

А. А. Жешко¹, А. В. Ленский¹, Б. Эрдэнэтуяа², Б. Нямгэрэл²

¹*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

²*Монгольский Государственный Аграрный Университет,*

Инженерно-технологический Институт

г. Улан-Батор, Монголия,

E-mail: erdenetuya@muls.edu.mn

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ДАТЧИКОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ РАБОТ

Аннотация. Рассмотрены перспективные датчики и исполнительные механизмы для реализации информационно-вычислительной системы организации механизированных работ.

Ключевые слова: датчики и исполнительные механизмы, искусственный интеллект, машинное обучение, компьютерное зрение, точное земледелие, беспилотные летательные аппараты.

A. A. Zheshko¹, A. V. Lenski¹, B. Erdenetuya², B. Nyamgerel²

¹*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”*

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

²*School of Engineering and Technology, Mongolian University of Life Sciences*

Ulaanbaatar, Mongolia,

E-mail: erdenetuya@muls.edu.mn

ANALYTICAL REVIEW OF SENSORS FOR IMPLEMENTATION OF INFORMATION-COMPUTER SYSTEM OF ORGANIZATION OF MECHANIZED WORKS

Abstract. Perspective sensors and actuators for the implementation of an information-computing system for organizing mechanized work are considered.

Keywords: sensors and actuators, artificial intelligence, machine learning, computer vision, precision agriculture, unmanned aerial vehicles.

Введение

Интенсивное развитие электронно-вычислительной техники в последние десятилетия явилось основой цифровизации многих отраслей экономики. Развитие датчиков, исполнительных механизмов и их объединение в Интернет вещей позволило собирать, накапливать и анализировать большие объемы данных, после обработки которых можно реализовать машинное обучение интеллектуальных систем, использовать полученные знания в системах под управлением компьютерного зрения при выполнении таких сельскохозяйственных операций, как сортировка клубней картофеля, автоматическое вождение по рядкам при посеве, уходе и уборке сельскохозяйственных культур.

Отправной точкой в разработке концепции информационно-вычислительной системы является всесторонний анализ и разработка классификации принципов и технических средств для реализации технологии точного земледелия. Следует отметить, что датчики являются физическими поставщиками данных и после объединения в сеть являются основой Интернета вещей. В сельскохозяйственном производстве применяют различные типы датчиков, которые позволяют преобразовать измеряемую величину в сигнал, удобный для регистрации, обработки, передачи и хранения.

Основная часть

Применительно к технологиям точного земледелия используют датчики, позволяющие в автоматическом режиме контролировать технологический процесс. Объектами измерений могут выступать почва, растения, животные, различные механизмы машин.

По принципу действия можно выделить механические, пневматические, акустические, лазерные, инфракрасные, ультразвуковые, оптические, термические и другие типы датчиков. На рис. 1 представлена классификация датчиков исходя из их функционального назначения.

