

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор СПбГЭТУ ЛЭТИ  
по научной и инновационной  
деятельности,  
д.т.н., доцент  
А. А. Семенов  
2025 г.



## О Т З Ы В

ведущей организаций федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

на диссертационную работу

**Сухановой Марины Владимировны**

«Оптический метод и средство функциональной диагностики  
влагообеспеченности растений», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности

2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ  
и природной среды (технические науки)

### Актуальность исследования

Проблемы охраны и защиты водных ресурсов становятся все более острыми по мере развития общества, а на сегодняшний день треть мирового населения уже испытывает острый дефицит пресной воды. Широко известным фактом является то, что порядка 70% мирового потребления воды приходится на сельское хозяйство, эффективность водопользования которого во многих странах мира остается крайне низкой. В условиях дефицита водных ресурсов в целях обеспечения экологической безопасности требуется разработка и внедрение новых способов оценки состояния растений с целью определения их потребности в воде для рационального использования пресной воды при орошении и поливе.

В связи с этим диссертационная работа Сухановой Марины Владимировны «Оптический метод и средство функциональной диагностики влагообеспеченности растений» является актуальной, а эффективная разработка и внедрение научно-обоснованных водосберегающих технологий могут быть

основаны только на инструментальном контроле состояния растительных объектов и введении обратных связей.

### **Структура и содержание диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 162 наименований на русском и английском языках. Основной текст диссертации изложен на 184 страницах машинописного текста, содержит 67 рисунков, 10 таблиц.

**Во введении** обоснованы актуальность решаемой задачи, ее научная и практическая ценность, сформулированы цель и задачи исследования, изложены выносимые на защиту положения.

**В первой главе** представлены результаты обзора и анализа существующих методов и устройств для оценки функционального состояния растений, а также параметров, используемых для оценки состояния растительных объектов. На основании результатов исследования поверхности листьев растительных объектов, подтверждающих наличие шероховатости и доказывающих ее изменения в зависимости от влагообеспеченности, и выбора длины волны отраженного излучения, обеспечивающей максимальное отражение от листовых пластин, предложено использование оптического метода для оценки функционального состояния растений.

**Во второй главе** представлено теоретическое исследование принципов формирования зеркальной и диффузных составляющих смешанного отраженного излучения от шероховатой поверхности листьев растений при изменении их влагообеспеченности и обоснование введения в качестве критерия оценки функционального состояния растения интенсивности зеркальной составляющей отраженного излучения от листьев.

Проведенный анализ условий формирования зеркального отражения позволил выделить ограничения, накладываемые на разрабатываемую математическую модель смешанного отраженного излучения от поверхности листьев, которая устанавливает взаимосвязь параметров отраженного излучения с параметрами шероховатой поверхности. Проведенное математическое моделирование позволило оценить динамику изменения зеркальной и диффузной составляющих, которые изменялись в процессе жизненного цикла растений. Применение критерия Фишера для оценки адекватности разработанной модели показало, что с вероятностью 0,95 модель может считаться адекватной.

**Третья глава** посвящена разработке средства функциональной диагностики растений, позволяющего осуществлять регистрацию параметров отраженного излучения с выделением зеркальной и диффузной составляющих, на которое

получен патент РФ № 2710009, а также апробации разработанного устройства с целью подтверждения возможности его использования в функциональной диагностике растений для определения их влагообеспеченности.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что при оптимальном функциональном состоянии растений наблюдается присутствие зеркального отражения от их листьев, составляющее порядка 5-30% от общего смешанного отражения, которое закономерно изменяется при изменении влагообеспеченности растения, что доказывает возможность использования в качестве критерия оценки функционального состояния растения в целом зеркальной составляющей отраженного излучения от его листьев.

Исследования были проведены на более 40 видах растений.

