

СИСТЕМА МЕХАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВЫ В РЕЖИМЕ ON-LINE

Милюткин Владимир Александрович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Оборудование и автоматизация перерабатывающих производств» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8-927-264-41-88.

Канаев Михаил Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины и механизация животноводства» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8-927-735-62-27.

Кузнецов Михаил Александрович, ст. преподаватель кафедры «Электрификация и автоматизация АПК» ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия».

446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, 2.

Тел.: 8-960-811-57-92.

Ключевые слова: гумус, твердость, почва, плодородие, удобрение, мониторинг, механизация, экспресс-метод, внесение, агрегат.

В статье рассматривается система механизации мониторинга плодородия почвы одновременно с работой технологического сельскохозяйственного агрегата, способного одновременно с выполнением основного технологического процесса за счет дифференцированного внесения минеральных удобрений управлять плодородием почвы в режиме on-line, используя корреляционную связь между плодородием (гумусом) и физико-механическими свойствами почвы (объемная масса – плотность, твердость почвы).

Плодородие и продуктивность почвы главным образом определяет гумус (от лат. *humus* – земля, почва), перегной, комплекс специфических темноокрашенных органических веществ почвы.

Выявлено [3], что наиболее эффективно при экспресс-сборе информации (мониторинге) по определению плодородия почвы перед ее обработкой определять мощность гумусового горизонта специальным твердомером (дисковым) с передачей изменяющегося во времени сигнала, после его преобразования, на исполнительный орган, управляющий количеством дифференцированно-вносимых удобрений.

При внедрении и популяризации в мировом аграрном земледелии в последние годы, главным образом по экономическим причинам, точного земледелия с дифференцированным внесением удобрений на участки поля, имеющие различное плодородие [3], сдерживающим данное широкое внедрение и популяризацию остается процесс экспресс-сбора (мониторинга) информации по плодородию почвы в пространстве на отдельном конкретном поле. Существующие методы сложны и трудоемки, и предназначены, главным образом, для работы технологических сельскохозяйственных агрегатов только в режиме off-line, по заранее известной информации об участках поля с различным плодородием.

Цель работы – управление плодородием почвы в режиме on-line за счет дифференцированного внесения удобрений, используя корреляционную связь между плодородием (гумус) и физико-механическими свойствами почвы (плотность и твердость).

Для выполнения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1) определить уровень корреляционной зависимости между твердостью почвы (физико-механические свойства) и гумусом (плодородием);

2) разработать устройство (дисковый твердомер) для определения твердости почвы в динамике – одновременно с работающим машинно-тракторным агрегатом;

3) разработать конструкции комбинированных технологических агрегатов для дифференцированного внесения минеральных удобрений в режиме on-line на основании полученной и преобразованной информации и преобразуемой информации изменяющейся твердости почвы.

При проектировании технологий и разработке систем машин для выполнения этих технологий наличие гумуса, его количество, глубина залегания (мощность) являются приоритетными.

Доктор технических наук, профессор А. С. Кушнарев, определяя науку «Обработка почвы», выделил следующие категории:

- оптимальная плотность почвы;
- равновесная плотность почвы;
- урожай (доля, часть биологической продукции, произведенной на поле);

- гумус;
- пахотный горизонт [1].

Плотность почвы является интегральным показателем состояния почвы, определяющим как условия развития почвенной биоты, так и развития корневой системы выращиваемых на ней растений [2,4].

Результаты проведенных исследований [9] по влиянию плотности почвы на урожай сельскохозяйственных культур дают основание утверждать, что существует устойчивая закономерность (корреляционная зависимость) между плотностью почвы и урожаем.

При разработке современных систем управления сельскохозяйственных машин, изменяющих обрабатываемую среду (в нашем случае – почва) при мониторинге начального (до обработки) качественного состояния этой среды, необходимы экспресс-методы с соответствующей механизацией и автоматизацией процесса сбора и передачи полученной информации.