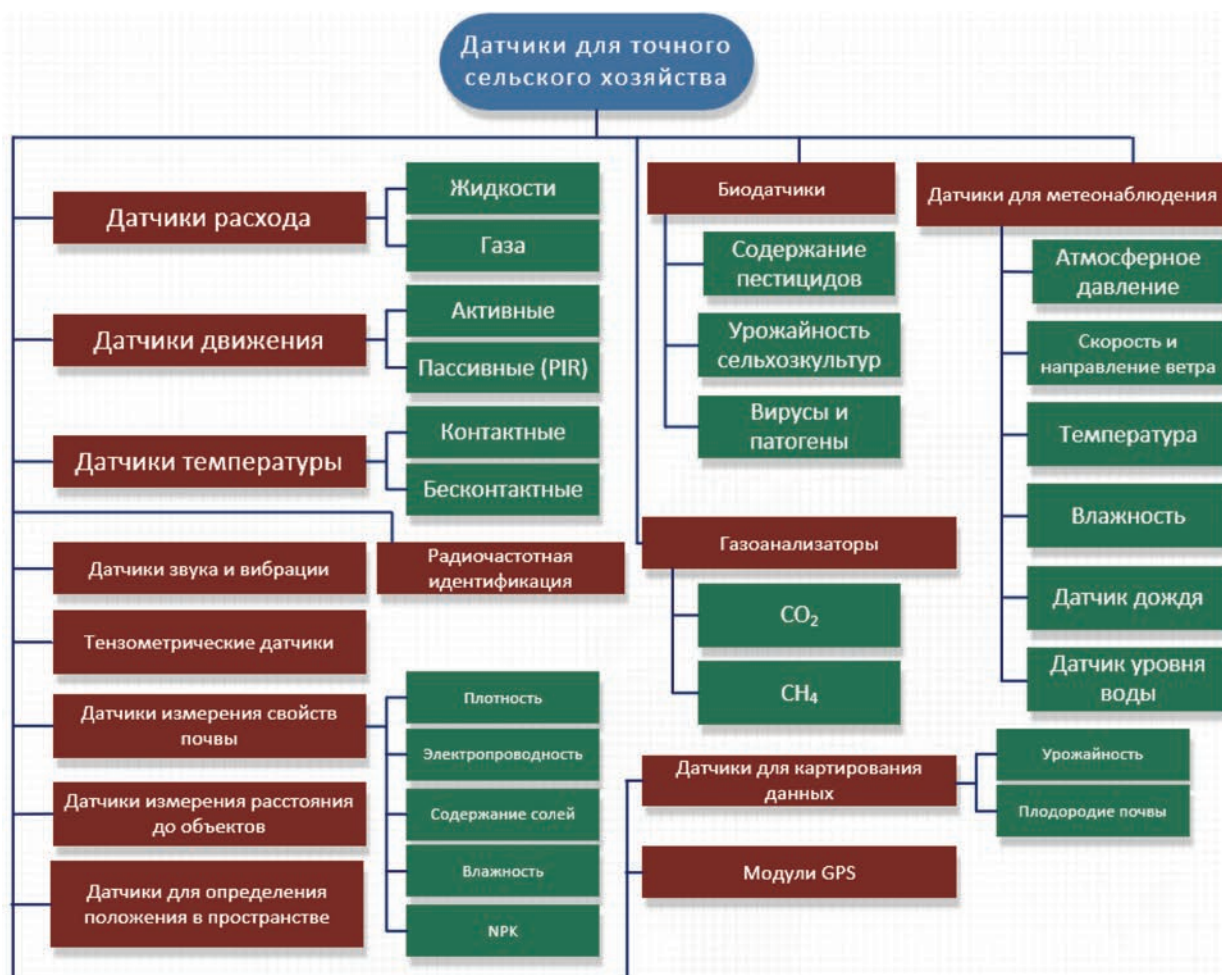


Рис. 1. Классификация датчиков для точного сельского хозяйства по назначению

Датчики расхода жидкости применяются для точного учета и контроля доз внесения химических средств защиты растений и жидких минеральных удобрений. Также такие датчики могут применяться в ирригации и других сферах точного земледелия [1].

Датчики движения применяются для контроля присутствия животных или людей в определенной зоне, что можно использовать в системах обеспечения безопасности или для организации автоматического включения и выключения освещения. Принцип действия подобных датчиков заключается в анализе сигналов различных типов: инфракрасных, ультразвуковых, фотоэлектрических, микроволновых и др.

Датчик движения считается пассивным (PIR), если он только поглощает волны анализируемого объекта. PIR-датчики эффективно работают в диапазоне волн 8–14 мкм, что свойственно излучению человека. Применение подобного типа датчиков позволяет отслеживать перемещения в пределах определенной зоны, а также фиксировать направление перемещения. Наиболее часто используются датчики HC-SR501 и LM393, относящиеся к данной группе [2].

Активные датчики отправляют сигнал и затем анализируют его после возвращения. Датчики позволяют не только определить факт движения, но также измерить скорость движущегося объекта. К данной группе датчиков относятся различные виды, одними из самых популярных в сельскохозяйственном производстве являются датчики светового обнаружения и измерения LiDAR, которые выявляют факт и вычисляют количественные характеристики движения. Основным преимуществом LiDAR-датчиков является их высокая точность и надежность. Они не зависят от запыленности и могут работать в любое время суток. Такие качества позволяют использовать их совместно с БПЛА для составления картограмм полей, точных 3D моделей ландшафта, определять размеры отдельных животных и фиксировать их перемещение, что может быть использовано для дистанционного учета и контроля за поголовьем скота, а также для обеспечения безопасности.

Для организации автоматического включения освещения могут использоваться модули на основе фоторезисторов. Фоторезистор изменяет сопротивление протекающего через него тока в зависимости от интенсивности света, в то время как фотодиод преобразует свет в электрический ток. Фотодиоды нашли применение в конструкциях солнечных батарей. Следует отметить, что фоторезисторы чувствительны к длине волны падающего на них света, поэтому они выпускаются в различных модификациях.

