

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

*\*Белорусский национальный технический университет*

*\*\*СПК «Первомайский и К°»*

*Минск, Беларусь*

Одной из главных задач при реализации технологии точного земледелия является создание автоматизированных машин и агрегатов на основе использования интеллектуальных мехатронных систем [1–3]. Данная задача решается в рамках нового научного направления «интеллектуальное земледелие», сформировавшегося на стыке проблем искусственного интеллекта, основ теории управления, технологии мехатронных систем, производства сельскохозяйственных машин как различных сфер человеческих знаний. В настоящее время указанное научное направление имеет сложившуюся программу приоритетных исследований, проблематика которых включает в частности:

- создание конструкций и технологий изготовления мультисенсорных и мехатронных модулей для интеллектуальных систем сельскохозяйственных машин;
- создание принципов построения аппаратных и программных средств для интеллектуальных технологий контроля и управления мехатронными модулями сельскохозяйственных агрегатов;
- разработку концепции и создание нового поколения сельскохозяйственных машин, агрегатов и оборудования для комплексной реализации технологии точного земледелия.

Интеллектуальная мехатронная система для реализации операций точного земледелия (рис. 1) базируется на принятии решений при выполнении отдельной сельскохозяйственной операции с учетом складывающейся конкретной ситуации в технологической цепи аграрного производства. В процессе автоматического управления мехатронным модулем интеллектуальная система реализует определенную последовательность действий: производит оценку ситуации по данным мультисенсорного модуля о поведении мехатронного устройства и результатах технологического процесса с учетом влияния факторов внешней среды; выполняет коррекцию критериев движения, моделирование и перепланирование программы движений, а также коррекцию способа регулирования движений элементов мехатронного модуля технологического агрегата.

Большую актуальность для решения задач проектирования систем интеллектуального управления в технологии точного земледелия (с учетом противоречивости предъявляемых к ним требований и влияния различных факторов неопределенности) имеет использование интегрированных технологий обработки знаний [4]. Достоинства интегральных информационных структур заключаются в обеспечении высокой функциональной гибкости, сокращении объема баз знаний, повышении быстродействия интеллектуальной системы управления сельскохозяйственным агрегатом. Это возможно, например, при комплексном применении технологий экспертных систем и нейросетевых структур, совмещении технологий нечеткой логики и экспертных систем, интеграции нейросетевых и нечетких систем, реализации ассоциативной памяти нейросетевыми способами, сочетании технологий нечеткой логики и ассоциативной памяти.

