

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Мачихина Александра Сергеевича  
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 материа-  
лов, изделий, веществ и природной среды

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Дефицит пресной воды и постоянно растущее водопотребление напрямую угрожают экологической безопасности. Истощение водных ресурсов приводит к деградации экосистем, ухудшению качества воды и увеличению риска засух. Рациональное использование воды с каждым годом будет приобретает всё большее значение. Повышение эффективности рационального использования водных ресурсов является важным фактором обеспечения экологической безопасности.

Так как наибольшей составляющей мирового потребления воды является орошаемое земледелие, одним из решений этой проблемы является создание методов и средств, позволяющих провести объективную оценку влагообеспеченности растений и осуществить своевременное орошение. В настоящий момент оценка влагообеспеченности растений проводится либо визуально, что весьма субъективно и неточно, либо на основе измерения влажности почвы, что далеко не всегда отражает состояние растений. Поэтому диссертация Сухановой М.В., посвященная разработке нового подхода к анализу влагообеспеченности растений, основанного на оценке их функционального состояния, является актуальной задачей.

### **Научная новизна**

Основной целью диссертационной работы является повышение эффективности диагностики растительных объектов за счет разработки оптического метода и устройства, обеспечивающих неразрушающий контроль параметров отраженного излучения. Для достижения поставленной цели автором поставлены и решены ряд задач. К основным результатам диссертационного исследования можно отнести следующие.

1. Разработан интегральный критерий оценки функционального состояния растительных объектов, в качестве которого выступает отраженная от листьев зеркальная составляющая инфракрасного излучения с длиной волны 860 нм.

2. Предложена математическая модель, обеспечивающая оценку изменения зеркальной и диффузной составляющих отраженного от листьев излучения.

Разработаны метод и макет устройства для неразрушающего контроля состояния растений, позволяющие оценить их влагообеспеченность в режиме реального времени.

4. Результаты экспериментальных исследований, разработанных методических и аппаратно-программных средств, показавшие, что при оптимальном функциональном

состоянии некоторых видов растений наблюдается присутствие зеркального отражения от их листьев, составляющее 5-30% от общего смешанного отражения, которое зависит от влагообеспеченности растения.

### **Содержание диссертационного исследования**

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи, научная новизна диссертационной работы и практическая значимость полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту, и степень достоверности полученных результатов исследования.

В первой главе описаны некоторые проблемы диагностики состояния растительных объектов, приведены используемые в настоящее время для оценки их функционального состояния параметры, описаны некоторые методы и устройства. Обоснован выбор оптических методов, которые отличаются бесконтактностью, информативностью, объективностью и малым временем исследования. Показано, что поверхности листовых пластин растений свойственно наличие шероховатости, что позволило использовать математический аппарат теории шероховатости для количественного описания поверхности листа и перехода от качественного и субъективного анализа особенностей поверхности листовых пластин к количественным оценкам. Проанализирован спектр отражения листа растения с учетом различных факторов. Обоснован выбор спектрального диапазона, в котором наблюдается максимум отражательной способности листа, а поглощательная способность минимальна.

Во второй главе проводится теоретическое обоснование зависимости формируемой зеркальной и диффузной составляющих отраженного излучения от состояния поверхности листьев и ее тургора. Предложено использование в качестве критерия оценки функционального состояния растения интенсивности зеркальной составляющей отраженного излучения в ближнем инфракрасном диапазоне.

Основываясь на законах геометрической оптики, установлено соотношение угла падения излучения и угла наклона микрограницы, определяющее возможность формирования зеркальной составляющей отражения, а также выделены границы возможного изменения угла падения излучения, при которых возможна оценка величины зеркальной составляющей. Разработанная математическая модель процесса формирования смешанного отражения позволяет анализировать изменения его состава в зависимости от шероховатости поверхности листьев и параметров падающего излучения, а также прогнозировать возможные изменения в составе отраженного излучения при изменении влагообеспеченности растения.

В третьей главе описан макет устройства для оценки состояния растений на основе анализа смешанного и диффузного отражения и расчете зеркальной составляющей отраженного потока инфракрасного излучения от поверхности листьев. Наличие и величина зеркальной составляющей в отраженном излучении выступают интегральным критерием оценки функционального состояния растения. Рассмотрены вопросы метрологического обеспечения разработанного устройства и проведена его калибровка с использованием стандартизованных образцов шероховатости поверхности.

