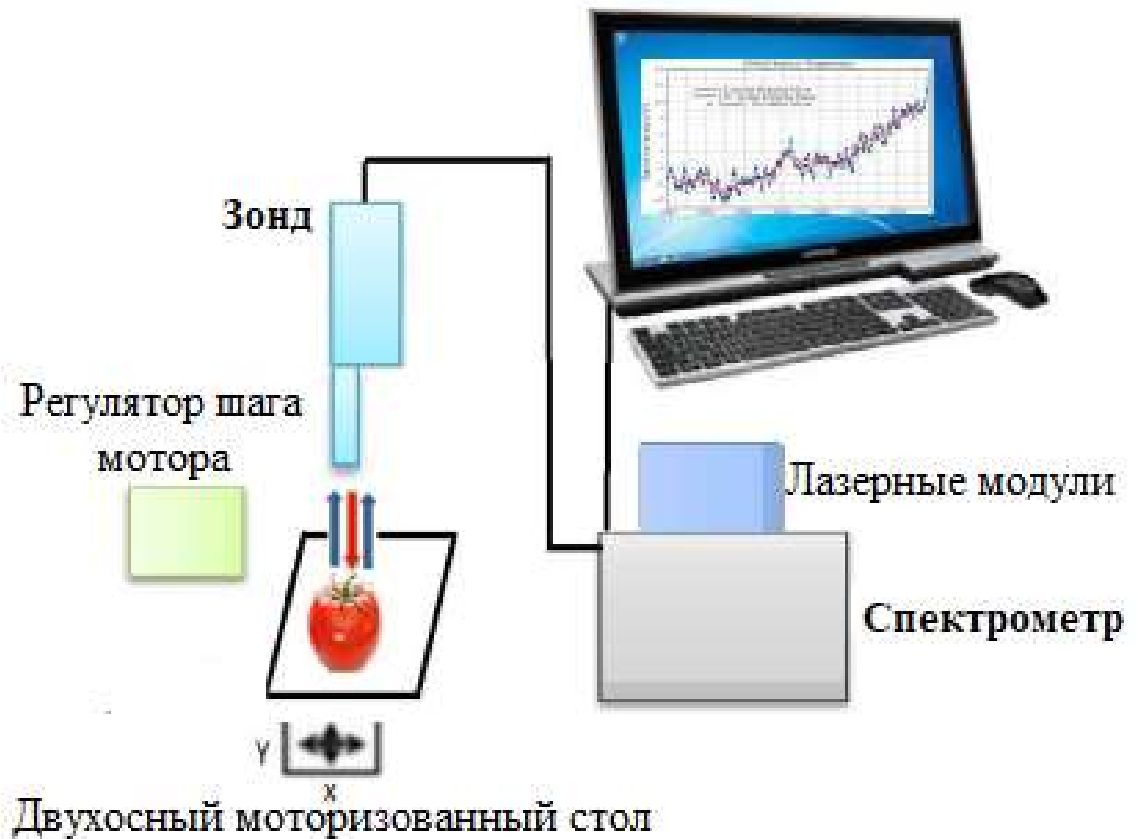


Рисунок 1.3 – Основные компоненты Рамановской системы спектроскопии.

Люминесцентные методы

Люминесценция возникает в результате поглощения веществами - флуорофорами энергии оптического излучения и преобразования ее во вторичное излучение. Изменения, происходящие в плодах при созревании влияют на их химический состав, приводящий к изменению спектра люминесценции. Органические материалы излучают флуоресценцию при возбуждении электромагнитным излучением с видимым спектром света. Например, хлорофилл создает флуоресценцию в диапазоне от 685 до 730 Нм. Интенсивность флуоресценции хлорофилла, содержащегося в плодах томата, коррелирует с показателями степени его зрелости. Флуоресцентная визуализация позволяет проводить мониторинг структуры хлорофилла и каротиноидов в тканях томатов на этапах зрелости [19, 54, 90].

Метод технического зрения

Совмещение функций двумерного сканирования с фотоэлектрическим

преобразованием информации, высокое пространственное разрешение, высокая чувствительность, матовое производство цветных видеокамер и гибких алгоритмов цифровой обработки изображений — все это предопределило эффективность использования систем технического зрения для получения многопараметрической информации об исследуемом объекте. Классическим примером такого подхода для оценки качества плодов является одновременное измерение диаметра, высоты, площади, формы и цвета фруктов и овощей с последующим расчетом их объема и массы [21, 42, 46, 56, 59, 65, 72, 74, 76, 82]. На рисунках 1.4, 1.5, 1.6 приведены различные фотометрические системы устройств для сортирования томатов по степени их зрелости. Во всех устройствах контролируемый плод 1 в свободном падении подается в фотокамеру 2. Пролетая в ней, он пересекает световые потоки осветителей 3, которые устанавливаются обычно под углами в 120 градусов в горизонтальной плоскости фотокамеры-2.

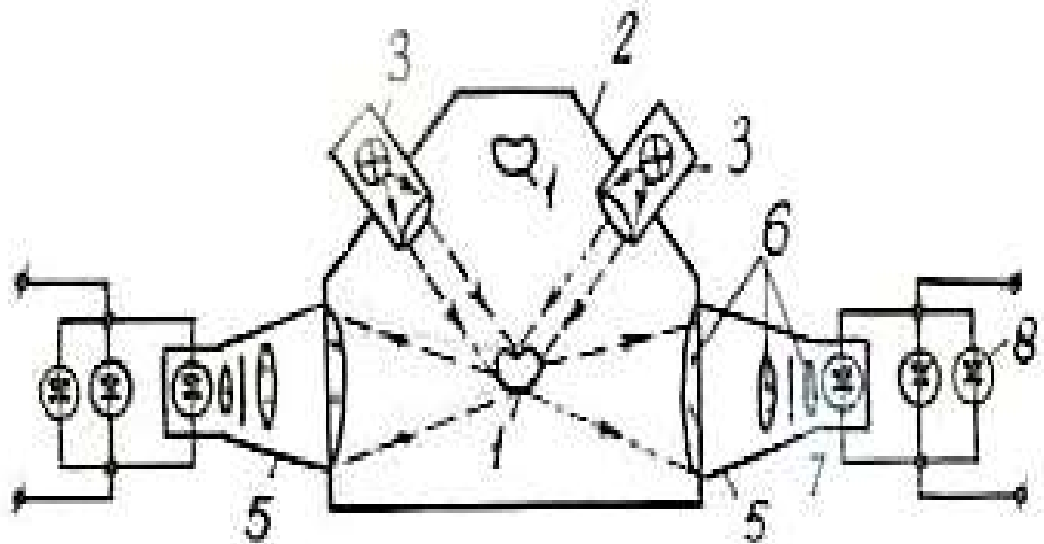


Рисунок 1.4 – Фотометрическая система устройства для автоматической сортировки томатов [14] : 1- плод; 2 - фотокамера; 3 - источник света; 5 - оптические приемники; 6 - линзы; 7 - светофильтры; 8 - фотоэлементы.

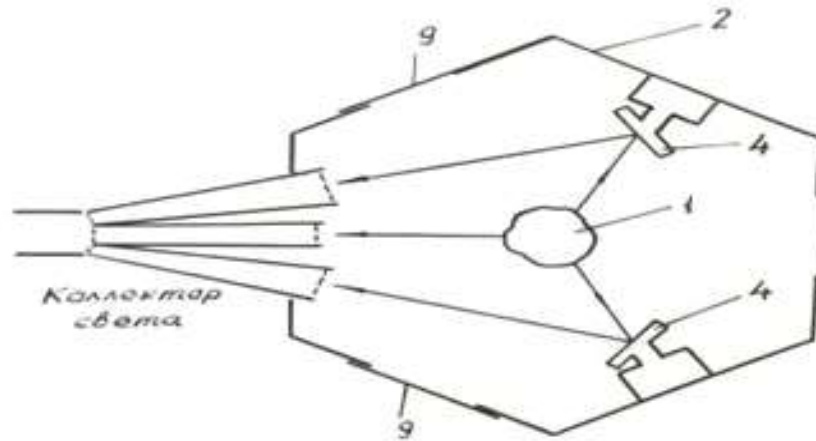


Рисунок 1.5 – Фотометрическая система устройства для автоматической сортировки томатов [14]: 1- контролируемый плод; 2 - фотокамера; 4 - зеркала, 9 - задвижки.

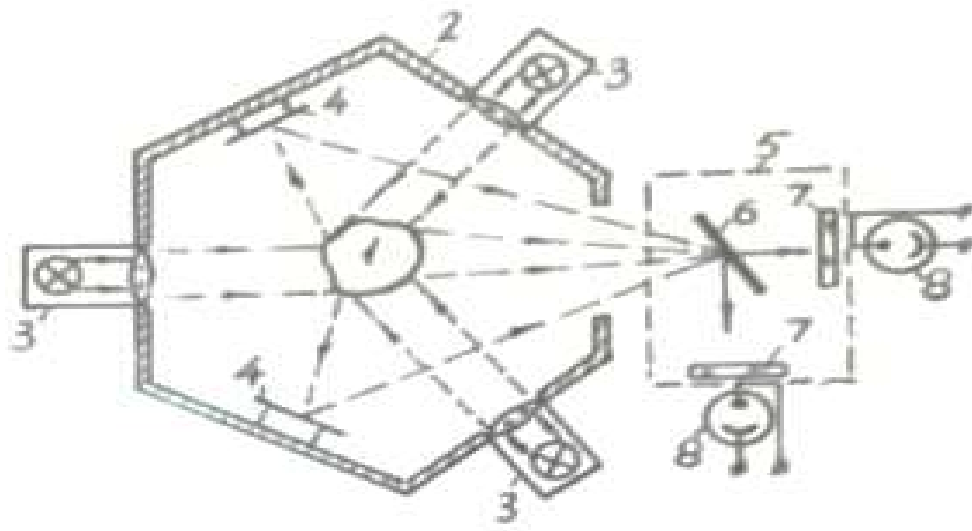


Рисунок 1.6 – Фотометрическая система устройства для автоматической сортировки томатов [14]: 1- контролируемый плод; 2 - фотокамера; 3 - источник света; 4 - зеркала; 5 - оптический приемник; 6 - светоделительное зеркало; 7 - светофильтры; 8 – фотоэлементы.

Отраженные от плода лучи попадают на оптические приемники 5 им после отражения от системы зеркал 4, лучи после отражения от которых попадают на приемник (коллектор) света.

Устройство для сортирования томаов, яблок, перца, вишни по цвету их поверхности приведено на рисунке 1.7. Транспортер 1 подает сортируемые плоды 2

в зону контроля под осветитель 6 и фотоприемник 7. В момент нахождения плода в зоне контроля осветитель облучает последний попеременно зеленым и красным светом. Частота следования импульсов облучения должна на порядок превышать частоту подачи плодов в зону контроля. В качестве облучателя используется двухдиапазонный светодиод. Попеременное облучение плода красным и зеленым светом обеспечивает устройство управления осветителем 8.

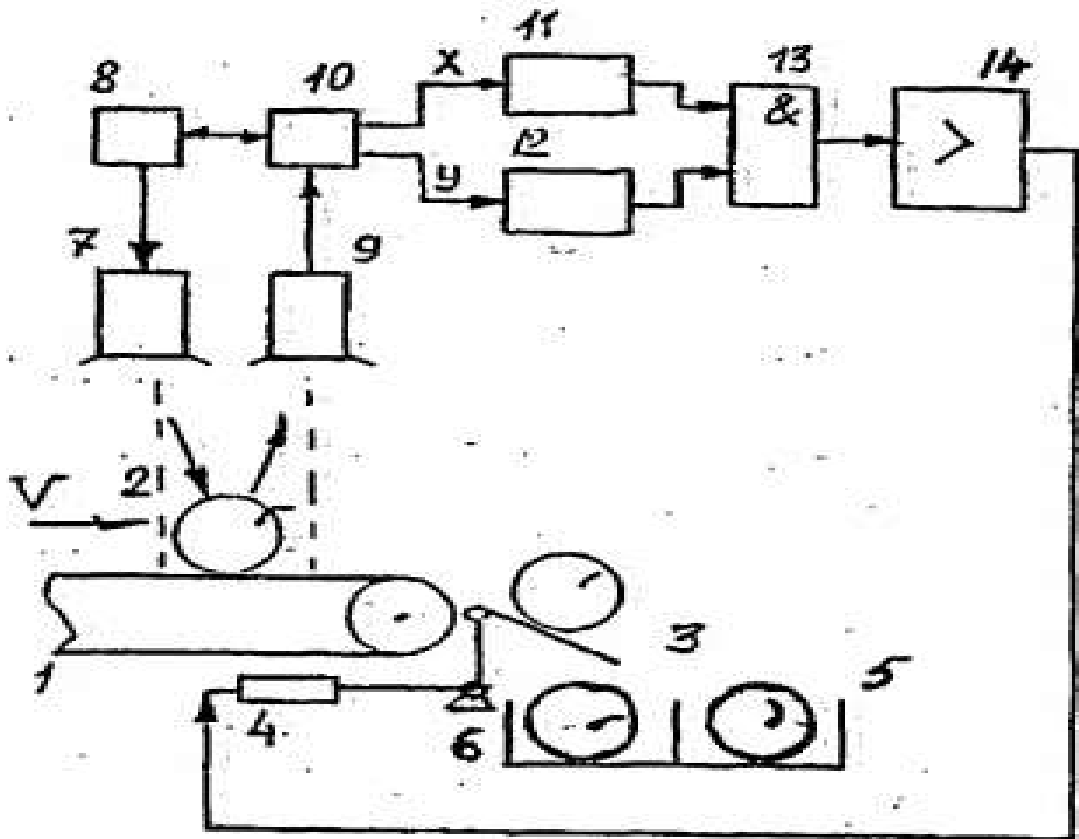


Рисунок 1.7 – Устройство для сортировки плодов по цвету.

1 - транспортер; 2 - сортируемый плод; 3 - направляющая заслонка исполнительного устройства; 4 - привод исполнительного устройства; 5 - тара для зеленых плодов; 6 - тара для красных плодов; 7 - двухдиапазонный осветитель; 8 - устройство управления осветителем; 9 - фотоприемник; 10 - устройство выделения координат цветности "x" и "y"; 11, 12 - устройство сравнения координат; 13 - устройство принятия решения о цвете плода; 14 - усилитель.

Отраженный от поверхности плода поток излучения воспринимается фотоприемником 9, на выходе которого имеется возникает напряжение, пропорциональное величине красного или зеленого отраженного потока.

В настоящее время существуют различные устройства, предназначенные для съема оптической информации с поверхности плодов. В работах [16–18, 29, 32] [30, 31] предложен и развит принцип осмотра поверхности плода -поэлементный обзор - сканирование поверхности.

Электронные оптические сканирующие устройства в современных приборах представлены в основном твёрдотельными видеодатчиками (видеокамерами) (Рисунок 1.8) на приборах с зарядовой связью [36, 38].

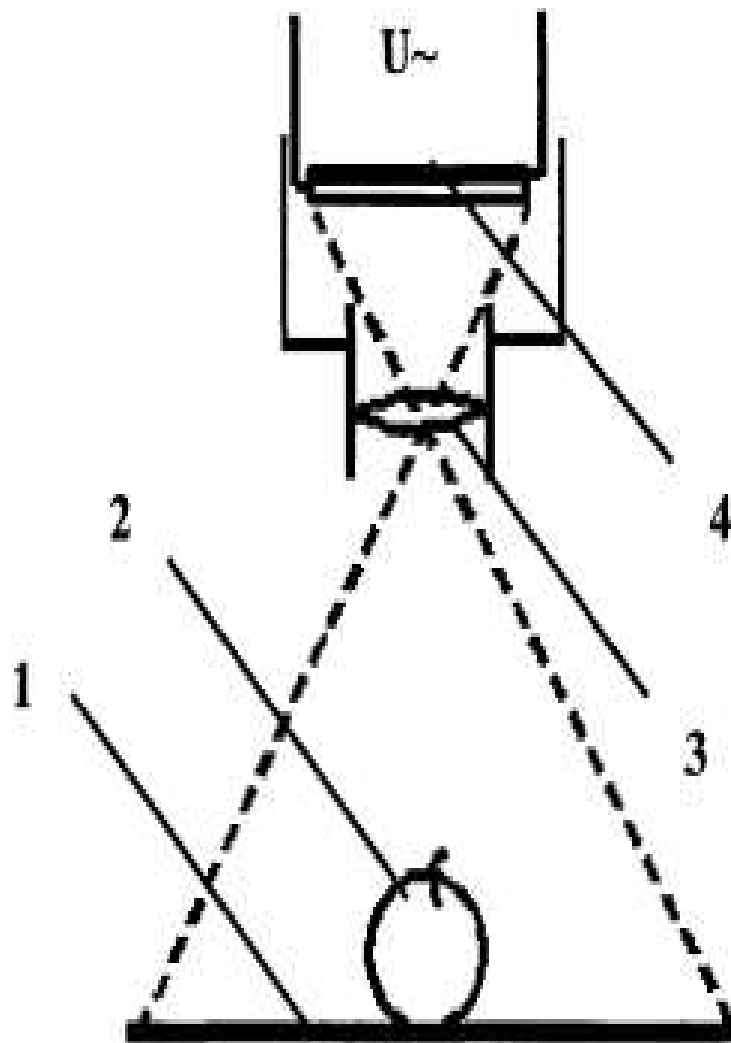


Рисунок 1.8 – Схема видео датчика.

1 - сканируемая поверхность; 2 - объект; 3 - блок линз; 4 - прибор с зарядовой связью.

По способу контроля поверхности плода сканирующие устройства могут быть (Рисунок 1.9):

- с односторонним осмотром поверхности объекта (Рисунок 1.9а);
- с многосторонним осмотром поверхности объекта (Рисунок 1.9б);
- с несколькими одновременно осматриваемыми плодами (Рисунок 1.9в).

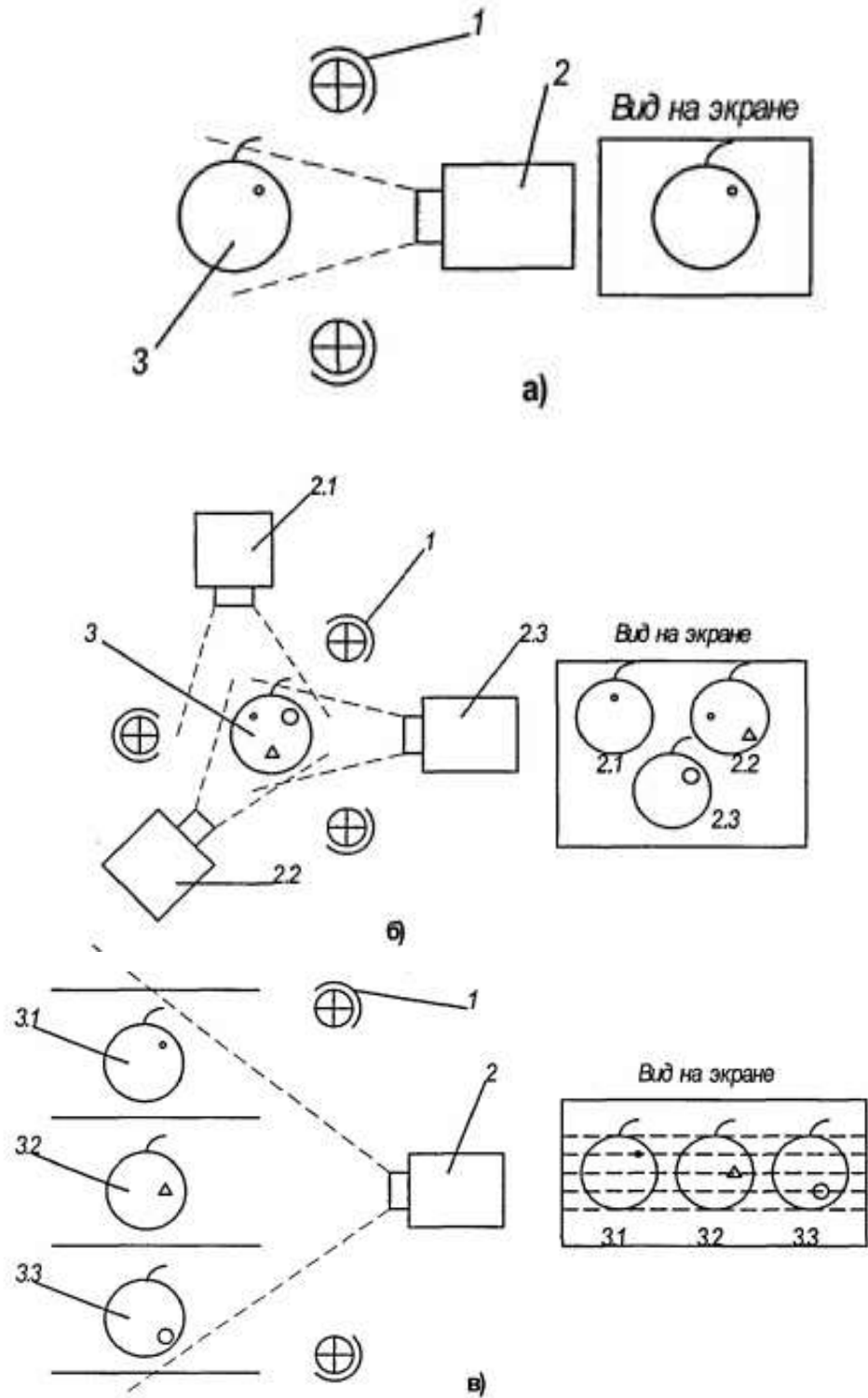


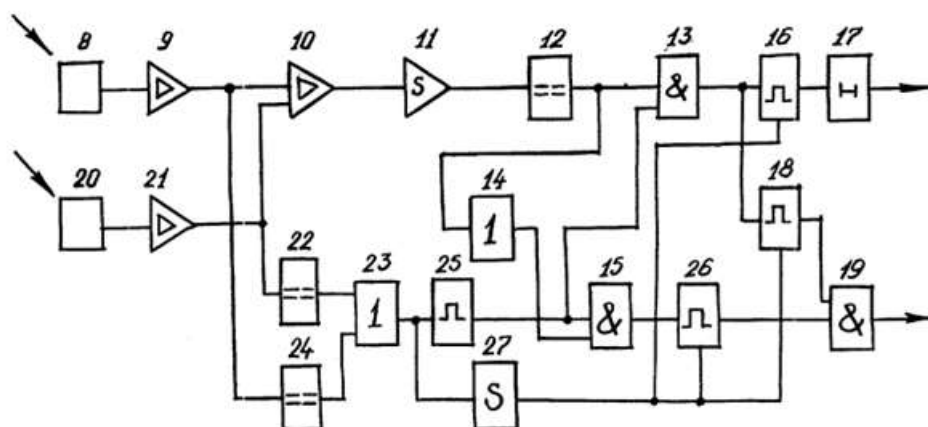
Рисунок 1.9 – Способы осмотра поверхности плода сканирующими устройствами (а - односторонний осмотр; б - многосторонний осмотр; в - несколько одновременно осматриваемых плодов).