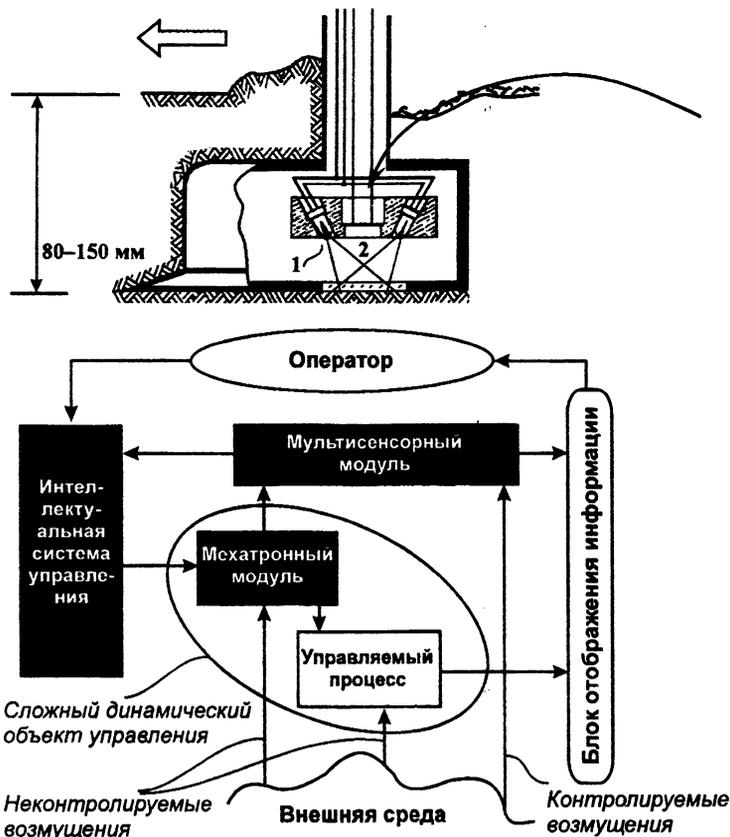


Рисунок 1 - Интеллектуальная мехатронная система для реализации технологии точного земледелия (1 – набор светодиодов; 2 – фотоприемник)

Основной целью интеллектуальной системы точного земледелия является обеспечение высокого качества выполнения технологического процесса, для чего производится управление технологическим мехатронным модулем сельскохозяйственного агрегата или мехатронной системой его позиционирования. Интеллектуальной системой решается также задача дополнительного повышения эффективности или экономичности реализации технологии за счет обеспечения оптимальных параметров движения агрегата: предварительного программирования траектории перемещения; поддержания экономичного режима работы двигателя.

Особенности структуры интеллектуальных систем точного земледелия заключаются в использовании мультисенсорных модулей для контроля качества почвы или выполняемого технологического процесса. Например, определение качества почвы производится с помощью системы сенсоров для контроля ее оптических, электрических, акустических, механических параметров. Позиционирование сельскохозяйственного агрегата при обработке посевов выполняется на основе информации, поставляемой ультразвуковыми, микроволновыми электростатическими сенсорными модулями.

Интеллектуальные системы технологического уровня для агропроизводства оснащаются аппаратурой спутниковой системы навигации. Это позволяет осуществлять пространственную привязку результатов мониторинга почвы и использовать результаты контроля для создания высокоточных электронных карт качества почвы. Точное позиционирование сельскохозяйственных агрегатов с помощью спутниковых систем дает возможность производить дозированное внесение удобрений и средств защиты растений в зависимости от конкретной ситуации в определенной точке обрабатываемого поля. Достоинство данных технологий заключается в возможности гибкого управления ростом и развитием растений путем учета их потребности в питательных веществах, что обеспечивает минимизацию затрат на производство, уменьшение негативного влияния на окружающую среду, повышение урожайности и качества сельскохозяйственной продукции.

Для автоматического управления элементами мехатронного модуля при внесении в почву удобрений, поливе растений, внесении средств их защиты мультисенсорная система выполняет функции оценки характеристик качества поверхностного слоя почвы. С этой целью производится измерение таких параметров почвы как содержание органических веществ, уровень кислотности почвы, содержание влаги в ней, структура поверхностного слоя. Наиболее эффективным способом определения содержания органических веществ в почве является измерение параметров отражения ею оптического излучения в видимом диапазоне длин волн. Указанное соображение было взято за основу при разработке светоцветового метода диагностики почвы по величине показателя отражения оптического излучения в ее гумусово-аккумулятивном горизонте [5].

Реализация предложенного метода контроля осуществляется с использованием разработанной мобильной сенсорной системы, транспортируемой с помощью мини-трактора и позволяющей строго выдерживать глубину контроля почвы в течение всего процесса диагностики. Это необходимо в связи с тем, что гумусово-аккумулятивный горизонт дерново-подзолистой почвы, контроль которого представляет наибольший интерес, залегает на глубине от 20–30 до 180–200 мм. Причем дерново-подзолистые почвы занимают большую часть территории Беларуси: автоморфные (незаболоченные) – 42,4% территории (содержат 0,8–2,0% гумуса); полугидроморфные (заболоченные) – 25,3% территории (2,0–3,5% гумуса).

