УДК:581.14:532.543

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОНОМНОГО РЕГИСТРИРУЮЩЕГО ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ФАЗ ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ

***Караев А.И.**, д-р. техн. наук, ст. науч. сотр., зав. кафедрой «Технические системы в АПК».*
***Муравьев А.Н.**, начальник Молодежного конструкторского бюро.*
ФГБОУ ВО «МелГУ», г. Мелитополь, Запорожская обл., Росси

Аннотация. *Приведены результаты лабораторно-полевых испытаний экспериментального образца автономного регистрирующего прибора РОМ-2. Прибор предназначен для автоматизированного определения даты выхода плодовых деревьев из состояния глубокого покоя и даты начала их цветения на основе феноклиматографических моделей CU (chill units) и ASYMCUR (growing degree hours). Описаны конструкция прибора, алгоритм его работы и методика проведения испытаний, включавшая этапы градуировки датчика температуры в лабораторных условиях и полевой валидации. Показано, что прибор обеспечивает точное измерение температуры окружающей среды, формирование базы данных и передачу информации на центральный сервер. Установлена возможность его применения для проведения полевых исследований и разработки систем автоматизированного полива плодовых насаждений на основе физиологических параметров деревьев.*

Ключевые слова: *плодовые деревья; фенологическая фаза; глубокий покой; цветение; автономный регистратор; температурный мониторинг; единицы охлаждения; градусо-часы роста.*

Актуальность разработки автоматизированных систем для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур обусловлена необходимостью повышения эффективности и точности управления агротехнологическими процессами.

Одной из ключевых задач является прогнозирование фенологических фаз, в частности, выхода из состояния покоя и начала цветения плодовых деревьев, что критически важно для организации и проведения своевременных агромероприятий [1].

Целью данной работы являлась экспериментальная оценка функциональных характеристик автономного регистрирующего прибора РОМ-2, предназначенного для определения дат выхода деревьев из глубокого покоя и

начала цветения на основе непрерывного мониторинга температуры воздуха.

Объектом испытаний являлся экспериментальный образец прибора РОМ-2, общий вид которого представлен на рисунке 1.

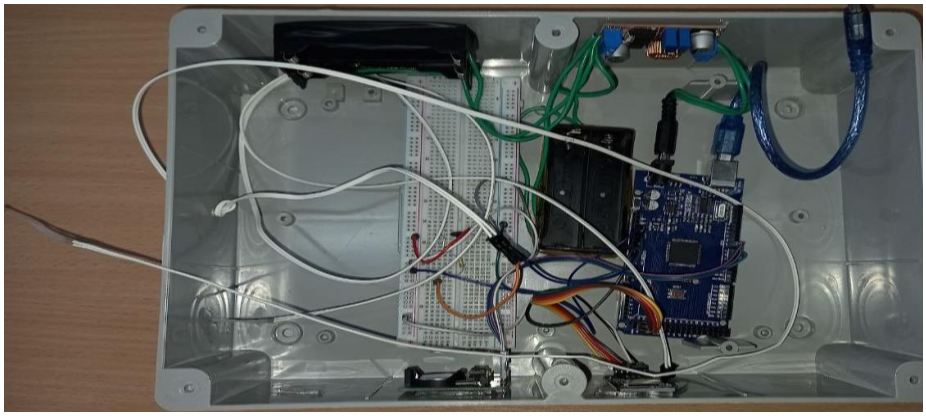

Рисунок 1 – Общий вид цифрового регистрирующего прибора РОМ-1

Конструктивно прибор включает в себя термистор в качестве первичного датчика температуры, микроконтроллер Arduino Mega (на базе Atmega2560), модули для сохранения (MicroSD Card Adapter) и беспроводной передачи данных (WiFi модуль ESP-01, Bluetooth HC-05), модуль реального времени DS1302, а также автономную систему питания на основе li-ion аккумулятора и солнечной батареи.

Работа прибора основана реализации феноклиматографических моделей [2]:

- Модель CU (Chill Units) для подсчета Единиц Охлаждения (ЕО) и определения даты завершения вынужденного покоя.
- Модель ASYMCUR для подсчета Градусо-Часов Роста (ГЧР, GDH) и прогнозирования дат развития генеративных почек и начала цветения.