1 - осветитель; 2 - видеодатчик или несколько видеодатчиков; 3 - плод или несколько плодов.

Основной недостаток вышеописанных устройств в том, что фотоприемниками контролируется только небольшая часть поверхности плода. Большая часть потока, отраженного от плода, а следовательно и информации о цвете его поверхности теряется, минуя фотоприемники и поглощаясь стенками фотокамеры. Качество выделения фракций улучшается, если из отраженных плодом лучей отфильтровать несколько спектральных участков, однако при числе участков трех и более конструкции фотометрических систем значительно усложняются, так как возникает необходимость иметь большое количество оптических приемников. Например, в устройство рисунок 1.9 для выделения двух спектральных участков и осуществления обзора плодов потребовалось шесть оптических приемников. При выделении 3-х спектральных участков число необходимых приемников возрастет до девяти. К этим основным недостаткам следует добавить следующее : поскольку в приведенных устройствах контроль плодов производится при их свободном падении, то, во избежание повреждения плодов при их падении, необходимо предусмотреть средства для амортизации удара. Кроме того, во избежание подсветки от внешних источников света, необходимо выполнить герметизацию фотокамеры со стороны отверстий для входа и выхода плодов [14].

Известны устройства (рис. 1.10) и способ сортировки [28]. Устройство для реализации способа сортировки томатов содержит дозирующее устройство 1, подающий механизм 2, который подает томаты в зону контрольного устройства 3. Электрические сигналы от последнего поступают на электронное устройство управления 4.

Один выход электронного устройства управления 4 подключен к входу дополнительного исполнительного механизма 5, а другой - к входу основного исполнительного механизма 6.



Рисунке 1.10 – устройства для сортирования томатов.

При этом выход первого элемента и 13 соединен с одним входом первого одновибратора 16, выход которого соединен через линию задержки 17 с входом основного исполнительного механизма 6, и через второй одновибратор 18 соединен с одним входом третьего элемента и 19, выход которого подключен к дополнительному исполнительному механизму 5, при этом выход второго фотоприемника 20 подключен через второй усилитель 21 к второму входу усилителя разности сигналов 10 и через второй компаратор 22 к одному входу элемента или 23, к второму входу которого подключен через третий компаратор 24 выход первого усилителя 9, причем выход элемента или 23 через одновибратор окончания анализа 25 соединен с другими входами первого и второго элементов и 13, 15, при этом выход второго элемента и 15 соединен через третий одновибратор 26 с другим входом третьего элемента и 19, при этом выход элемента или 23 подключен через второй интегратор 27 к другим входам первого, второго и третьего одновибраторов 16, 18, 26.

Способ сортировки состоит в том, что томаты поштучно подают в зону обзора, где летящие томаты облучают и получают на выходе приемников излучения электрические сигналы, обрабатывают их с помощью электронного

устройства управления, получают сигнал о качестве (степени зрелости) первого томата в паре, сравнивают этот сигнал с эталонным, определяют размер первого плода в паре, определяют время взаимодействия этого плода с лопаткой, определяют по времени взаимодействия плода с лопаткой эталонное время для данной пары, получают сигнал о времени прохождения первого за вторым томата пары, сравнивают эталонное время для данной пары с временем появления второго плода в паре, получают сигнал о качестве (степени зрелости) второго томата, сравнивают этот сигнал с эталонным и по результатам сравнения управляют основным и дополнительным исполнительными механизмами.

Устройство работает следующим образом (рисунок 1.11).

На рисунке 1.11 праведна функциональная схема устройства. Электронное устройство управления содержит два усилителя постоянного тока, усилитель разности сигналов, два интегратора, элемент или, инвертор, три компаратора, одновибратор окончания анализа, три элемента и, линии задержки, три одновибратора, при этом выход первого фотоприемника 8 соединен через первый усилитель 9 с одним входом усилителя разности сигналов 10, выход которого подключен через последовательно соединенные первый интегратор 11 и первый компаратор 12 к одному входу первого элемента и 13 и через инвертор 14 к одному входу второго элемента и 15.

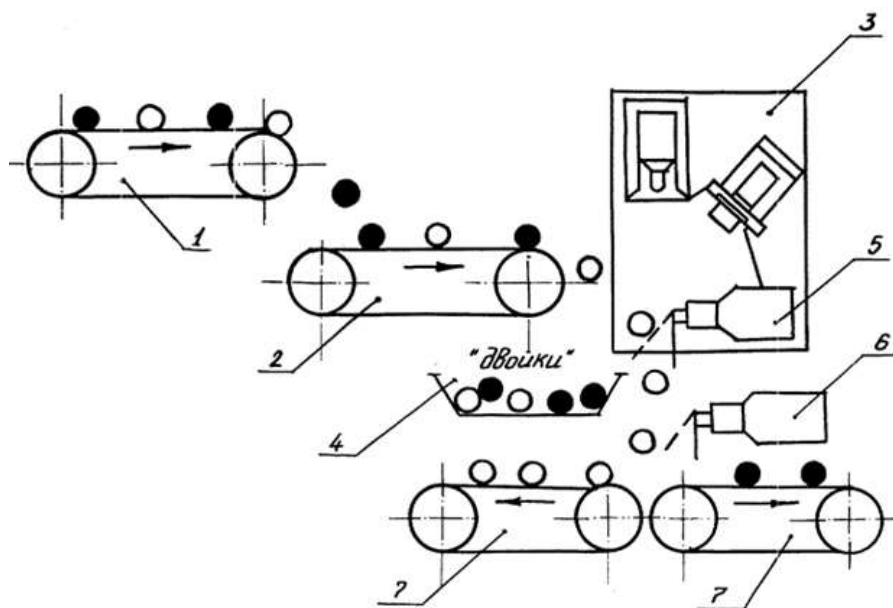


Рисунок 1.11– Функциональная схема устройства для сортирования томатов

Из дозирующего устройства 1 томаты поштучно поступают на подающий механизм 2, который подает их к зоне обзора контрольного устройства 3, томаты получают ускорение и по одному пролетают зону обзора. В контрольном устройстве 3 томаты освещаются источником света и анализируются приемным устройством.

Цвет томата определяется следующим образом. Световой сигнал поступает на первый и второй фотоприемники 8, 20 со светофильтрами, усиливается усилителями 9, 21. Компараторы 22, 24 дискретизируют сигналы с усилителей 9, 22 по уровням, логический элемент 23 суммирует дискретные сигналы, формируя сигнал на все время анализа томата. В момент ухода томата из поля зрения контрольного устройства одновибратор 25 генерирует импульс заданной длительности. Сигналы с усилителей 9, 21 поступают на усилитель разности сигналов 10, который вычитает сигнал от усилителя 21 из сигнала от усилителя 9, интегратор 11 накапливает разностный сигнал, и к моменту генерации одновибратором 25 импульса окончания анализа на выходе интегратора 11 присутствует уровень больше нуля, если в томате преобладал зеленый цвет. Компаратор 12 приводит результат интегрирования к уровню логических сигналов, таким образом первый элемент и 13 вырабатывает импульс, равный по длительности импульсу одновибратора 25 в случае определения зеленого томата. В случае определения красного томата импульс вырабатывает второй элемент и 15. Импульсы логических элементов и 13, 15 запускают одновибраторы 18, 26, которые служат для получения сигналов соответствующих допустимому временному интервалу в разноцветных парах томатов. Импульс логического элемента и 13 запускает одновибратор 16, который вырабатывает импульс, длительность которого соответствует длительности сигнала, подаваемого на исполнительный механизм 6. При этом другие входы одновибраторов 16, 18, 26 подключены через второй интегратор 27 к выходу логического элемента или 23. Сигнал с выхода второго интегратора 27 оказывает регулирующее воздействие на длительность импульсов, вырабатываемых одновибраторами 16, 18, 26. Линия задержки 17 служит для синхронизации срабатывания основного

исполнительного механизма 6 на томат. В случае анализа зеленого вслед за красным (или наоборот) через время, меньшее установленного интервала, логический элемент 19 формирует импульс, включающий дополнительный исполнительный механизм 5, который отбивает последний томат пары.

Известен также способ определения зрелости томатов [22–24] по уровню медленной индукции флуоресценции хлорофилла, параметры которой определяют с помощью хлорофилл-флуорометра, при этом угол падения зондирующего оптического излучения на исследуемый объект должен быть близок к нормальному, его спектральный состав - соответствовать максимуму поглощения хлорофилла в синей или красной области спектра. О зрелости плодов томата судят по уровню и вариабельности максимума медленной индукции флуоресценции хлорофилла. Стадия незрелых плодов отличается высокими значениями уровней максимума медленной индукции флуоресценции хлорофилла при его низкой вариабельности. Стадия, предшествующая созреванию, отличается средними значениями максимума медленной индукции флуоресценции хлорофилла при его высокой вариабельности; а стадия полного созревания характеризуется низкими значениями максимума медленной индукции флуоресценции хлорофилла при его низкой вариабельности.

Такой способ существенно менее трудоемок, чем метод определения зрелости томатов по их окраске с помощью специальных цветовых шкал.

Обширными недостатками рассмотренных известных методов и средств созревания и контроля зрелости томатов являются их низкая оперативность, сложность, и дороговизна оборудования.

1.3. Флуоресценция хлорофилла и степень зрелости плодов томатов

Флуоресценция — это явление, при котором флуоресцентный материал поглощает свет на определенной длине волны и излучает его обратно на более длинных длинах волн. Это происходит, как когда молекулы поглощают свет, который переводит их в возбужденное состояние из основного состояния с последующим их возвращением в стабильное состояние вверх по реальному уровню фотонов [70, 81].

Известно, что флуоресценция хлорофилла обладает свойствами высокой точности и быстрого измерения. Кроме того, метод флуоресценции хлорофилла может быть использован в качестве неинвазивного инструмента для определения фотосинтетической активности и различных экологических стрессов в растениях. Это связано с тем, что флуоресценция белково-хлорофилловых комплексов, интегрированных в тилакоидную мембрану, может быть использована в качестве существенного показателя текучести, стабильности и целостности мембран [53, 57].

Во время зрелости плодов томата происходят различные изменения на физиологическом, биохимическом и молекулярном уровне. Хлоропласты в плодном околоплоднике преобразуются в хромопласты, а цвет поверхности плодов преобразуется из зеленого в красный. Это изменение окраски хорошо характеризуется деградацией хлорофилла и накоплением каротиноидов, главным образом ликопина [67, 92]. Однако содержание хлорофилла в околоплоднике красных спелых плодов томатов значительно снижается в процессе зрелости, но не всегда исчезает полностью [50, 68]. Флуоресценция хлорофилла является еще одним неразрушающим и быстрым методом, который был использован для оценки зрелости фруктов и овощей [69].

Хлорофилл — основной пигмент растительной клетки. Хлорофилл — это молекула, которая улавливает энергию солнечного света и называется фоторецептором. Он содержится в хлоропластах зеленых растений и является тем, что придает растениям их зеленый цвет. Хотя в зеленых листьях есть много различных пигментов, наиболее важными в поглощении света являются хлорофиллы. Существуют два типа хлорофилла, называемые хлорофилл-а и хлорофилл-в. они лишь незначительно отличаются по составу одного из своих побочных заместителей (в хлорофилле-а это СНЗ, а в хлорофилле-в это СНО) [12, 13].

Когда солнечный свет попадает на листья растения, молекулы хлорофилла поглощают его. Эта энергия может подвергаться одному из трех процессов: она может быть использована для инициирования процесса фотосинтеза, а затем

производства биомассы (фотохимический процесс), избыточная энергия может рассеиваться в виде тепла, или она может быть повторно испущена в виде света (флуоресценция хлорофилла) [33, 37, 39].

В зависимости от состояния фотосинтетического аппарата интенсивность флуоресценции хлорофилла может меняться в значительных пределах, что особенно заметно при освещении предварительно адаптированного к темноте листа. Интенсивность сигнала флуоресценции сначала резко возрастает, затем постепенно снижается. Данное явление было впервые исследовано Каутски [66] и носит название «Индукция флуоресценции хлорофилла» или «эффект Каутского». Зависимость интенсивности флуоресценции хлорофилла от времени после начала освещения известна как индукционная кривая или кривая индукции флуоресценции хлорофилла. форма этой кривой весьма чувствительна к изменениям, происходящим в фотосинтетическом аппарате при адаптации к различным условиям окружающей среды, что явилось основой широкого использования эффекта Каутского в изучении фотосинтеза [15, 26].

Флуоресценция хлорофилла хорошо коррелирует с поглощенным светом тканевыми пигментами. После поглощения света большая часть энергии используется для фотосинтеза, в то время как одна часть рассеивается в виде тепла (нефотохимическое тушение) и небольшой процент испускается в виде флуоресценции, как только возбужденный электрон возвращается обратно в свое основное состояние [27, 73]. Флуоресценция хлорофилла начинается после освещения и проходит по типичной схеме так называемой "Каутской кривой" [89].

Индукционная кривая флуоресценции хлорофилла

Индукция флуоресценции хлорофилла имеет место, когда после затемнения исследуемого фотосинтезирующего объекта в течение примерно 30 минут объект освещается. Наблюдается внезапное увеличение флуоресценции хлорофилла, а затем медленное снижение интенсивности индуцированной флуоресценции [11, 34, 58, 63], поэтому оно называется «эффектом Каутского». Индукционная кривая

флуоресценции представляет собой изменения эмиссии флуоресценции хлорофилла в фотосинтезирующем объекте [84–88].

Флуоресценция хлорофилла хорошо коррелирует с поглощенным светом тканевыми пигментами. После поглощения света большая часть энергии используется для фотосинтеза, в то время как одна часть рассеивается в виде тепла (нефотохимическое тушение) и небольшой процент испускается в виде флуоресценции, как только возбужденный электрон возвращается обратно в свое основное состояние [49, 61, 73]. Индукционная кривая [25, 88] флуоресценции хлорофилла (Рисунок 1.12) представляет собой временное изменение уровня интенсивности (эмиссии) флуоресценции хлорофилла в фотосинтезирующем объекте. Ее можно разделить на быструю фазу (до 1 с), которая включает в себя реакции световой фазы фотосинтеза, и медленную фазу (до 1000 с) [25, 88].

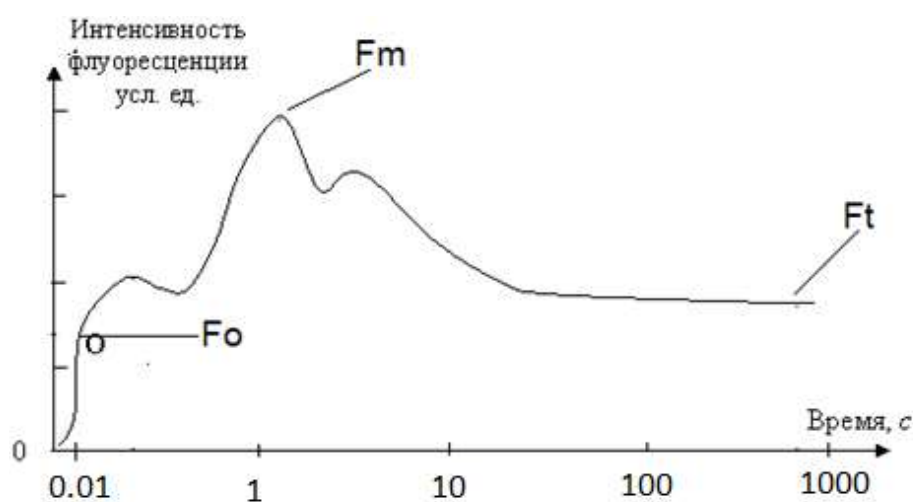


Рисунок 1.12— кривая изменения интенсивности флуоресценции хлорофилла во времени. F_0 — начальное значение флуоресценции; F_m — максимальное значение флуоресценции; F_t - стационарное значение флуоресценции, при этом

временной интервал быстрой флуоресценции – $F_0 \dots F_m$ ($t < 1$ с),

временной интервал медленной флуоресценции – $F_m \dots F_t$ ($t > 1$ с).

1.4. Цель и задачи исследования

Цель исследования - разработка оптического способа и устройства для контроля степени зрелости томатов.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих методов и средств для контроля степени зрелости томатов.
2. Разработка математических моделей интенсивностей флуоресценции хлорофилла томатов в зависимости от их степени зрелости.
3. Разработка устройства для контроля степени зрелости томатов по их интенсивности флуоресценции хлорофилла.
4. Проведение экспериментальных исследований разработанного устройства.
5. Оценка технико-экономической эффективности устройства для контроля степени зрелости томатов.

1.5. Выводы из главы 1

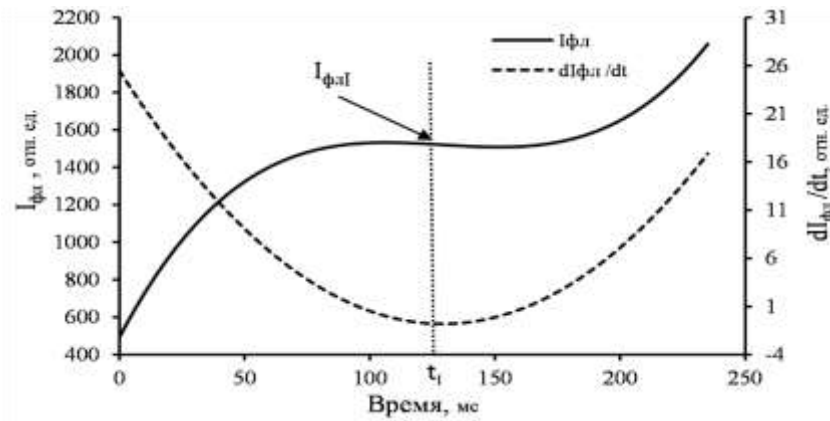
1. В настоящее время известные методы контроля зрелости томатов основаны на измерении цвета томатов. Однако, не для всех сортов томатов такая зависимость однозначна, таким методам присущи недостатки, как недостаточная достоверность контроля качества томатов, низкая их оперативность, сложность и дороговизна оборудования.

2. Установлено, что известным методам присущи недостаточные оперативность и достоверность такого контроля, сложность и дороговизна оборудования. Предложен способ и устройство, исключаящие недостатки существующих методов и средств контроля зрелости томатов и основанные на измерении уровня быстрой флуоресценции хлорофилла томатов в зависимости от их зрелости.

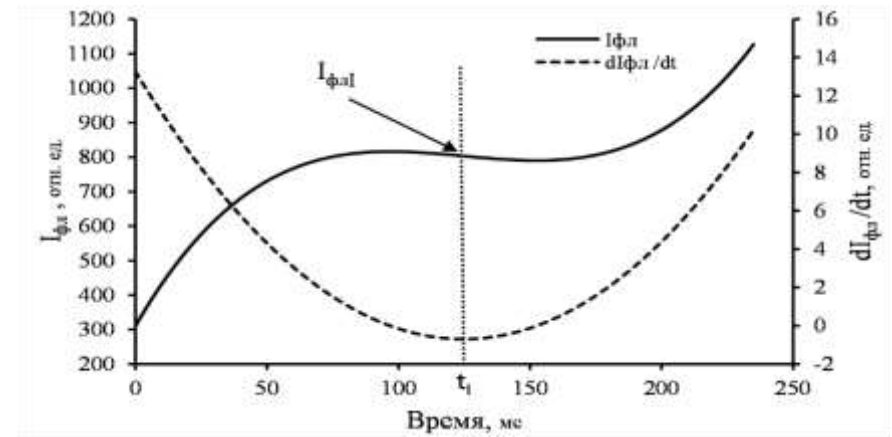
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БЫСТРОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА ТОМАТОВ

2.1. Разработка математических моделей интенсивности быстрой флуоресценции хлорофилла томатов сорта “Алькасара”

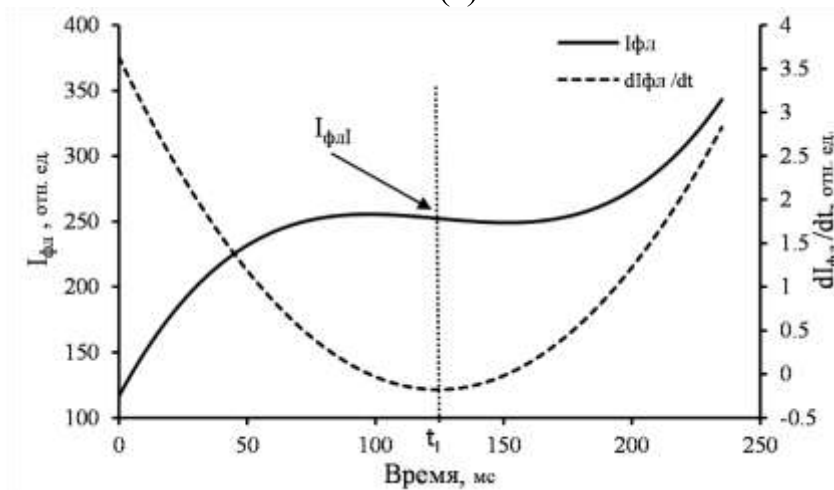
Такие модели были получены на основе результатов экспериментальных исследований, в которых были определены табличные данные (точечные значения) и построены соответствующие им кривые (рисунок 2.1) зависимостей интенсивности флуоресценции хлорофилла ($I_{фл}$) и их первых производных ($dI_{фл}/dt$) во времени для сорта томатов «Алькасара» и их четырёх степеней зрелости (зелёных, бурых, розовых и красных). Из рисунка видно, что интенсивность флуоресценции хлорофилла начинает увеличиваться с течением времени до момента t_l , соответствующего значению $I_{флl}$, после которого тренд кривой начинает незначительно уменьшаться с последующим увеличением. В этом временном интервале первая производная $dI_{фл}/dt$ кривой флуоресценции хлорофилла начинает изменяться от ее максимального до минимального значения времени t_l , соответствующему моменту перегиба кривой интенсивности $I_{фл}$ флуоресценции хлорофилла. Этот момент соответствует первому минимуму времени t_l на кривой первой производной исходной кривой флуоресценции хлорофилла. Из рисунка 2.1 видно, что первая точка $I_{флl}$ перегиба кривой интенсивности флуоресценции хлорофилла определяет ориентировочное время $t_l = 126$ мс (что будет соответствовать средней частоте контроля, равной 7.9 Гц) для разных степеней зрелости томатов (Рисунок 2.1а, 2.1б, 2.1в). Для красных же томатов (Рисунок 2.1г) такая зависимость стационарная и незначительно (по амплитуде) изменяется во времени. Контроль изменения во времени интенсивности флуоресценции хлорофилла томатов был проведен с использованием высокоточного флуориметра (модель ХЕ-РАМ, Heinz Walz, Германия). Для нахождения аналитических выражений графических зависимостей, полученных в результате экспериментальных исследований, был применен регрессионный анализ (таблице 2.1) с использованием уравнений



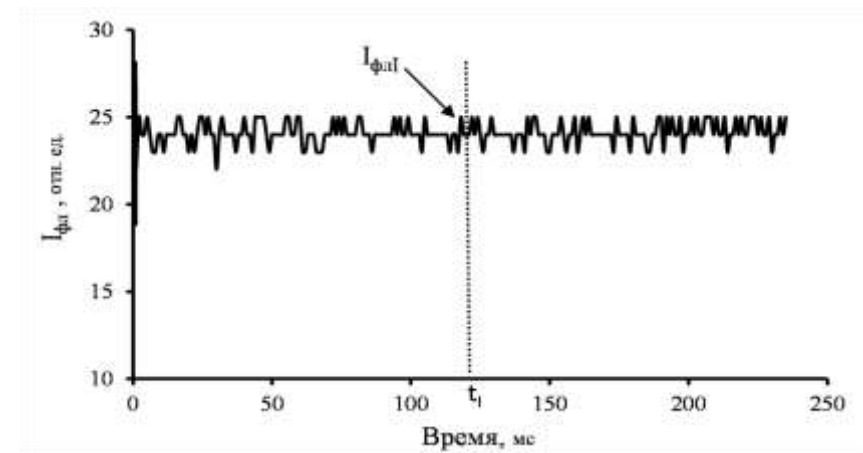
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 2.1– Кривые зависимостей интенсивности флуоресценции хлорофилла ($I_{\phi л}$) и их первых производных ($dI_{\phi л} / dt$) для томатов сорта “Алькасара: а) степень зрелости - “зелёная”; б) степень зрелости- “бурая”; в) степень зрелости- “Розовая; г) степень зрелости- “ красная”.

