

Ассистент А.Н. Попов, профессор А.С. Гордеев
(Мичуринский государственный аграрный университет) кафедра электрификация и автоматизация сельского хозяйства, тел. (475) 455-62-76

Экспериментальная установка для исследования инфракрасных сигналов почвы различной влажности

Приведены: структурная схема установки для измерения инфракрасного излучения почвы в диапазоне 6-14 мкм; технические характеристики прибора ИКВП-01. Исследованы возможности применения пирозлектрических датчиков типа MLX90614ESF. Представлены зависимости: температуры почвы от ее влажности; зависимость сигнала ИК прибора от температуры почвы и влажности.

The article presents: structural scheme of the installation for measuring the infrared radiation of the soil in the range of 6-14 um; technical characteristics device ИКВП-01. The opportunities of use of pyroelectric sensors type MLX90614ESF were researched. Dependence of the temperature of soil from its humidity and dependence of the signal IR instrument of soil temperature and humidity are presented.

Ключевые слова: инфракрасное излучение, влажность почвы, пирозлектрический датчик.

Содержание влаги в окружающей среде оказывает влияние на характер и интенсивность происходящих в живых объектах биохимических и физико-химических процессов.

Полевые агрономические исследования пахотного слоя почв нужны для определения сроков начала пахоты, внесения удобрений, для определения сроков и продолжительности поливов, управления автоматизированными оросительными системами.

В основе существующих дистанционных методов определения влажности почвы лежит использование данных измерений излучения и отражения почвой электромагнитной радиации. Широкое распространение в настоящее время находят пассивные методы индикации, основанные на регистрации излучения в различных диапазонах электромагнитного спектра, в частности, регистрации собственного излучения почвы и воды в диапазоне 6-14 мкм [4].

Нами предлагается для измерения пространственной неоднородности влажности почвы использовать естественное инфракрасное излучение земли в диапазоне 6-14 мкм. Для проверки этого предположения была собрана экспериментальная установка, изображенная на рисунке 1.

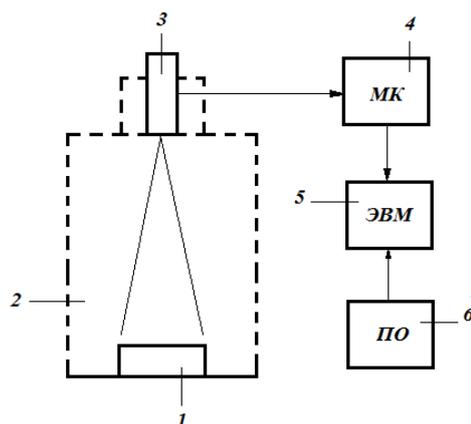


Рисунок 1 - Экспериментальная установка для измерения инфракрасного излучения почвы с помощью ИКВП-01: 1-исследуемая почва (чернозем); 2-измерительная камера; 3-ИК-датчик MLX90614ESF; 4-микроконтроллер; 5-компьютер; 6- программное обеспечение.

Исследуемый образец почвы 1 помещается в измерительную камеру 2, предназначенную для защиты приемника 3 от внешнего ИК излучения. Сигнал с приемника 3 с помощью микроконтроллера 4 поступает на компьютер 5. С помощью программного обеспечения 6 происходит отображение и сохранение информации.

В качестве приемника инфракрасного излучения почвы разработан прибор ИКВП-01, общий вид которого изображен на рисунке 2.

Корпус ИК-приемника 1, изготовлен из ударопрочного материала – дюралюминия, внутри которого расположены электронные схемы управления и питания инфракрасного датчика и оптического лазера.

Технические характеристики устройства для измерения инфракрасного излучения почвы приведены в таблице 1.



Рисунок 2 - Общий вид ИК-приемника и МК: 1-ИК-приемник; 2- объектив (линза Френеля); 3-лазерный указатель; 4-разъем RS232 для соединения с микроконтроллером; 5-микроконтроллер.