Прибор работает по следующемуалгоритму:

- термистор измеряет естественную температуру воздуха;
- расчет почасовых значений температуры за сутки;
- расчет почасовых значений ГЧР для начала цветения;
- рассчитываем суммарное значение ГЧР за сутки;
- определяем даты начала цветения;

- определяем дату накопления единиц ГЧР по заданному процентному отношению;
- формируется база данных с помощью микроконтроллере Arduino Mtga2560 и передается на карту памяти;
- карта памяти MicroSD на которой хранится сформированная база данных;
- сформированная база данных передается с помощью модулей WiFi - ESP-01 Bluetooth HC-05 на центральный комп'ютер.

Методика испытаний. Методика включала два этапа. На первом этапе проводилась лабораторная градуировка термистора методом вольтметра-амперметра. Термистор помещался в сосуд с водой, температура которой контролировалась эталонным цифровым термометром ТЦЭ-005/М2 и повышалась с шагом 0,5 °С в диапазоне от +1,0 °С до +5,5 °С. Сопротивление термистора фиксировалось микровольтметром VC61A. На втором, полевом этапе, прибор был размещен в насаждениях черешни сорта Крупноплодная, где в течение 48 часов с интервалом 60 минут регистрировал температуру окружающего воздуха.

Результаты. Результаты лабораторных испытаний прибора РОМ-1 (таблица 1) демонстрируют четкую зависимость сопротивления термистора от температуры, что свидетельствует о его исправности и пригодности для точных измерений.

Таблица 1 – Данные градуировки термистора

№ п.п.	$T_{воды}$, °С	кОм
1	1,0	30,886
2	1,5	30,123
3	2,0	29,361
4	2,5	28,641
5	3,0	27,921
6	3,5	27,240
7	4,0	26,560
8	4,5	25,916
9	5,0	25,273
10	5,5	24,663

Графическая зависимость (рисунок 1) подтверждает линейный характер изменения сопротивления в исследуемом температурном диапазоне.