Таблица 2.1. Виды уравнений математических моделей сорта «Алькасара» для разных степеней его зрелости.

Степень зрелости	Тип модели	Уравнения математических моделей
зелёная	модель 3-го порядка	$I_{фл} = 0,000525 t^3 - 0,2033 t^2 + 25,45 t + 494$
	модель 2-го порядка	$I_{фл} = - 0,0565 t^2 + 15,76 t + 540$
	модель 1-го порядка	$I_{фл} = 6,09 t + 677$
бурая	модель 3-го порядка	$I_{фл} = 0,000299 t^3 - 0,1119 t^2 + 13,26 t + 310$
	модель 2-го порядка	$I_{фл} = - 0,0282 t^2 + 7,74 t + 336$
	модель 1-го порядка	$I_{фл} = 2,90 t + 404$
розовая	модель 3-го порядка	$I_{фл} = 0,000082 t^3 - 0,0306 t^2 + 3,63 t + 116$
	модель 2-го порядка	$I_{фл} = - 0,0077 t^2 + 2,12 t + 123$
	модель 1-го порядка	$I_{фл} = 0,80 t + 142$

полиномиальных уравнений и математической компьютерной программы “Mathematica v.12”. Для оценки порядка полиномов (таблице 2.1) при определении аналитических выражений (регрессионных уравнений), соответствующих полученным графическим зависимостям (кривым изменения интенсивностей флуоресценции хлорофилла во времени), с использованием критерия Фишера (при уровне его значимости 95%) были определены полиномиальные уравнения третьей степени:

$$I_{\text{фл}} = a_3 t^3 - a_2 t^2 + a_1 t + c, \text{ при } 0 \leq t < 250 \text{ мс}$$

где $I_{\text{фл}}$ - интенсивность флуоресценции хлорофилла, отн. ед.; t - время, мс; a_1 , a_2 , a_3 , c - постоянные коэффициенты.

Время t_I в первой точке перегиба кривой интенсивности флуоресценции хлорофилла (минимальное время оперативного контроля степени зрелости томатов) было рассчитано (таблица 2.2) путем вычисления ее второй производной (при этом, $d^2 I_{\text{фл}} / dt^2 = 0$).

Виды уравнений кривых $I_{\text{фл}} = f(t)$ сорта томата «Алькасара» для разных степеней его зрелости приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Уравнения математических моделей сорта томата «Алькасара» для разных степеней его зрелости.

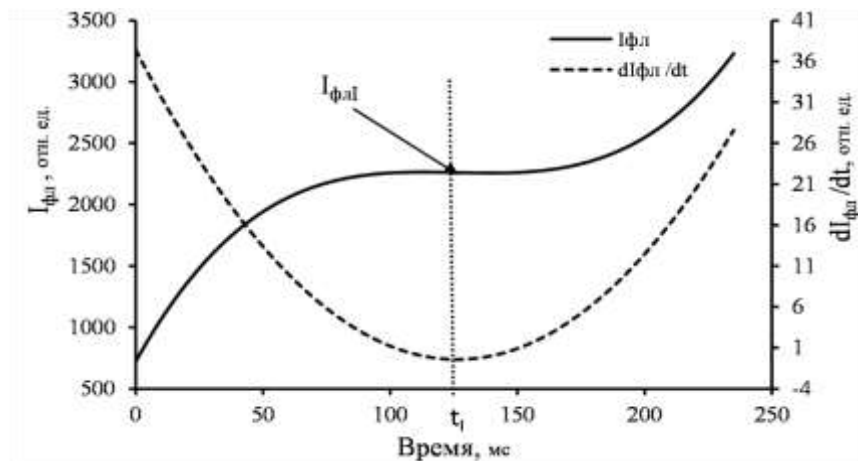
Сорт томатов	Степень зрелости	Уравнения математических моделей	
Алькасара	зелёная	$I_{\text{фл}} = 0,000525 t^3 - 0,2033 t^2 + 25,45 t + 494$	
		$dI_{\text{фл}}/dt = 0,001574 t^2 - 0,4066 t + 25,45$	
		$d^2 I_{\text{фл}} / dt^2 = 0,003149 t - 0,4066 (t_I=129 \text{ мс})$	
	бурая	$I_{\text{фл}} = 0,000299 t^3 - 0,1119 t^2 + 13,26 t + 309$	
		$dI_{\text{фл}} / dt = 0,000897 t^2 - 0,2237t + 13,26$	
		$d^2 I_{\text{фл}} / dt^2 = 0,001793 t - 0,2237 (t_I=124 \text{ мс})$	
	розовая	$I_{\text{фл}} = 0,000082 t^3 - 0,0306 t^2 + 3,64 t + 116$	
		$dI_{\text{фл}} / dt = 0,000246 t^2 - 0,0613 t + 3,64$	
		$d^2 I_{\text{фл}} / dt^2 = 0,000492 t - 0,0613 (t_I=124 \text{ мс})$	
	красная		$I_{\text{фл}1k} = 24 \pm 5$

Таким образом, уравнение в общем виде математической модели для сорта томатов «Алькасара» будет иметь вид (при этом, $t_{Icp} = 126$ мс): $I_{\phi_{л1}} = a_3 t^3 - a_2 t^2 + a_1 t + c$, (2). Где, $a_3 = 0,000525$; $a_2 = 0,2033$; $a_1 = 25,45$; $c = 494$ (степень зрелости - зелёная); $a_3 = 0,000299$; $a_2 = 0,1119$; $a_1 = 13,26$; $c = 309$ (степень зрелости - бурая); $a_3 = 0,000082$; $a_2 = 0,0306$; $a_1 = 3,64$; $c = 116$ (степень зрелости - розовая); $I_{\phi_{л1k}} = 24 \pm 5$ (степень зрелости - красная).

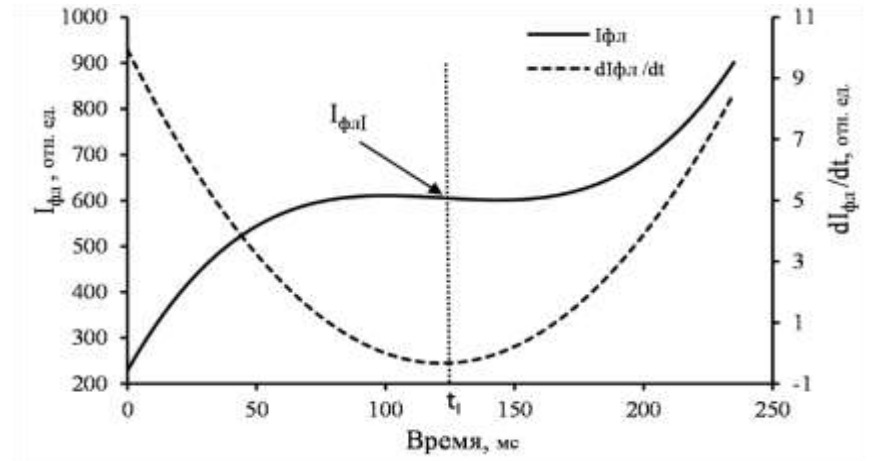
2.2. Разработка математических моделей интенсивности быстрой флуоресценции хлорофилла томатов сорта «Лезгинка»

Такие модели были получены на основе результатов экспериментальных исследований, в которых были определены табличные данные (точечные значения) и построены соответствующие им кривые (рисунок 2.2) зависимостей интенсивности флуоресценции хлорофилла ($I_{\phi_{л}}$) и их первых производных ($dI_{\phi_{л}}/dt$) во времени для сорта томатов «Лезгинка» и их четырёх степеней зрелости (зелёных, бурых, розовых и красных). Из рисунка видно, что интенсивность флуоресценции хлорофилла начинает увеличиваться с течением времени до момента t_I , соответствующего значению $I_{\phi_{л1}}$, после которого тренд кривой начинает незначительно уменьшаться с последующим увеличением. В этом временном интервале первая производная $dI_{\phi_{л}}/dt$ кривой флуоресценции хлорофилла начинает изменяться от ее максимального до минимального значения времени t_I , соответствующему моменту перегиба кривой интенсивности $I_{\phi_{л}}$ флуоресценции хлорофилла. Этот момент соответствует первому минимуму времени t_I на кривой первой производной исходной кривой флуоресценции хлорофилла. Из рисунка 2.2 видно, что первая точка $I_{\phi_{л1}}$ перегиба кривой интенсивности флуоресценции хлорофилла определяет ориентировочное время $t_I = 123$ мс (что будет соответствовать средней частоте контроля, равной 8,11 Гц) для разных степеней зрелости томатов (Рисунок 2.2а, 2.2б, 2.2в). Для красных же томатов (Рисунок 2.2г) такая зависимость стационарная и незначительно (по амплитуде) изменяется во времени.

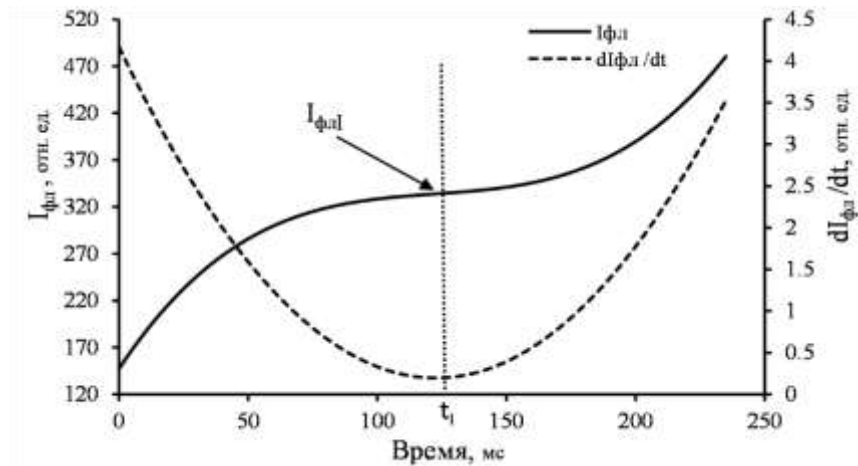
Контроль изменения во времени интенсивности флуоресценции хлорофилла



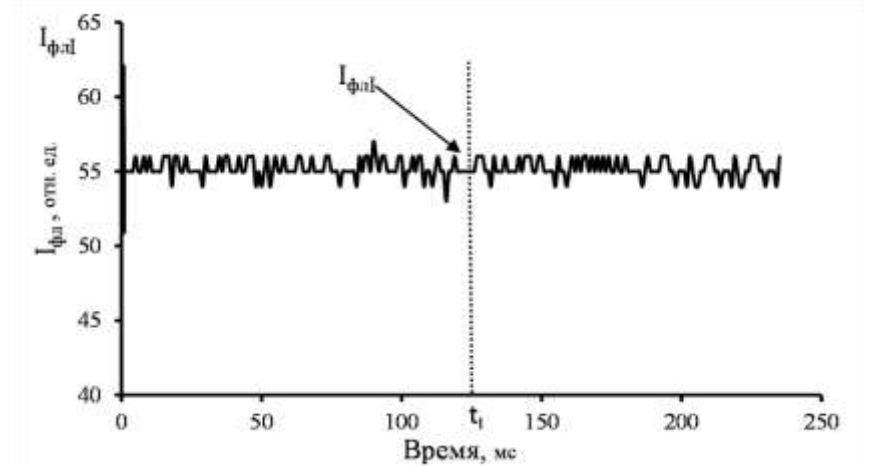
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 2.2 – Кривые зависимостей интенсивности флуоресценции хлорофилла ($I_{\phi л}$) и их первых производных ($dI_{\phi л}/dt$) для сорта «Лезгинка»: а) степень зрелости - “зелёная”; б) степень зрелости- “бурая”; в) степень зрелости- “Розовая; г) степень зрелости- “красная”.

томатов был проведен с использованием высокоточного флуориметра (модель ХЕ-РАМ, Heinz Walz, Германия). Для нахождения аналитических выражений графических зависимостей, полученных в результате экспериментальных исследований, был применен регрессионный анализ с использованием полиномиальных уравнений и математической компьютерной программы «Mathematica v.12». Для оценки порядка полиномов (таблице 2.3) при определении аналитических выражений (регрессионных уравнений), соответствующих полученным графическим зависимостям (кривым изменения интенсивностей флуоресценции хлорофилла во времени), с использованием критерия Фишера (при уровне его значимости 95%) были определены полиномиальные уравнения третьей степени:

$$I_{\text{фл}} = a_3 t^3 - a_2 t^2 + a_1 t + c, \text{ при } 0 \leq t < 250 \text{ мс}$$

где $I_{\text{фл}}$ - интенсивность флуоресценции хлорофилла, отн. ед.; t - время, мс; a_1 , a_2 , a_3 , c - постоянные коэффициенты.

Виды уравнений кривых $I_{\text{фл}2} = f(t)$ сорта «Лезгинка» для разных степеней его зрелости приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Уравнения математических моделей сорта «Лезгинка» для разных степеней его зрелости.

Сорт томатов	Степень зрелости	Уравнения математических моделей
Лезгинка	зелёная	$I_{\text{фл}} = 0,000790 t^3 - 0,2994 t^2 + 37,40 t + 721$
		$dI_{\text{фл}}/dt = 0,002370 t^2 - 0,5989 t + 37,40$
		$d^2I_{\text{фл}}/dt^2 = 0,004741 t - 0,5989 (t_I=126 \text{ мс})$
	бурая	$I_{\text{фл}} = 0,000230 t^3 - 0,0842 t^2 + 9,92 t + 229$
		$dI_{\text{фл}}/dt = 0,000691 t^2 - 0,1684 t + 9,92$
		$d^2I_{\text{фл}}/dt^2 = 0,001381 t - 0,1684 (t_I=122 \text{ мс})$
	розовая	$I_{\text{фл}} = 0,000088 t^3 - 0,032369 t^2 + 4,16 t + 147$
		$dI_{\text{фл}}/dt = 0,000264 t^2 - 0,0647 t + 4,16$
		$d^2I_{\text{фл}}/dt^2 = 0,000528 t - 0,0647 (t_I=122 \text{ мс})$
	красная	$I_{\text{фл}2k} = 55 \pm 5$

Таблица 2.3. Виды уравнений математических моделей сорта «Лезгинка» для разных степеней его зрелости.

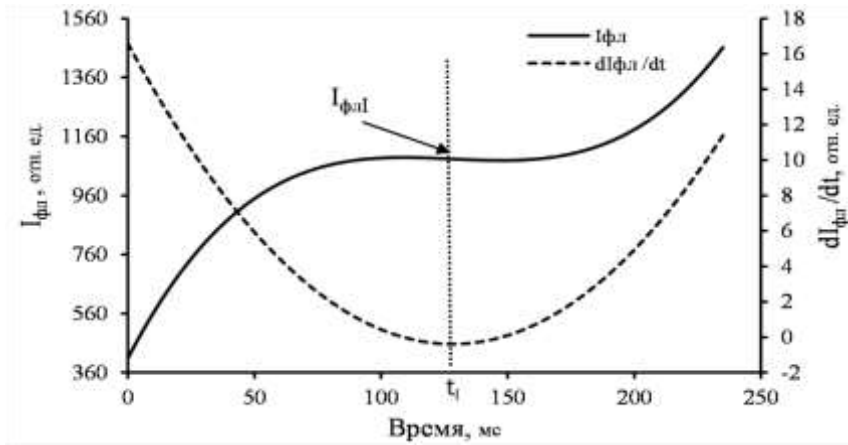
Степень зрелости	Тип модели	Уравнение математические модели
зелёная	модель 3-го порядка	$I_{\text{фл}} = 0,000790 t^3 - 0,2994 t^2 + 37,40 t + 722$
	модель 2-го порядка	$I_{\text{фл}} = - 0,0795 t^2 + 22,96 t + 790$
	модель 1-го порядка	$I_{\text{фл}} = 9,43 t + 980$
бурая	модель 3-го порядка	$I_{\text{фл}} = 0,000230 t^3 - 0,0842 t^2 + 9,92 t + 230$
	модель 2-го порядка	$I_{\text{фл}} = - 0,0201 t^2 + 5,72 t + 249$
	модель 1-го порядка	$I_{\text{фл}} = 2,30 t + 297$
розовая	модель 3-го порядка	$I_{\text{фл}} = 0,000088 t^3 - 0,0324 t^2 + 4,16 t + 148$
	модель 2-го порядка	$I_{\text{фл}} = - 0,007879 t^2 + 2,55 t + 155$
	модель 1-го порядка	$I_{\text{фл}} = 1,21 t + 174$

Уравнение в общем виде математической модели для сорта томатов «Лезгинка» будет иметь вид (при этом, $t_{Icp} = 123$ мс): $I_{\phi л 2} = a_3 t^3 - a_2 t^2 + a_1 t + c$, (3). Где, $a_3 = 0,000790$; $a_2 = 0,2994$; $a_1 = 37,40$; $c = 721$ (степень зрелости- зелёная), $a_3 = 0,000230$; $a_2 = 0,0842$; $a_1 = 9,92$; $c = 229$ (степень зрелости - бурая), $a_3 = 0,000088$; $a_2 = 0,032369$; $a_1 = 4,16$; $c = 147$ (степень зрелости - розовая), $I_{\phi л 2k} = 55 \pm 5$ (степень зрелости - красная).

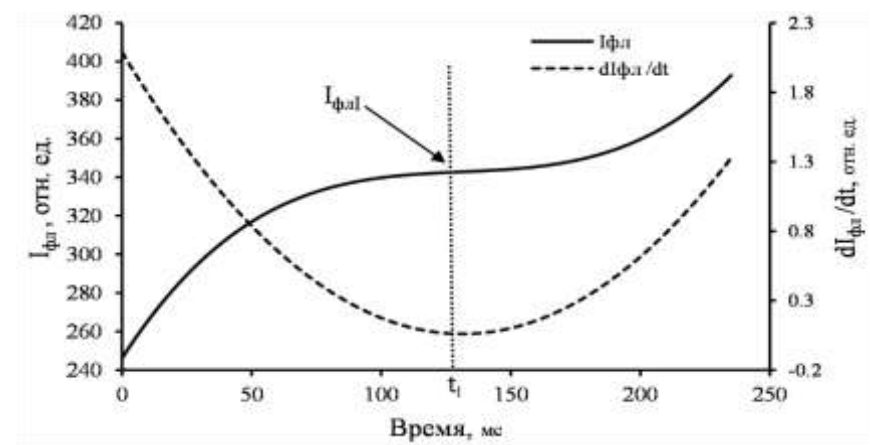
2.3. Разработка математических моделей интенсивности быстрой флуоресценции хлорофилла томатов сорта “Розанчик”

Такие модели были получены на основе результатов экспериментальных исследований, в которых были определены табличные данные (точечные значения) и построены соответствующие им кривые (рисунок 2.3) зависимостей интенсивности флуоресценции хлорофилла ($I_{\phi л}$) и их первых производных ($dI_{\phi л} / dt$) во времени для сорта томатов «Розанчик» и их четырёх степеней зрелости (зелёных, бурых, розовых и красных). Из рисунка видно, что интенсивность флуоресценции хлорофилла начинает увеличиваться с течением времени до момента t_I , соответствующего значению $I_{\phi л I}$, после которого тренд кривой начинает незначительно уменьшаться с последующим увеличением. В этом временном интервале первая производная $dI_{\phi л} / dt$ кривой флуоресценции хлорофилла начинает изменяться от ее максимального до минимального значения времени t_I , соответствующему моменту перегиба кривой интенсивности $I_{\phi л}$ флуоресценции хлорофилла. Этот момент соответствует первому минимуму времени t_I на кривой первой производной исходной кривой флуоресценции хлорофилла. Из рисунка 2.3 видно, что первая точка $I_{\phi л I}$ перегиба кривой интенсивности флуоресценции хлорофилла определяет ориентировочное время $t_I = 129$ мс (что будет соответствовать средней частоте контроля, равной 7,75 Гц) для разных степеней зрелости томатов (Рисунок 2.3а, 2.3б, 2.3в). Для красных же томатов (Рисунок 2.3г) такая зависимость стационарная и незначительно (по амплитуде) изменяется во времени.

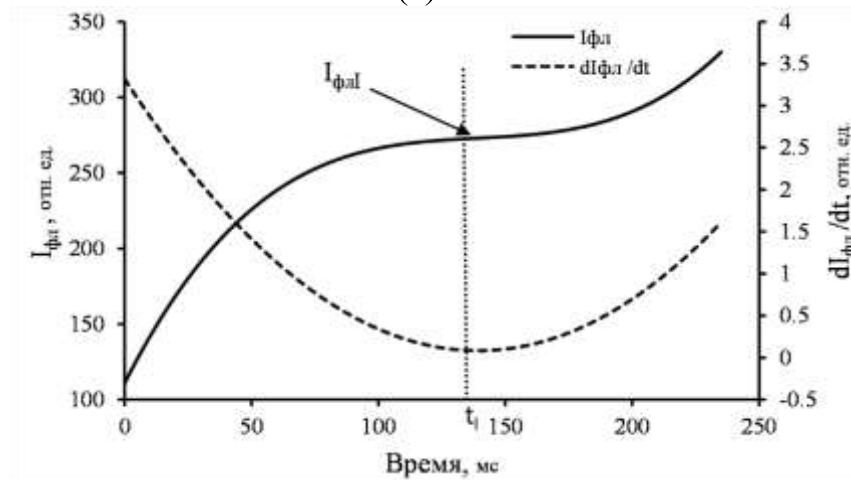
Контроль изменения во времени интенсивности флуоресценции хлорофилла



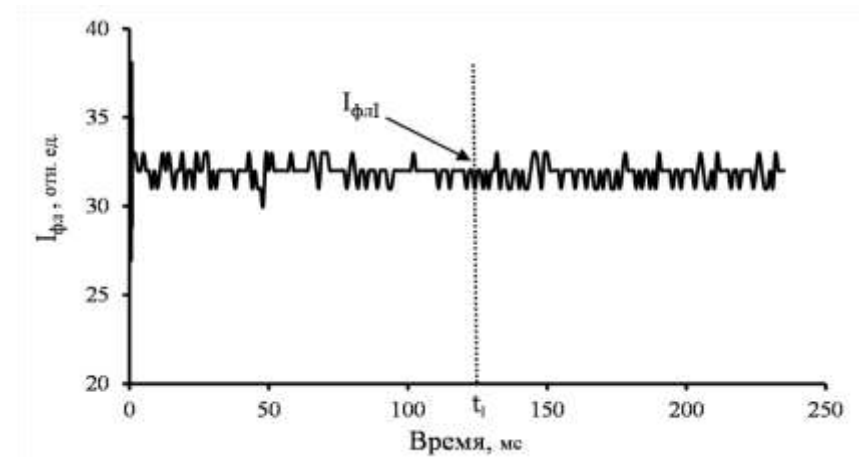
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 2.3 – Кривые зависимостей интенсивности флуоресценции хлорофилла ($I_{\phi л}$) и их первых производных ($dI_{\phi л}/dt$) для сорта “Розанчик”: а) степень зрелости - “зелёная”; б) степень зрелости- “бурая”; в) степень зрелости- “Розовая; г) степень зрелости- “ красная”.