Разработанный макет устройства апробирован в лабораторных условиях. С его помощью исследована динамика изменения как зеркальной и диффузной составляющих, так и всего отраженного излучения в зависимости от интенсивности полива растений.

Четвёртая глава посвящена разработке метода оценки состояния растений для определения их потребностей в воде, в основе которого лежит определение коэффициента зеркального отражения листьев, который количественно характеризует влагообеспеченность растения в целом. Представлены результаты апробации метода в тепличных и полевых условиях.

Для построения модели классификации применён подход, основанный на линейном дискриминантном анализе. Результатом работы явился макет устройства для контроля функционального состояния растений, позволяющий отнести их к одной из трех выделенных групп, в зависимости от испытываемого ими водного стресса.

Текст диссертационной работы изложен на 184 страницах машинописного текста, список литературы содержит 162 наименования отечественных и зарубежных работ. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.11 – 2011.

Содержание автореферата отражает основные идеи, методы и результаты, полученные в диссертации, и соответствует тексту диссертационной работы.

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ВАК.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Все новые положения, предлагаемые в диссертации, автор достаточно подробно аргументирует, корректно обосновывает свои предложения, поясняет достаточным количеством иллюстрационного материала. Представленные материалы диссертации позволяют сделать вывод о достаточно полной обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность представленных автором результатов исследований обосновывается их воспроизводимостью в ходе многочисленных экспериментов, системным подходом при теоретических и экспериментальных исследованиях, а также использованием апробированных и подтверждённых методов и методик обработки результатов измерений.

Работа прошла апробацию как в печати, так и на различных конференциях всероссийского и международного уровней. По теме диссертации автором опубликованы 19 научных работ, в том числе 8 публикаций в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, материалы диссертационного исследования доложены и обсуждены на 9 конференциях. Новизна предлагаемых автором технических решений подтверждается получением двух патентов на изобретение.

## **Практическая значимость и внедрение результатов диссертации**

Практическую значимость представляет предложенный неразрушающий метод и макет устройства для определения функционального состояния растений, основанный на измерении коэффициента зеркального отражения листьев, который выступает интегральным критерием оценки их влагообеспеченности.

Проведена апробация разработанного метода и устройства в полевых условиях фермерского хозяйства (ООО «ПКФ «Ляна», г. Орёл), подтвердившая эффективность их применения для реализации мониторинга функционального состояния растений.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева при подготовке студентов по направлениям 12.03.01 Приборостроение и 12.03.04 Биотехнические системы и технологии.

## **Замечания по работе**

1. «Обзор существующих методов и устройств, предназначенных для диагностики функционального состояния растений», сформулированный как первая задача диссертационного исследования, далеко не исчерпывающий и не содержит описания и анализа современных публикаций о взаимосвязи структуры поверхности листьев с их влагообеспеченностью, в частности, Wang H, Shi H, Li Y, Wang Y (2014) The Effects of Leaf Roughness, Surface Free Energy and Work of Adhesion on Leaf Water Drop Adhesion. // PLOS ONE, 2014. V. 9(9). № e107062; H. Bediaf, R. Sabre, L. Journaux, F. Coinault. // Comparison of leaf surface roughness analysis methods by sensitivity to noise analysis. Biosystems Engineering, 2015. V. 136. P. 77-86; A.J. Hill, S. Rachmilevitch, G. Arye. Leaf surface influence on potential water use in desert plants. // Journal of Arid Environments, 2022. V. 198. № 104694.
2. Не обоснованным представляется утверждение «Поиск информации о параметрах шероховатой поверхности листьев, проведенный по различным источникам, не дал информации...». Измерением шероховатости поверхности листьев в течение многих лет занимаются многие ученые, и подобные данные о многих растений давно систематизированы, например, в W. Zhang, Z. Zhang, H. Meng, T. Zhang. How Does Leaf Surface Micromorphology of Different Trees Impact Their Ability to Capture Particulate Matter? // Forests, 2018. V. 9(11). № 681 и многих других работах. Представленные в Таблице 1.3 полученные «профилограммы» не несут полезной информации, а именно не понятно, какие это растения, не приведены оси и единицы измерения, а также не указано, насколько это соответствует известным данным. В таблице 1.4 также не приведены единицы измерения.
3. Раздел «3.3 Вопросы метрологического обеспечения разработанного устройства», представляющий большой интерес, к сожалению, не в полной мере демонстрирует возможности разработанного макета устройства. Не ясно, на каких растениях и в каких условиях, получены данные, приведенные на рис. 3.7 и без указания единиц измерения в таблицах 3.1 и 3.2. Не проведен анализ источников погрешностей и их вклада в