Т а б л и ц а 1

Технические характеристики устройства ИКВП-01 для бесконтактного измерения инфракрасного излучения почвы

| Параметр | Значение |
|--------------------------------------------|---------------|
| Напряжение питания, В | +5 |
| Количество пироэлектрических | 2 |
| Время измерения, с | 0,1 с |
| Вес, г | 500 |
| Характеристики пироэлектрического датчика | |
| Спектральный диапазон, мкм | 6...14 |
| Разрешение измерения температуры, °С | 0,02 |
| Диапазон измерения температуры датчика, °С | -40... + 382 |
| Точность измерения температуры | ± 2% или ±2°С |

В основе прибора ИКВП-01 лежит *пироэлектрический датчик*, предназначенный для преобразования длинноволнового инфракрасного излучения (с длиной волны 6-14 мкм) в электрический сигнал, типа thermopile sensors с цифровым выходом MLX90614 [1]. Его устройство представлено на рисунке 3, а электрическая схема – на рисунке 4. Эти датчики имеют угол обзора ±45 градусов и изначально

откалиброваны на заводе. Пироэлектрические датчики оформлены в цилиндрическом или прямоугольном металлическом корпусе с тремя или четырьмя медными лужеными проводочными выводами. На плоском торце корпуса, противоположном стороне выводов, расположено прямоугольное или круглое окошко, закрытое стеклянным или кварцевым фильтром, пропускающим преимущественно инфракрасные лучи в диапазоне от 6 до 14 мкм.

Пироэлектрический эффект обусловлен как самими физическими свойствами пироэлектрика (кристалла), так и конструкцией датчика, в которой чередуются несколько слоёв специальной керамики, созданной на основе селенида свинца [5].

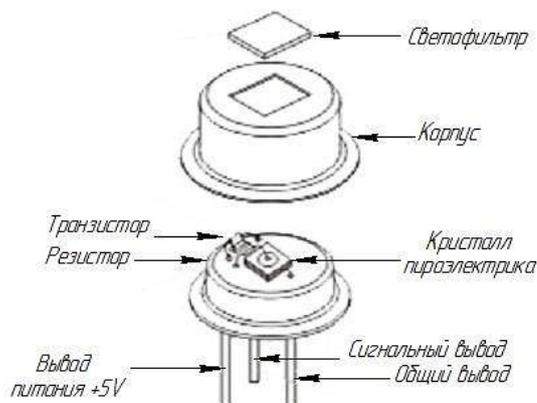


Рисунок 3 - Устройство пироэлектрического датчика: 1-светофильтр; 2-корпус; 3-транзистор; 4-резистор; 5-кристалл пироэлектрика; 6-вывод питания +5В; 7-общий вывод; 8-сигнальный вывод.

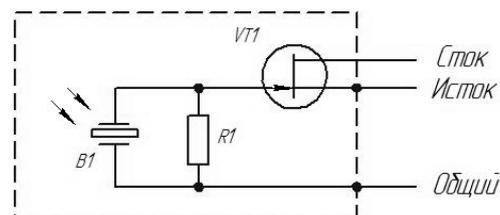


Рисунок 4 - Типовая схема пироэлектрического датчика.

Чувствительным элементом *B1* служит своеобразный конденсатор – пластина из пироэлектрика с металлическими обкладками. На одну из обкладок нанесен слой вещества, способного поглощать электромагнитное (тепловое) излучение. В результате поглощения энергии температура пластины конденсатора увеличивается и между обкладками появляется напряжение строго определенной

полярности. Будучи приложенным к участку затвор-исток встроенного полевого транзистора *VTI*, оно вызывает изменение сопротивления его канала. Выходной сигнал снимают с внешнего нагрузочного резистора, включенного в цепь стока транзистора. Через некоторое время, независимо от того продолжает действовать на датчик тепловое излучение или нет, конденсатор разрядится через сопротивление утечки *RI* – выходной сигнал спадает до нуля. Зачастую датчики снабжают несколькими чувствительными элементами, соединенными последовательно с чередующейся полярностью. Этим обеспечивают нечувствительность прибора к равномерному фоновому облучению и получение знакопеременного выходного напряжения при перемещении сфокусированного изображения объекта по чувствительной поверхности датчика.

Спектральная чувствительность датчика формируется за счет поглощающей способности материала, которым покрыты пластины пироэлектрика. На рисунке 5 приведены различные спектральные характеристики пироэлектрических датчиков.

Пироэлектрические датчики со спектральной характеристикой 4 наиболее подходят для дистанционных измерителей температуры [6, 7].

