

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ И СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ: НАНОМАТЕРИАЛЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОСИСТЕМЫ

УДК 004.67

Колешко В.М., Гулай А.В., Польшкова Е.В., Гулай В.А.

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В СОЗДАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Технологии точного земледелия основаны на получении и использовании достоверной информации о плодородии почвы в каждой точке обрабатываемого сельскохозяйственного поля. Одно из направлений точного земледелия включает построение электронных почвенных карт и связанных с ними электронных карт планируемого урожая. Анализ электронных карт позволяет специалистам сельского хозяйства выбирать оптимальные параметры отдельных технологических процессов, а также определять всю стратегию аграрного производства. Другим направлением применения интеллектуальных сенсорных систем точного земледелия является создание автоматизированных технологических комплексов для выполнения адаптивных процессов аграрного производства. Цель применения таких комплексов состоит в контроле неравномерности качества почвы по всей площади обрабатываемого поля и учете результатов мониторинга при дифференцированном внесении питательных веществ в каждой точке поля.

Конструктивные решения интеллектуальных сенсорных систем для технологии точного земледелия

Достоверная информация о свойствах почвы может быть получена путем контроля ее цветовых характеристик, которые наиболее полно определяются спектрами отражения. С учетом этого разработан цветоцветовой метод контроля почвы в режиме реального времени по ее спектральной отражательной способности [1]. Сущность разработанного метода заключается в формировании информационного образа в виде сочетания оптических параметров почвы и определении на его основе характеристик качества, в частности, концентрации в почве органических веществ. Измерение параметров почвы в видимом диапазоне спектра производится с помощью набора светодиодов и фотоприемника, а также устройства обработки информации (рис. 1). Сигнал с выхода фотоприемника обрабатывается микропроцессорным устройством, формирующим сенсорный информационный образ почвы.

Разработанная мобильная сенсорная система для контроля почвы в технологии точного земледелия имеет следующие основные параметры. Объем измеряемого информационного образа почвы — 8 параметров (фиолетовый свет — 400 нм; синий — 470 нм; зеленый — 520 нм; желтый — 590 нм; оранжевый — 610 нм; красный — 630 нм; инфракрасное излучение; белый свет). Длительность формирования информационного образа почвы составляет 115 мс (8 информационных импульсов по 10 мс с временными промежутками между импульсами по 5 мс). Периодичность формирования информационных образов почвы равна 1 с, что при минимальной скорости транспортирования 2 км/час позволяет получить пространственное разрешение порядка 0,5 м.

Количество спектральных точек контроля n связано с масштабом неоднородности q отражательной способности почвы по оптическому диапазону следующим соотношением:

$$n \geq c\Delta\lambda/q, \quad (1)$$

где $c > 1$ — постоянная, $\Delta\lambda$ — ширина оптического диапазона. Учитывая, что величина q трудно поддается анализу и определению, разработана модификация сенсорной системы, в которой точки контроля не соотносятся с определенным цветом, а равномерно размещены вдоль спектрального диапазона. Для такого варианта сенсорной системы использованы светодиоды с длиной волны излучения 405; 460; 505; 530; 570; 620; 660 нм.

Конструктивно интеллектуальная сенсорная система выполнена в виде унифицированного модуля (А), который встраивается в заглубляемый в почву механизм сельскохозяйственной машины. С целью совмещения процедуры мониторинга почвы с проведением технологической операции сенсорный модуль используется в составе сельскохозяйственного агрегата (Б). Сенсорный контроль осуществляется также с помощью разработанной автономной мобильной системы в виде прицепного устройства (В) к мини-трактору. Кроме того, модификацией конструкции интеллектуальной сенсорной системы является малогабаритное устройство (Г) для небольших фермерских хозяйств. Интеллектуальная система оснащается аппаратурой спутниковой навигации (Д), что позволяет определять географические координаты точек контроля почвы и использовать результаты мониторинга для создания высокоточных электронных почвенных карт (Е).