Для измерения коэффициента отражения в разных точках оптического спектра в корпусе устройства диагностики почвы располагается мультисенсорный электронно-оптический блок, содержащий набор светодиодов, излучающих свет к контролируемой поверхности, и фотодиод, принимающий отраженное излучение. Отражательная способность почвы оценивается по величине коэффициента яркости  $R = I/I_0$ , где  $I$ ,  $I_0$  – интенсивность света, отраженного соответственно от контролируемой поверхности почвы и от эталонной белой поверхности. Определение спектрального показателя отражения производится в фиолетовом, синем, зеленом, желтом, оранжевом, красном свете, при подаче инфракрасного излучения, а также измеряется интегральный коэффициент яркости поверхности почвы в белом свете.

Исследования разработанного светоцветового метода контроля качества почвы проводились с использованием специально подобранных почвенных образцов, имеющих наиболее контрастные цветовые оттенки в соответствии с треугольником почвенных окрасок. Треугольник почвенных окрасок строится исходя из того, что гумус почвы окрашивает ее в серые и темно-серые тона, соединения железа – в бурые, красноватые и желтоватые тона, а многие компоненты почвы (двуокись кремния, кварц, карбонаты и сульфаты кальция) имеют белый цвет. Проведенные исследования позволили для каждого изучаемого почвенного образца определить свой светоцветовой образ в виде присущего только данному образцу набора значений показателя отражения оптического излучения (рис. 2). Лабораторный анализ показал, что содержание органических веществ в отобранных образцах почвы лежит в диапазоне 1,2–12,4%, а влажность почвы не превышает 2,1%. Значения содержания органических веществ и влаги в почвенных образцах представлены на круговых диаграммах в виде числителя и знаменателя дроби.

Для почвы темно-серого и светло-серого оттенков, а также песчаной почвы бурого цвета характерно содержание органических веществ соответственно 12,4; 4,8; 1,2%, а значения коэффициента яркости для оптического излучения с разной длиной волны находятся в пределах: 0,154–0,306; 0,189–0,444; 0,172–0,427. Внутри приведенных диапазонов значения измеряемых показателей отражения имеют характерное распределение для каждого почвенного образца. Таким образом, для каждой точки контроля почвы в полевых условиях формируется свой, присущий только данной точке светоцветовой образ, расшифровывая который судят о качестве почвы, а именно – о содержании в почве органических веществ. Данное значение используется как управляющий параметр при дозировании вносимых в почву удобрений в соответствии с моделью минерального питания растений:  $F_B = F - F_0$ , где  $F_B$  – суммар-

ная доза вносимых удобрений;  $F$  – уровень питания растений;  $F_0$  – исходное почвенное плодородие.

В качестве элементов мехатронного модуля, управление работой которых осуществляется интеллектуальной системой, применяются микродозаторы для внесения в почву удобрений или подачи средств защиты растений. Конструктивно дозаторы выполняются в виде кольцевых ультразвуковых микроактуаторов (рисунок 3), акустические колебания которых приводят в движение диафрагменный механизм, регулируя поток подаваемого через дозатор материала. Установка диафрагмы определяется параметрами импульса высокочастотного генератора, питающего ультразвуковой микроактуатор. Регулируя параметры данного импульса, интеллектуальная система обеспечивает, например, дозирование вносимого минерального удобрения в зависимости от содержания органических веществ в определенной точке обрабатываемого поля.