томатов был проведен с использованием высокоточного флуориметра (модель ХЕ-РАМ, Heinz Walz, Германия). Для нахождения аналитических выражений графических зависимостей, полученных в результате экспериментальных исследований, был применен регрессионный анализ с использованием полиномиальных уравнений и математической компьютерной программы «Mathematica v.12». Для оценки порядка полиномов (таблице 2.5) при определении аналитических выражений (регрессионных уравнений), соответствующих полученным графическим зависимостям (кривым изменения интенсивностей флуоресценции хлорофилла во времени), с использованием критерия Фишера (при уровне его значимости 95%) были определены полиномиальные уравнения третьей степени:

$$I_{\text{фл}} = a_3 t^3 - a_2 t^2 + a_1 t + c, \text{ при } 0 \leq t < 250 \text{ мс}$$

Виды уравнений кривых $I_{\text{флз}} = f(t)$ (их математические модели) сорта «Розанчик» для разных степеней его зрелости приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6. Уравнения математических моделей сорта «Розанчик» для разных степеней его зрелости.

Сорт томатов	Степень зрелости	Уравнения математических моделей
Розанчик	зелёная	$I_{\text{фл}} = 0,000344 t^3 - 0,1322 t^2 + 16,56 t + 409$
		$dI_{\text{фл}}/dt = 0,001032 t^2 - 0,2645 t + 16,56$
		$d^2I_{\text{фл}}/dt^2 = 0,002063 t - 0,2645 (t_I=128 \text{ мс})$
	бурая	$I_{\text{фл}} = 0,000039 t^3 - 0,0154 t^2 + 2,09 t + 246$
		$dI_{\text{фл}}/dt = 0,000118 t^2 - 0,0309 t + 2,09$
		$d^2I_{\text{фл}}/dt^2 = 0,000235 t - 0,0309 (t_I=131 \text{ мс})$
	розовая	$I_{\text{фл}} = 0,000055 t^3 - 0,0232 t^2 + 3,32 t + 111$
		$dI_{\text{фл}}/dt = 0,000167 t^2 - 0,0464 t + 3,32$
		$d^2I_{\text{фл}}/dt^2 = 0,000333 t - 0,0464 (t_I=139 \text{ мс})$
	красная	$I_{\text{флзк}} = 33 \pm 5$

Уравнение в общем виде математической модели для сорта томатов «Розанчик» будет иметь вид (при этом, $t_{\text{Icp}} = 129 \text{ мс}$):

Таблица 2.5. Виды уравнений математических моделей сорта сорта “ Розанчик ” для разных степеней его зрелости.

Степень зрелости	Тип модели	Уравнения математических моделей
зелёная	модель 3-го порядка	$I_{фл} = 0,000344 t^3 - 0,1322 t^2 + 16,56 t + 409$
	модель 2-го порядка	$I_{фл} = - 0,0355 t^2 + 10,15 t + 440$
	модель 1-го порядка	$I_{фл} = 4,03 t + 527$
бурая	модель 3-го порядка	$I_{фл} = 0,000039 t^3 - 0,0154 t^2 + 2,09 t + 246$
	модель 2-го порядка	$I_{фл} = - 0,004415 t^2 + 1,35 t + 250$
	модель 1-го порядка	$I_{фл} = 0,59 t + 261$
розовая	модель 3-го порядка	$I_{фл} = 0,000055 t^3 - 0,0232 t^2 + 3,31 t + 111$
	модель 2-го порядка	$I_{фл} = - 0,0073 t^2 + 2,25 t + 116$
	модель 1-го порядка	$I_{фл} = 0,96 t + 135$

$$I_{флз} = a_3 t^3 - a_2 t^2 + a_1 t + c, (4).$$

где, $a_3=0,000344$; $a_2 = 0,1322$; $a_1 = 16,56$; $c = 409$ (степень зрелости- зелёная), $a_3 = 0,000039$; $a_2 = 0,0154$; $a_1 = 2,09$; $c = 246$ (степень зрелости- бурая), $a_3 = 0,000055$; $a_2 = 0,0232$; $a_1 = 3,32$; $c = 111$ (степень зрелости- розовая), $I_{флзк} = 33 \pm 5$ (степень зрелости- красная).

2.4. Усреднённые математических моделей быстрой флуоресценции хлорофилла для различных сортов томатов

На основе полученных математических моделей интенсивности флуоресценции хлорофилла для различных сортов томатов и их степеней зрелости разработаны усредненные (для всех, исследованных в работе, сортов томатов) для различных степеней зрелости математические модели:

- усреднённая математическая модель для зеленых томатов (разных сортов)

Для определения такой модели запишем:

$$I_{фл\ iз} = a_{i3} t^3 + a_{i2} t^2 + a_{i1} t + a_{i0}; \text{ (сорт "Алькасара")},$$

$$I_{фл\ jз} = a_{j3} t^3 + a_{j2} t^2 + a_{j1} t + a_{j0}; \text{ (сорт "Лезгинка")},$$

$$I_{фл\ кз} = a_{k3} t^3 + a_{k2} t^2 + a_{k1} t + a_{k0}; \text{ (сорт "Розанчик")},$$

$$I_{фл\ ср\ зел} = a_{ср3} t^3 + a_{ср2} t^2 + a_{ср1} t + a_{ср0},$$

где, $I_{фл\ iз}$, $I_{фл\ jз}$, $I_{фл\ кз}$ - интенсивности флуоресценции хлорофилла для различных сортов зеленых томатов; i, j, k - различные сорта томатов; t , мс;

$a_{i3}= 0,000525$, $a_{i2}= 0,2033$, $a_{i1}= 25,45$, $a_{j3}=0,000790$, $a_{j2}=0,2994$, $a_{j1}=37,40$, $a_{k3}=0,000344$, $a_{k2}=0,1322$, $a_{k1}=16,56$ - коэффициенты интенсивностей флуоресценции хлорофилла для различных сортов зеленых томатов;

$I_{фл\ ср\ зел}$ - средняя интенсивность флуоресценции хлорофилла для различных сортов зеленых томатов; t - время, мс;

$$a_{ср3} = \frac{a_{i3}+a_{j3}+a_{k3}}{3}, \quad a_{ср2} = \frac{a_{i2}+a_{j2}+a_{k2}}{3}, \quad a_{ср1} = \frac{a_{i1}+a_{j1}+a_{k1}}{3}, \quad a_{ср0} = \frac{a_{i0}+a_{j0}+a_{k0}}{3} - \text{средние}$$

коэффициенты интенсивности флуоресценции хлорофилла зеленых томатов; $a_{ср3} = 0,000553$, $a_{ср2} = 0,2117$, $a_{ср1} = 26,47$, $a_{ср0} = 541$, $t_{I_{ср\ зел}} = 128$ мс.

В итоге получим усреднённую математическую модель для зеленых томатов:

$$I_{фл\ ср\ зел} = 0,000553 t^3 - 0,2117 t^2 + 26,47 t + 541$$

- усреднённая математическая модель для бурых томатов (разных сортов)

Для определения такой модели запишем:

$$I_{\text{фл } iб} = b_{i3} t^3 + b_{i2} t^2 + b_{i1} t + b_{i0}; \text{ (сорт "Алькасара")},$$

$$I_{\text{фл } jб} = b_{j3} t^3 + b_{j2} t^2 + b_{j1} t + b_{j0}; \text{ (сорт "Лезгинка")},$$

$$I_{\text{фл } kб} = b_{k3} t^3 + b_{k2} t^2 + b_{k1} t + b_{k0}; \text{ (сорт "Розанчик")},$$

$$I_{\text{фл ср бур}} = b_{\text{ср}3} t^3 + b_{\text{ср}2} t^2 + b_{\text{ср}1} t + b_{\text{ср}0},$$

где, $I_{\text{фл } iб}$, $I_{\text{фл } jб}$, $I_{\text{фл } kб}$ = интенсивности флуоресценции хлорофилла для различных сортов бурых томатов; i, j, k = различные сорта томатов; t , мс;

$b_{i3}=0,000299$, $b_{i2}=0,1119$, $b_{i1}=13,26$, $b_{j3}=0,000230$, $b_{j2}=0,0842$, $b_{j1}=9,92$,
 $b_{k3}=0,000039$, $b_{k2}= 0,0154$, $b_{k1}= 2,09$ - коэффициенты интенсивностей флуоресценции хлорофилла для различных сортов бурых томатов;

$I_{\text{фл ср бур}}$ - средняя интенсивность флуоресценции хлорофилла для различных сортов бурых томатов; t - время, мс;

$b_{\text{ср}3} = \frac{b_{i3}+b_{j3}+b_{k3}}{3}$, $b_{\text{ср}2} = \frac{b_{i2}+b_{j2}+b_{k2}}{3}$, $b_{\text{ср}1} = \frac{b_{i1}+b_{j1}+b_{k1}}{3}$, $b_{\text{ср}0} = \frac{b_{i0}+b_{j0}+b_{k0}}{3}$ - средние коэффициенты интенсивности флуоресценции хлорофилла бурых томатов; $b_{\text{ср}3} = 0,000189$; $b_{\text{ср}2} = 0,0705$; $b_{\text{ср}1} = 8,42$; $b_{\text{ср}0} = 262$, $t_{\text{ср бур}} = 125$ мс.

В итоге получим усреднённую математическую модель для бурых томатов:

$$I_{\text{фл ср бур}} = 0,000189 t^3 - 0,0705 t^2 + 8,42 t + 262$$

- усреднённая математическая модель для розовых томатов (разных сортов)

Для определения такой модели запишем:

$$I_{\text{фл } ip} = c_{i3} t^3 + c_{i2} t^2 + c_{i1} t + c_{i0}; \text{ (сорт "Алькасара")},$$

$$I_{\text{фл } jp} = c_{j3} t^3 + c_{j2} t^2 + c_{j1} t + c_{j0}; \text{ (сорт "Лезгинка")},$$

$$I_{\text{фл } kp} = c_{k3} t^3 + c_{k2} t^2 + c_{k1} t + c_{k0}; \text{ (сорт "Розанчик")},$$

$$I_{\text{фл ср роз}} = c_{\text{ср}3} t^3 + c_{\text{ср}2} t^2 + c_{\text{ср}1} t + c_{\text{ср}0},$$

где, $I_{\text{фл } ip}$, $I_{\text{фл } jp}$, $I_{\text{фл } kp}$ = интенсивности флуоресценции хлорофилла для различных сортов розовых томатов; i, j, k = различные сорта томатов; t , мс;

$c_{i3}=0,000082$, $c_{i2}=0,0306$, $c_{i1}=3,64$, $c_{j3}=0,000088$, $c_{j2}=0,0324$, $c_{j1}=4,16$,
 $c_{k3}=0,000055$, $c_{k2}=0,0232$, $c_{k1}=3,32$ - коэффициенты интенсивностей
 флуоресценции хлорофилла различных для сортов розовых томатов;

$I_{\text{фл ср роз}}$ - средняя интенсивность флуоресценции хлорофилла для различных
 сортов розовых томатов; t - время, мс;

$c_{\text{ср3}} = \frac{c_{i3}+c_{j3}+c_{k3}}{3}$, $c_{\text{ср2}} = \frac{c_{i2}+c_{j2}+c_{k2}}{3}$, $c_{\text{ср1}} = \frac{c_{i1}+c_{j1}+c_{k1}}{3}$, $c_{\text{ср}} = \frac{c_{i0}+c_{j0}+c_{k0}}{3}$ - средние
 коэффициенты интенсивности флуоресценции хлорофилла розовых томатов; $c_{\text{ср3}} =$
 $0,000075$; $c_{\text{ср2}} = 0,0287$; $c_{\text{ср1}} = 3,70$; $c_{\text{ср}} = 125$, $t_{\text{ср роз}} = 133$ мс.

В итоге получим усреднённую математическую модель для розовых томатов:

$$I_{\text{фл ср роз}} = 0,000075 t^3 - 0,0287 t^2 + 3,70 t + 125$$

**- средняя интенсивность флуоресценции хлорофилла для красных томатов
 (разных сортов)**

$$I_{\text{фл ср к}} = \frac{I_{\text{фл1к}}+I_{\text{фл2к}}+I_{\text{фл3к}}}{3} = 37 \pm 5.$$

Совокупность полученных усредненных математических моделей (таблице
 2.7) интенсивностей флуоресценции хлорофилла для разных сортов томатов
 позволила определить среднее оптимальное время $t_{\text{ср}} = 129 \pm 4$ мс контроля
 степени зрелости томатов, которое необходимо реализовать в устройстве для
 такого контроля.

Таблица 2.7. Усредненная математическая модель кривых флуоресценции хлорофилла для различных сортов томатов для разных степеней его зрелости.

для различных сортов томатов	Степень зрелости	Уравнения математических моделей
	зелёная	$I_{\text{фл ср зел}} = 0,000553 t^3 - 0,2117 t^2 + 26,47 t + 541,4$
		$d I_{\text{фл ср зел}} / dt = 0,001659 t^2 - 0,4234 t + 26,47$
		$d^2 I_{\text{фл ср зел}} / dt^2 = 0,003316 t - 0,4234 \quad (t_I=128 \text{ мс})$
	бурая	$I_{\text{фл ср бур}} = 0,000189 t^3 - 0,0705 t^2 + 8,42 t + 262$
		$d I_{\text{фл ср бур}} / dt = 0,00056 t^2 - 0,141 t + 8,42$
		$d^2 I_{\text{фл ср бур}} / dt^2 = 0,00112 t - 0,141 \quad (t_I=125 \text{ мс})$
	розовая	$I_{\text{фл ср роз}} = 0,000075 t^3 - 0,0287 t^2 + 3,70 t + 125$
		$d I_{\text{фл ср роз}} / dt = 0,000225 t^2 - 0,0574 t + 3,70$
		$d^2 I_{\text{фл. ср., роз.}} / dt^2 = 0,00045 t - 0,0574 \quad (t_I=133 \text{ мс})$
красная	$d_{\text{ср.}} = 37 \pm 5$	

2.5. Выводы из главы 2

1. Разработаны математические модели уровней флуоресценции хлорофилла томатов от степени их зрелости, которые описываются полиномами третьей степени.
2. Согласно полученным математическим моделям определено оптимальное время $t_{Icp} = 129 \pm 4$ мс контроля степени зрелости томатов.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ ТОМАТОВ

3.1. Разработка схемы и конструкции устройства

С учетом требуемых частотных диапазонов излученного f_u ($f_u = 470 \pm 8$ нм) и сгенерированного f_c от плода томата ($f_c = 650...820$ нм) световых потоков, их интенсивностей, оптимального времени $t_i = 129 \pm 4$ контроля степени зрелости томатов была разработана функциональная схема (рис. 3.1) устройства для контроля степени зрелости томатов.

Устройство работает следующим образом. Микроконтроллер 5 (на базе «Arduino») с установленной в нём программой формирует сигнал управления светодиодами 3, который направленно излучает световой поток с длиной волны 470 ± 8 нм на объект 1 исследования (плод томат). Сгенерированный от плода световой поток, но уже с другой длиной волны ($650...820$ нм) через светофильтр 2 поступает на фотодиод ФД. Сформированный в нем электрический сигнал через каскад усиления и согласования фотодиода ФД с микроконтроллером 4 поступает в микроконтроллер 5 и компьютер 6, в котором согласно разработанной программе происходит обработка сигнала светового потока с учётом уровней амплитуд и спектрального его состава, излучённого и сгенерированного от плода томата 1 световых потоков.

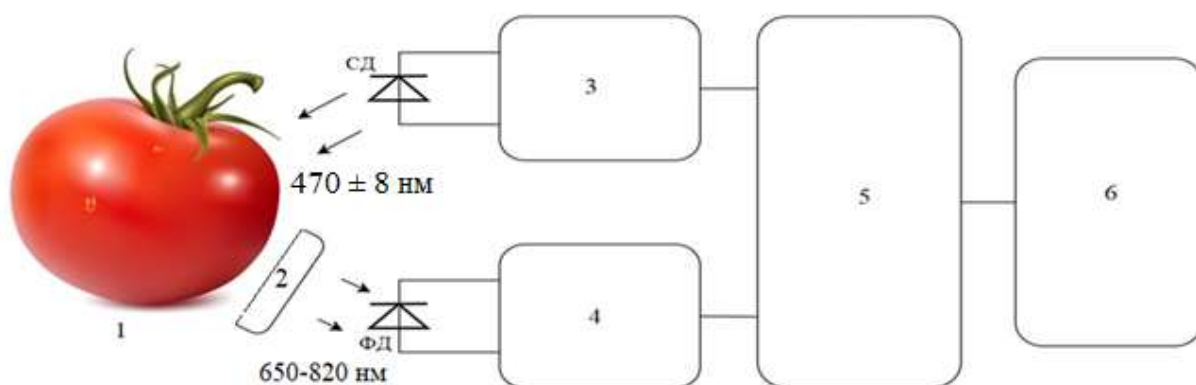


Рисунок 3.1 – Функциональная схема устройства для контроля степени зрелости томатов: 1 – объект исследования (томат), 2 – светофильтр, 3 – управляемый источник питания СД (светодиода, типа ARPL-3W-EPL40), 4 – каскад усиления и

согласования ФД (фотодиода, типа ФД-7К) с микроконтроллером, 5 – микроконтроллер, 6 – компьютер.

Согласно разработанной функциональной схеме было изготовлено устройство для контроля степени зрелости томатов (Рисунок 3.2).

При проведении экспериментальных исследований были использованы 3 ботанических сорта томатов: «Алькасара», «Лезгинка» и «Розанчик» (выращенных в теплицах РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) с различной окраской зрелых плодов: красного цвета («Алькасара» и «Лезгинка») и розового цвета «Розанчик».



Рисунок 3.2 – Устройство для контроля степени зрелости томатов.

1 – прибор для контроля степени зрелости томатов; 2 - исследуемый плод томата; 3 – источник излучения (светодиод); 4 – приемный источник ФД (фотодиод), 5 – компьютер с программным обеспечением.

Условия эксплуатации стенда:

- температура окружающего воздуха: от +5°C до +40°C;
- относительная влажность: не более 80 % при +20°C;
- напряжение питающей сети (при питании компьютера от сети) 220 В ±10 %, 50±0,5 Гц и содержание гармоник не более 5 %;
- фоновая освещенность – не более 200 лк;

Технические данные стенда:

- длина волны излучателя, возбуждающего флуоресценцию - 445 ± 25 нм.
- длины волны регистрируемой флуоресценции - 650...820 нм.
- пороговая чувствительность приемного фотодиода FDS100 – 0,54 А/Вт.
- время контроля – 0.1-1 с.
- общие габариты – 800 мм × 505 мм × 240 мм.
- вес (без компьютера) - не более 750 г.
- потребляемая мощность – не более 0,4 Вт.

3.2. Разработка методика проведения экспериментальных исследований

методика проведения эксперимента включает 4 этапа.

1. Сбор томатов (в теплице).

При проведении экспериментальных исследований использовали три сорта томатов: «Алькасар», «Лезгинка», и «Розанчик», выращенных в теплицах РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, для четырех степеней зрелости (зеленая, бурая, розовая, и красная для сортов «Алькасар», «Лезгинка» и «Розанчик»).

2. Разделение томатов по степени зрелости (цвету кожуры плода).

Цвет кожуры плода

Для объективной оценки степени зрелости томатов разных сортов был использован колориметр (Minolta Chromameter 400, Япония), посредством которого измеряли угол оттенка H° светового потока на основе значений a и b по формуле: $H^\circ = 180 + (\text{tg } (b / a))^{-1}$

где, a, b - коэффициенты показаний колориметра

Согласно таблице 2.1 по значениям H° определяли степени зрелости томатов каждого сорта [83].

Таблица 2.1. Шкала степеней зрелости томатов в зависимости от угла оттенка.

Степень зрелости	угол оттенка, H°
зелёная	90.3 – 103
бурая	59.69 – 77.17
розовая	48.14-59.5
красная	33.5 – 44.3

3. Определение выборки томатов

Для проведения эксперимента был определён объём n выборочной совокупности томатов. Вначале была отобрана случайная выборка ($N = 25$ томатов) и проведены на ней измерения, из которых были рассчитаны среднее ($\bar{X} = 1360$) и стандартное отклонение ($S_x = 370$) этой выборки.

Минимально необходимый объём n_p подсчитываем из условия равенства [35]:

$$n_p = \left(\frac{t_{\gamma;n} \cdot S_x}{\Delta \cdot \bar{X}} \right)^2$$

где, $t_{\gamma;n}$ - коэффициент Стьюдента, $t_{\gamma=0,95;n=25} = 2,06$; Δ - относительная погрешность определения среднего ($\Delta=10\%$ или $0,1$).

$$n_p = \left(\frac{t_{\gamma;n} \cdot S_x}{\Delta \cdot \bar{X}} \right)^2 = \left(\frac{2,06 \cdot 370}{0,1 \cdot 1360} \right)^2 = 32.$$

4. Работа на устройства

- Для каждого плода и сорта томатов определяли интенсивность флуоресценцию хлорофилла $I_{фл}$ с помощью разработанного устройства [1–10, 43, 44].

- По результатам измерений во всех группах плодов томатов были определены уровни быстрой и медленной флуоресценции хлорофилла, после чего определяли средние значения показателей интенсивности флуоресценции хлорофилла и времени контроля степени зрелости томатов.

3.3. Выводы из главы 3

- 1- Разработано устройство для контроля степени зрелости томатов по их интенсивностям флуоресценции хлорофилла.
- 2- Разработана методика для контроля степени зрелости томатов по их интенсивностям флуоресценции хлорофилла.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ ТОМАТОВ

4.1. Анализ полученных результатов

Результаты эксперимента по определению зрелости томатов с помощью медленной индукции флуоресценции хлорофилла.