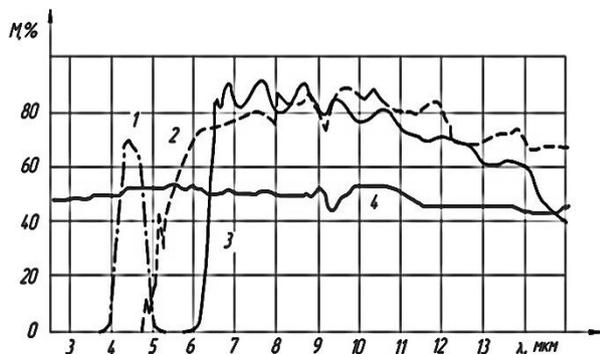


Рисунок 5 - Различные спектральные характеристики пироэлектрических датчиков [10]. 1 – для обнаружения пламени; 2,3 – для фиксации движения человека; 4 – для использования в дистанционных измерителях температуры.

Для проведения исследования были взяты одинаковые по размеру 30 ячеек, которые заполнили равным количеством предварительно высушенной почвы. Объем формочки – 500 мл. Тип исследуемой почвы – чернозём.

Исследовались почвы с влажностью 0, 2, 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 %. Влажность изменяли путем добавления воды в ячейки.

Контроль состояния влажности почвы проводили методом высушивания согласно

ГОСТ 5180-84 [2]. В процессе проведения эксперимента фиксировали температуру и влажность воздуха с помощью электронного анализатора ТКА ПКМ.

Результаты проведения опыта по исследованию ИК сигналов при измерении влажности почвы сведены в таблицу 2.

Таблица 2
Фрагмент результатов эксперимента.

| X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | ... | X11 |
|------|----|------|------|----|------|-----|--------|
| 6,5 | 0 | 0 | 21,8 | 48 | 19 | ... | -0,064 |
| 6,5 | 2 | 0,03 | 21,8 | 48 | 19,2 | ... | -0,121 |
| 6,5 | 5 | 0,06 | 21,8 | 48 | 19,4 | ... | -0,171 |
| 6,3 | 7 | 0,09 | 21,8 | 48 | 21,3 | ... | -0,213 |
| 6,3 | 10 | 0,12 | 21,8 | 48 | 20 | ... | -0,225 |
| 6,2 | 20 | 0,15 | 21,8 | 48 | 19,4 | ... | -0,215 |
| 12 | 30 | 0,18 | 21,8 | 48 | 19,4 | ... | -0,201 |
| 12,8 | 40 | 0,21 | 21,8 | 48 | 19,4 | ... | -0,179 |
| 30,4 | 50 | 0,24 | 21,8 | 48 | 19,1 | ... | -0,172 |
| 43,2 | 60 | 0,27 | 21,8 | 48 | 19,5 | ... | -0,158 |

В таблице 2 обозначено: *X1* – влажность почвы, %; *X2* – количество влаги в почве (добавлено), %; *X3* – время анализа, час (десятичные); *X4* – температура воздуха, °С; *X5* – относительная влажность воздуха, %; *X6* – температура почвы, °С; *X11* – сигнал, полученный с пироэлектрического датчика.

По результатам исследования в пакете MathCAD [3] было получено уравнение регрессии второго порядка $T = k_0 + k_1 W + k_2 W^2$ зависимости температуры почвы от ее влажности (рисунок 6), а также уравнение регрессии первого порядка $T_n = k_1 * T_s + k_0$ зависимости температуры почвы от ее влажности (рисунок 7) и уравнение $T_{np} = k_0 + k_1 W + k_2 W^2$ – зависимость сигнала прибора от влажности почвы (рисунок 8).

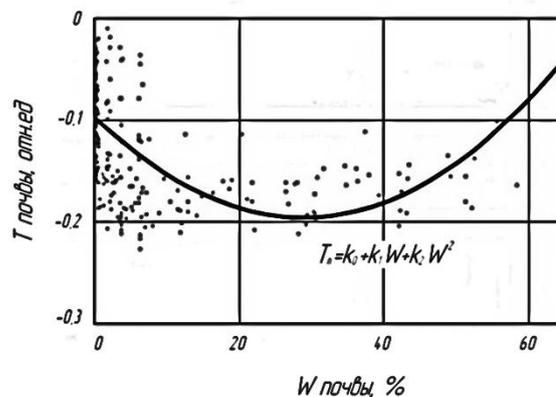


Рисунок 6 - Зависимость температуры почвы от ее влажности.

Таким образом, нами показано, что ИК излучение почвы нелинейно зависит от ее влажности. Нелинейность полученной регрессии объясняется зависимостью температуры почвы не только от влажности, но и от температуры самой почвы.