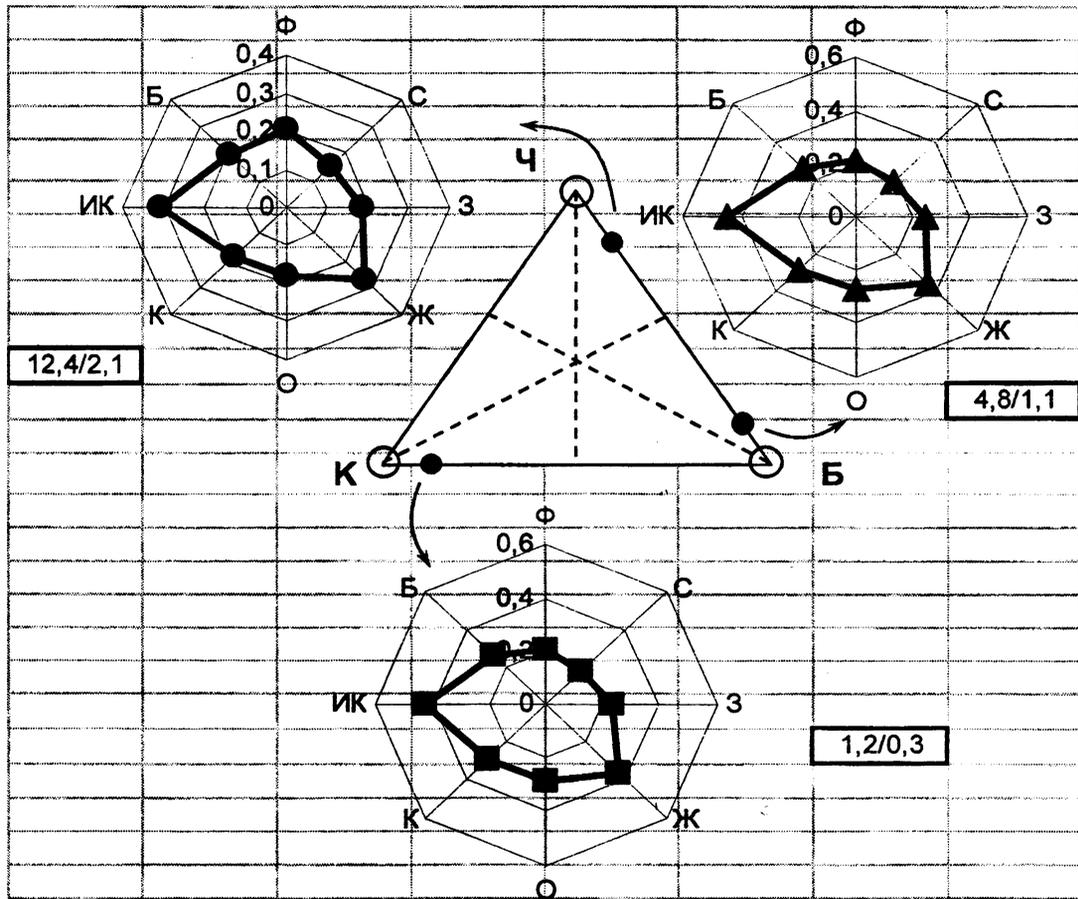


Рисунок 2 - Светоцветовые образы контролируемой почвы (цвет почвы на треугольнике почвенных окрасок: Ч – черный, Б – белый, К – красный; отраженный свет: Ф – фиолетовый, С – синий, З – зеленый, Ж – желтый, О – оранжевый, К – красный, Б – белый, ИК – инфракрасное излучение)

Объемная производительность  $\Pi_v$  дозатора предложенной конструкции равна  $\Pi_v = (S_0 - \Pi' \delta_0/2,3)V_0$ , где  $S_0$ ,  $\delta_0$ ,  $V_0$  – соответственно площадь потока, диаметр гранул и скорость потока дозируемого материала;  $\Pi'$  – часть периметра дозирующего отверстия, образованного неподвижными относительно потока материала кромками. Параметр  $\Pi'$  в данном случае рассматривается как аналог так называемого «смоченного» периметра и характеризует снижение производительности дозатора в условиях повышенной влажности. Поскольку форма отверстия, образуемого лепестками дозирующего устройства, близка к кругу, можно считать, что  $\Pi' = 2\alpha \sqrt{\pi S_0}$ , где  $1 \geq \alpha \geq 0$  – коэффициент, рассматриваемый в виде аналога «смоченного» периметра (как и  $\Pi'$ ) и характеризующий снижение производительности дозирования за

счит уменьшения площади сечения потока. Значение коэффициента  $\Pi$  учитывается при условии  $\Pi > 0,025S_0/\delta_0$ , что для рассматриваемого дозирующего устройства соответствует  $\alpha \geq 6 \cdot 10^{-3} \xi$ , где  $\xi = D_0/\delta_0$ ;  $D_0$  – диаметр дозирующего отверстия.