Для измерения температуры используются датчики, в основу функционирования которых положены термопары, термисторы или резистивные датчики температуры.

Для работы термопары не требуется наличия дополнительных источников питания. В точке измерения температуры соединяются два проводника, изготовленные из различных материалов. Данный тип датчиков может использоваться для измерения широкого диапазона температур, однако характеризуется низкой точностью и большими размерами (более 10 мм). Преимуществом является быстрая реакция на температурные изменения.

Резистивные датчики температуры характеризуются небольшими размерами, работают в интервале температур от -200 до 500 °С, медленно реагируют на изменения температуры, однако точность измерений превосходит термопары.

Наиболее точными являются температурные датчики на основе термисторов, которые работают в узком диапазоне температур от -90 до 130 °С и являются компактными.

Измерение температуры может осуществляться контактным и бесконтактным способом датчиками, которые совместимы с контроллерами ESP32, ESP8266 и STM32. Бесконтактные датчики на чипе MLX90614 обрабатывают инфракрасное излучение измеряемого объекта, подключаются по протоколу I2C и позволяют измерять температуру в интервале от -70 до 380 °С, точность измерений при этом составляет $\pm 0,5$ °С. Модуль датчика температуры KY-028 может использоваться для управления системами вентиляции или отопления в животноводческих помещениях [3].

Датчики температуры LM35 работают в интервале от -55 до 150 °С и обеспечивают точность $\pm 0,75$ °С. Для измерения температуры в помещениях используются комбинированные датчики DHT11 или DHT22, в которых также присутствует возможность измерения влажности.

Датчик, основанный на эффекте Холла, представляет собой металлическую пластинку, помещенную в магнитное поле, через которую пропущен электрический ток. В механизмах сельскохозяйственных машин данный датчик может использоваться для измерения частоты вращения различных узлов и деталей, также может применяться для определения положения объектов в пространстве и в качестве магнитометров. Основными преимуществами датчиков Холла являются их простота, надежность и возможность использования в суровых условиях, свойственных сельскохозяйственному производству.

Датчики измерения расстояния до объектов ультразвукового типа применяются в робототехнике и БПЛА для обнаружения препятствий во время движения. С помощью подобных датчиков можно реализовать позиционирование относительно поверхности почвы штанговых рабочих органов опрыскивателей и машин для внесения твердых минеральных удобрений, позиционирование рабочих органов опрыскивателей, а также определять уровень жидких или твердых сыпучих материалов в накопительных емкостях.

Принцип работы ультразвукового датчика HC-SR04 заключается в определении времени прохождения звукового сигнала, отправленного излучателем, отраженного от объекта-препятствия и полученного приемником. По найденному значению времени через известные значения скорости распространения ультразвука в воздухе с учетом времени запаздывания сигнала вычисляется расстояние (рис. 2).

$$L = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \cdot t_e, \quad (1)$$

где γ – показатель адиабаты воздуха, $\gamma = 7/2$ ед.; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,3144598$ Дж/моль·К; T – абсолютная температура воздуха, $T = t \text{ } ^\circ\text{C} + 273,15 \text{ } ^\circ\text{K}$; M – молекулярная масса воздуха, $M = 28,98$ г/моль; t_e – время ожидания, с.