Практически все имеющиеся технические средства для определения плотности, содержания гумуса и главных питательных веществ NPK не могут работать в динамическом режиме, т.е. одновременно с осуществлением технологического процесса, в частности, одновременно с обработкой почвы дифференцированно вносить удобрения.

В то же время в исследованиях многих ученых (П. У. Бахтин, А. Б. Лурье и др.) используются приборы для определения твердости почвы в процессе движения технологического агрегата. Проведенными исследованиями [3] установлена возможность, при высокой корреляционной зависимости между твердостью почвы и наличием в ней гумуса, проводить экспресс-анализ неравномерности плодородия и, соответственно, продуктивности участков и поля в целом для управления машинами, имеющими возможность дифференцированного внесения удобрений в соответствии с неравномерностью распределения питательных веществ в почве по проходу орудия, устраняя эту неравномерность изменением доз вносимых удобрений.

Имея достаточно высокий коэффициент корреляции (до 0,97) между запасами гумуса и физическими показателями почвы, к которым относится и плотность, и твердость [1], можно с достаточно высокой степенью точности при обязательной коррекции показателей приборов с характеристиками почвы на данном поле, управлять процессами дифференцированного внесения удобрений в зависимости от количества и глубины залегания гумуса через твердость почвы.

Проведенными исследованиями по получению карты поля с показателями твердости почвы в различных слоях и наличию гумуса (мощности) в этих слоях получают идентичные по граничным участкам одинаковой твердости и участков, одинаковых по мощности гумуса, карты полей, используя которые можно дифференцированно вносить удобрения в зависимости от различного количества гумуса. То есть по карте твердости этот процесс осуществим в режиме off-line через бортовой компьютер и исполнительные органы (заслонки, регулирующие норму внесения удобрений) сельскохозяйственной машины.

В то же время использование специально разработанного дискового твердомера [6] позволяет, получая сигнал твердости почвы в определенной точке, через корреляционную зависимость между твердостью и количеством гумуса в этом месте дифференцированно вносить удобрения в режиме on-line.

С целью получения корреляционной зависимости между твердостью почвы и мощностью гумусового горизонта были проведены (с использованием дискового твердомера) дополнительные исследования.

Для экспериментального поля были получены коэффициенты $b_0 = 1,437$; $b_1 = -0,562$.

С учетом этих величин зависимость толщины гумусового слоя Y от твердости почвы x описывается линейной моделью вида:

$$Y = f(x) = 1,437 - 0,562x.$$

Данное уравнение отражает обратную линейную зависимость толщины гумусового слоя от твердости почвы.

С помощью данного выражения можно перейти от твердограммы к гумусовой картограмме.

Выполнив описанную процедуру перехода для всех линий твердограммы, получим гумусовую картограмму (рис. 2).

Анализ этой картограммы указывает на то, что в реальной ситуации любой участок поля площадью 1 га и более имеет сложный характер толщины залегания гумусового слоя почвы.

Весной 2006 г. путём рекогносцировочных прикопок был проведён поиск выровненного по плодородию почвы участка для закладки опыта по координатной технологии.

Урожайность зерна озимой пшеницы изменялась от 10,4 до 21,8 ц/га.

В 2008 г. с помощью твердомера определены деланки с мощностью гумусового горизонта от 30 до 50 см и 51-70 см. Отобраны почвенные пробы из горизонта 0-30 см на содержание легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора и обменного калия.