На рисунках (4.1, 4.2, 4.3) приведены диаграммы зависимостей максимумов интенсивности флуоресценции хлорофилла (Fm) в зависимости от степени зрелости томатов сортов томатов: «Алькасар», «Лезгинка» и «Розанчик».

Анализ таких зависимостей показывает, что по мере зрелости плодов томатов уменьшается уровень максимальной флуоресценции Fm . Для зеленой (первой степени) зрелости плоды томатов отличаются высокими значениями максимумов интенсивности флуоресценции хлорофилла. Стадия же полной зрелости плодов томатов характеризуется низким уровнем значений максимумов флуоресценции.

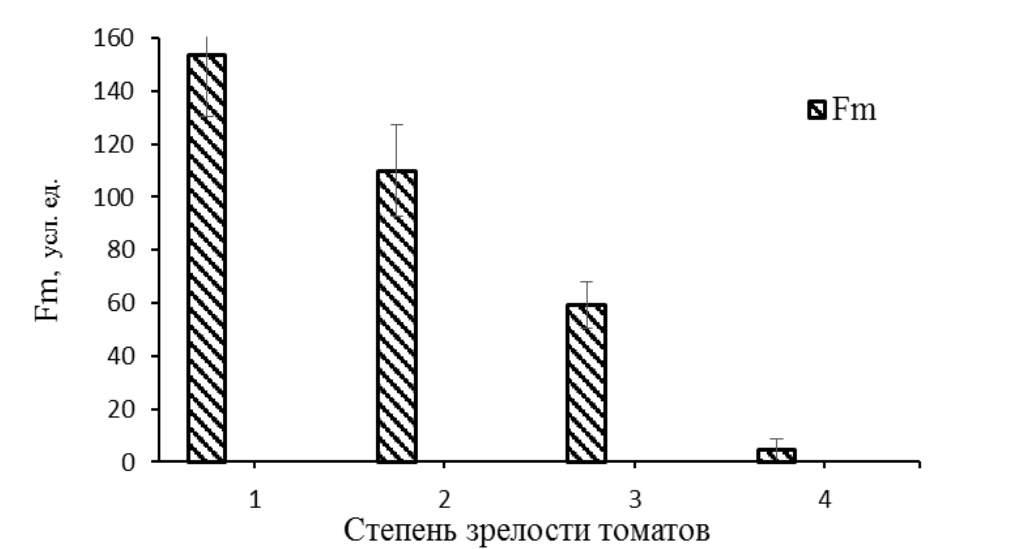


Рисунок 4.1 – Диаграммы зависимостей максимумов интенсивности флуоресценции хлорофилла (Fm) в зависимости от степени зрелости томатов сорта «Алькасара»: 1) степень зрелости – «зелёная»; 2) степень зрелости- «бурая»; 3) степень зрелости- «Розовая»; 4) степень зрелости- «красная».

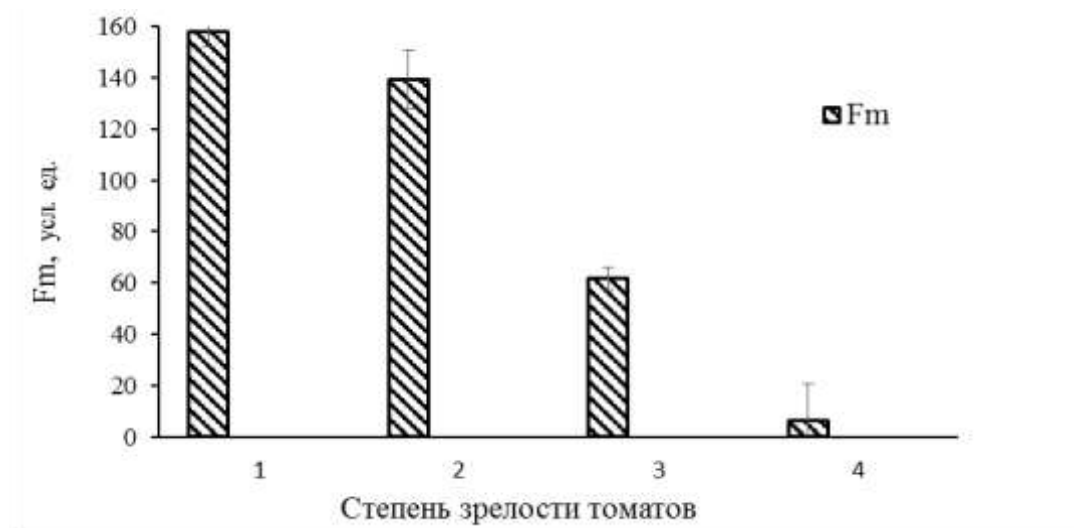


Рисунок 4.2 – Диаграммы зависимостей максимумов интенсивности флуоресценции хлорофилла (F_m) в зависимости от степени зрелости томатов сорта «Розанчик»: 1) степень зрелости – «зелёная»; 2) степень зрелости- «бурая»; 3) степень зрелости- «Розовая»; 4) степень зрелости- «красная».

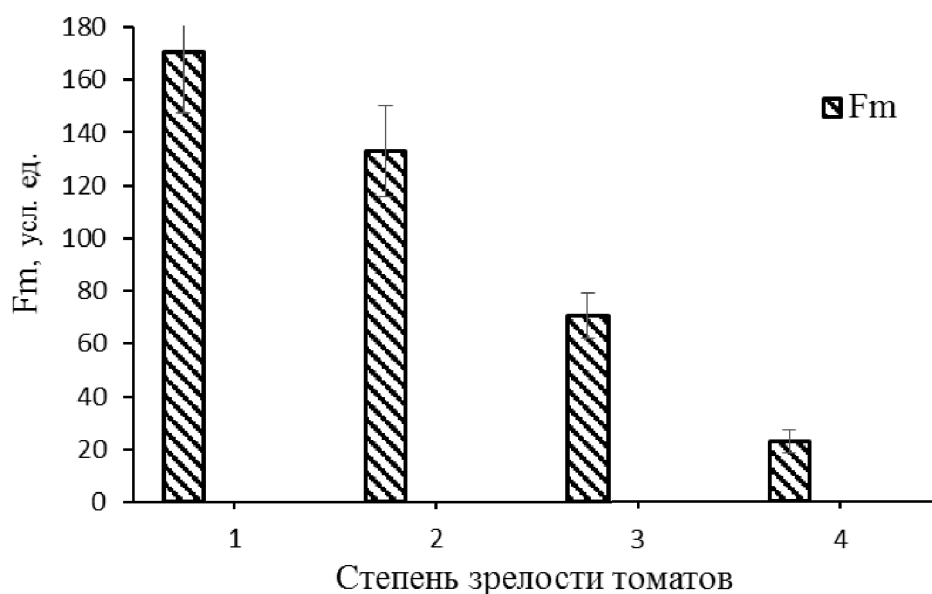


Рисунок 4.3 – Диаграммы зависимостей максимумов интенсивности флуоресценции хлорофилла (F_m) в зависимости от степени зрелости томатов сорта «Лезгинка»: 1) степень зрелости – «зелёная»; 2) степень зрелости- «бурая»; 3) степень зрелости- «Розовая»; 4) степень зрелости- «красная».

Результаты эксперимента по определению зрелости томатов с помощью быстрой флуоресценции хлорофилла.

На рисунок 4.4 приведены диаграммы зависимостей быстрой (в сравнении с медленной) флуоресценции хлорофилла от степени зрелости томатов сорта «Алькасара».

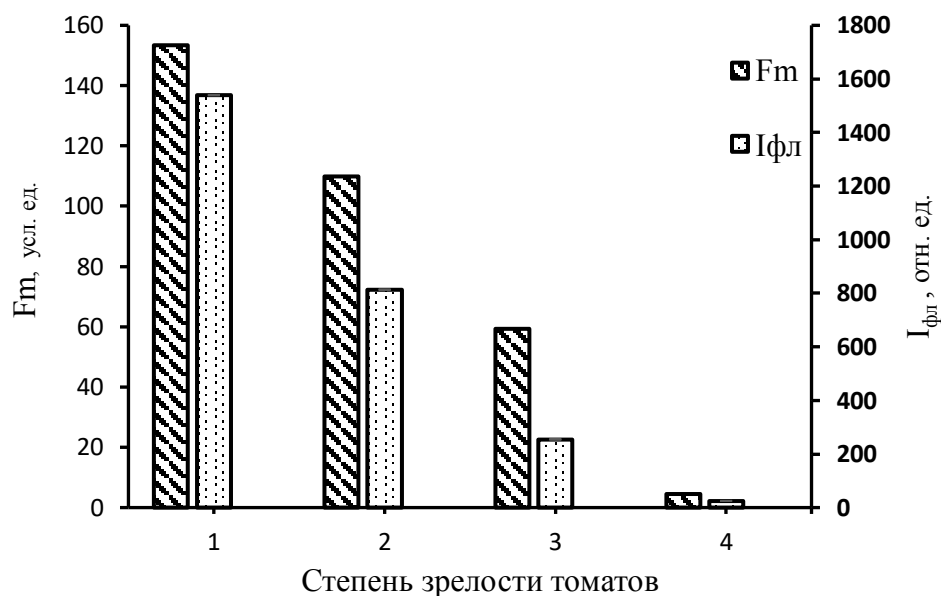


Рисунок 4.4 – Диаграммы зависимостей медленной F_m и быстрой I_{fl} флуоресценции хлорофилла для сорта «Алькасара».

На рисунок 4.4 приведены диаграммы зависимостей быстрой (в сравнении с медленной) флуоресценции хлорофилла от степени зрелости томатов сорта «Лезгинка».

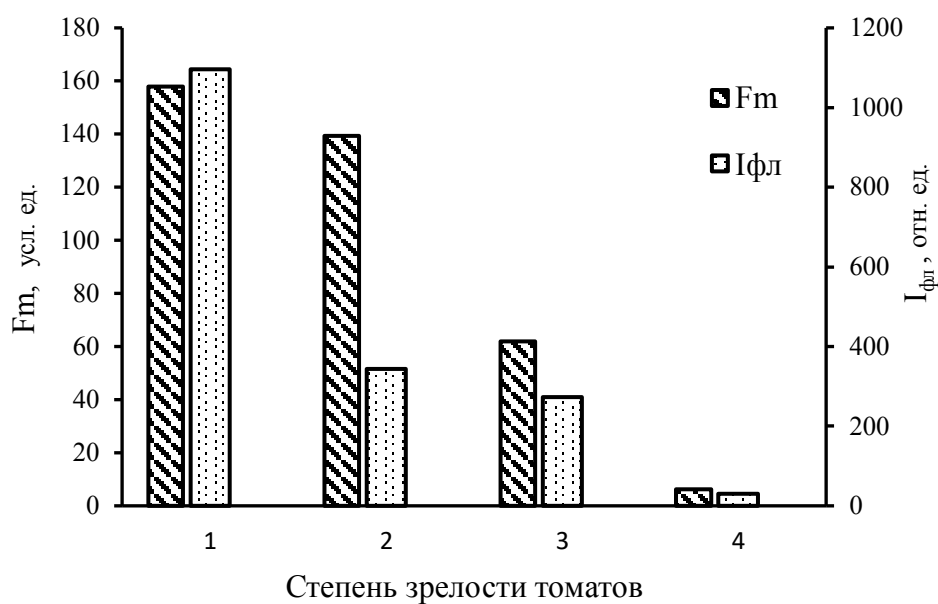


Рисунок 4.5 – Диаграммы зависимостей медленной F_m и быстрой I_{fl} флуоресценции хлорофилла для сорта «Лезгинка».

На рисунок 4.6 приведены диаграммы зависимостей быстрой (в сравнении с медленной) флуоресценции хлорофилла от степени зрелости томатов сорта «Розанчик».

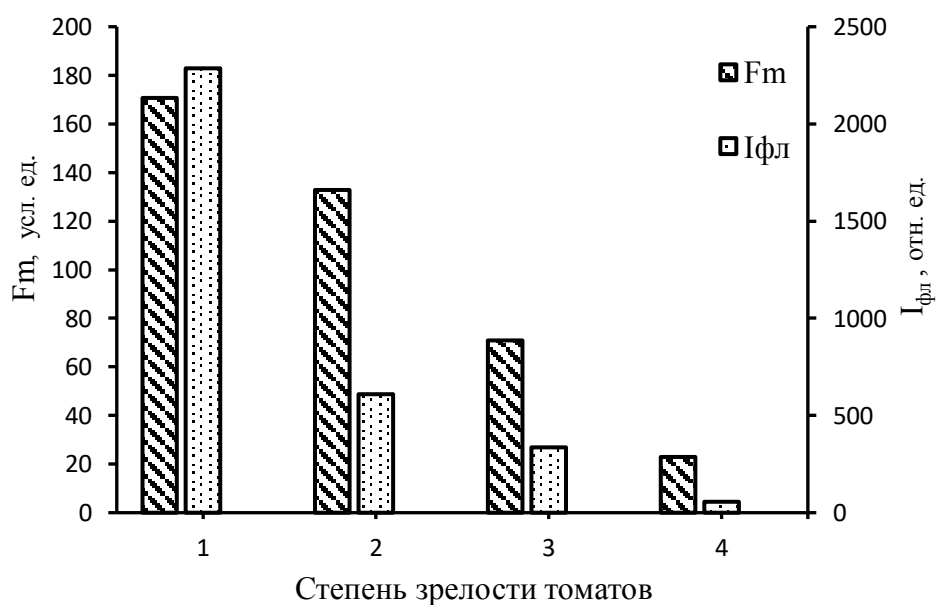


Рисунок 4.6 – Диаграммы зависимостей медленной F_m и быстрой I_{fl} флуоресценции хлорофилла для сорта «Розанчик».

Полученные диаграммы (Рисунки 4.4, 4.5, 4.6) свидетельствуют о высокой корреляции зависимостей медленной Fm и быстрой $I_{фл}$ флуоресценции хлорофилла для определённых сортов и степеней их зрелости томатов.

В итоге, были получены графические зависимости (рис. 4.7) между интенсивности быстрой флуоресценции хлорофилла $I_{фл}$ томатов и степенями их зрелости для всех сортов томатов.

Такие зависимости позволяют достоверно проводить сортирование томатов определенных сортов по степени их зрелости.

Шкала степеней зрелости плодов томатов (Таблица 4.1) разработана для все сортов томатов на основе зависимости их интенсивности флуоресценции хлорофилла от степеней зрелости томатов.

Таблица 4.1. Шкала степеней зрелости томатов для разных их сортов

Степень зрелости томатов	$I_{фл}$, отн. ед.,
1 (зелёная)	1640 ± 600
2 (бурая)	588 ± 235
3 (розовая)	288 ± 44
4 (красная)	37 ± 15

Такая шкала позволяет грубо сортировать томаты любых сортов по степени их зрелости.

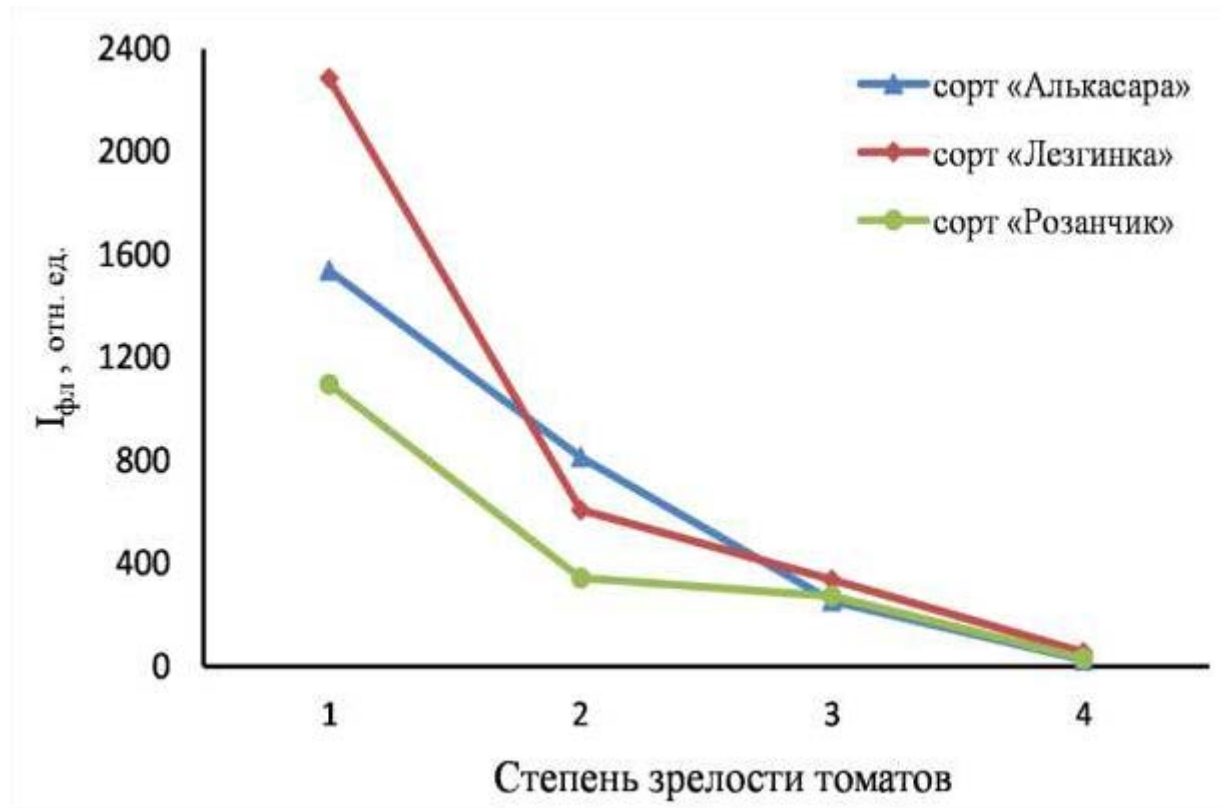


Рисунок 4.7 – Графические зависимости между интенсивностью флуоресценции хлорофилла $I_{фл}$ томатов и степенью их зрелости (для сортов «Алькасара», «Лезгинка» и «Розанчик»): 1) степень зрелости – «зелёная»; 2) степень зрелости – «бурая»; 3) степень зрелости – «Розовая»; 4) степень зрелости – «красная».

4.2. Оценка технико-экономической эффективности устройства для контроля степени зрелости томатов.

Расчет технико-экономической эффективности разработанного устройства, был проведен согласно нормативным документам[41], еще поновее.

Сравнительная экономическая оценка базового и предлагаемого устройства

За базовое принято известное устройство для контроля зрелости томатов по цвету [91].

Производительность $P_{п}$ предлагаемого устройства определил как:

$$P_{п} = m \cdot t_i = 0,23 \cdot 10 \cdot 60 \cdot 60 = 8,28 \text{ тонн / час.}$$

где, $m = 230$ г – масса, t_i – время работы устройства, ч (при этом $t_i = 0,1$ с - время контроля одного плода).

Производительность базового устройства $P_{б} = 0,23 \cdot 60 \cdot 60 = 0,828$ тонн / час.

(время контроля одного плода составляет 1 с).

Капитальные вложения $K_{в}$, включают затраты на приобретение, доставку и монтаж оборудования:

$$K_{в} = \rho_i C_i n_i,$$

где, ρ_i - коэффициент, учитывающий затраты на доставку и монтаж, находится в пределе 1,2... 1,3 для установок сортировки плодов и овощей;

C_i - цена i -го блока установки, руб;

n_i - количество i - тых блоков.

В базовом устройстве:

$$K_{вб} = \rho_i C_i n_i = 1,2 \cdot 100000 \cdot 1 = 120000 \text{ руб. [91]}$$

В предлагаемом устройстве:

$$K_{вп} = \rho_i C_i n_i = 1,2 \cdot 78000 \cdot 1 = 93600 \text{ руб.}$$

представим исходные данные в таблице 4.2

Таблица 4.2. Исходные данные

Показатели	Базовое устройство	Предлагаемое устройство
Капитальные вложения, руб	120000	93600
Потребляемая мощность, Вт	400	300
Тариф на электроэнергию, руб/ кВт.ч	5.66	5.66
Продолжительность работы устройства, ч / год	1440	144
Обслуживающий персонал. чел	1	1
Часовая тарифная ставка, руб	185	185
Время измерения одного плода томата, с	1	0.1
Производительность, тонн /ч	0.828	8.280

Эксплуатационные затраты

Эксплуатационные затраты (I) включают прямые текущие издержки, которые при данном расчете могут изменяться:

$$I = I_{zn} + I_a + I_p + I_{нэ} + I_{нр},$$

где I_{zn} — затраты на оплату труда с начислениями, руб;

I_a - амортизационные отчисления, руб.;

I_p - затраты на ремонт блока распознавания, руб.;

$I_{нэ}$ - стоимость потребленной электроэнергии, руб.;

$I_{нр}$ - прочие прямые издержки, руб.

Затраты на оплату труда ($I_{зн}$) состоят из основной и дополнительной заработной платы персонала с соответствующими начислениями и рассчитываются по формуле:

$$I_{зн} = (OT_{осн} + OT_{доп})(1 + H_{пф} + H_{мс} + H_{фсс} + H_{фз}),$$

где $OT_{осн}$ - основная оплата труда, руб.;

$OT_{доп}$ - дополнительная оплата труда, руб.;

$H_{пф}$ - норматив отчисления в пенсионный фонд (для сельскохозяйственных предприятий 0,206);

$H_{мс}$ — норматив отчислений в фонд обязательного медицинского страхования 0,036;

$H_{фсс}$ - норматив отчислений в фонд социального страхования 0,054;

$H_{фз}$ - норматив отчислений в фонд занятости 0,02.

