

УДК 519.86

ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА ЦИФРОВОГО ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ  
СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Камалова Н.С, Евсикова Н.Ю., Журавлев А.Н.

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

E-mail: [rc@icmail.ru](mailto:rc@icmail.ru)

**Аннотация:** В современных технологиях для контроля состояния естественных систем используются цифровые датчики. В работе предлагается принципиальная схема и возможные составляющие датчика контроля состояния древесных растений при изменении температуры окружающей среды. Особенность модификации связана с тем, что показания датчика формируются на флуктуациях разности потенциалов, стимулируемой изменением температуры воздуха.

**Ключевые слова:** разность потенциалов, сигналы, прогнозирование влажностного содержания, флуктуации температуры, ксилема стволов, древесина, скорость высыхания, цифровые датчики, микроконтроллеры, естественные системы.

PRINCIPAL DIAGRAM OF THE DIGITAL SENSOR FOR MONITORING  
THE STATE OF WOODY PLANTS

Kamalova N.S, Evsikova N.Yu., Juravlev A.N.

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](mailto:rc@icmail.ru)

**Summary:** The modern technologies use digital sensors for monitoring the state of natural systems. The paper proposes a schematic diagram and possible components of a sensor for monitoring the state of woody plants when the ambient temperature changes. The peculiarity of the modification is due to the fact that the sensor readings are formed on fluctuations of the potential difference stimulated by a change in air temperature.

**Keywords:** potential difference, signals, prediction of moisture content, temperature fluctuations, trunk xylem, wood, drying speed, digital sensors, microcontrollers, natural systems.

Цифровые приборы стали ощутимой частью жизни современного общества. Трудно представить область современных научных исследований, которая бы не основывала своих моделей на показаниях цифровых датчиков. К их несомненным плюсам относятся помехозащищенность, простота приема и обработки информации, совместимость с другими цифровыми системами. При наличии развитой спутниковой связи с внедрением цифровых технологий в области контроля экологических систем активно развиваются глобальные национальные системы оценки пожарной опасности (например, канадская система FWI или национальная система оценки пожарной опасности вначале NFDRS–72, затем NFDRS–78) [1-3].

Все подобные системы делают прогнозы возникновения катастрофических ситуаций на основе данных о факторах окружающей среды (изменение температуры, скорости ветра, периодичность осадков). При этом на основе известных знаковых (математических) моделей оценивается скорость высыхания горючих материалов в лесных массивах. Таким образом, прогнозы основываются на косвенных измерениях, в которых погрешность зависит не только от точности измерительных приборов, но и от адекватности выбранных моделей. Наличие приборов для измерения влагосодержания и температуры в самих горючих материалах (например, в ксилеме стволов деревьев) существенно изменило бы ситуацию и привело бы к увеличению адекватности моделей и точности прогнозов.

В работе предлагается принципиальная схема прибора для определения влагосодержания на основе измерения разности потенциалов в ксилеме древесных растений вдоль ствола, которая вызывает восходящий ток ионов солей.

Как известно из физики, плотность тока  $j$  и концентрация  $n$  ионов солей с зарядом  $q$  связаны соотношением:

$$j = qnv, \quad (1)$$

где  $v$  – равновесная величина скорости ионов в стволе. Следовательно, скорость изменения плотности тока определяется как

$$\frac{dj}{dt} = q\left(\frac{dn}{dt}v + n\frac{dv}{dt}\right). \quad (2)$$

Концентрация ионов солей в ксилемном токе постоянно меняется. Если ввести такой параметр, как скорость относительного изменения концентрации ионов  $\alpha = \frac{dn}{ndt}$ , откуда  $\frac{dn}{dt} = \alpha n$ , то соотношение (2) примет вид:

$$\frac{dj}{dt} = q(\alpha n v + n \frac{dv}{dt}) . \quad (3)$$

Изменение скорости потока ионов вызовет перераспределение концентрации, которое приведет к созданию направленного против увеличения скорости электрического поля стабилизирующего характера напряженностью  $E$ . Поскольку (согласно второму закону Ньютона)  $m \frac{dv}{dt} = F_q = -qE$ , где  $F_q$  – сила стабилизирующего воздействия, то соотношение (3) примет вид:

$$\frac{dj}{dt} = q(\alpha n v - n v \frac{qE}{mv}) . \quad (4)$$

Используя закон Ома в дифференциальной форме  $j = \sigma E$ , с учетом (1) получим

$$\frac{dj}{dt} = j(\alpha - \frac{q}{\sigma m v} j) . \quad (5)$$

Введение обозначения  $\beta = \frac{q}{\sigma m v}$  преобразует (5) в дифференциальное уравнение:

$$\frac{dj}{dt} = j(\alpha - \beta j) , \quad (6)$$

которое имеет аналитическое решение с начальным условием  $j = j_0$  при  $t = 0$ :

$$\frac{j}{j_0} = \frac{e^{\alpha t}}{1 + \mu j_0 (e^{\alpha t} - 1)} , \quad (7)$$

где  $\mu = \frac{\beta}{\alpha}$  – характеризует относительную степень влияния стабилизирующего отклика. Поскольку процессы в такой системе, как ксилема ствола, протекают достаточно медленно, то с достаточной точностью можно полагать, что  $\frac{j}{j_0} = \frac{U}{U_0}$ .

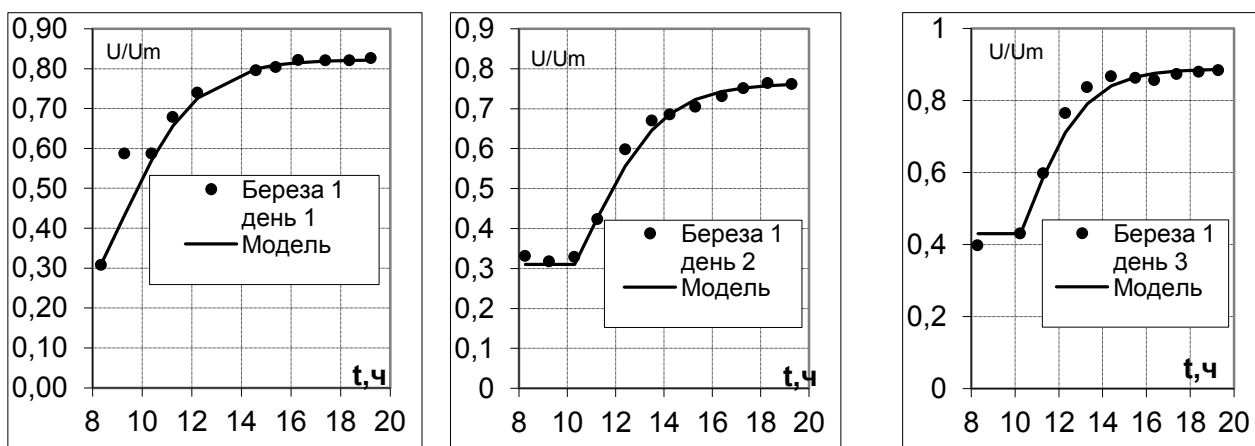


Рисунок 1 – Результаты сопоставления данных измерения разности потенциалов вдоль ствола в течение нескольких суток с моделированием по соотношению (8)

Следовательно, для оценки возникающей разности потенциалов вдоль ствола можно использовать соотношение:

$$\frac{U}{U_0} = \frac{e^{\alpha t}}{1 + \mu j_0 (e^{\alpha t} - 1)}. \quad (8)$$

Результаты измерения разности потенциалов в ксилеме ствола подтверждают адекватность соотношения (8) [4-6]. На рисунке 1 представлены зависимости  $\frac{U}{U_m}(t)$  ( $U_m$  – максимальное значение разности потенциалов в ксилеме ствола) в течение нескольких дней наблюдения. Все зависимости носят пороговый характер, что подтверждает возникновение стабилизирующего отклика при изменении внешних условий. Поэтому разность потенциалов вдоль радиуса ствола может характеризовать состояние древесного растения в текущий момент времени.

Цифровые методы измерения разности потенциалов развиваются очень стремительно. Типичная схема такого измерителя с дисплеем и картой памяти приведена на рисунке 2.