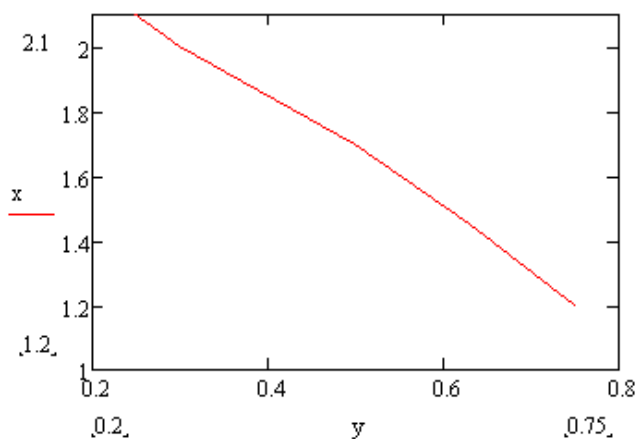


Рис. 1. График зависимости $Y = f(x) = 1,437 - 0,562x$

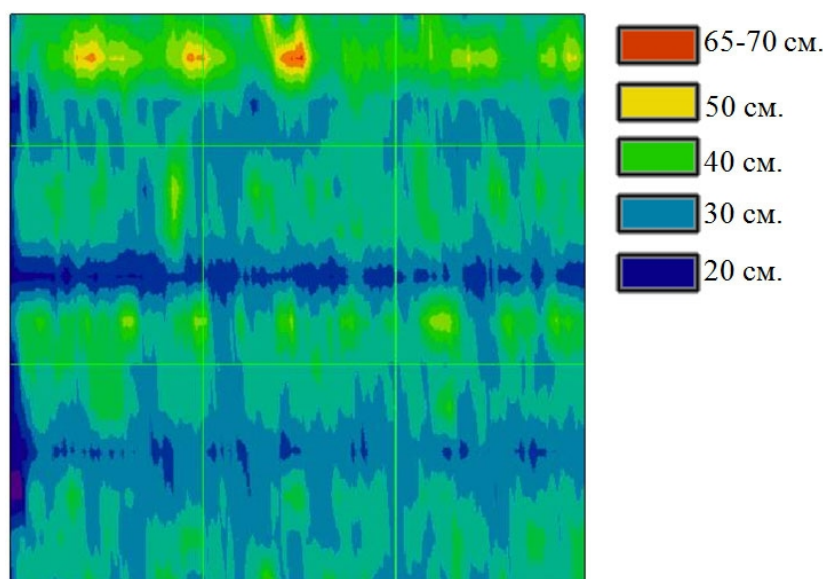


Рис. 2. Карта неоднородности мощности гумусового горизонта

Схема опыта включала 5 вариантов:

- мощность гумусового горизонта 30-50 см без применения удобрений (контроль);
- мощность гумусового горизонта 30-50 см + $N_{51} P_{35}$;
- мощность гумусового горизонта 51-70 см без применения удобрения (контроль);
- мощность гумусового горизонта $N_{42} P_{30}$;
- мощность гумусового горизонта – $N_{47} P_{33}$ без определения твердости почвы.

Для исследований использована экспериментальная сеялка DMC-Primerга 300 T, изготавливаемая фирмой «AMAZONEN-WERKE». Она создана на базе стандартной сеялки DMC-PRIMERA 301 и имеет дополнительное оборудование (бункер и рабочие органы) для внесения удобрений одновременно с посевом.

Доза внесения удобрения взята как средняя по двум горизонтам. Условно назовем его – хозяйственный вариант. Повторение опытов четырехкратное, учетная площадь делянки – 100 м². Посев произведен 5 мая 2008 г., уборка урожая – 10 августа 2008 г. комбайном «Сампо», при этом высевалась пшеница сорта Кинельская 60.

Доза внесения удобрений определена для получения планируемого урожая зерна – 2,15 т/га, исходя из среднемноголетней влагообеспеченности,

$$ДВУ_{м/га} = (140 + 138 \times 0,7) / (110) = 237 \times 110 = 2,15,$$

где 140 – запасы продуктивной влаги весной в период посева (среднее многолетнее), мм;

138 – сумма осадков за период вегетации яровой пшеницы (среднемноголетнее), мм;

0,7 – коэффициент использования летних осадков;

110 – коэффициент водопотребления, мм/т.

В 2008 г. (за счет лучшей влагообеспеченности) расчетная урожайность зерна составила 2,61 т/га.