**В четвертой главе** представлены результаты разработки метода диагностики функционального состояния растений, основанного на измерении интенсивности зеркальной составляющей отраженного излучения от листьев (патент РФ № 2719788), а также модель классификации растений в соответствии с их функциональным состоянием. Предложенный классификатор растительных объектов позволяет автоматизировать интерпретацию полученных результатов, точность классификации 0,96.

Разработанные метод и устройство показали свою пригодность для использования как в лабораторных, так и в полевых условиях, при этом инструментальная оценка состояния растений позволяет получить объективную прижизненную информацию, на основании которой возможно осуществление регулирования условий их выращивания, способствующие увеличению эффективности водопользования в целях обеспечения экологической безопасности окружающей среды, тогда как визуальный контроль, проводимый параллельно в процессе экспериментальных исследований, не позволял получать своевременную и достоверную информацию о состоянии растений.

**Заключение** диссертации содержит формулировки основных результатов и выводов, которые отражают достижение основной цели работы на основе решения задач диссертационного исследования, а также рекомендации по использованию результатов и перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

Таким образом, содержание диссертации позволяет судить о завершенности и необходимой полноте проведенных исследований, а также содержит достаточно материала, свидетельствующего о достоверности и обоснованности полученных выводов.

Автореферат отражает основные аспекты диссертационного исследования.

**Достоверность и обоснованность результатов и выводов диссертационной работы** подтверждается корректным использованием методов математической статистики и системного анализа, результатами математического моделирования, корректно поставленными экспериментальными исследованиями, проведенными как в лабораторных, так и в полевых условиях, и экспериментальными данными, полученными в результате.

Основные результаты диссертационного исследования изложены 19 научных работах, из которых 8 – статьи в рецензируемых научных журналах, определенных перечнем ВАК, и 2 патента на изобретение.

**Научная новизна полученных результатов** определяется тем, что при решении задач по повышению качества, объективности и оперативности функциональной диагностики растений впервые предложены:

1) использование в качестве интегрального критерия оценки функционального состояния растительных объектов зеркальной составляющей смешанного инфракрасного излучения на длине волны 860 нм, отраженного от шероховатой поверхности листьев растений.

Установлено, что присутствие зеркальной составляющей (порядка 5-30%) свидетельствует о том, что растение находится в состоянии, которое не требует внешнего вмешательства со стороны человека; снижение или отсутствие зеркальной составляющей в отраженном излучении говорит об угнетении состояния растительных объектов и требует проведения мероприятий по уходу за ними;

2) математическая модель формирования зеркальной и диффузной составляющих смешанного отраженного инфракрасного излучения от поверхностей, характеризующихся наличием больших микронеровностей (более 1 мкм), базирующаяся на модели Дэвиса и отличающаяся уточнением коэффициента зеркальности и введением коэффициента диффузности, позволившими оценить динамику изменения каждой составляющей отраженного излучения и выделить группу параметров, определяющих этот процесс на поверхностях растительных объектов;

3) метод контроля функционального состояния растений, базирующийся на количественной оценке составляющих отраженного инфракрасного излучения от поверхности листьев, обеспечивающий возможность осуществления неразрушающего контроля влагообеспеченности растений в режиме реального времени, как в лабораторных условиях, теплицах, так и в полевых условиях и позволяющий автоматизировать контроль и регулирование функционального

состояния растительных объектов и внедрять предложенный подход в информационно-измерительные системы.

### **Значимость результатов исследования для науки и практики**

**Теоретическая значимость** работы заключается в том, что предложен и научно обоснован новый метод инструментальной оценки влагообеспеченности растений, позволяющий провести объективную количественную прижизненную оценку состояния растительных организмов с целью экономии воды и других ресурсов, оптимизации процесса управления их выращиванием, получения объективной информации о состоянии окружающей среды.

Результаты исследования расширяют существующие на современном этапе представления о шероховатой поверхности листьев растений, раскрывают механизмы динамики изменения зеркальной и диффузной составляющих смешанного отражения от этой поверхности и могут служить фундаментальной основой для создания единой теории формирования смешанного отражения от биологических тканей.