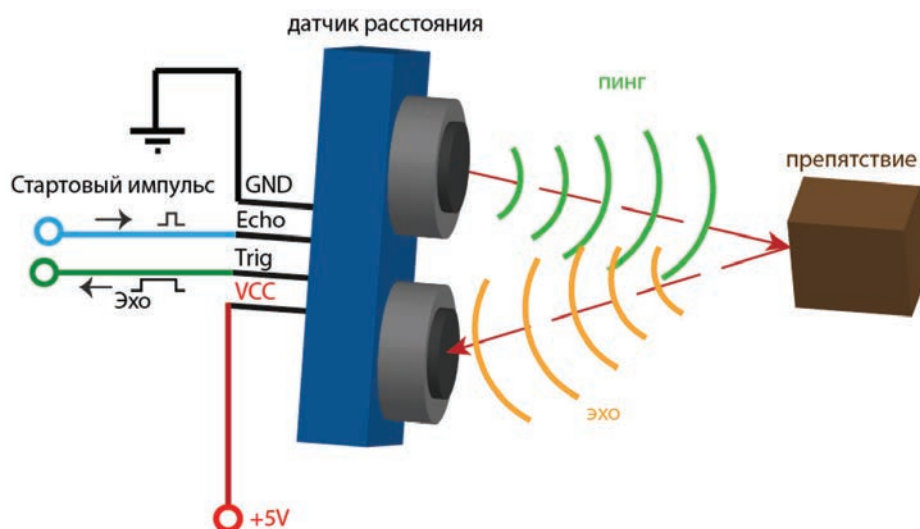


Рис. 2. Принцип работы датчика измерения расстояния

После подстановки известных величин в формулу (1) получим

$$L = \sqrt{t + 273,15} \cdot t_e. \quad (2)$$

Для позиционирования рабочих органов сельскохозяйственных машин, навесных устройств, контроля рабочего и транспортного положения механизмов, а также для определения скорости вращения элементов машин применяют индуктивные датчики. Для подобных целей могут применяться датчики угла наклона и определения положения в пространстве. Для выравнивания положения беспилотных летательных аппаратов и робототехники используются гироскопы и акселерометры различных конструкций [4].

Для направления движения комбайна точно по краю убранного участка применяются инфракрасные датчики, оптические сигналы которых отражаются от стеблей культурных растений. Для подобных целей также применяется интерактивная обработка видеоизображения и применение методов компьютерного зрения.

Важнейшим элементом организации учета в точном животноводстве является применение радиочастотной идентификации RFID [4], посредством которой можно отслеживать активность животных, организовать их идентификацию. Система состоит из транспондера – радиометки, которая прикрепляется к животному, а также приёмника – передатчика сигнала.

Современные комбинированные датчики для измерения свойств почвы позволяют определять содержание питательных веществ, кислотность, электропроводность, температуру и влажность. На рис. 3 представлена схема датчика контроля за состоянием почвы. На рис. 4 – простейший датчик для измерения влажности почвы и схема его подключения к микроконтроллеру ESP-32.

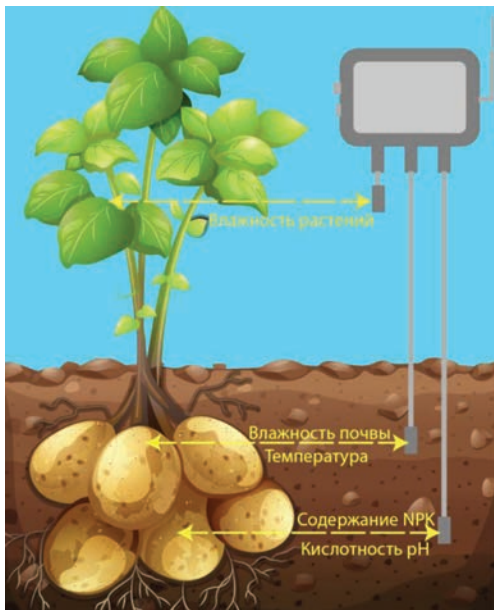


Рис. 3. Схема датчика контроля за состоянием почвы

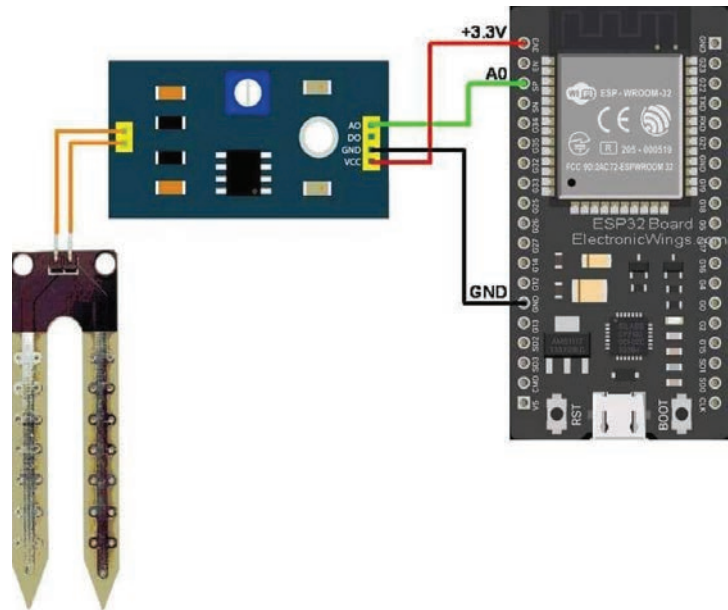


Рис. 4. Датчик для измерения влажности почвы

Данные с датчика обрабатываются аналого-цифровым преобразователем и изменяются в пределах 0 – 4095. Для вычисления влажности необходимо выполнить следующее преобразование:

$$W = 100 - \left(\frac{S_d}{4095} \cdot 100 \right), \quad (3)$$

где S_d – данные с датчика влажности почвы, ед.