результат измерений. Представленные в таблице 3.2 результаты показывают лишь повторяемость получаемых результатов, а не их точность. Было бы правильно сравнить результаты измерения с результатами, получаемыми другими приборами.

4. Не сформулированы границы применимости разработанного метода и, как следствие, положений 1-3, выносимых на защиту. Не ясно, для растений каких классов, каких фаз роста, с какими типами и свойствами листьев (опушение, цвет, структура и пр.) он может эффективно использоваться. Представленные в диссертации исследования осуществлены лишь на нескольких растениях. Не очевидно, что при анализе более сложных листьев точность и повторяемость анализа не изменится. Результаты применения, описанного в главе 4 алгоритма классификации «с обучением», очевидно, будут зависеть от множества факторов: свойств и состояния листьев растения, величины обучающей выборки, корректности использования макета прибора и др. В разделе «4.4 Метрологический анализ метода» следовало бы четко сформулировать «рецепт» эффективного применения разработанной методики.

5. Имеются многочисленные и препятствующие восприятию

- термины и формулировки, не являющиеся общепринятыми: «подход по..» (стр. 10), «интегральный критерий» (стр. 10 и др.), «смешанного инфракрасного отраженного излучения» (стр. 11 и др.), «функциональная диагностика растений» (стр. 11 и др.), «непосредственно на месте» (стр. 11), «качественные по своему характеру знания» (стр. 13), «лучи разных длин волн имеют разный процент отражения» (стр. 46), «интерференционная картина очень случайна» (стр. 38), «растительный лист является сложной оптической системой» (стр. 54), «исследование оптики шероховатой поверхности листа растения» (стр. 55), «существование дифракции света в требуемом направлении» (стр. 83), «показатель отражения» (стр. 111) и многие другие;

- подписи, не в полной мере отражающие содержание рис. 1.13, 1.17, 2.1, 2.2, 2.5, 2.7-2.10, 2.17, 3.3, 3.15, 4.4-4.6;

- введенные и не используемые аббревиатуры ИФХ (стр. 25), ФД (стр. 20), ПИФ (стр. 27);

- пунктуационные ошибки (стр. 10, 39, 66, 87, 96 и др.);

- англоязычные названия без перевода на русский язык;

- путаница между терминами «средство», «устройство» и «система».

Несмотря на данные замечания, считаю, что диссертационная работа представляет собой интересное научное исследование, имеет практическую ценность и заслуживает положительную оценку.

## **Заключение**

Диссертационная работа Сухановой Марины Владимировны «Оптический метод и средство функциональной диагностики влагообеспеченности растений» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-практической задачи повышения надежности диагностики растений, характеризуется научной новизной, практической значимостью, достоверностью и соответствует пункту 1 требований паспорта специальности 2.2.8. Методы и приборы

контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки) «Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствующее повышению надёжности изделий и экологической безопасности окружающей среды».

Диссертационная работа соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. N 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, 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.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук по специальности 05.11.07. Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы, доцент,  
ведущий научный сотрудник Лаборатории акустооптической спектроскопии  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Научно-технологический центр уникального приборостроения  
Российской академии наук (НТЦ УП РАН),  
117342, г. Москва, ул. Бутлерова, д. 15  
Тел. 8 495 333 24 31  
E-mail: machikhin@ntcup.ru

*А. Мачихин*

Александр Сергеевич Мачихин

27 января 2025 г.

Подпись Мачихина А.С. удостоверяю

Начальник отдела управления персоналом НТЦ УП РАН



*И. Наймушина*

Ирина Анатольевна Наймушина