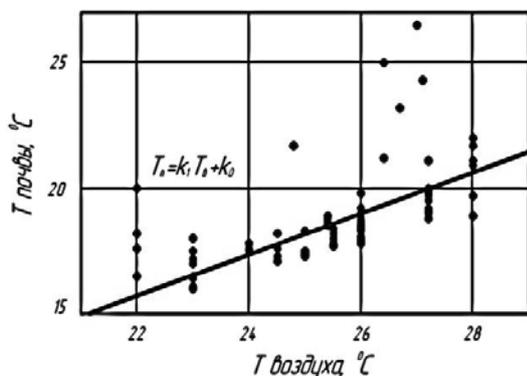


Рисунок 7 - Статистическая зависимость между температурой почвы и температурой воздуха

Из графика, представленного на рисунке 7, видно, что между температурой воздуха и температурой земной поверхности в зависимости от ее состояния существует определенная статистическая связь. Среднее значение температуры почвы в момент измерения равно 19 °С, а температуры воздуха - 26 °С, т.е. разница температур составляет 7 °С и она отрицательна, т.е. температура почвы всегда меньше, чем температура воздуха – окружающего фона.

Лабораторные исследования показали существенную зависимость излучения от влажности почвы, а также от ее температуры, что необходимо учитывать при калибровке прибора (рисунок 8).

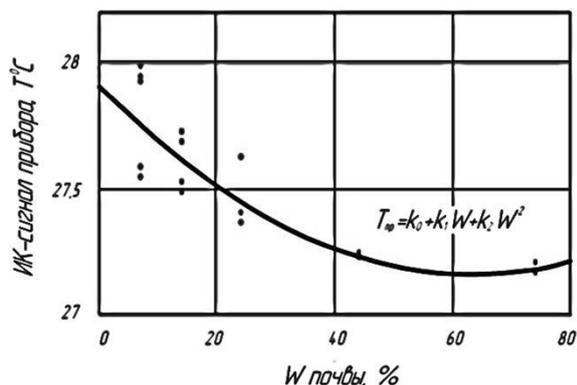


Рисунок 8 - График зависимости сигнала прибора от влажности почвы.

Можно сделать нижеследующие выводы. Получена принципиальная возможность определения влажности почвы по ее ИК-излучению в диапазоне 6-14 мкм.

Создана электрическая схема прибора для определения влажности на базе ИК-датчика типа MLX90614ESF.

Сигнал прибора имеет нелинейную зависимость и погрешность, зависящую от температуры почвы и окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Пирозэлектрический датчик типа MLX90614ESF [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.melexis.com/Infrared-Thermometer-Sensors/Infrared-Thermometer-Sensors/MLX90614-615.aspx>. - Загл. с экрана.
- 2 ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик [Текст]. - М.: Изд-во стандартов, 1985.
- 3 Фриск, В.В. Основы теории цепей. Расчеты и моделирование с помощью пакета компьютерной математики MathCAD [Текст] / В.В. Фриск. - М.: Солон-Пресс, 2006.
- 4 Попов, А.Н. Устройство бесконтактного измерения инфракрасной температуры для определения влажности почвы [Текст] / А.Н. Попов, А.С. Гордеев // Вестник Мичуринского аграрного университета. - 2013. - №1.
- 5 Сайт фирмы "Электрик" (Россия) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.bezkz.su/>. - Загл. с экрана.
- 6 Пиродатчики [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.teren.ru/>. - Загл. с экрана.
- 7 Сайт фирмы "Элемент электро" (Россия) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elem-e.ru/>. - Загл. с экрана.

REFERENCES

- 1 Pyroelectric sensor type MLX90614ESF [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.melexis.com/Infrared-Thermometer-Sensors/Infrared-Thermometer-Sensors/MLX90614-615.aspx>. - Title screen.
- 2 State standard 5180-84 . Soils. Laboratory methods for determining physical characteristics [Text]. - M.: Publishing House of Standards, 1985.
- 3 Frisk, V.V. Fundamentals of circuit theory. Calculations and modeling using computer mathematics package MathCAD [Text] / V.V. Frisk. - M.: Solon-Press, 2006.
- 4 Popov, A.N. Non-contact measurement device for infrared temperature determination of soil moisture [Text] / A.N. Popov, A.S. Gordeev // Bulletin of Michurinsk Agrarian University. - 2013. - № 1.
- 5 Site of firm "Electric" (Russia) [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.bezkz.su/>. - Title screen.
- 6 Temperature sensing devices [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.teren.ru/>. - Title screen.
- 7 Site of firm "Element electro" (Russia) [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.elem-e.ru/>. - Title screen.