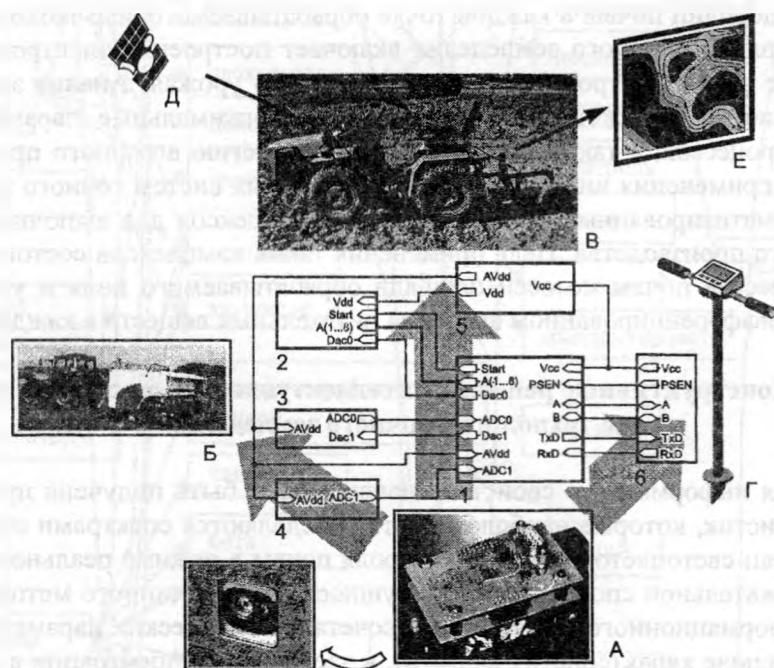


Рис. 1. Конструктивные решения интеллектуальной сенсорной системы для точного земледелия (А–Г) и ее функциональная схема: 1 — микроконтроллер управления и обработки информации; 2 — схема управления светодиодами; 3 — схема подключения фотоприемника; 4 — схема контроля температуры; 5 — источник вторичных напряжений; 6 — разъем СОМ-порта.

Методологические основы использования интеллектуальных сенсорных систем в точном земледелии

Совокупность разработанных способов и устройств интеллектуального сенсорного контроля качества почвы может быть использована на всех стадиях и этапах осуществления технологии точного земледелия (рис. 2). Так, важным этапом в точном земледелии является сбор и накопление пространственных данных — сочетание сенсорного контроля и лабораторного анализа образцов почвы, методов спутникового и авиационного зондирования земной поверхности, а также оценка распределения урожайности предыдущего сезона в пределах поля (А). Следующая стадия — анализ и интерпретация пространственной информации: разработка электронных картографических материалов по каждому полю, например, электронных карт контроля почвы, сопоставление их с данными о текущем состоянии посевов (Б). Результаты интеллектуального сенсорного контроля используются также на этапе создания моделей автоматического управления

мехатронными модулями сельскохозяйственных агрегатов для обработки почвы и растений (В). Эффективным в точном земледелии является этап интеллектуального управления агротехнологическими операциями на основе накопленной информации, например, дозированным внесением удобрений и средств защиты растений (Г).

Как комплексная оценка качества почвы, на основе которой строится модель будущего урожая, так и автоматическое управление процессами сельскохозяйственного производства требуют разработки и использования обобщенного параметра качества почвы [2]. Данный параметр включает текущее значение сведений о свойствах почвы, получаемых в режиме реального времени (On-the-Go), а также данные о результатах предшествующего урожая и экспертные оценки параметров, которые не могут быть получены непосредственно сенсорным контролем. В основе моделирования планируемого урожая лежит процедура «назначения» того или иного уровня обобщенного показателя в определенную точку сельскохозяйственного поля, базирующаяся на учете сенсорных данных о качестве почвы или растений и экспертных оценок результатов хозяйствования. Поскольку такое назначение является пороговой функцией нескольких переменных (детерминированных и стохастических), а также с учетом влияния различных факторов на эти переменные, для моделирования урожайности применяется математический аппарат логики нейронных сетей.

Система интеллектуального сенсорного определения указанного параметра основана на результатах обработки текущей информации, поступающей из подсистем всесторонней оценки качества почвы (сенсорных модулей) в каждой точке поля на различных этапах мониторинга, а также включает механизм анализа экспертных оценок, например, предыдущего урожая. Моделирование комплексного параметра (в частности, планируемого урожая) в определенной точке поля производится с помощью элементов нейронной логики. В схеме ячейки такой модели (Е) входами являются, например, $z_1 = H^n$; $z_2 = H^f$; $z_3 = V^n$; $z_4 = V^f$, где H^n — показатель качества почвы, установленный при предыдущем контроле; H^f — текущее значение этого же показателя; V^n — оценка урожайности в предшествующий период; V^f — фактический объем полученного урожая. Показателем качества почвы в данном случае может служить содержание органических веществ в почве, которое определяется с использованием разработанного светоцветового метода.