**Практическая значимость** работы заключается в разработке портативного устройства контроля функционального состояния растений, позволяющего объективно в режиме реального времени оценивать состояние растительных объектов непосредственно на месте их произрастания, апробация которого проведена в полевых и тепличных условиях фермерского хозяйства ООО «ПКФ «Ляна» (г. Орёл). Применение разработанного устройства позволяет оптимизировать использование водных ресурсов в целях обеспечения экологической безопасности.

Результаты диссертационной работы внедрены в образовательный процесс ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (г. Орёл) при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Приборостроение» и «Биотехнические системы и технологии».

### **Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы**

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы при разработке водосберегающих технологий орошения и полива растений, основанных на инструментальной оценке потребности самих растений в воде с целью выбора момента полива и его дозирования, а также в процессе оценки эффективности агротехнических мероприятий и при проведении экологического мониторинга.

Кроме этого, результаты работы могут быть применены при разработке информационно-измерительных систем контроля состояния растительных биообъектов в различных сферах деятельности человека.

### **По диссертационной работе имеются следующие замечания:**

1. В таблице 2.1 нет перевода названий моделей с английского языка, что усложняет восприятие материала, представленного в таблице.

2. Размеры измерительного окошка разработанного прибора не ориентированы на небольшие листья (менее 10 мм), что не позволяет охватить всё видовое разнообразие растений, а также создает дополнительные трудности при выборе листа растения для проведения диагностики.

3. Возможно стоит рассмотреть уменьшение габаритных размеров устройства, что позволит избежать неудобств при проведении длительных исследований и обеспечит удобство его хранения.

Для большей эргономичности также оптимально было бы расположить дисплей на верхней панели.

4. На рисунке 3.13 отсутствует указание момента полива, что усложняет восприятие представленной информации и создает необходимость вернуться к тексту работы.

5. Вызывает вопросы большое количество оценок качества классификатора. Непонятно зачем было проводить дополнительные расчеты, когда можно было обойтись показателем ассигасы и ошибками 1го и 2го рода.

Перечисленные замечания носят рекомендательный характер и не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация Сухановой Марины Владимировны на тему «Оптический метод и средство функциональной диагностики влагообеспеченности растений» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития инструментальных средств оценки состояния растительных объектов, разработки водосберегающих технологий и обеспечения экологической безопасности.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, и требованиям паспорта специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки).

Автор диссертации, Суханова Марина Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Отзыв подготовлен доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой биотехнических систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Юлдашевым Зафаром Мухамедовичем (тел.: +7 (911) 812-62-61, e-mail: [zmyuldashev@etu.ru](mailto:zmyuldashev@etu.ru)).

Отзыв рассмотрен и одобрен на совместном заседании кафедры «Биотехнические системы» и кафедры «Фотоника» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» 15 января 2025 г., протокол №8.

Заведующий кафедрой Биотехнических систем  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,

доктор технических наук, профессор  З.М. Юлдашев  
научная специальность, по которой защищена докторская диссертация  
05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

Заведующий кафедрой Фотоники  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,

доктор технических наук, профессор  С.А. Тарасов  
научная специальность, по которой защищена докторская диссертация,  
05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и  
нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

Ведущая организация Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ»

Санкт-Петербург, 197022, ул. Профессора Попова, д. 5, лит Ф

кафедра БТС, тел. +7 (812) 234-0133, e-mail: [zmyuldashev@etu.ru](mailto:zmyuldashev@etu.ru)

кафедра Фотоники, тел. +7 (812) 234-3160, e-mail: [satarasov@etu.ru](mailto:satarasov@etu.ru)

Подписи

заведующего кафедрой Биотехнических систем З.М. Юлдашева и  
заведующего кафедрой Фотоники С.А. Тарасова

Удостоверяю

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
НАЧАЛЬНИК ОДС  
Т.Л. РУСЯЕВА