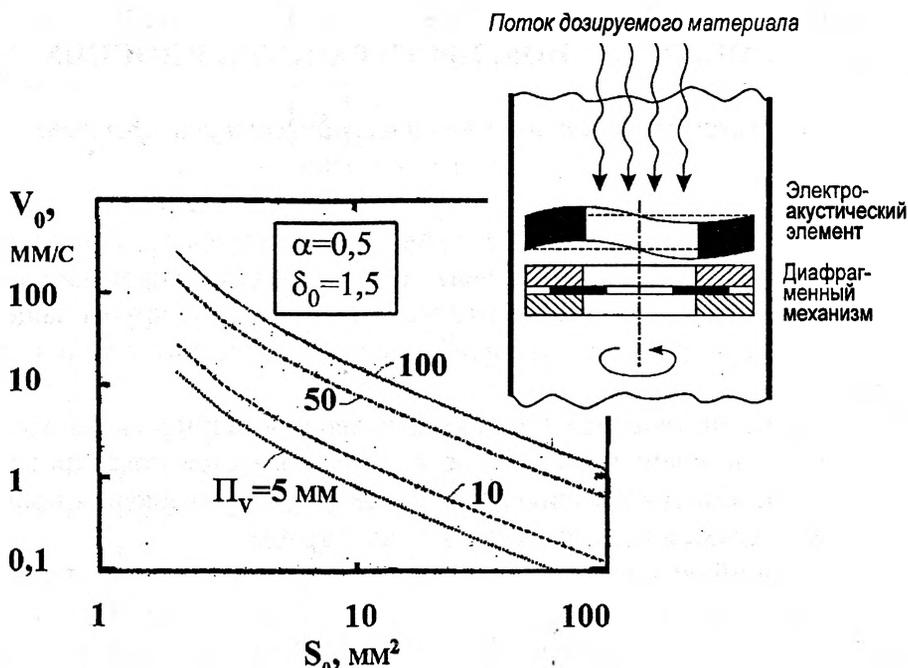


Рисунок 3 - Микродозатор сыпучих материалов и номограмма для определения его параметров

Для данного дозатора рассчитывались номограммы в виде зависимостей между  $S_0$  и  $V_0$  при разных значениях размеров гранул  $\delta_0$  и коэффициента  $\alpha$ . При относительно низких значениях  $\alpha$  и  $\delta_0$  указанные зависимости носят линейный характер, а с повышением  $\alpha > 0,5$  и  $\delta_0 > 0,5$  мм данные зависимости приобретают нелинейный вид, особенно в области малых значений площади сечения дозирующего отверстия. При этом увеличение  $\alpha$  и  $\delta_0$  для достижения той же производительности, что и при  $\alpha = 0$ , требует повышения скорости потока дозируемого материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко, В. М., Лученок, С. А. Интеллектуальные системы контроля и управления технологией точного земледелия и переработки сельхозпродукции // Торговые и деловые известия белорусских предпринимателей. Приверженность разуму. – 2004, № 13–14. – С. 23.
2. Колешко, В. М., Гулай, А. В., Лученок, С. А. Нейросетевые технологии – базис создания интеллектуальных систем точного земледелия // Материалы Второго Белорусского Космического Конгресса – 25–27 окт. 2005, Минск. – С. 376–380.
3. Колешко, В. М., Гулай, А. В., Лученок, С. А. Интеллектуальные сенсорные системы для технологии точного земледелия // Международная научно-практическая конференция «Научно-инновационная деятельность и предпринимательство в АПК: проблемы эффективности и управления», 16–18 февр. 2006, Минск. – Сборник статей. – С. 115–118.
4. Колешко, В. М., Гулай, А. В. Интеллектуальная система поиска научных открытий // Теоретическая и прикладная механика. – 2005, вып. 18. – С. 241–248.
5. Колешко, В. М., Гулай, А. В., Лученок, С. А. Светоцветовой метод эволюционной диагностики почв для технологии точного земледелия // Теоретическая и прикладная механика. – 2006, вып. 20. – С. 198–208.