Ячейка предложенной модели состоит из трех пороговых элементов и реализует следующие функции:

$$y_{1,2} = 1 \text{ при } \eta^*_{1,2} \geq \eta_{1,2}, \quad y_{1,2} = 0 \text{ при } \eta^*_{1,2} < \eta_{1,2}; \quad (2)$$

$$x_{1,2} = y_{1,2}; \quad (3)$$

$$y = (x_1 - x_2) \geq \eta, \quad (4)$$

где $y_{1,2}$ — двоичная функция соответственно первого и второго порогового элемента; $\eta^*_1 = z_1\xi_1 + z_2\xi_2$, $\eta^*_2 = z_3\xi_3 + z_4\xi_4$ — средневзвешенные суммы, сравниваемые с пороговыми значениями соответственно η_1 , η_2 ; y — двоичная функция выхода формального нейрона; η — порог возбуждения формального нейрона; z_1-z_4 — двоичные сигналы с блоков ввода данных; $\xi_1-\xi_4$ — веса соответствующих сигналов. Возбуждение нейрона ($y = 1$) наступает, если определенное значение обобщенного параметра (x_1) назначается в данную точку поля и если при этом показатель качества почвы (x_2) в соответствующей точке достаточно высок, чтобы не препятствовать такому назначению.

Обобщенная модель оценки планируемого урожая, построенная на основе нейронной логики из представленных элементов, может включать ряд других сенсорных показателей качества почвы и растений, а также учитывать любые экспертные оценки ситуаций, оказывающих влияние на урожай. В общем виде процесс создания данной модели состоит из следующих уровней: эволюционного (сравнение с показателями предыдущего мониторинга); расчетного (модели процессов, происходящих в объекте); эмпирического (процессы, происходящие в реальном объекте). Обучение нейронной сети заключается в уточнении пороговых значений соответствующих элементов, обеспечивающих адекватность нейронной модели массиву информации о реальных величинах исследуемых характеристик почвы.

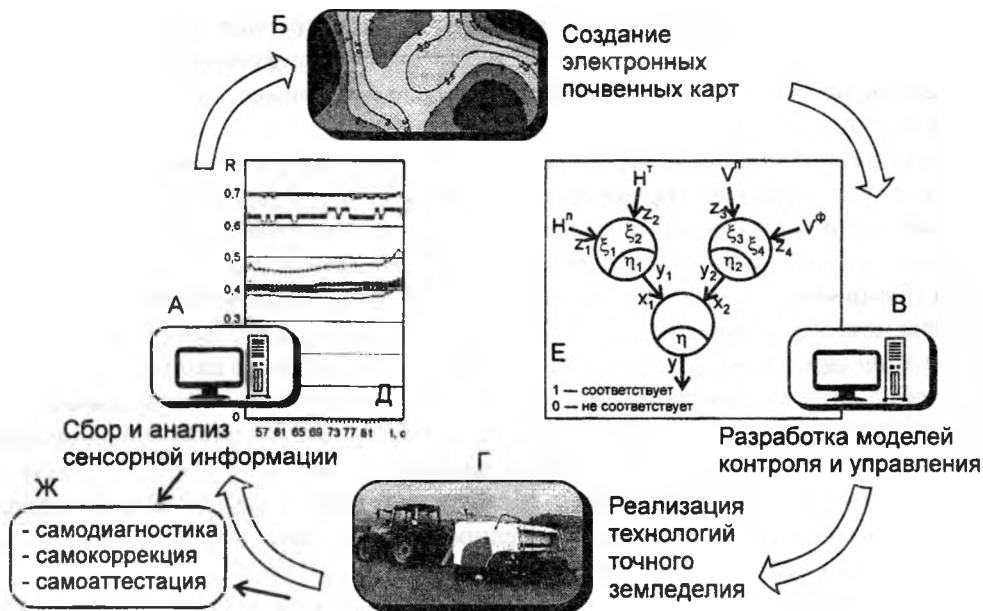


Рис. 2. Многоэтапное использование результатов интеллектуального сенсорного контроля почвы в точном земледелии (А-Г); фрагмент последовательности сенсорных данных при светоцветовом контроле почвы (Д); моделирование обобщенного параметра качества почвы (Е); реализация функций самообеспечения интеллектуальной сенсорной системы (Ж).