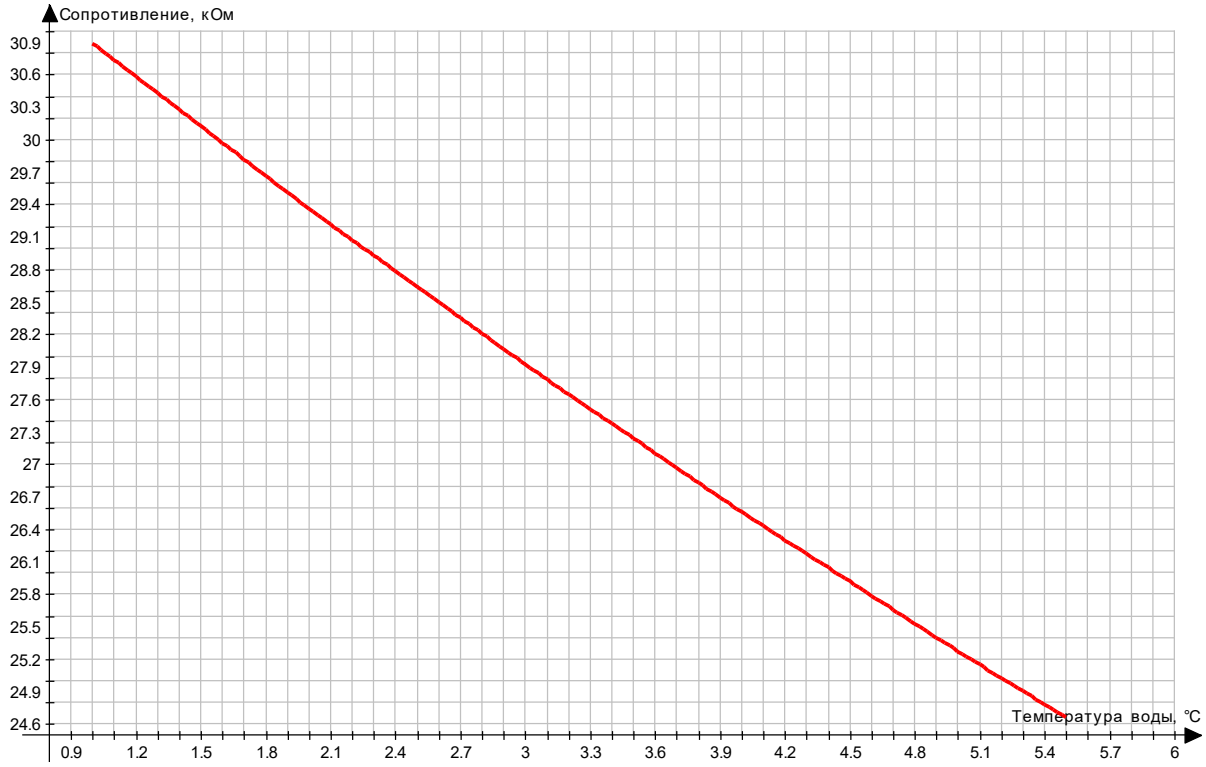

Рисунок 1 – График зависимости сопротивления термистора от температуры воды

В ходе полевых испытаний прибор успешно функционировал в автономном режиме, формируя базу данных измерений (фрагмент представлен в таблице 2 и графически на рисунке 2) и демонстрируя стабильность работы электронных компонентов и программного обеспечения.

Таблица 2 – Фрагмент базы данных, сформированной прибором

№ п.п.	$T_{воздуха}$, °C	Время, мин.
1	17,0	13:00
2	17,0	13:30
3	17,3	14:00
4	17,0	14:30
5	16,4	15:00
6	15,0	15:30
7	15,7	16:00
8	15,4	16:30
9	14,7	17:00
10	14,0	17:30

Рисунок 5 – График формирования базы данных регистрирующим устройством прибора для определения выхода из покоя и начала цветения (фрагмент процесса накопления).

Обсуждение результатов подтверждает, что разработанный прибор РОМ-2 является функционально завершенным устройством. Он способен автоматически собирать, обрабатывать и передавать данные о температуре, необходимые для расчета биотермических показателей (ЕО и ГЧР) в соответствии с общепринятыми моделями [2]. Автономность работы, обеспеченная комбинированной системой питания, и возможность беспроводной передачи данных делают его перспективным для применения в системах точного земледелия.

Выводы:

1. Проведенные испытания подтвердили работоспособность и соответствие функциональных характеристик прибора РОМ-2 заявленным целям.

2 Аппаратно-программный комплекс прибора обеспечивает точное измерение температуры, реализацию алгоритмов расчета ЕО и ГЧР, хранение и передачу данных.

3 Установлена целесообразность использования прибора для полевых исследований и в качестве основы для разработки систем автоматизированного управления агротехнологическими процессами, в частности, орошением плодовых насаждений.

Список источников:

1. Федоренко В.Ф. Государственная поддержка садоводства // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: материалы XIII Междунар. науч.-практ. интернет-конф. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. С. 65–70.
2. Anderson J.L., Richardson E.A. Development of a model for ASYMCUR // Acta Horticulturae. 1987. No. 184. Pp. 71–78.
3. ГОСТ Р 53618-2018 (МЭК 60068-3-5:2001) Испытания на стойкость к воздействию температуры. Методы аттестации камер (без загрузки). М.: Стандартинформ, 2019. 27 с.
4. ГОСТ 28626-2017 Терморезисторы косвенного подогрева с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. 45 с.
5. ГОСТ 25336-2015 Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры. М.: Стандартинформ, 2016. 103 с.

EXPERIMENTAL STUDIES OF AN AUTONOMOUS RECORDING DEVICE FOR DETERMINING THE PHENOLOGICAL PHASES OF FRUIT TREES

Karaev A.I., *Doctor of Technical Sciences, Senior researcher. Associate Professor, Head of the Department "Technical systems in agriculture".*

Muravyov A.N.*, Head of the Youth Design Bureau.*

Annotation. *The article presents the results of laboratory and field tests of an experimental sample of the autonomous recording device ROM-2. The device is designed for the automated determination of the date of fruit trees exiting deep dormancy and the date of the beginning of their flowering based on phenoclimatographic models CU (chill units) and ASYMCUR (growing degree hours). The design of the device, its algorithm, and the testing methodology, which included stages of temperature sensor calibration in the laboratory and field validation, are described. It is shown that the device provides accurate measurement of ambient temperature, database formation, and data transmission to a central server. The possibility of its application for field research and the development of automated irrigation systems based on the physiological parameters of trees has been established.*

Keywords: *fruit trees; phenological phase; deep dormancy; flowering; autonomous data logger; temperature monitoring; chill units; growing degree hours.*

Работа выполнена при поддержке гранта «Разработка алгоритмов для средств автоматизации систем полива плодовых косточковых культур по физиологическим параметрам деревьев (FRRS-2023–0001).