Расчетная планируемая урожайность по обеспеченности почвы питательными веществами в зависимости от мощности гумусового горизонта по азоту составила 1,59-1,69 т/га, по фосфору – 1,57-1,65 т/га и по калию – 3,63-3,77 т/га, то есть фактором, ограничивающим получение планируемого урожая, являлось содержание доступных форм азота и фосфора (табл. 1).

Таблица 1

Расчетная урожайность зерна яровой пшеницы по обеспеченности питательными веществами

Мощность гумусового горизонта, см	Содержание элементов питания, мг/100 г			Расчетная урожайность зерна, т/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	по азоту	по фосфору	по калию
30-50	8,9	7,6	14,8	1,59	1,56	3,63
51-70	9,5	8,1	16,2	1,69	1,65	3,97

Для получения планируемого урожая (2,15 т/га) на участке с мощностью гумусового горизонта 30-50 см нужно внести удобрение из расчета N₅₁ P₃₃ (табл. 2), а на делянках с более мощным гумусовым горизонтом – N₄₂ P₃₀.

Таблица 2

Обоснованные дозы удобрений (N,P,K) на планируемый урожай – 2,15 т/га с учетом среднесевогодней влагообеспеченности и мощности гумусового горизонта 30-50 см

№	Показатели	Элементы питания		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Вывос питательных веществ на 1 т зерна, кг	41,9	11,5	17,1
2	Вывос питательных веществ с урожаем, кг/га	90	25	37
3	Содержание в пахотном горизонте, мг/100 г почвы	8,9	7,6	14,8
4	Содержание в пахотном горизонте, кг/га	267	228	444
5	Коэффициент использования элементов питания из почвы, %	25	8	14
6	Возможное использование из почвы, кг/га	67	18	62
7	Необходимо усвоить из удобрений, кг/га	23	7	-
8	Коэффициент использования элементов питания из удобрений, %	45	20	-
9	Требуется внести с минеральными удобрениями, кг/га	51	35	-

Для сбалансирования питательных веществ по фосфору необходимо внести нитроаммофоса 152 кг/га (35/23) × 100, для обеспечения азотом – аммиачную селитру 47 кг/га (51 – 35) / 34 × 100, то есть всего туков необходимо внести 199 кг/га.

В настоящее время по разработанной методике была принята программа создания системы механизации и управления плодородием почвы в режиме on-line для четырех основных технологических операций при возделывании сельскохозяйственных культур:

- 1) для внесения минеральных удобрений при культивации (рис. 3) [6];
- 2) для посева сельскохозяйственных культур одновременно с внесением минеральных удобрений (рис. 4) [7];
- 3) для уборки с разбрасывателем для дифференцированного внесения минеральных удобрений (рис. 5) [8];
- 4) для разбрасывания минеральных удобрений [5].

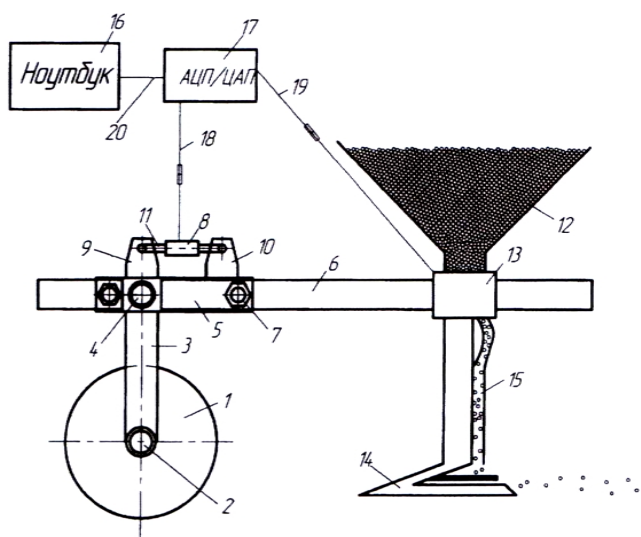


Рис. 3. Агрегат для дифференцированного внесения минеральных удобрений при культивации:

- 1 – диск; 2, 4 – ось; 3 – нижнее плечо двуплечего рычага; 5 – ползун; 6 – рама; 7 – гайка; 8 – тензометрическое звено;
- 9 – верхнее плечо двуплечего рычага; 10 – стойка; 11 – дужка; 12 – бункер для удобрений; 13 – дозатор; 14 – культиваторная лапа;
- 15 – тукопровод; 16 – ноутбук; 17 – АЦП/ЦАП; 18, 19, 20 – кабель

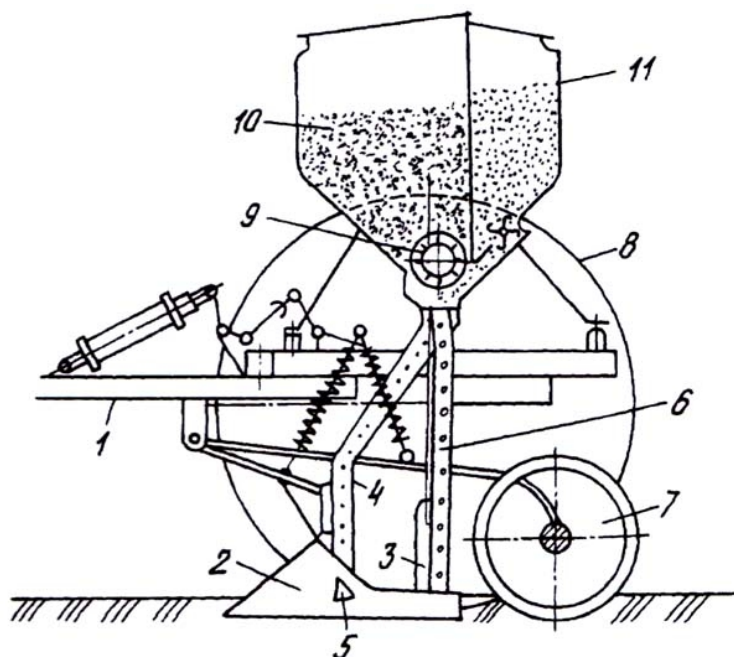


Рис. 4. Агрегат для дифференцированного внесения удобрений при посеве:

- 1 – рама; 2 – стрелчатая лапа-сошник; 3 – ножи-рассекатели; 4 – семяпроводы для разбросного посева; 5 – приспособление для разброса семян; 6 – семяпроводы для рядового посева; 7 – катки; 8 – опорное колесо; 9 – высевашный аппарат; 10 – семенной бункер; 11 – бункер для удобрений

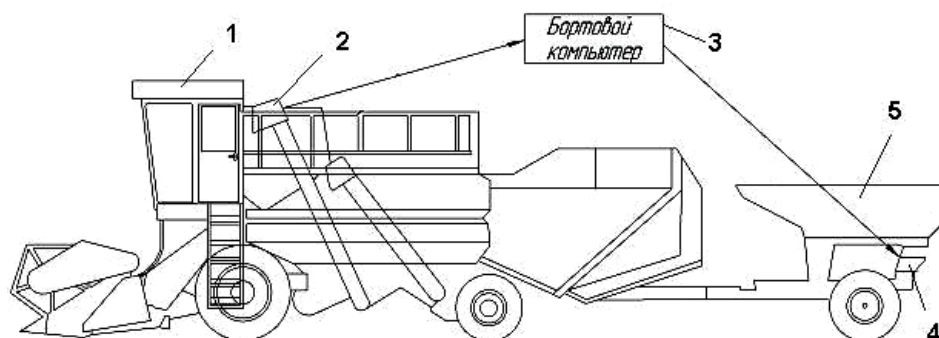


Рис. 5. Агрегат для дифференцированного внесения минеральных удобрений при уборке сельскохозяйственных культур:

- 1 – зерноуборочный комбайн; 2 – датчик урожайности; 3 – бортовой компьютер; 4 – автоматические заслонки; 5 – разбрасыватель минеральных удобрений

Все представленные направления по технологиям и конструкциям сельскохозяйственных машин запатентованы [5-8].

