

УДК 53.043

DOI: 10.34220/2311-8873-2021-4-4-16-22

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ
МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Камалова Н.С., Евсикова Н.Ю., Крутских Ю.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический
университет им. Г.Ф. Морозова»

E-mail: rc@icmail.ru

Аннотация: Современные цифровые технологии расширяют возможности для методов моделирования состояния различных систем, в том числе и природного происхождения. При этом в области контроля за состоянием древесных растений по-прежнему преобладают вербальные модели. Причина в отсутствии измерительных приборов, которые определяли бы состояние деревьев с контролируемой точностью. В статье предлагается макет прибора, принцип которого основан на измерении разности потенциалов в стволах деревьев, формируемой вследствие термополяризационных явлений в ксилеме стволов.

Ключевые слова: градиент температуры, ксилема стволов, разность потенциалов, поляризация длинных молекул, цифровые технологии.

PROSPECTS OF DIGITAL SENSORS USING FOR
MONITORING THE WOODY PLANTS STATE

Kamalova N.S., Evsikova N.Yu., Krutskikh Yu.V.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State
University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov»

E-mail: rc@icmail.ru

Summary: Modern digital technologies expand the possibilities for methods of modeling the state of various systems, including those of natural origin. At the same time, in the field of control over the state of woody plants, verbal models still prevail. The reason is the lack of measuring instruments that would determine the condition of trees with controlled accuracy. The article proposes a model of the device, the principle of which is based on the measurement of the potential difference in tree trunks, formed as a result of thermopolarization phenomena in the xylem of the trunks.

Keywords: temperature gradient, stem xylem, potential difference, polarization of long molecules, digital technologies.

Одной из актуальных проблем современной цивилизации является возрастающая с каждым годом вероятность возникновения лесных пожаров локального и глобального масштаба. Поэтому мониторинг состояния древесных растений постепенно становится насущной проблемой. Однако, для такого контроля преимущественно используются вербальные представления о процессах, обеспечивающих, в сущности, жизнеспособность нашей планеты в целом [1]. При прогнозировании лесных пожаров моделирование базируется на данных измерений температуры и влажности окружающей среды [2-5]. Причина в отсутствии приборов для мониторинга состояния древесных растений с контролируемой точностью.

Известно, что древесина стволов является гетерогенной структурой, состоящей из органических полимеров, исследование которых стремительно расширяется. Например, структура и свойства волокнообразующей компоненты древесины – целлюлозы достаточно активно исследуется в настоящее время [6-9]. Не менее активно изучаются гемицеллюлозы и лигнин [6, 7, 10]. Особенный интерес, с точки зрения разработки макета прибора для контроля за состоянием древесных растений, представляют исследования термополяризационных свойств природной древесины [11-14], поскольку позволяют фиксировать отклик этой сложной гетероструктуры на флуктуации температуры окружающей среды с помощью электроизмерительных приборов.

Целью данной работы является обоснование макета цифрового датчика, принцип работы которого базируется на разности потенциалов, формируемой вдоль радиусов стволов деревьев при изменении температуры окружающей среды.

Согласно результатам измерений, проведенным на территории Правобережного лесничества учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ, в стволах деревьев лиственных пород семейств *Populus tremula* и *Betula pendula* в возрасте от 34 до 50 лет величина наблюдаемой разности потенциалов варьировалась вдоль радиуса ствола [11]. Измерения проводились цифровым мультиметром МУ 62.

У большинства исследуемых особей максимальное значение разности потенциалов достигается между поверхностью и серединой радиуса (рис. 1). Динамика разности потенциалов в дневное время суток плавно зависит от времени. Кроме того, в стволах осин величина этой разности потенциалов практически не изменялась, если флуктуации температуры окружающей среды при мониторинге не превышали 1-2 °С, а в стволах берез при существенном изменении температуры воздуха утром она к 16.00 часам достигала стабилизации (рис. 2).