Для определения питательных веществ в почве и уровня кислотности используются различные типы датчиков электрохимического типа, которые монтируются на специальных салазках. Отобранные подобным образом пробы могут дополнительно изучаться в лабораторных условиях, а в случае привязки полученных данных к географическим координатам данные могут использоваться для картирования плодородия почвы.

Датчик концентрации углекислого газа применяют для регулирования и контроля микроклимата на сельскохозяйственных предприятиях. Принцип действия таких датчиков основан на методе инфракрасного обнаружения, который является довольно точным и не зависит от содержания кислорода в воздухе. Через специальный фильтрующий элемент воздух поступает к преобразователю первой ступени с инфракрасным детектором. Часть излучения поглощается углекислым газом в узком диапазоне инфракрасного света и формируется пропорциональный уровню поглощения электрический сигнал, что позволяет оценить концентрацию CO_2 . Второй канал позволяет сформировать опорный сигнал. Датчик концентрации метана CH_4 применяется в биогазовых установках с целью мониторинга технологического процесса.

Учитывая то, что погода является важным фактором, влияющим на своевременность выполнения сельскохозяйственных операций, применяются как отдельные датчики для регистрации параметров, влияющих на краткосрочное прогнозирование, так и метеостанции в сборе, позволяющие с высокой степенью точности определять изменения погоды для конкретной локации. Для контроля температуры используются датчики DS18B20, LM35, модули KY-013, KY-001, KY-028. Датчики DHT11, DHT22 или АНТ20 используются для определения влажности, а для измерения атмосферного давления подходят датчики BMP085 или BMP280, которые позволяют осуществлять измерения в диапазоне 30000–110000 Па (± 12 Па). Дополнительно к перечисленным датчикам для уточненных расчетов погодных условий может использоваться сенсор углекислого газа MQ135.

Практически любой автоматизированный процесс контролируется с использованием электронного чипа. В зависимости от разрядности шины можно выделить 4, 8, 16 и 32-битные микроконтроллеры. По архитектуре вычислительной системы можно выделить CISC и RISC микроконтроллеры.

По функциональному назначению выделяют специализированные и универсальные микроконтроллеры.

В качестве исполнительных механизмов сельскохозяйственных машин выступают различные узлы и конструктивные элементы, которые выполняют воздействие на объект управления и изменяют его параметры.

Заключение

Подводя итог, необходимо отметить, что датчики являются физическими поставщиками данных, что позволяет использовать их в качестве средств для накопления и последующей обработки информации. Данные, полученные с датчиков, могут использоваться в информационно-вычислительной системе организации механизированных работ, разрабатываемой при поддержке БРФФИ и МФНТ, для корректировки сроков выполнения механизированных сельскохозяйственных операций, определения рационального состава агрегатов, оптимизации структуры машинно-тракторного парка, оперативной корректировки технологических параметров при выполнении механизированных работ, для повышения качества выполнения сельскохозяйственных операций и др.

Список использованных источников

1. Smart Water Management Platform: IoT-Based Precision Irrigation for Agriculture Sensors / C. Kamienski [et al.] // *Sensors*. – 2019. – Vol. 19, no. 2. – P. 276.
2. Leaf-compatible autonomous RFID-based Wireless Temperature Sensors for Precision Agriculture / V. Palazzi [et al.] // *IEEE Topical Conf. on Wireless Sensors and Sensor Netw. (WiSNet)*. – Jan. 2019. – P. 2019–2022.
3. Internet of Things Technology for Greenhouse Monitoring and Management System Based on Wireless Sensor Network / A. A. Halim [et al.] // *ARPN J. Eng. Appl. Sci.* – 2016. – Vol. 11, no. 22. – P. 13169–13175.
4. Polymer in Agriculture: a Review / F. Puoci [et al.] // *Am. J. Agri. Biol. Sci.* – 2008. – Vol. 3, no. 1. – P. 299–314.