Основная оплата труда ($OT_{осн}$) зависит от трудоемкости технического обслуживания и ремонта и может быть определена по формуле:

$$OT_{осн} = S_{ТО} T_{СТ} \rho_{пр},$$

где $S_{ТО}$ — годовые затраты на проведение технического обслуживания и технического ремонта, час;

$T_{СТ}$ - часовая тарифная ставка среднего разряда работ (по техническому обслуживанию -185 руб./ч;

$\rho_{пр}$ - коэффициент, учитывающий премии по фонду оплаты труда, принимается в размере 1,3... 1,4 /95/.

$$(OT_{осн})_б = (1440 \text{ час}) * 185 \text{ руб} / \text{час} * 1.4 = 372960 \text{ руб.}$$

$$(OT_{осн})_п = (144 \text{ час}) * 185 \text{ руб} / \text{час} * 1.4 = 37296 \text{ руб.}$$

Дополнительная оплата труда (оплата отпусков, времени выполнения специальных обязанностей и т. д.) определяется сложившимся процентом к основной оплате труда:

$$OT_{доп} = \rho_{доп} OT_{осн},$$

где $\rho_{доп}$ - коэффициент учитывающий размеры дополнительной оплаты труда, принимается в размере 0,12...0,16 [197].

$$(OT_{доп})_б = 0.13 * 372960 = 48485 \text{ руб.}$$

$$(OT_{дон})_{п} = 0.13 * 37296 = 4848 \text{ руб.}$$

Затраты на оплату труда ($I_{зн}$)

$$I_{зн} = (OT_{осн} + OT_{дон})(1 + H_{ндф} + H_{мс} + H_{фсс} + H_{фз});$$

$$(I_{зн})_{б} = (372960 + 48485)(1 + 0.206 + 0.036 + 0.054 + 0.02) = 554622 \text{ руб.}$$

$$(I_{зн})_{п} = (37296 + 4848)(1 + 0.206 + 0.036 + 0.054 + 0.02) = 55461 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления (I_a) на устройство рассчитываются по формуле:

$$I_a = \rho_a Kв,$$

где ρ_a - норма амортизационных отчислений, для устройства принимается 0,1;

Кв - Капитальные вложения, руб.

$$(I_a)_{б} = 0.1 * 120000 = 12000 \text{ руб.}$$

$$(I_a)_{п} = 0.1 * 93600 = 9360 \text{ руб.}$$

затраты на ремонт блока распознавания (I_p) рассчитывается по формуле:

$$I_p = \rho_p Kв,$$

где ρ_p - норма ремонта, для устройства принимается 0,05;

$$(I_p)_{б} = 0.05 * 120000 = 6000 \text{ руб.}$$

$$(I_p)_{п} = 0.05 * 93600 = 4680 \text{ руб.}$$

Стоимость потребляемой электроэнергии ($I_{нэ}$) рассчитывается по формуле:

$$I_{нэ} = C_э * P_{бл} * n_{бл} * t * Д,$$

где $C_э$ - стоимость 1 кВт.ч электроэнергии, руб.;

$P_{бл}$ - мощность каждого блока в отдельности, кВт;

$n_{бл}$ - количество блоков;

t - время работы в сутки.

$Д$ - количество суток работы в году;

$$(I_{нэ})_{б} = 5.66 * 0.4 * 1 * 1440 = 3260 \text{ руб.}$$

$$(I_{нэ})_{п} = 5.66 * 0.3 * 1 * 144 = 244 \text{ руб.}$$

Прочие прямые издержки ($I_{пр}$) рассчитываются укрупненно по формуле:

$$I_{np} = (0,05...0.1)(I_{zn} + I_a + I_p + I_{nэ}); \quad (4.25)$$

$$(I_{np})_б = 0.06 * (554622 + 12000 + 6000 + 3260) = 34553 \text{ руб.}$$

$$(I_{np})_п = 0.06 * (55461 + 9360 + 4680 + 244) = 4185 \text{ руб.}$$

Определяем общую сумму эксплуатационных затрат (И):

$$I = I_{zn} + I_a + I_p + I_{nэ} + I_{np}; \quad (4.26)$$

$$I_б = 554622 + 12000 + 6000 + 3260 + 34553 = 610435 \text{ руб.}$$

$$I_п = 55461 + 9360 + 4680 + 244 + 4185 = 73930 \text{ руб.}$$

Дополнительный доход за счёт снижения эксплуатационных затрат, Д_t
рассчитывается по формуле:

$$Д_t = I_б - I_п,$$

$$Д_t = 610435 - 73930 = 536505 \text{ руб.}$$

Расчёт показателей экономической эффективности

Определим капиталоемкость (К_е):

$$К_e = \frac{K_B}{Q_T},$$

где К_в – Капитальные вложения в базовые и предлагаемые устройства, руб,
– Q_T – годовое производство, т.

$$К_{еб} = \frac{120000}{1192} = 100 \text{ руб/т.}$$

$$К_{еп} = \frac{93600}{1192} = 78 \text{ руб/т.}$$

Срок окупаемости капиталовложений рассчитывается по формуле:

$$T_{ок} = K / Д,$$

где T_{ок} - срок окупаемости.

К – сумма дисконтированных капиталовложений, руб.;

Д – дополнительный доход.

$$T_{ок} = \frac{K}{Д} = \frac{93600}{536505} = 0.17 \text{ лет.}$$

Экономическая эффективность капиталовложений.

$$Э_ф = \frac{Д}{K} = \frac{536505}{93600} = 5.73 > E_H$$

Экономический эффект за расчетный период (T_p = 10 лет).

$$\mathcal{E}_m = \frac{(Иб - Квб * E_n) - (Ип - Квп * E_n)}{E_n + R_t};$$

где, E_n - нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений ($E_n = 0,20$);

R_t - норма реновации, определяемая с учетом фактора времени;

$$\mathcal{E}_m = \frac{(610435 - 120000 * 0.2) - (73930 - 93600 * 0.2)}{0.2 + 0.038} = \frac{531225}{0.238} = 2656125 \text{ руб.}$$

Таблица 4.3. Показатели технико-экономической эффективности

Наименование показателей	Значение показателя, руб.	
	Базовое устройство	Предлагаемое устройство
1. Размер дополнительных кап. вложений	120000	93600
2. Эксплуатационные затраты	610435	73930
- заработная плата	554622	55461
- амортизация	12000	9360
- отчисления на ремонт	6000	4680
- стоимость потребленной эл. энергии	815	244
- прочие	34553	4185
3. Годовой дополнительный доход от экономии	536505	
4. Экономический эффект за расчетный период ($T_p = 10 \text{ лет}$).	2656125	
5. Срок окупаемости, лет	0.17	

4.3. Выводы из главы 4

1. По результатам экспериментальных исследований установлено, что применение устройства, разработанного по предложенному способу контроля зрелости томатов, существенно повышает оперативность и достоверность такого контроля.
2. Использование предлагаемого устройства позволяет автоматизировать процесс сортирования томатов с дополнительным доходом в 536505 руб. в год.
3. Разработана шкала степеней зрелости томатов для разных их сортов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны способ и устройство для контроля степени зрелости томатов, обеспечивающие оперативность, достоверность и дешевизну такого контроля.

1. Установлено, что известным методам присущи недостаточные оперативность и достоверность такого контроля, сложность и дороговизна оборудования. Предложен способ и устройство, исключающие недостатки существующих методов и средств контроля зрелости томатов и основанные на измерении уровня быстрой флуоресценции хлорофилла томатов в зависимости от их зрелости.

2. Разработаны математические модели интенсивностей флуоресценции хлорофилла различных сортов томатов в зависимости от степени их зрелости, которые описываются полиномами третьей степени.

3. Согласно полученным математическим моделям определено оптимальное время $t_l = 129 \pm 4$ мс контроля степени зрелости томатов.

4. Разработано устройство для контроля степени зрелости томатов по их интенсивностям быстрой флуоресценции хлорофилла.

5. По результатам экспериментальных исследований установлено, что применение устройства, разработанного по предложенному способу контроля зрелости томатов, существенно повышает оперативность и достоверность такого контроля.

6. Использование разработанного устройства позволяет контролировать процесс сортирования по зрелости томатов с дополнительным доходом в 536505 руб. в год.

7. Разработанное устройство может быть использовано на автоматизированных пунктах сортирования томатов, яблок, плодов манго, лимонов, картофеля и других.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абделхамид, М.А. Chlorophyll fluorescence as an indicator of fruit ripening. Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию А.В. Леонтовича, г. Москва – 2019: Сборник статей. М.: Издательство РГАУ – МСХА, 2019. – С. 202- 205.
2. Абделхамид, М.А. Исследование медленной индукции флуоресценции хлорофилла для разделения плодов томатов по степени их зрелости / Ю.А. Судник, М.А. Абделхамид // Электротехнологии и электрооборудование в АПК, 2020. – №3 (40). – С. 109-114.
3. Абделхамид, М.А. Технологические методы оценки зрелости томатов / М.А. Абделхамид, Ю.А. Судник // Электротехнологии и электрооборудование в АПК, 2020. – № 2(39). – С. 93-98.
4. Абделхамид, М.А. Изменение быстрой фазы флуоресценции хлорофилла при созревании помидоров / Ю.А. Судник, М.А. Абделхамид, В. В. Строкина // Электротехнологии и электрооборудование в АПК, 2021. – №1 (42). – С. 80-85.
5. Абделхамид, М.А. Способ определения зрелости томатов на основе контроля их индукции флуоресценции хлорофилла / Ю.А. Судник, М.А. Абделхамид // Вестник ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина», 2020. – № 1(95). – С. 51-54.
6. Абделхамид, М.А. Rapid technical method for quality control of tomato fruits. Международная научно- практической конференции «Наука без границ и языковых барьеров», Орел: ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2019 г. – С. 9- 12.
7. Абделхамид, М.А. Современные методы оценки зрелости томатов. Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию А.В. Леонтовича, г. Москва – 2019: Сборник статей. М.: Издательство РГАУ – МСХА, 2019. – С. 434–435.

8. Абделхамид, М.А. A device for measuring the slow induction of chlorophyll fluorescence in tomato. Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию В.А. Михельсона, г. Москва – 2020: Сборник статей. – Том 1. – Изд-во РГАУ-МСХА, 2020. – С. 390–392.
9. Абделхамид, М.А. Устройство для измерения степени зрелости томатов в зависимости от флуоресценции хлорофилла. Материалы IV национальной научно-практической конференции; ФГБОУ ВО Кузбасская ГСХА. – Кемерово, 2020 г. – С. 32–37.
10. Абделхамид, М.А. Automation of sorting tomatoes. Международная научная конференция профессорско-преподавательского состава, посвященная 125-летию со дня рождения В.С. Немчинова, г. Москва, Сборник статей. Выпуск 292 Часть I / М. – Издательство РГАУ – МСХА, 2020 г. – С. 138- 140.
11. Алиева, М.Ю. Изучение параметров флуоресценции хлорофилла древесных растений в условиях различной транспортной нагрузки / М.Ю. Алиева, А.Т. Маммаев, М.Х.-М. Магомедова, Е.В. Пиняскина // известия самарского научного центра российской академии наук, 2014. – № 1–3 (16). – С. 701-704.
12. Андрианова, Ю.Е. Хлорофилл и продуктивность растений / Ю.Е. Андрианова, И.А. Тарчевский // Рос. акад. наук. Казан. науч. центр. Казан. ин-т биохимии и биофизики. – М.: Наука, 2000. –134 с.
13. Беляева, О.Б. Фотобиосинтез хлорофилла / О.Б. Беляева, Ф.Ф. Литвин // МГУ, 1989.
14. Богун, В.П. Разработка и исследование фотоэлектрического устройства для автоматической сортировки томатов по степени зрелости: Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук : (05.20.02) / Моск. ин-т инженеров с.-х. производства им. В.П. Горячкина. - Москва, 1974. – 22 с.

15. Борданова Веселова, Т.В. Влияние УФ-В радиации на первичные фотосинтетические реакции листьев пшеницы / Т.В. Борданова Веселова, В.А. Веселовский, Т. О. С. Гун-Аажав // Биол. Науки, 1988. – (4). – С. 27–33

16. Бородин, И.Ф. О возможности контроля механических повреждений на плоде фотоэлектрическим методом / И.Ф. Бородин, А.С. Гордеев // Доклады ВАСХНИЛ, 1975. – № 12.

17. Бородин, И.Ф. Оптоэлектронная установка для сортирования яблок / И.Ф. Бородин, А.С. Гордеев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1976. – № 2.

18. Бородин, И.Ф. Способ определения качества плодов и овощей / И.Ф. Бородин, А.С. Гордеев // Авторское свидетельство СССР N 561800. "Изобретения, промышленные образцы, товарные знаки", 1977. – № 22.

19. Будаговская, О.Н. Оптическая дефектоскопия плодов // Тамбов: Пролетар-ский светоч, 2009. – 277 с.

20. Будаговская, О.Н. Оптические методы диагностики зрелости и качества плодовоовощной продукции // Вестник МичГАУ, 2011. – (2). – С. 83–91.

21. Будаговская, О.Н. Инновационное решение проблемы экспресс-диагностики качества и зрелости плодов / О.Н. Будаговская, А.В. Будаговский, И.А. Будаговский, Е.В. Грошева // Инновации в сельском хозяйстве, 2014. – № 4 (9). – С. 202–206.

22. Будаговская, О.Н. Оптический способ неструктурной количественной оценки степени зрелости томатов / О.Н. Будаговская, А.В. Будаговский, Д.В. Акишин, А.В. Сутормина, В.А. Гудковский // Пат. 2582957 Российская Федерация, заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "МГАУ ", 2016.

23. Будаговская, О.Н. Использование параметров медленной индукции флуоресценции хлорофилла для неразрушающей оценки зрелости томатов и прогнозирования их сохранности / О.Н. Будаговская, А.В. Будаговский, Е.В. Грошева // Инновации в сельском хозяйстве, 2016. – (3). – С. 287–293.

24. Будаговский А.В. Оптическая диагностика степени зрелости томатов / А.В. Будаговский, Д.В. Акишин, А.В. Сутормина, О.Н. Будаговская, В.А. Гудковский // Хранение и переработка сельхозсырья, 2014. – (11). –С. 30–34.

25. Василюк, В.Н. Переменная и замедленная флуоресценция хлорофилла а – теоретические основы и практическое приложение в исследовании растений / В.Н. Гольцев, М.Х. Каладжи, М.А. Кузманова, С.И. Аллахвердиев // М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. – 220 с.

26. Веселовский, В.А. Люминесценция растений :Теорет.и аспекты практ. / В. А. Веселовский, Т. В. Веселова; Отв. ред. А. Б. Рубин; АН СССР, Моск. о-во испытателей природы. - М. : Наука, 1990. – 199.

27. Гаевский, Н.А. Использование переменной изамедленной флуоресценции хлорофилла для изучения фотосинтеза растений / Н.А. Гаевский, В.Н. Моргун // Физиология растений, 1993. – № 1 (40). – С. 136–145.

28. Герасименко, В.Н. Способ сортировки томатов и устройство для его осуществления / В.Н. Герасименко, И.А. Долгов, Е.В. Малая, В.Н. Калугин, Д.Н. Узун // Пат. 2102854 Российская Федерация, заявитель и патентообладатель научно-производственное государственное предприятие "Синтез" при Донском государственном техническом университете, 1998.

29. Гордеев, А.С. Устройство для сортировки плодов и овощей по цвету / А.С. Гордеев, А.К. Гасанов, А.К. Богоявленский, И.Ф. Бородин //Авт. Свидетельство СССР N 624664. "Изобретения, промышленные образцы, товарные знаки", 1978. – № 35.

30. Гордеев, А.С. Авторское свидетельство СССР N 650468 "Устройство для обнаружения дефектов на поверхности плодов / А.С. Гордеев, А.В. Четвертаков // Бюллетень "Изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1978. – № 35.

31. Гордеев, А.С. Алгоритмы классификации плодов по качеству //Плодоовощное хозяйство, 1987. – № 35. – 41 с.

32. Криценко, В.П. Анализ качества продукции инфракрасной спектроскопией / В.П. Криценко, С.Г. Самохвалов //Сельское хозяйство за рубежом, 1984. – № 4. – С. 61- 64.

33. Кукушкин, А.К. Лекции по биофизике фотосинтеза растений / А.К. Кукушкин, А.Н. Тихонов // МГУ, 1988.

34. Кулагин, А.А. Реализация адаптивного потенциала древесных растений в экстремальных лесорастительных условиях, 2006.

35. Левшин А.Г. Планирование и организация эксперимента / Левшин А.Г., Левшин А.А., Бутузов А.Е. // Москва, Издательство РГАУ-МСХА, 2015.

36. Мошкин, В.И. Техническое зрение роботов / В.И. Мошкин, А.А. Петров, В.С. Титов, Ю.Г. Якушенков // М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

37. Николс, Д.Д. Биоэнергетика: Введение в хемиосмотическую теорию: Пер. с англ / Мир, 1985.

38. Писаревский, А.Н. Системы технического зрения принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев // Ленинград : Машиностроение, 1988. – 424 с.

39. Скулачев, В.П. Энергетика биологических мембран / М.: Наука, 1989.

40. Старовойтов, В. И. Автоматизация контроля качества картофеля, овощей и плодов / В. И. Старовойтов, А. М. Башилов, А. Л. Андержанов. - М. : Агропромиздат, 1987. – 196с

41. Шпилько, А.В. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / А.В. Шпилько и др. // М: Минсельхозпром России, 1998.

42. Abbott, J.A. Quality measurement of fruits and vegetables / J. Postharvest biology and technology, 1999. – № 3 (15). – С. 207–225.

43. Abdelhamid, M.A. non-destructive method for monitoring the ripening of tomatoes based on their induction of chlorophyll fluorescence / M.A. Abdelhamid, Y.A. Sudnik, H.J. Alshinayyin, F. Shaaban // J. of of Agricultural Engineering. – 2021. – №1 (52),1098.

44. Abdelhamid, M.A. Chlorophyll fluorescence for classification of tomato fruits by their maturity stage / M.A. Abdelhamid, Y.A. Sudnik, H.J. Alshinayyin, F. Shaaban // E3S Web Conf. – 2020. – № 193, 01065

45. Arias, R. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content / R. Arias, T.C. Lee, L. Logendra, H. Janes // J. Agric Food Chem., 2000. – № 5 (48). – C. 1697–1702.

46. Arjenaki, O.O. Online tomato sorting based on shape, maturity, size, and surface defects using machine vision / O.O. Arjenaki, P.A. Moghaddam, A.M. Motlagh // Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2013. – № 1(37). – C. 62–68.

47. Barrett, D.M. Textural modification of processing tomatoes / D.M. Barrett, E. Garcia, J.E. Wayne // Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1998. – № 3 (38). – C. 173–258.

48. Bramley, P.M. Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development // Journal of experimental botany, 2002. – № 377 (53). – C. 2107–2113.

49. Buschmann, C. Variability and application of the chlorophyll fluorescence emission ratio red/far-red of leaves // Photosynthesis research, 2007. – № 2 (92). – C. 261–271.

50. Carrara, S. Photosynthetic activity of ripening tomato fruit / S. Carrara, A. Pardossi, G.F. Soldatini, F. Tognoni, L. Guidi // Photosynthetica, 2001. – № 39 (1). – C. 75–78.

51. Chang, C.H. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes / C.H. Chang, H.Y. Lin, C.Y. Chang, Y.C. Liu // Journal of Food Engineering, 2006. – № 3 (77). – C. 478–485.

52. Choi, K. Tomato maturity evaluation using color image analysis / K. Choi, G. Lee, Y.J. Han, J.M. Bunn // Transactions of the ASAE, 1995. – № 1 (38). – C. 171–176.

53. Ell, J.R. Chlorophyll fluorescence as an indicator of physiological changes in cold-stored broccoli after transfer to room temperature / J.R. Ell, P.M.A. Toivonen // *Journal of food science*, 1999. – № 3 (64). – C. 501–503.

54. Everard, C.D. Assessment of a handheld fluorescence imaging device as an aid for detection of food residues on processing surfaces / C.D. Everard, M.S. Kim, H. Lee // *Food Control*, 2016. – № (59). – C. 243–249.

55. Firkala, T. Investigation of drug distribution in tablets using surface enhanced Raman chemical imaging / T. Firkala, A. Farkas, B. Vajna, I. Farkas, G. Marosi // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2013. – № (76). – C. 145–151.

56. Gejima, Y. Judging of Tomato Maturity by Utilizing a Lowresolution RGB Color System / Y. Gejima, M. Nagata, H. Kenji // *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 2004. – C. 1.

57. Gitelson, A.A. The Chlorophyll Fluorescence Ratio F735/F700 as an Accurate Measure of the Chlorophyll Content in Plants / A.A. Gitelson, C. Buschmann, H. K. Lichtenthaler // *Remote Sensing of Environment*, 1999. – № 3 (69). – C. 296–302.

58. Govindjee, e. 63 Years since Kautsky-chlorophyll-a fluorescence // *Australian Journal of Plant Physiology*, 1995. – № 2 (22). – C. 131–160.

59. Hassan, H.E. Lemon quality evaluation during maturity using color analysis and laser technology / H.E. Hassan, A. El-Rahman, U.A. Abdel-Hameed // *Misr Journal of Agricultural Engineering*, 2015. – № 2 (32). – C. 771–788.

60. Hirschberg, J. Carotenoid biosynthesis in flowering plants // *Current Opinion in Plant Biology*, 2001. – № 3 (4). – C. 210–218.

61. Hoffmann, A.M. Fluorescence indices for monitoring the ripening of tomatoes in pre-and postharvest phases / A.M. Hoffmann, G. Noga, M. Hunsche // *Scientia Horticulturae*, 2015. – 191. – C. 74–81.

62. Jaramillo, J. Technical manual: Good Agricultural Practices in the Production of tomato under protected condition / J. Jaramillo, V. Rodriguez, M. Guzman, M. Zapata // *Food and Agriculture Organization, Rome, Italy*, 2007.

63. Jee, G. Sixty-three years since Kautsky: chlorophylla fluorescence // Aust. J. Plant Physiol, 1995. – (22). –C. 131–160.
64. Jones, J. Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse, and Home Garden CRC Press. Boca Raton:, 2007. –C. 1–30.
65. Kalaivani, R. Identifying the quality of tomatoes in image processing using matlab / R. Kalaivani, S. Muruganand, A. Periasamy // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 2013. – № 2 (8). – C. 3525–3531.
66. Kautsky, H. Das fluoreszenzverhalten grüner pflanzen / H. Kautsky, A. Hirsch // Biochem Z., 1934. – 274. – C. 422–434.
67. Klee, H.J. Genetics and control of tomato fruit ripening and quality attributes / H.J. Klee, J.J. Giovannoni // Annual review of genetics, 2011. – (45). – C. 41–59.
68. Kozukue, N. Tomatine, chlorophyll, β -carotene and lycopene content in tomatoes during growth and maturation / N. Kozukue, M. Friedman // Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003. – № 3 (83). – C. 195–200.
69. Lai, A. Analysis of the main secondary metabolites produced in tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) epicarp tissue during fruit ripening using fluorescence techniques / A. Lai, E. Santangelo, G.P. Soressi, R. Fantoni // Postharvest Biology and Technology, 2007. – № 3 (43). – C. 335–342.
70. Lemboumba, S. O. Laser Induced Chlorophyll Fluorescence of Plant Material, 2006.
71. Li, J.L. Determination of trace thiophanate-methyl and its metabolite carbendazim with teratogenic risk in red bell pepper (*Capsicum annuum* L.) by surface-enhanced Raman imaging technique / Li J.L., Sun D.W., Pu H., Jayas D. // Food Chemistry, – 2017. – (218). – C. 543–552
72. Lino, A.C. Image processing techniques for lemons and tomatoes classification / A.C. Lino, J. Sanches, I.M.D. Fabbro // Bragantia, 2008. – 67. C. – 785–789.