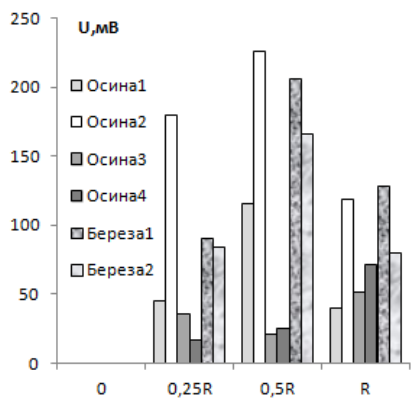


Рисунок 1 – Результаты мониторинга разности потенциалов вдоль радиуса ствола

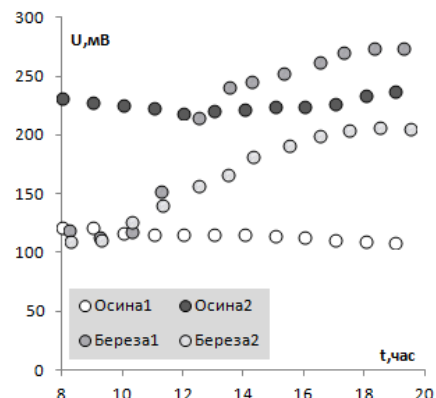


Рисунок 2 – Дневная динамика разности потенциалов между серединой радиуса ствола и поверхностью



Рисунок 3 – Регистратор с согласующим устройством в корпусе



Рисунок 4 – Прибор с электродами, закрепленный на стволе березы

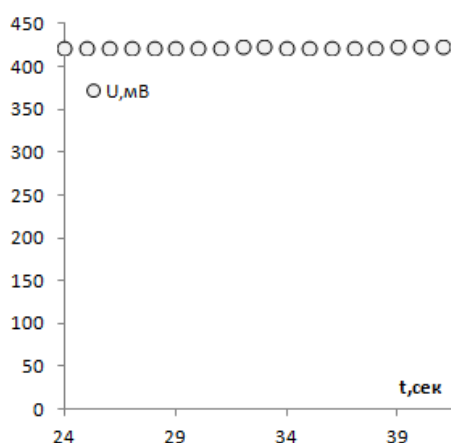


Рисунок 5 – Результаты мониторинга с помощью датчика

По существующим представлениям [11, 15-16], возникающая в ксилеме разность потенциалов является результатом неоднородности распределения

температуры в стволе из-за низкой теплопроводности древесины. При этом в силу пьезоэлектрических и пироэлектрических свойств кристаллитов целлюлозы формируется электрическое поле, в котором происходит ориентация боковых групп ее макромолекул, в свою очередь вызывающая образование нескомпенсированного поверхностного заряда. С термодинамической точки зрения, в процессе такой ориентации изменяется энтропия

$$dS = k \frac{dW}{W} = \frac{\delta A}{T}, \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана, $W = \Delta N / N$ – термодинамическая вероятность, определяемая как отношение изменения числа ориентированных боковых групп при изменении температуры к существовавшему количеству боковых групп, δA – работа по ориентации, T – текущее значение абсолютной температуры в стволе. Поскольку температуропроводность древесины ствола очень низкая, то можно считать, что изменение температуры происходит очень медленно, тогда соотношение (1) трансформируется в

$$\frac{dN}{\Delta N} = \frac{\delta A}{kT}. \quad (2)$$

Правая часть полученного равенства представляет собой отношение энергетических затрат на ориентацию боковой группы к величине ее кинетической энергии, приходящейся на одну степень свободы.