Кроме обработки сенсорной информации и управления сельскохозяйственными технологиями интеллектуальная система реализует функцию самообеспечения, которая включает самодиагностику, самокоррекцию и самоаттестацию. Самодиагностика: контроль исправности каждого светодиода - выход из строя светодиода и отсутствие сигнала на его выходе во время снятия данных фиксируется в байте состояния сенсорного модуля; получение данных по каждой спектральной линии с высоким коэффициентом вариации (выше установленного значения) также фиксируется в байте состояния системы. Самокоррекция: коррекция реакций контрольного и рабочего фотодиодов при проверке сенсорного модуля путем подстройки тока светодиодов по заранее (экспертным путем) установленным значениям; коррекция интенсивности излучения светодиодов во время работы модуля - изменение светового потока светодиода регулируется изменением тока, протекающего через светодиод, по предварительно полученным поверочным данным. При реализации функции самоаттестации учитываются результаты самодиагностики и самокоррекции системы; самая высокая достоверность результата измерений устанавливается при следующих условиях: полной исправности сенсорного модуля; оптимальной температуре окружающей среды; низких (определенных) коэффициентах вариации выходных данных; достоверность результата измерений снижается на заранее полученную экспертным путем величину: при больших значениях коэффициента вариации или при выходе из строя светодиода — на соответствующее этому факту значение; при понижении или повышении температуры окружающей среды, влияющей на стабильность работы электронных элементов сенсорного модуля.

Нейронные сети — базис создания интеллектуальных технологий точного земледелия

Нейронные сети (НС) служат основой интеллектуальной технологии обработки сенсорной информации и использования полученных данных для автоматического управления сельскохозяйственными процессами (рис. 3). Так, на уровне I с помощью нейронных сетей производится распознавание многопараметровых информационных образов, получаемых путем преобразования выходных данных сенсорных модулей (СМ). На уровне II за счет обобщения сведений о различных свойствах почвы формируется комплексный параметр для управления по его величине технологическим процессом обработки сельскохозяйственного поля. Нейронная сеть на

уровне III позволяет на основе определения динамики изменения обобщенного параметра прогнозировать его значение в той точке поля, которой достигает обрабатывающая машина к моменту готовности ее исполнительного механизма.

Одной из наиболее ответственных интеллектуальных операций в технологии мониторинга почвы является распознавание формируемых информационных сенсорных образов. В разработанной интеллектуальной технологии сенсорного контроля под распознаванием цветоцветового образа почвы понимается сопоставление по определенному правилу цвета почвенного образца, представленного полученным набором коэффициентов яркости для разных длин волн оптического излучения, с одним из эталонных образов из их фиксированного перечня [3]. Выполнены экспериментальные исследования процедуры распознавания сенсорных образов, которая характерна для созданного цветоцветового метода контроля почвы и лежит в основе функционирования нейронной сети на уровне I.

В качестве решающего правила выбора наиболее близкого эталонного образа используется наименьшая величина евклидова расстояния:

$$D(X_i, X_j) = \{\sum A_j(x_{ik} - x_{jk})^2\}^{1/2}, \quad (5)$$

где D — евклидово расстояние; A_j — весовые коэффициенты; x_i, x_j — соответственно значения коэффициентов яркости для эталона и исследуемого почвенного образца. Значения весовых коэффициентов в данном случае прямо пропорциональны величине коэффициентов яркости контролируемых почвенных образцов.