73. Maxwell, K. Chlorophyll fluorescence—a practical guide / K. Maxwell, G.N. Johnson // *Journal of Experimental Botany*, 2000. – № 345 (51). – C. 659–668.
74. Mohammadi, V. Detecting maturity of persimmon fruit based on image processing technique / V. Mohammadi, K. Kheiralipour, M. Ghasemi-Varnamkhasti // *Scientia Horticulturae*, 2015. – 184. –C. 123–128.
75. Monselise, S. Handbook of Fruit Set and Development / S. Monselise, CRC-press INC. Boca Raton, Florida, USA, 1986.
76. Peng, W. A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision / W. Peng, A. Toudeshki, H. Tan, R. Ehsani // *Computers and electronics in agriculture*, 2018. –146. – C. 43-50.
77. Pružinská, A. Chlorophyll breakdown: pheophorbide a oxygenase is a Rieske-type iron–sulfur protein, encoded by the accelerated cell death 1 gene./ A.Pružinská, G. Tanner, I. Anders, M. Roca, S. Hörtensteiner, // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2003-. Vol. 100, -№ (25). - C. 15259–15264.
78. Qin, J. Nondestructive evaluation of internal maturity of tomatoes using spatially offset Raman spectroscopy / J. Qin, K. Chao, S.M. Kim // *Postharvest Biology and Technology*, 2012. – № (71). – C. 21–31.
79. Ronen, G. Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: expression of the gene for lycopene epsilon-cyclase is down-regulated during ripening and is elevated in the mutant Delta. / G. Ronen // *The Plant Journal*, 1999. – № 17 (4). – C. 341–351.
80. Ronen, G. Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: expression of the gene for lycopene epsilon-cyclase is down-regulated during ripening and is elevated in the mutant Delta / G. Ronen, M. Cohen, D. Zamir, J. Hirschberg // *The Plant Journal*, 1999. – № 4 (17). – C. 341–351.
81. Rosenqvist, E. van Chlorophyll fluorescence: a general description and nomenclature / E. Rosenqvist, O. Kooten // *Springer*, 2003. – C. 31–77

82. Rupanagudi, S.R. A cost effective tomato maturity grading system using image processing for farmers / S.R. Rupanagudi, B.S. Ranjani, P. Nagaraj, V.G. Bhat // IEEE, 2014. – C.7–12.

83. Saad, A.M. Internal quality assessment of tomato fruits using image color analysis. / A.M. Saad, A. Ibrahim, M.N. El-Biale // Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 2016. – № (18). – C. 339–352.

84. Schreiber, U. Chlorophyll fluorescence yield changes as a tool in plant physiology I. The measuring system / U. Schreiber // Photosynthesis research, 1993. – № 1 (4). – C. 361–373.

85. Schreiber, U. Chlorophyll fluorescence: new instruments for special applications Springer, 1998. – C. 4253 – 4258.

86. Schreiber, U. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance / G. Ronen, M. Cohen, D. Zamir, J. Hirschberg // Photosynthesis: a comprehensive treatise, 1998. – C. 320–336.

87. Schreiber, U. Rapid assessment of stress effects on plant leaves by chlorophyll fluorescence measurements / U. Schreiber, W. Bilger // Springer, 1987. – C. 27–53.

88. Schreiber, U. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis / U. Schreiber, W. Bilger, C. Neubauer // Springer, 1995. – C. 49–70.

89. Strasser, R.J. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples / R.J. Strasser, A. Srivastava, M. Tsimilli-Michael // Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation, 2000. – C. 445–483.

90. Valeur, B. Molecular Fluorescence // digital Encyclopedia of Applied Physics, 2009. – C. 477–531.

91. Wan, P. A methodology for fresh tomato maturity detection using computer vision / P. Wan, A. Toudeshki, H. Tan, R. Ehsani // Computers and Electronics in Agriculture, 2018. – (146). C. 43–50.

92. Wold, A. B. The effect of fertilization on antioxidant activity and chemical composition of tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum* Mill.) / A.B. Wold, H.J.

Rosenfeld, H. Baugerød, R. Blomhoff // European journal of horticultural science, 2004. – № 4 (69). – C. 167–174.

93. Yaseen, T., Sun D. W., Cheng J. H. Raman imaging for food quality and safety evaluation: Fundamentals and applications / T. Yaseen, D.W. Sun, J. H. Cheng // Trends in Food Science & Technology, 2017. – (62). – C. 177–189

$$S_{a\partial 4}^2 = \frac{1}{f_{a\partial 4}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-4-1} \cdot 102020 = 3518$$

Сравниваем расчетное значение критерия Фишера с критическим значением.

Сравнение уравнения прямой с уравнением 2-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a\partial 1}^2}{S_{a\partial 2}^2} = \frac{50989}{13705} = 3,72 > F_{кр}(0,95; 32,31) = 1,75$$

Сравнение уравнения 2-го порядка с уравнением 3-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a\partial 2}^2}{S_{a\partial 3}^2} = \frac{13705}{6018} = 2,27 > F_{кр}(0,95; 31,30) = 1,82$$

Поскольку рассчитанное значение больше критического значения, сравнительные отклонения значительно различаются, поэтому модель не подходит.

Сравнение уравнения 3-го порядка с уравнением 4-го порядка

$$F_p = \frac{6018}{3518} = 1,71 < F_{кр}(0,95; 30,29) = 1,85$$

Так, как расчетное значение меньше критического, то принимаем гипотезу об адекватности модели.

Сравниваем расчетное значение критерия Фишера с критическим значением.

Сравнение уравнения прямой с уравнением 2-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a01}^2}{S_{a02}^2} = \frac{14187}{5076} = 2,8 > F_{кр}(0,05; 32,31) = 1,75$$

Сравнение уравнения 2-го порядка с уравнением 3-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a02}^2}{S_{a03}^2} = \frac{5076}{2521} = 2,01 > F_{кр}(0,05; 31,30) = 1,82$$

Поскольку рассчитанное значение больше критического значения, сравнительные отклонения значительно различаются, поэтому модель не подходит.

Сравнение уравнения 3-го порядка с уравнением 4-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a03}^2}{S_{a04}^2} = \frac{2521}{1491} = 1,69 < F_{кр}(0,05; 30,29) = 1,85$$

Так, как расчетное значение меньше критического, то принимаем гипотезу об адекватности модели.

Сравниваем расчетное значение критерия Фишера с критическим значением.

Сравнение уравнения прямой с уравнением 2-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a01}^2}{S_{a02}^2} = \frac{1075}{375} = 2,86 > F_{кр}(0,05; 32,31) = 1,75$$

Сравнение уравнения 2-го порядка с уравнением 3-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a02}^2}{S_{a03}^2} = \frac{375}{184} = 2,04 > F_{кр}(0,05; 31,30) = 1,82$$

Поскольку рассчитанное значение больше критического значения, сравнительные отклонения значительно различаются, поэтому модель не подходит.

Сравнение уравнения 3-го порядка с уравнением 4-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a03}^2}{S_{a04}^2} = \frac{184}{111} = 1,65 < F_{кр}(0,05; 30,29) = 1,85$$

Так, как расчетное значение меньше критического, то принимаем гипотезу об адекватности модели.

Приложение Г – Результаты расчетов проверки регрессионного уравнения на адекватность по критерию Фишера сорта степени зеленой зрелости сорта “Лезгинка”.

1	T	y _i	y _i (4-пор.)	y _i (3-пор.)	y _i (2-пор.)	y _i (1-пор.)	(y _i -y _i) ₁	(y _i -y _i) ₂	(y _i -y _i) ₃	(y _i -y _i) ₄	(y _i -y _i) ₁ ²	(y _i -y _i) ₂ ²	(y _i -y _i) ₃ ²	(y _i -y _i) ₄ ²
2	0	528	688	722	790	980	-160	-194	-262	-452	25528	37617	68564	204592
3	6	1187	982	936	925	1037	205	251	262	150	42111	63115	68760	22536
4	12	1403	1228	1129	1054	1093	175	274	349	310	30615	75044	121810	95825
5	18	1563	1432	1303	1177	1150	131	260	386	413	17187	67687	148631	170563
6	24	1677	1599	1458	1295	1207	78	219	382	470	6159	47909	145744	221304
7	30	1761	1733	1596	1407	1263	28	165	354	498	801	27244	125120	247871
8	36	1822	1839	1717	1514	1320	-17	105	308	502	287	10957	95115	252309
9	42	1871	1921	1823	1614	1376	-50	48	257	495	2549	2276	65952	244769
10	48	1913	1984	1915	1709	1433	-71	-2	204	480	5071	3	41592	230571
11	54	1950	2031	1993	1798	1489	-81	-43	152	461	6517	1855	23041	212166
12	60	1983	2064	2059	1882	1546	-81	-76	101	437	6616	5766	10275	191014
13	66	2019	2088	2113	1959	1603	-69	-94	60	416	4768	8925	3560	173463
14	72	2050	2105	2158	2031	1659	-55	-108	19	391	2978	11604	349	152823
15	78	2082	2116	2193	2098	1716	-34	-111	-16	366	1175	12254	243	134222
16	84	2112	2125	2219	2158	1772	-13	-107	-46	340	177	11540	2126	115464
17	90	2140	2133	2239	2213	1829	7	-99	-73	311	43	9787	5317	96868
18	96	2167	2142	2252	2262	1885	25	-85	-95	282	620	7265	9027	79340
19	102	2192	2153	2260	2305	1942	39	-68	-113	250	1554	4674	12854	62555
20	108	2215	2166	2264	2343	1998	49	-49	-128	217	2428	2435	16389	46893
21	114	2238	2182	2265	2375	2055	56	-27	-137	183	3120	740	18752	33483
22	120	2258	2202	2264	2401	2112	56	-6	-143	146	3124	35	20488	21439
23	126	2277	2226	2262	2422	2168	51	15	-145	109	2642	237	20912	11850
24	132	2294	2252	2259	2436	2225	42	35	-142	69	1737	1209	20267	4802
25	138	2310	2282	2258	2445	2281	28	52	-135	29	804	2723	18331	826
26	144	2326	2313	2258	2449	2338	13	68	-123	-12	178	4570	15054	140
27	150	2338	2344	2262	2446	2394	-6	76	-108	-56	38	5776	11725	3180
28	156	2353	2375	2270	2438	2451	-22	83	-85	-98	465	6950	7249	9595
29	162	2364	2402	2282	2424	2508	-38	82	-60	-144	1452	6668	3633	20598
30	168	2376	2425	2301	2405	2564	-49	75	-29	-188	2366	5605	823	35375
31	174	2385	2440	2327	2379	2621	-55	58	6	-236	2998	3359	32	55529
32	180	2395	2445	2361	2348	2677	-50	34	47	-282	2471	1150	2176	79642
33	186	2402	2436	2404	2312	2734	-34	-2	90	-332	1188	5	8173	110072
34	192	2411	2412	2458	2269	2790	-1	-47	142	-379	1	2180	20130	143895
35	198	2417	2367	2522	2221	2847	50	-105	196	-430	2520	11086	38447	184812
36														
37														
38														
39														
40														

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

188674	337693	873746	3211324
--------	--------	--------	---------

для уравнения прямой, $I_{\text{фл}} = 980 + 9,42717 t$;

$$S_{\text{ад}1}^2 = \frac{1}{f_{\text{ад}1}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-1-1} \cdot 3211324 = 100354$$

для модели 2-го порядка; $I_{\text{фл}} = 789 + 22,96 t - 0,0795 t^2$

$$S_{\text{ад}2}^2 = \frac{1}{f_{\text{ад}2}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-2-1} \cdot 873746 = 28185$$

для модель 3-го порядка; $I_{\text{фл}} = 721 + 37,40 t - 0,2994 t^2 + 0,000790 t^3$

$$S_{\text{ад}3}^2 = \frac{1}{f_{\text{ад}3}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-3-1} \cdot 337693 = 11256$$

для модель 4-го порядка; $I_{\text{фл}} = 687 + 53,29 t - 0,7426 t^2 + 0,004528 t^3 - 9,6 \times 10^{-6} t^4$

$$S_{\text{ад}4}^2 = \frac{1}{f_{\text{ад}4}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-4-1} \cdot 188674 = 6506$$

Сравниваем расчетное значение критерия Фишера с критическим значением.

Сравнение уравнения прямой с уравнением 2-го порядка

$$F_p = \frac{S_{\text{ад}1}^2}{S_{\text{ад}2}^2} = \frac{100354}{28185} = 3,56 > F_{\text{кр}}(0,05; 32,31) = 1,75$$

Сравнение уравнения 2-го порядка с уравнением 3-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a\partial 2}^2}{S_{a\partial 3}^2} = \frac{28185}{11256} = 2,50 > F_{кр}(0,05; 31,30) = 1,82$$

Поскольку рассчитанное значение больше критического значения, сравнительные отклонения значительно различаются, поэтому модель не подходит.

Сравнение уравнения 3-го порядка с уравнением 4-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a\partial 3}^2}{S_{a\partial 4}^2} = \frac{11256}{6506} = 1,73 < F_{кр}(0,05; 30,29) = 1,85$$

Так, как расчетное значение меньше критического, то принимаем гипотезу об адекватности модели.

Приложение Д – Результаты расчетов проверки регрессионного уравнения на адекватность по критерию Фишера сорта степени бурой зрелости сорта “Лезгинка”.

1	T	y _i	y _i (4 пор.)	y _i (3 пор.)	y _i (2 пор.)	y _i (1 пор.)	(y _i -ŷ ₁)	(y _i -ŷ ₂)	(y _i -ŷ ₃)	(y _i -ŷ ₄)	(y _i -ŷ ₁) ²	(y _i -ŷ ₂) ²	(y _i -ŷ ₃) ²	(y _i -ŷ ₄) ²
2	0	181	220	230	249	298	-39	-49	-68	-117	1543	2367	4683	13588
3	6	355	299	286	283	311	56	69	72	44	3154	4731	5182	1906
4	12	409	364	337	315	325	45	72	94	84	2010	5180	8807	7035
5	18	446	418	382	346	339	28	64	100	107	797	4049	10032	11470
6	24	476	461	423	375	353	15	53	101	123	224	2857	10184	15208
7	30	499	495	458	403	366	4	41	96	133	13	1693	9239	17568
8	36	516	522	489	429	380	-6	27	87	136	35	751	7529	18432
9	42	529	542	515	454	394	-13	14	75	135	169	194	5604	18221
10	48	540	557	538	478	408	-17	2	62	132	275	6	3894	17479
11	54	549	567	556	500	422	-18	-7	49	127	314	55	2440	16238
12	60	556	573	572	520	435	-17	-16	36	121	300	251	1283	14557
13	66	562	577	584	539	449	-15	-22	23	113	232	493	516	12740
14	72	568	579	594	557	463	-11	-26	11	105	126	666	122	11045
15	78	571	580	601	573	477	-9	-30	-2	94	80	895	5	8896
16	84	577	580	606	588	490	-3	-29	-11	87	9	832	121	7489
17	90	580	580	609	601	504	0	-29	-21	76	0	835	454	5740
18	96	586	580	610	613	518	6	-24	-27	68	34	593	740	4621
19	102	590	581	611	624	532	9	-21	-34	58	81	422	1132	3388
20	108	594	583	610	633	546	11	-16	-39	48	128	247	1493	2345
21	114	598	585	608	640	559	13	-10	-42	39	158	104	1781	1494
22	120	603	589	606	646	573	14	-3	-43	30	186	11	1875	892
23	126	607	594	604	651	587	13	3	-44	20	157	7	1932	404
24	132	610	601	603	654	601	9	7	-44	9	87	55	1951	87
25	138	615	608	601	656	614	7	14	-41	1	52	188	1676	0
26	144	620	616	601	656	628	4	19	-36	-8	19	368	1315	68
27	150	622	624	601	655	642	-2	21	-33	-20	4	423	1098	401
28	156	627	632	603	653	656	-5	24	-26	-29	27	554	653	830
29	162	632	640	607	649	670	-8	25	-17	-38	64	616	274	1412
30	168	635	647	613	643	683	-12	22	-8	-48	138	488	65	2338
31	174	640	652	621	636	697	-12	19	4	-57	139	364	15	3265
32	180	643	654	632	628	711	-11	11	15	-68	131	132	231	4612
33	186	645	654	645	618	725	-9	0	27	-80	78	0	728	6351
34	192	648	649	662	607	738	-1	-14	41	-90	1	188	1700	8185
35	198	652	639	682	594	752	13	-30	58	-100	163	894	3356	10050
36														
37														
38														
39														
40														

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad 16153 \quad 27275 \quad 73335 \quad 225467$$

для уравнения прямой, $I_{фл} = 297 + 2,296 t$;

$$S_{ад1}^2 = \frac{1}{f_{ад1}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-1-1} \cdot 225467 = 7046$$

для модели 2-го порядка; $I_{фл} = 249 + 5,72 t - 0,0200 t^2$

$$S_{ад2}^2 = \frac{1}{f_{ад2}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-2-1} \cdot 73335 = 2366$$

для модель 3-го порядка; $I_{фл} = 229 + 9,92 t - 0,0841 t^2 + 0,00023 t^3$

$$S_{ад3}^2 = \frac{1}{f_{ад3}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-3-1} \cdot 27275 = 909$$

для модель 4-го порядка; $I_{фл} = 220 + 14,28 t - 0,2057 t^2 + 0,001255 t^3 - 2.6 \times 10^{-6} t^4$

$$S_{ад4}^2 = \frac{1}{f_{ад4}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-4-1} \cdot 16153 = 557$$

Сравниваем расчетное значение критерия Фишера с критическим значением.

Сравнение уравнения прямой с уравнением 2-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a\partial 1}^2}{S_{a\partial 2}^2} = \frac{7046}{2366} = 2,97 > F_{\text{кр}}(0,05; 32,31) = 1,75$$

Сравнение уравнения 2-го порядка с уравнением 3-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a\partial 2}^2}{S_{a\partial 3}^2} = \frac{2366}{909} = 2,60 > F_{\text{кр}}(0,05; 31,30) = 1,82$$

Поскольку рассчитанное значение больше критического значения, сравнительные отклонения значительно различаются, поэтому модель не подходит.

Сравнение уравнения 3-го порядка с уравнением 4-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a\partial 3}^2}{S_{a\partial 4}^2} = \frac{909}{557} = 1,63 < F_{\text{кр}}(0,05; 30,29) = 1,85$$

Так, как расчетное значение меньше критического, то принимаем гипотезу об адекватности модели.

Приложение Е – Результаты расчетов проверки регрессионного уравнения на адекватность по критерию Фишера сорта степени розовой зрелости сорта “Лезгинка”.

1	T	y _i	y _i (4 пор.)	y _i (3 пор.)	y _i (2 пор.)	y _i (1 пор.)	(y _i -y _i) ₄	(y _i -y _i) ₃	(y _i -y _i) ₂	(y _i -y _i) ₁	(y _i -y _i) ₄ ²	(y _i -y _i) ₃ ²	(y _i -y _i) ₂ ²	(y _i -y _i) ₁ ²
2	0	129	143	148	155	174	-14	-19	-26	-45	197	348	687	2033
3	6	207	178	171	170	181	29	36	37	26	860	1261	1349	656
4	12	232	206	193	185	189	26	39	47	43	654	1512	2232	1877
5	18	246	230	213	199	196	16	33	47	50	256	1112	2238	2503
6	24	258	249	230	212	203	9	28	46	55	80	774	2112	2997
7	30	266	264	246	225	211	2	20	41	55	3	406	1694	3074
8	36	274	276	260	237	218	-2	14	37	56	4	203	1364	3153
9	42	280	285	272	249	225	-5	8	31	55	27	64	978	3009
10	48	284	292	283	260	232	-8	1	24	52	65	2	585	2659
11	54	288	297	292	270	240	-9	-4	18	48	83	16	312	2330
12	60	290	301	300	280	247	-11	-10	10	43	116	101	94	1847
13	66	295	303	307	290	254	-8	-12	5	41	71	140	28	1655
14	72	298	305	313	299	262	-7	-15	-1	36	55	213	0	1324
15	78	303	307	317	307	269	-4	-14	-4	34	17	206	14	1162
16	84	306	309	321	314	276	-3	-15	-8	30	7	233	71	888
17	90	311	310	324	322	283	1	-13	-11	28	1	181	112	757
18	96	314	312	327	328	291	2	-13	-14	23	3	170	200	539
19	102	319	315	329	334	298	4	-10	-15	21	19	102	228	438
20	108	323	318	331	340	305	5	-8	-17	18	30	60	273	311
21	114	328	321	332	344	313	7	-4	-16	15	49	17	268	235
22	120	333	325	333	349	320	8	0	-16	13	63	0	245	170
23	126	337	330	335	352	327	7	2	-15	10	53	6	237	95
24	132	340	335	336	356	335	5	4	-16	5	26	18	241	30
25	138	344	340	337	358	342	4	7	-14	2	13	46	199	5
26	144	349	346	339	360	349	3	10	-11	0	8	101	124	0
27	150	352	352	341	362	356	0	11	-10	-4	0	120	92	20
28	156	355	358	344	362	364	-3	11	-7	-9	8	128	56	76
29	162	358	363	347	363	371	-5	11	-5	-13	26	122	23	170
30	168	360	368	351	363	378	-8	9	-3	-18	58	81	6	335
31	174	363	371	356	362	386	-8	7	1	-23	64	51	2	511
32	180	366	373	362	360	393	-7	4	6	-27	48	18	32	724
33	186	368	373	369	358	400	-5	-1	10	-32	25	0	93	1037
34	192	370	371	377	356	407	-1	-7	14	-37	0	47	201	1405
35	198	373	365	386	353	415	8	-13	20	-42	58	177	411	1746
36														
37														
38														
39														
40														

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

3248 5718 12521 35604

для уравнения прямой, $I_{фл} = 174 + 1.21 t$;

$$S_{ад1}^2 = \frac{1}{f_{ад1}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-1-1} \cdot 35604 = 1113$$

для модели 2-го порядка; $I_{фл} = 155 + 2,56 t - 0,007878 t^2$

$$S_{ад2}^2 = \frac{1}{f_{ад2}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-2-1} \cdot 12521 = 404$$

для модель 3-го порядка; $I_{фл} = 147 + 4,16 t - 0,0323 t^2 + 0,000088 t^3$

$$S_{ад3}^2 = \frac{1}{f_{ад3}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-3-1} \cdot 5718 = 191$$

для модель 4-го порядка; $I_{фл} = 143 + 6,30 t - 0,0920 t^2 + 0,000591 t^3 - 1,3 \times 10^{-6} t^4$

$$S_{ад4}^2 = \frac{1}{f_{ад4}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-4-1} \cdot 3248 = 112$$

Сравниваем расчетное значение критерия Фишера с критическим значением.

Сравнение уравнения прямой с уравнением 2-го порядка

$$F_p = \frac{S_{ad1}^2}{S_{ad2}^2} = \frac{1113}{404} = 2,75 > F_{кр}(0,05; 32,31) = 1,75$$

Сравнение уравнения 2-го порядка с уравнением 3-го порядка

$$F_p = \frac{S_{ad2}^2}{S_{ad3}^2} = \frac{404}{191} = 2,11 > F_{кр}(0,05; 31,30) = 1,82$$

Поскольку рассчитанное значение больше критического значения, сравнительные отклонения значительно различаются, поэтому модель не подходит.