Поскольку процесс упорядочения боковых групп при изменении температуры окружающей среды является релаксационным, то целесообразно анализировать его скоростную характеристику. Если ввести обозначение $\mu = \frac{\delta A}{kT\tau_R}$ (τ_R – время релаксации), то соотношение (2) можно записать в виде:

$$\frac{dN}{\Delta N} = \mu dt. \quad (3)$$

Любой процесс в сложном композите сопровождается релаксационным откликом системы, поэтому величина $\mu = \mu_0 - \zeta t$ будет уменьшаться с ростом числа ориентированных боковых групп с некоторой скоростью ζ . Тогда (3) преобразуется к дифференциальному уравнению первого рода, и, с учетом начального числа ориентированных групп $\Delta N = N_0$, его решение является аналитической функцией:

$$\Delta N = \frac{N_0 e^{-\mu_0 t}}{1 + \mu_0 N_0 (e^{-\mu_0 t} - 1) / \zeta}. \quad (4)$$

Соотношение (4) показывает, что число ориентированных групп и, следовательно, разность потенциалов зависят от таких параметров, как N_0 , μ_0 и ζ , которые характеризуют особенности состава и структуры древесины ствола.

В свою очередь, данные мониторинга тоже предполагают корреляцию между разностью потенциалов и особенностями структуры ствола. Поэтому логично предположить, что уникальная структура древесины может быть исследована с помощью прибора, измеряющего разность потенциалов между серединой радиуса ствола и поверхностью. Такой прибор позволил бы определять спелость древесины по величине разности потенциалов. Однако, для разработки датчика необходимо определиться со способом представления и записи данных мониторинга.

На современном этапе внедрения цифровых технологий в исследовательскую область все приборы используют дискретные сигналы для записи показаний. К тому же, ранее данные мониторинга уже были получены на основании цифрового вольтметра. Поэтому выбор пал на Автономный регистратор двухканальный ECLERK-USB-2mV-G, предназначенный для автоматического измерения и архивирования значений напряжения в диапазоне от 0 до 50 мВ через равные заданные интервалы времени с последующей обработкой накопленных данных на персональном компьютере. Для применения регистратора было необходимо согласующее устройство, позволяющее проводить измерения в диапазоне от 1 мВ до 1 В (рис. 3). Кроме того, подобные регистраторы применяются в наших условиях во влагомерах и изготавливаются резидентом Новосибирского Академпарка НПК Рэлсиб, который является лидером по производству автономных регистраторов, переносных измерителей, датчиков влажности, термореле, приборов мониторинга микроклимата для фармацевтики и медицины в Российской Федерации. Прибор легко прикрепляется к дереву на соединительных проводах и записывает показатели на носитель регистратора (рис. 4).

Пробные измерения показали, что основная проблема связана с подбором электродов и соединением прибора с ними. После неоднократных испытаний в качестве электродов были выбраны изолированные оцинкованные гвозди. Для анализа результатов измерений была разработана программа, осуществляющая пересчет данных. Выяснилось, что прибор позволяет регистрировать разность потенциалов ежесекундно (рис. 5), и результаты стабильны в течение достаточно длительного промежутка времени.

В заключение хотелось бы подчеркнуть, что в ходе исследований выяс-

нилось следующее.

1 Вдоль радиуса ствола в древесных растениях формируется разность потенциалов, величина которой индивидуальна для каждой особи.

2 Датчик на основе регистратора с электродами, зафиксированными в деревьях, позволяет измерять разность потенциалов вдоль радиуса ствола в реальном времени.

3 Показания прибора стабильны в течение всего времени наблюдения и сохраняются в удобном для компьютерной обработки электронном виде при наличии программы пересчета.

Исследования проведены в рамках локального гранта ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», выделенного на проект «Разработка принципа работы цифрового устройства для измерения разности потенциалов в ксилеме стволов древесных растений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гришин, А. М. Моделирование и прогноз экологических катастроф / А. М. Гришин // Экологические системы и приборы. – 2001. – № 2. – С.12 – 21.

2 Perminov, V. Mathematical Modeling of Crown Forest Fire Spread / V. Perminov // Open Journal of Forestry. – 2012. – Vol. 2, № 1. – P. 17-22. <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2012.21003>.

3 Morvan, D. Modeling of fire spread through a forest fuel bed using a multiphase formulation / D. Morvan, J. L. Dupuy // Combustion and Flame. – 2001. – Vol. 127, Iss. 1–2. – P. 1981-1994. DOI : 10.1016/S0010-2180(01)00302-9.