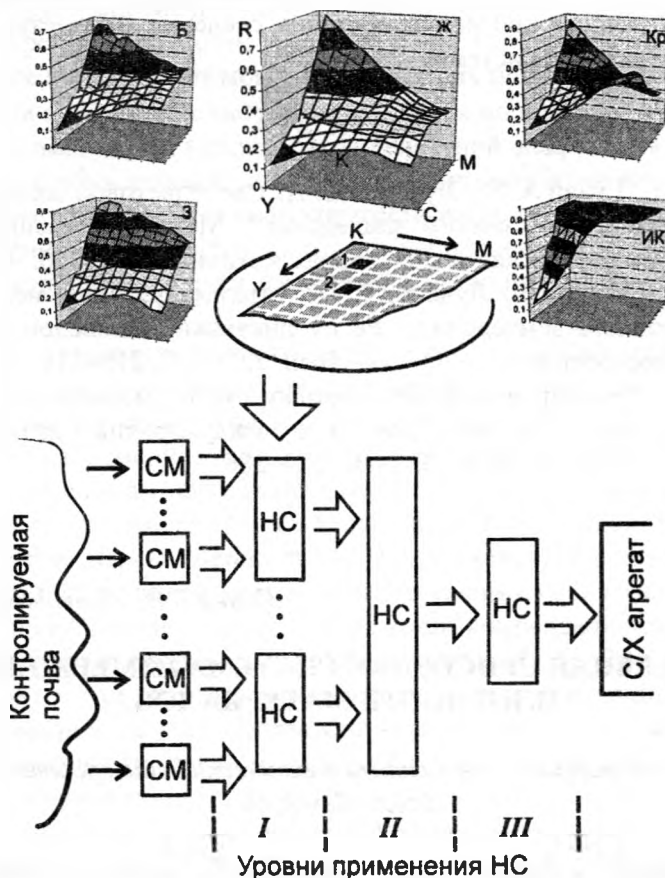


Рис. 3. Уровни применения нейронных сетей в машинном комплексе точного земледелия; зависимости коэффициентов отражения оптического излучения с разной длиной волны от цвета эталонной поверхности (A-F): Ж — желтый свет; Кр — красный; З — зеленый; ИК — инфракрасное излучение; результаты идентификации почвенных образцов: 1, 2 — соответственно темно-серая и светло-серая почвы.

Для получения эталонных цветовых образов разработана палитра, состоящая из 10×10 цветовых ячеек, причем в угловых ячейках палитры представлены основные полиграфические цвета стандартной системы СМУК (С — cyan; М — magenta; Y — yellow; К — black). Остальные цветовые оттенки ячеек палитры представляют собой смесь основных цветов системы СМУК — с убыванием одного цвета и возрастанием другого цвета на 10% при переходе от одной ячейки к другой. Кроме этого получены линейки (по 10 ячеек) цветовых оттенков, наиболее близких к основным оттенкам почвенных образцов. Насыщенность цвета в каждой линейке равномерно уменьшается с постепенным переходом к белому цвету (уменьшение насыщенности цвета в каждой последующей ячейке составляет 10%). Данная система эталонных цветовых образов выбрана в связи с тем, что при необходимости точной идентификации цвета палитры и, соответственно, цветового оттенка почвы, имеется возможность воспользоваться системами именованных цветов, например Pantone (R).

С использованием разработанной палитры получали поверхности значений коэффициентов отражения для каждого цвета оптического излучения (рис. 3).

Путем сравнения системы коэффициентов отражения почвенных образцов и эталонных поверхностей с помощью выражения (2) определяли величину евклидова расстояния. По минимуму данного расстояния выбирали цветовую ячейку палитры, соответствующую оттенку исследуемой почвы. Например, цвету темно-серой почвы соответствует ячейка 1, расположенная во втором ряду от линии «КМ» и линии «KY», а цвету светло-серой почвы — ячейка 2, которая находится в четвертом ряду от линии «КМ» и в третьем ряду от линии «KY». Таким образом, по значениям коэффициентов отражения, получаемым с использованием разработанной сенсорной системы, определяется цвет исследуемой почвы. Это дает возможность идентификации почвы по набору эталонных почвенных образцов, сведения, о качестве которых содержатся в базе данных интеллектуальной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В. М., Гулай А. В., Лученок С. А. Светоцветовой метод эволюционной диагностики почв для технологии точного земледелия // Межведомственный сборник научно-методических статей «Теоретическая и прикладная механика» — 2006. — Вып. 20. — С. 198–208.
2. Колешко В. М., Гулай А. В., Лученок С. А. Интеллектуальные мехатронные системы в машиностроении для точного земледелия // Республиканский межведомственный сборник научных трудов «Машиностроение» — 2007. — Вып. 22. — С. 215–219.
3. Колешко В. М., Гулай А. В., Лученок С. А. Формирование светоцветового информационного образа почвы в технологии точного земледелия // Научно-технический международный журнал «Теоретическая и прикладная механика» — 2007. — Вып. 22. — С. 279–286.

УДК 532.137

Сунка В.Я., Польшкова Е.В., Колешко Л.А.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ-ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Создание надежных, информативных, обладающих высокими метрологическими свойствами промышленных интеллектуальных сенсорных систем (ИСС) измерения динамической вязкости и плотности жидкостей возможно на основе вибрационных методов. Среди вибрационных измерительных зондов в виде тела правильной геометрической формы наибольшее распространение получили зонды с изгибными колебаниями. К хорошо известным требованиям повышения точности и надежности, ужесточения эксплуатационных режимов, уменьшения габаритов и повышения экономичности, добавляются, в соответствии с мировыми стандартами