Сравнение уравнения 3-го порядка с уравнением 4-го порядка

$$F_p = \frac{S_{ad3}^2}{S_{ad4}^2} = \frac{191}{112} = 1,70 < F_{кр}(0,05; 30,29) = 1,85$$

Так, как расчетное значение меньше критического, то принимаем гипотезу об адекватности модели.

Приложение Ж – Результаты расчетов проверки регрессионного уравнения на адекватность по критерию Фишера сорта степени зеленой зрелости сорта “Розанчик”.

1	T	y _i	y _i (4 пор.)	y _i (3 пор.)	y _i (2 пор.)	y _i (1 пор.)	(y _i -y _i) ₄	(y _i -y _i) ₃	(y _i -y _i) ₂	(y _i -y _i) ₁	(y _i -y _i) ₄ ²	(y _i -y _i) ₃ ²	(y _i -y _i) ₂ ²	(y _i -y _i) ₁ ²
2	0	272	393	409	440	527	-121	-137	-168	-255	14735	18885	28240	65251
3	6	646	525	504	500	552	121	142	146	94	14583	20132	21413	8905
4	12	729	636	590	557	576	93	139	172	153	8738	19396	29677	23464
5	18	796	727	667	611	600	69	129	185	196	4807	16715	34140	38412
6	24	842	801	736	663	624	41	106	179	218	1682	11339	31979	47437
7	30	875	861	797	713	648	14	78	162	227	206	6150	26389	51352
8	36	896	908	850	759	673	-12	46	137	223	136	2084	18666	49917
9	42	915	944	897	804	697	-29	18	111	218	838	315	12401	47625
10	48	932	971	938	845	721	-39	-6	87	211	1543	33	7509	44539
11	54	947	991	972	884	745	-44	-25	63	202	1958	642	3908	40745
12	60	963	1005	1001	921	769	-42	-38	42	194	1796	1475	1758	37506
13	66	979	1015	1025	955	794	-36	-46	24	185	1296	2152	571	34401
14	72	993	1021	1045	987	818	-28	-52	6	175	804	2679	41	30725
15	78	1008	1026	1060	1015	842	-18	-52	-7	166	307	2699	56	27588
16	84	1022	1028	1071	1042	866	-6	-49	-20	156	41	2442	392	24307
17	90	1035	1031	1080	1066	890	4	-45	-31	145	17	1990	936	20943
18	96	1048	1034	1085	1087	914	14	-37	-39	134	206	1366	1507	17830
19	102	1058	1037	1088	1105	939	21	-30	-47	119	433	895	2255	14242
20	108	1067	1042	1089	1122	963	25	-22	-55	104	629	481	2981	10847
21	114	1076	1048	1088	1135	987	28	-12	-59	89	778	155	3498	7914
22	120	1084	1056	1087	1146	1011	28	-3	-62	73	788	9	3860	5296
23	126	1092	1065	1085	1155	1035	27	7	-63	57	711	52	3914	3201
24	132	1099	1076	1082	1160	1060	23	17	-61	39	518	273	3773	1552
25	138	1104	1088	1080	1164	1084	16	24	-60	20	245	554	3569	408
26	144	1108	1101	1079	1164	1108	7	29	-56	0	46	831	3191	0
27	150	1113	1114	1079	1163	1132	-1	34	-50	-19	2	1152	2468	368
28	156	1117	1127	1081	1158	1156	-10	36	-41	-39	103	1327	1706	1550
29	162	1121	1139	1084	1151	1181	-18	37	-30	-60	312	1358	923	3547
30	168	1125	1148	1090	1142	1205	-23	35	-17	-80	530	1208	285	6359
31	174	1127	1154	1099	1130	1229	-27	28	-3	-102	735	768	8	10390
32	180	1129	1156	1112	1115	1253	-27	17	14	-124	715	298	190	15406
33	186	1132	1152	1128	1098	1277	-20	4	34	-145	381	16	1152	21115
34	192	1133	1140	1149	1078	1302	-7	-16	55	-169	49	245	2989	28392
35	198	1136	1120	1174	1056	1326	16	-38	80	-190	271	1443	6393	35982
36														
37														
38														
39														
40														

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

54992	97301	205980	691627
-------	-------	--------	--------

для уравнения прямой, $I_{\text{фл}} = 527 + 4,03 \text{ t}$;

$$S_{\text{ад}1}^2 = \frac{1}{f_{\text{ад}1}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-1-1} \cdot 691627 = 21613$$

для модели 2-го порядка; $I_{\text{фл}} = 440 + 10,15 \text{ t} - 0,035550 \text{ t}^2$

$$S_{\text{ад}2}^2 = \frac{1}{f_{\text{ад}2}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-2-1} \cdot 205980 = 6644$$

для модель 3-го порядка; $I_{\text{фл}} = 409 + 16,56 \text{ t} - 0,1322 \text{ t}^2 + 0,000344 \text{ t}^3$

$$S_{\text{ад}3}^2 = \frac{1}{f_{\text{ад}3}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-3-1} \cdot 97301 = 3243$$

для модель 4-го порядка; $I_{\text{фл}} = 393 + 23,91 \text{ t} - 0,3352 \text{ t}^2 + 0,002038 \text{ t}^3 - 4,3 \times 10^{-6} \text{ t}^4$

$$S_{\text{ад}4}^2 = \frac{1}{f_{\text{ад}4}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-4-1} \cdot 54992 = 1896$$

Сравниваем расчетное значение критерия Фишера с критическим значением.

Сравнение уравнения прямой с уравнением 2-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a01}^2}{S_{a02}^2} = \frac{21613}{6644} = 3,25 > F_{кр}(0,05; 32,31) = 1,75$$

Сравнение уравнения 2-го порядка с уравнением 3-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a02}^2}{S_{a03}^2} = \frac{6644}{3243} = 2,04 > F_{кр}(0,05; 31,30) = 1,82$$

Поскольку рассчитанное значение больше критического значения, сравнительные отклонения значительно различаются, поэтому модель не подходит.

Сравнение уравнения 3-го порядка с уравнением 4-го порядка

$$F_p = \frac{S_{a03}^2}{S_{a04}^2} = \frac{3243}{1896} = 1,71 < F_{кр}(0,05; 30,29) = 1,85$$

Так, как расчетное значение меньше критического, то принимаем гипотезу об адекватности модели.

Приложение 3 – Результаты расчетов проверки регрессионного уравнения на адекватность по критерию Фишера сорта степени бурой зрелости сорта “Розанчик”.

1	T	y _i	\hat{y}_i (4 пор.)	\hat{y}_i (3 пор.)	\hat{y}_i (2 пор.)	\hat{y}_i (1 пор.)	$(y_i - \hat{y}_i)_4$	$(y_i - \hat{y}_i)_3$	$(y_i - \hat{y}_i)_2$	$(y_i - \hat{y}_i)_1$	$(y_i - \hat{y}_i)_4^2$	$(y_i - \hat{y}_i)_3^2$	$(y_i - \hat{y}_i)_2^2$	$(y_i - \hat{y}_i)_1^2$
2	0	203	245	246	250	261	-42	-43	-47	-58	1729	1878	2193	3327
3	6	273	261	258	258	264	12	15	15	9	153	216	231	77
4	12	283	274	269	265	268	9	14	18	15	77	190	308	230
5	18	290	286	279	273	271	4	11	17	19	19	119	296	346
6	24	298	295	288	280	275	3	10	18	23	8	99	331	531
7	30	303	303	296	287	279	0	7	16	24	0	48	272	599
8	36	308	310	303	293	282	-2	5	15	26	2	22	228	671
9	42	312	315	310	299	286	-3	2	13	26	7	6	170	693
10	48	315	319	315	305	289	-4	0	10	26	15	0	106	663
11	54	318	322	320	310	293	-4	-2	8	25	18	5	62	634
12	60	321	325	324	315	296	-4	-3	6	25	15	12	33	606
13	66	323	327	328	320	300	-4	-5	3	23	15	25	9	531
14	72	326	329	331	325	304	-3	-5	1	22	7	26	2	505
15	78	328	330	334	329	307	-2	-6	-1	21	4	33	0	437
16	84	330	331	336	332	311	-1	-6	-2	19	1	34	6	374
17	90	332	332	338	336	314	0	-6	-4	18	0	32	16	315
18	96	334	333	339	339	318	1	-5	-5	16	0	25	27	262
19	102	336	335	340	342	321	1	-4	-6	15	2	17	37	214
20	108	339	336	341	345	325	3	-2	-6	14	10	4	32	197
21	114	340	337	342	347	329	3	-2	-7	11	8	3	48	132
22	120	341	339	342	349	332	2	-1	-8	9	5	1	62	79
23	126	343	340	343	350	336	3	0	-7	7	7	0	56	54
24	132	344	342	343	352	339	2	1	-8	5	3	1	60	23
25	138	345	344	343	353	343	1	2	-8	2	1	3	60	5
26	144	347	346	344	353	346	1	3	-6	1	1	11	41	0
27	150	348	348	344	354	350	0	4	-6	-2	0	14	33	4
28	156	349	350	345	354	354	-1	4	-5	-5	1	17	23	20
29	162	350	352	346	353	357	-2	4	-3	-7	3	18	12	50
30	168	351	353	347	353	361	-2	4	-2	-10	5	16	3	93
31	174	351	354	348	352	364	-3	3	-1	-13	12	7	1	175
32	180	351	355	350	351	368	-4	1	0	-17	17	1	0	282
33	186	353	355	353	349	371	-2	0	4	-18	4	0	15	338
34	192	353	354	355	347	375	-1	-2	6	-22	2	5	33	482
35	198	355	353	358	345	379	2	-3	10	-24	6	12	99	553
36														
37														
38														
39														
40														
41														

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad 3301 \quad 3898 \quad 8029 \quad 12966$$

для уравнения прямой, $I_{фл} = 260 + 0,59 t$;

$$S_{ад1}^2 = \frac{1}{f_{ад1}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-1-1} \cdot 12966 = 405$$

для модели 2-го порядка; $I_{фл} = 249 + 1,35 t - 0,0044 t^2$

$$S_{ад2}^2 = \frac{1}{f_{ад2}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-2-1} \cdot 8029 = 259$$

для модель 3-го порядка; $I_{фл} = 246 + 2,08 t - 0,0154 t^2 + 0,000039 t^3$

$$S_{ад3}^2 = \frac{1}{f_{ад3}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-3-1} \cdot 3898 = 129$$

для модель 4-го порядка; $I_{фл} = 244 + 2,89 t - 0,0376 t^2 + 0,000224 t^3 - 4,7 \times 10^{-7} t^4$

$$S_{ад4}^2 = \frac{1}{f_{ад4}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-4-1} \cdot 3301 = 113$$

Сравниваем расчетное значение критерия Фишера с критическим значением.

Сравнение уравнения прямой с уравнением 2-го порядка

$$F_p = \frac{S_{ad1}^2}{S_{ad2}^2} = \frac{405}{174} = 2,32 > F_{кр}(0,05; 32,31) = 1,75$$

Сравнение уравнения 2-го порядка с уравнением 3-го порядка

$$F_p = \frac{S_{ad2}^2}{S_{ad3}^2} = \frac{259}{129} = 2,01 > F_{кр}(0,05; 31,30) = 1,82$$

Поскольку рассчитанное значение больше критического значения, сравнительные отклонения значительно различаются, поэтому модель не подходит.

Сравнение уравнения 3-го порядка с уравнением 4-го порядка

$$F_p = \frac{S_{ad3}^2}{S_{ad4}^2} = \frac{129}{113} = 1,14 < F_{кр}(0,05; 30,29) = 1,85$$

Так, как расчетное значение меньше критического, то принимаем гипотезу об адекватности модели.

Приложение И – Результаты расчетов проверки регрессионного уравнения на адекватность по критерию Фишера сорта степени розовой зрелости сорта “Розанчик”.

1	T	y _i	y _i (4 пор.)	y _i (3 пор.)	y _i (2 пор.)	y _i (1 пор.)	(y _i -ŷ ₄)	(y _i -ŷ ₃)	(y _i -ŷ ₂)	(y _i -ŷ ₁)	(y _i -ŷ ₄) ²	(y _i -ŷ ₃) ²	(y _i -ŷ ₂) ²	(y _i -ŷ ₁) ²
2	0	92	108	111	116	135	-16	-19	-24	-43	269	365	591	1857
3	6	161	134	130	130	141	27	31	31	20	751	950	989	405
4	12	175	155	148	142	147	20	27	33	28	393	748	1073	803
5	18	184	173	164	154	152	11	20	30	32	110	416	875	996
6	24	196	189	178	166	158	7	18	30	38	50	320	896	1427
7	30	203	202	191	177	164	1	12	26	39	1	139	667	1520
8	36	211	213	203	188	170	-2	8	23	41	3	64	540	1698
9	42	217	222	214	198	176	-5	3	19	41	21	12	368	1716
10	48	222	229	223	207	181	-7	-1	15	41	46	1	215	1652
11	54	227	235	231	216	187	-8	-4	11	40	60	18	114	1589
12	60	232	240	239	225	193	-8	-7	7	39	57	43	52	1527
13	66	235	244	245	233	199	-9	-10	2	36	73	98	5	1317
14	72	240	247	250	240	204	-7	-10	0	36	46	107	0	1261
15	78	246	250	255	247	210	-4	-9	-1	36	13	80	1	1277
16	84	250	252	259	253	216	-2	-9	-3	34	4	79	11	1153
17	90	254	254	262	259	222	0	-8	-5	32	0	66	27	1035
18	96	259	256	265	264	228	3	-6	-5	31	7	33	30	985
19	102	263	258	267	269	233	5	-4	-6	30	21	15	39	876
20	108	265	261	269	273	239	4	-4	-8	26	20	13	71	667
21	114	268	263	270	277	245	5	-2	-9	23	27	4	84	531
22	120	270	265	271	280	251	5	-1	-10	19	22	1	106	371
23	126	274	268	272	283	257	6	2	-9	17	38	5	80	305
24	132	275	271	272	285	262	4	3	-10	13	20	7	101	161
25	138	277	273	273	287	268	4	4	-10	9	13	17	93	79
26	144	279	276	273	288	274	3	6	-9	5	8	32	76	26
27	150	279	279	274	288	280	0	5	-9	-1	0	26	85	0
28	156	280	282	275	288	285	-2	5	-8	-5	3	29	67	30
29	162	280	284	276	288	291	-4	4	-8	-11	17	20	59	126
30	168	283	286	277	287	297	-3	6	-4	-14	10	39	13	196
31	174	283	288	278	285	303	-5	5	-2	-20	22	23	4	391
32	180	284	288	280	283	309	-4	4	1	-25	20	15	1	604
33	186	284	288	283	280	314	-4	1	4	-30	18	2	14	921
34	192	285	287	286	277	320	-2	-1	8	-35	4	0	63	1234
35	198	285	284	289	273	326	1	-4	12	-41	1	18	136	1674
36														
37														
38														
39														
40														
41														

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

2113	3319	6397	27751
------	------	------	-------

для уравнения прямой, $I_{фл} = 135 + 0.96 t$;

$$S_{ад1}^2 = \frac{1}{f_{ад1}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-1-1} \cdot 27751 = 867$$

для модели 2-го порядка; $I_{фл} = 116 + 2.24 t - 0.0073 t^2$

$$S_{ад2}^2 = \frac{1}{f_{ад2}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-2-1} \cdot 6397 = 206$$

для модель 3-го порядка; $I_{фл} = 111 + 3,32 t - 0,0232 t^2 + 0,000055 t^3$

$$S_{ад3}^2 = \frac{1}{f_{ад3}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-3-1} \cdot 3319 = 110$$

для модель 4-го порядка; $I_{фл} = 108 + 4.52 t - 0.0560 t^2 + 0.000325 t^3 - 6.8 \times 10^{-7} t^4$

$$S_{ад4}^2 = \frac{1}{f_{ад4}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{34-4-1} \cdot 2113 = 73$$

Сравниваем расчетное значение критерия Фишера с критическим значением.

Сравнение уравнения прямой с уравнением 2-го порядка

$$F_p = \frac{S_{ad1}^2}{S_{ad2}^2} = \frac{867}{206} = 4,20 > F_{кр}(0,05; 32,31) = 1,75$$

Сравнение уравнения 2-го порядка с уравнением 3-го порядка

$$F_p = \frac{S_{ad2}^2}{S_{ad3}^2} = \frac{206}{110} = 1,87 > F_{кр}(0,05; 31,30) = 1,82$$

Поскольку рассчитанное значение больше критического значения, сравнительные отклонения значительно различаются, поэтому модель не подходит.

Сравнение уравнения 3-го порядка с уравнением 4-го порядка

$$F_p = \frac{S_{ad3}^2}{S_{ad4}^2} = \frac{110}{73} = 1,51 < F_{кр}(0,05; 30,29) = 1,85$$

Так, как расчетное значение меньше критического, то принимаем гипотезу об адекватности модели.

Приложение К –
АКТ о внедрении результатов НИР

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
КАРТОФЕЛЯ ИМЕНИ А.Г. ЛОРХА»
(ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»)**
140051, Московская обл., г. Люберцы, д.п. Красково, ул. Лорха, д.23, литер В
тел. (498) 645-03-03, e-mail: coordinazia@mail.ru, <http://lorchinstitute.ru>
ИНН 5027031284 КПП 502701001

УТВЕРЖДАЮ:

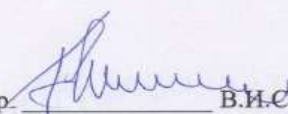
Заместитель директора по
научной работе ФГБНУ «ФИЦ
картофеля имени А.Г. Лорха»
Овэс Е.В.




АКТ

внедрения (использования) результатов НИР

Результаты диссертационной работы аспиранта Махмуд Абделхамид (Египет) кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина института механики и энергетики им. В.П. Горячкина ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на тему « Оптический способ и устройство контроля степени зрелости томатов» (на основе их флуоресценции хлорофилла) используются в отделе технологии и инновационных проектов при разработке технологии контроля качества картофеля и топинамбура.

Зав. отделом технологии и
инновационных проектов, д.т.н., профессор  В.И. Старовойтов

Ст. научный сотрудник отдела технологии и
инновационных проектов, к.с.х.н.  О.С. Хутинаев

Приложение Л–
АКТ о внедрении результатов НИР в учебный процесс.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО РГАУЗУ)
Факультет электроэнергетики и технического сервиса

УТВЕРЖДАЮ:

Декан факультета Э и ТС
ФГБОУ ВО РГАУЗУ

 / Гаджиев П.И. /
« 08 » 02 2022 г.




АКТ

о внедрении результатов НИР в учебный процесс

Результаты диссертационной работы Махмуд Абделхамид (Египет), аспиранта РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на тему «Оптический способ и устройство контроля степени зрелости томатов» внедрены (использованы) в учебном процессе кафедры «Электрооборудования и электротехнических систем» по направлениям подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» профиль «Электротехнологии, электрооборудование и электроснабжение в АПК», 35.04.06 «Агроинженерия» профиль «Электротехнологии и энергосбережение в АПК», дисциплины «Автоматика», «Роботизация и автоматизация технологических процессов», «Микропроцессорные системы контроля и управления».

Зав. кафедрой ЭО и ЭТС

 /к.т.н., доцент Закабунин А.В./



Приложение М –
АКТ о внедрении научной разработки

ООО «Селекционная станция имени Н.Н.Тимофеева»
ИНН 7713741237 КПП 771301001 127550, Москва, ул. Пасечная, д.5, стр. 2, ком. 11 (юр. адрес)
Тел. 499-977-11-74, факс 499-977-56-10, breedst@mail.ru, www.breedst.ru

дата: 18.03.2022 г.

г.Москва

**Акт
внедрения научной разработки**

составлен в том, что оптический способ контроля зрелости плодов томата с помощью устройства, разработанного Абделхамид Махмуд Абделхамид Абделтваб, показал высокую эффективность при анализе различных по окраске плодов F1-гибридов томата и будет использован при селекции томата с генами медленного созревания (Nor, Rin).

Генеральный директор



Г. Ф. Монахос



Pavia, November 10th 2020

Journal of Agricultural Engineering [paper #1098] - Acceptance

To whom it may concern:

PAGEPress certifies that the paper entitled

A non-destructive method for monitoring the ripening of tomatoes based on their induction of chlorophyll fluorescence

Mahmoud A. Abdelhamid, Yuri Sudnik, Haider J. Alshinayyin, Fatma Shaaban

has been accepted for publication by the **Journal of Agricultural Engineering (JAE)**, and published Ahead-of-Print, doi: <https://doi.org/10.4081/jae.2020.1098>

It is scheduled for final publication in **2021**.

With best regards,

Ms. Paola Granata
Journal Manager
paola.granata@pagepress.org

PAGEPress Certificate



Journal of Agricultural Engineering
<http://www.agroengineering.org>



via A. Cavagna Sangiuliani 5, 27100 Pavia - Italy
Tel. +39.0382.1549020 – Fax +39.0382.1727454
www.pagepress.org info@pagepress.org



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ - МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

*Международной научной конференции молодых учёных и специалистов,
посвящённой 160-летию В. А. Михельсона*

Выдан

Abdelhamid Mahmoud Abdelhamid Abdeltawab

за доклад на тему

A Device for Measuring the Slow Induction
of Chlorophyll Fluorescence in Tomato

на секции

Иностранный язык в профессиональной сфере
и лингвострановедение

Ректор РГАУ – МСХА
имени К.А. Тимирязева,
Академик РАН, д.с.-х.н.,
д.э.н., профессор,

Москва 2020



В.И. Трухачев



EMBASSY OF THE ARAB REPUBLIC OF EGYPT IN THE RUSSIAN FEDERATION

HONORARY DIPLOMA

THIS DIPLOMA IS AWARDED TO:

Mahmoud Abdelhamid
Abdeltawab Abdelhamid

Publishing an article during the year 2020
in a highly-rated journal (Q2)
indexed by Scopus and Web of science

محمد الجبالي

MOHAMED ELGEBALY.
CULTURAL COUNSELOR
OF THE EMBASSY OF
ARAB IN THE RUSSIAN FEDERATION

إيهاب نصر

IHAB NASR
AMBASSADOR
OF THE ARAB REPUBLIC OF EGYPT
TO THE RUSSIAN FEDERATION



2021



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ - МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

*Международной научной конференции молодых учёных и специалистов,
посвящённой 150-летию А.В. Леонтовича*

Выдан

**Mahtmour Abdelhamid Abdeltawab
Abdelhamid**

за доклад на тему

Современные методы оценки зрелости томатов

на секции

Инновационная техника и технологии в АПК

И.о. проректора по науке и
инновационному развитию



А.В. Голубев

Москва 2019



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ - МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

СЕРТИФИКАТ УЧАСТНИКА

*Международной научной конференции молодых учёных и специалистов,
посвящённой 150-летию А.В. Леонтовича*

Выдан

Mahmoud Abdelhamid Abdeltawab Abdelhamid

за доклад на тему

**Chlorophyll fluorescence as an indicator of fruit
ripening**

на секции

**Иностранный язык в профессиональной сфере и
лингвострановедение**

И.о. проректора по науке и
инновационному развитию



А.В. Голубев

Москва 2019