Первые результаты исследований по определению динамики плодородия почвы и твердости почвы на конкретном поле для дифференцированного внесения удобрений показали эффективность данного направления в совершенствовании системы точного земледелия.

Таким образом, можно сделать вывод:

1) Интенсивно внедряемые технологии точного земледелия требуют наличия экспресс-методов картирования полей по фактическому плодородию, которое трудоемкое и затратное при использовании существующих методик.

2) Предложенным дисковым твердомером значительно упрощается сбор информации и картирование полей по твердости почвы, которая имеет высокую степень корреляционной зависимости от мощности гумуса, причем обратная линейная зависимость – мощность гумусового слоя Y от твердости x :

$$Y = 1,437 - 0,562x.$$

3) В соответствии с предложенной методикой разработаны и запатентованы практически все технологические операции при возделывании сельскохозяйственных культур, что позволяет управлять плодородием полей и повышать их продуктивность с использованием современных технических средств, рационально применяя минеральные удобрения.

Библиографический список

1. Кушнарв, А. С. Методические предпосылки выбора способа обработки почвы / А. С. Кушнарв, В. В. Погорельый // Техника АПК. – 2008. – №1. – С. 17-21.
2. Милюткин, В. А. Повышение продуктивности почвы дифференцированным ярусным внесением удобрения / В. А. Милюткин, А. В. Милюткин, А. И. Мартынов // Сборник докладов XII международной научно-практической конференции. – 2012. – Ч. 1. – С. 602-609.
3. Милюткин, В. А. Технологии и технические средства дифференцированного внесения удобрений в условиях точного земледелия / В. А. Милюткин, А. В. Милюткин, М. А. Канаев // Евразийская интеграция: роль науки и образования в реализации инновационных программ : мат. Международной научно-практической конференции.– Уральск, 2012. – Ч. II. – С. 139-143.
4. Милюткин, В. А. Разработка машин для подпочвенного внесения удобрений на основании агробиологических характеристик растений / В. А. Милюткин, М. А. Канаев, А. В. Милюткин // Известия Самарской сельскохозяйственной академии. – 2012. – №3. – С. 9-13.
5. Пат. 2282965 Российская Федерация, МПК А01С 15/00. Разбрасыватель минеральных удобрений / Милюткин В. А., Пронин В. В., Ларионов Ю. В. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА. – № 2004127652/12 ; заявл. 15.09.2004 ; опубл. 10.09.2006. – 5 с. : ил.
6. Пат. 2376743 Российская Федерация, МПК А01С 15/00. Способ и устройство для внесения удобрений при культивации / Милюткин В. А., Ларионов Ю. В., Канаев М. А. ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Самарская ГСХА. – № 2007132386/12 ; заявл. 27.08.2007 ; опубл. 10.03.2009. – 3 с. : ил.
7. Пат. 2461168 Российская Федерация, МПК А01В 49/06. Комбинированный почвообрабатывающе-посевной агрегат / Милюткин В. А., Стребков Н. Ф. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА. – № 2011116607/13 ; заявл. 26.04.2011 ; опубл. 20.09.2012. – 5 с. : ил.
8. Пат. 2477597 Российская Федерация, МПК А01С 15/00. Способ дифференцированного внесения минеральных удобрений при уборке зерновых культур / Милюткин В. А., Канаев М. А., Котов Д. И. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Самарская ГСХА. – № 2011119379/12 ; заявл. 13.05.2011 ; опубл. 20.03.2013. – 5 с. : ил.
9. Казаков, Г. И. Системы земледелия и агротехнологии возделывания полевых культур в Среднем Поволжье / Г. И. Казаков, В. А. Милюткин. – Самара : РИЦ СГСХА, 2010. – 261 с.