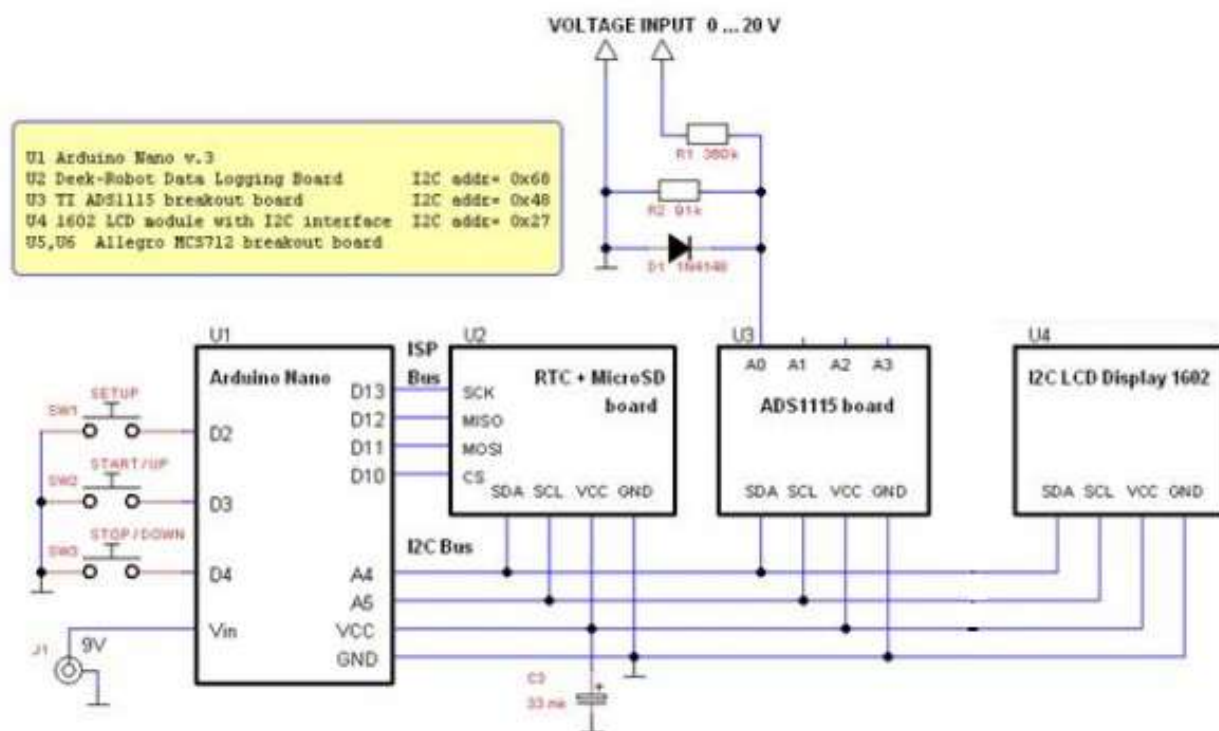


Рисунок 2 – Типичная схема цифрового измерителя напряжения [7]

Чувствительность прибора характеризуется разрядностью используемого микроконтроллера и АЦП. Например, использование 16-разрядного микро-

контроллера позволит измерять напряжение до 1 мВ. Сложность состоит в подборе элементов с учетом минимизации уровня помех. Работать такая схема может от батарейки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2 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.

3 Martell, D. L. A Markov Chain Model of Day to Day Changes in the Canadian Forest Fire Weather Index / David L. Martell // International Journal of Wildland Fire. – 1999. – № 9 (4). – P. 265-273. – URL : <http://dx.doi.org/10.1071/WF00020>. – Текст : электронный.

4 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.

5 Исследование процессов сокодвижения в стволах древесных растений / Н. Ю. Евсикова, Н. С. Камалова, Н. Н. Матвеев, В. В. Постников // Природопользование : ресурсы, техническое обеспечение : межвузовский сборник научных трудов. – Воронеж, 2009. – Вып. 4. – С. 8-12.

6 Гриднева, И. В. Исследование транспорта воды в стволах древесных растений методом математического моделирования / И. В. Гриднева, Н. С. Камалова, Н. Ю. Евсикова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1 (44). – С. 58-64.

7 ARDUINO : Энциклопедия АРДУИНО : AVMeter. – URL: <https://www.cherkessk.su/groups/group/36/wiki/AVMeter/> (дата обращения: 09.11.2019). – Текст : электронный.