4 Софронова, Т. М. Оценка пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья / Т. М. Софронова, А. В. Волокитина, М. А. Софронов // География и природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 74-80.

5 Вонский, С. М. Определение природной пожарной опасности в лесу : методические рекомендации / С. М. Вонский, В. А. Жданко, В. И. Корбут. – Ленинград : ЛенНИИЛХ, 1981. – 52 с.

6 Способы модификации целлюлозы при разработке полимерных композиционных материалов (обзор) / А. Ю. Анпилова, Е. Е. Масталыгина, Н. П. Храмева, А. А. Попов // Химическая физика. – 2020. – Т. 39 – № 1. – С. 66-74.

7 Мамлеева, Н. А. Термический анализ озонированной древесины сосны / Н. А. Мамлеева, А. В. Шумянец, В. В. Лунин / Журнал физической химии. – 2020. – Т. 94. – № 3. – С. 404-410.

8 Структура растворов, стекол и природных полимеров по данным колебательной и электронной спектроскопии / О. В. Януш, И. Э. Апакова, И. Г.

Полякова, О. Ю. Деркачева, В. О. Кабанов, Е. А. Яшкевич, А. В. Федоров, Т. С. Гусарова (Маркова) // Физика и химия стекла. – 2020. – Т. 46. – № 2. – С. 115-134.

9 Термодинамика адсорбции в системе целлюлоза-вода / Ю. Б. Грунин, М. С. Иванова, Д. С. Масас, Л. Ю. Грунин // Журнал физической химии. – 2020. – Т. 94. – № 4. – С. 528-532.

10 Файзуллина, Н. Р. Способы получения лигнина из древесных опилок / Н. Р. Файзуллина, Д. Т. Тынчтыкова // Kazakhstan Science Journal. – 2020. – Т. 3. – № 1 (14). – С. 31-36.

11 Анализ влияния изменений среднесуточной температуры воздуха в зимний период на накопление влаги в лесных почвах / Н. Ю. Евсикова, Н. С. Камалова, В. И. Лисицын, Б. М. Кумицкий // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, 2013. – № 5 (5). – С. 355-357.

12 Сканирование электрического поля в стволах древесных растений как метод выявления жизненного состояния / Н. Ю. Евсикова, Н. Н. Матвеев, О. М. Корчагин, Н. С. Камалова, В. Ю. Заплетин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2008. – № 6. – С. 43-49.

13 Исследование надмолекулярной структуры целлюлозы по отклику на воздействие неоднородного температурного поля / Н. Н. Матвеев, Н. Ю. Евсикова, Н. С. Камалова, В. В. Саушкин // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4. – № 4 (16). – С. 106-115.

14 Kamalova, N. S. Innovative approach to the assessment of moisture content of forest areas within the framework of the fundamental multi-layered concept / N. S. Kamalova, N. Yu. Evsikova, V. V. Saushkin // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 392. – 012043.

15 Юрьев, Н. Ю. Мониторинг состояния древесных растений с помощью электроизмерительных приборов / Н. Ю. Юрьев, Н. С. Камалова, В. И. Лисицын // Воронежский научно-технический Вестник. – 2019. – Т. 2. – № 2 (28). – С. 125-130.

16 The mechanism of the appearance of a potential difference in the natural high-molecular heterostructures by natural temperature changes / N. N. Matveev, N. S. Kamalova, N. Yu. Evsikova, Yu. A. Litvinova, L. A. Litvinova // Ferroelectrics. – 2018. – Vol. 536, Issue 1. – P. 187-193.

17 The wood in the inhomogeneous temperature field: estimation of cellulose structure parameter fluctuations / N. N. Matveev, H. T. Nguyen, N. S. Kamalova, N. Yu. Evsikova, A. S. Chernykh // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. – 2018. – Т. 11– № 3. – С. 9-16.