



УДК 631.171

САМОНАСТРАИВАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОСЕВНЫМ АГРЕГАТОМ

ИЗМАЙЛОВ А.Ю.,
академик РАН,

ХОРОШЕНКОВ В.К.,
канд. техн. наук,
академик МАИ,
ЛУЖНОВА Е.С.,
науч. сотр.,

АФОНИНА И.И.,
ст. науч. сотр.,
КОЛЕСНИКОВА В.А.,
канд. техн. наук

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, e-mail: smit@vim.ru

В настоящее время большое развитие получает применение автоматизации управления посевным агрегатом и дифференцированным внесением доз минеральных удобрений в соответствии с агрохимическими показателями почвы (точное земледелие). Определили, что главное требование к дифференцированным высеву семян и внесению минеральных удобрений – это точность и продолжительность перехода с одной нормы на другую. Установили, что при скорости агрегата 10 км/ч объект перемещается за 0,5 с на 1,5 м и более. При этом в выпускаемом устройстве дифференцированная поправка, поступающая по радиоканалу, обновляется через 10 с, а в режиме RTK – через 0,5-2 с, что нарушает точность внесения семян и удобрений. Разработали структурную схему системы автоматического регулирования технологического процесса высева семян и внесения минеральных удобрений с использованием навигационных средств ориентации МТА на поле и технические средства для реализации технологии точного земледелия при посеве и внесении удобрений с помощью электронных карт плодородия земель и спутниковых навигационных систем. Отметили, что для регулирования дозы внесения удобрений необходимо укомплектовать агрегат электроприводом, а для уменьшения погрешности – использовать навигационные приемники ГЛОНАСС, GPS, Galileo. Предложили для слежения четырех ведущих навигационных систем применять разработанный отечественной фирмой «КБ НАВИС» приемник GPS/ГЛОНАСС/Galileo/Compass на 32 канала. Установили, что созданное ВИМ информационное автоматизированное устройство на базе NAVSTAR и системы ГЛОНАСС/GPS успешно управляет посевом и позволяет вносить удобрения дифференцированно.

Ключевые слова: посевной агрегат, навигационные системы, ГЛОНАСС, автоматизированные информационные комплексы.

Анализ современных тенденций развития автоматизации посевных агрегатов свидетельствует, что все большее развитие получает применение автоматизации, направленной на «точное земледелие», предусматривающее пространственное позиционирование агрегата и избирательное действие при применении удобрений и гербицидов [1-4]. Экономическая целесообразность в этом случае заключается в прямой экономии технологического материала, снижении отрицательного воздействия на окружающую среду и производимую

продукцию. Достижение высокой урожайности возделываемых культур должно соответствовать экологическим требованиям, предъявляемым к сельскохозяйственной продукции с учетом охраны окружающей среды.

Анализ факторов, обеспечивающих требуемое качество посева, выявил необходимость развития следующих направлений в области создания средств автоматизации для посевных агрегатов:

- устройства контроля высева семян;
- системы измерения, контроля и дифференци-

ального регулирования норм высева семян и внесения минеральных удобрений.

По данным зарубежных источников, дифференцированное внесение минеральных удобрений, соответствующих агрохимическим показателям почвы, повышает урожайность сельскохозяйственных культур в среднем на 30% и более.

Цель исследований – разработка и выбор научно обоснованных новейших технических средств для реализации технологии точного земледелия при посеве с использованием электронных карт плодородия земель, спутниковых навигационных систем [5], электронно-вычислительных средств и элементной базы силового управления.

Для решения этих задач необходим поиск оптимальных алгоритмов обработки высокоскоростных потоков информации.

Одними из главных требований дифференцированного высева семян и внесения гранулированных минеральных удобрений считаются точность и время перехода с одной нормы высева семян и внесения удобрений на другую.

Новизна исследований заключается в системном подходе к решению задачи автоматизации различных посевных агрегатов с обоснованием состава и функций системы контроля и управления с использованием технологии сбора информации, систематизации анализа и выработки оптимального решения [6].

Материалы и методы. В основе точного земледелия заложены возможности определения координат движущегося объекта с высокой точностью. Оснащение сельскохозяйственных агрегатов средствами спутниковой навигации позволяет более качественно выполнять технологические операции. Автоматическое местоопределение движущегося сельскохозяйственного агрегата наряду с автоматизированным считыванием электронных карт обрабатываемого поля, отражающих состояние каждого фрагмента поля, а также построение действий обеспечивают значительный эффект в результате прямого повышения урожайности и снижения себестоимости производства продукции при посеве зерновых [7, 8].

По метрологическим характеристикам для решения сельскохозяйственных задач автоматического местоопределения предпочтительно использование навигационных сигналов ГЛОНАСС.

Результаты и обсуждение. В основе работы спутниковой навигационной системы лежат:

- спутниковая трилатерация (на ней базируется работа системы);
- спутниковая дальнометрия (измерение расстояний до спутников);
- точная временная привязка (высокоточная син-

хронизация отсчета времени в системе спутники–приемники);

- точное положение спутников в космосе;
- коррекция ошибок, вносимых задержкой радиосигнала спутника в ионосфере и тропосфере.

Согласно принципу навигационных определений (рис. 1) рассчитывают псевдодалность:

$$P = r + c (dT - dt) + dion + dtrop + e,$$

где P – измеренная псевдодалность,

r – геометрическое расстояние между антенной приемника в момент приема сигнала и спутниковой антенной в момент передачи;

dT и dt – производные времени, отражающие уход часов приемника и спутника от точного времени соответственно;

$dion$ и $dtrop$ – ионосферные и тропосферные задержки,

e – коэффициент, учитывающий шум и эффекты, например переотражение;

c – скорость света.

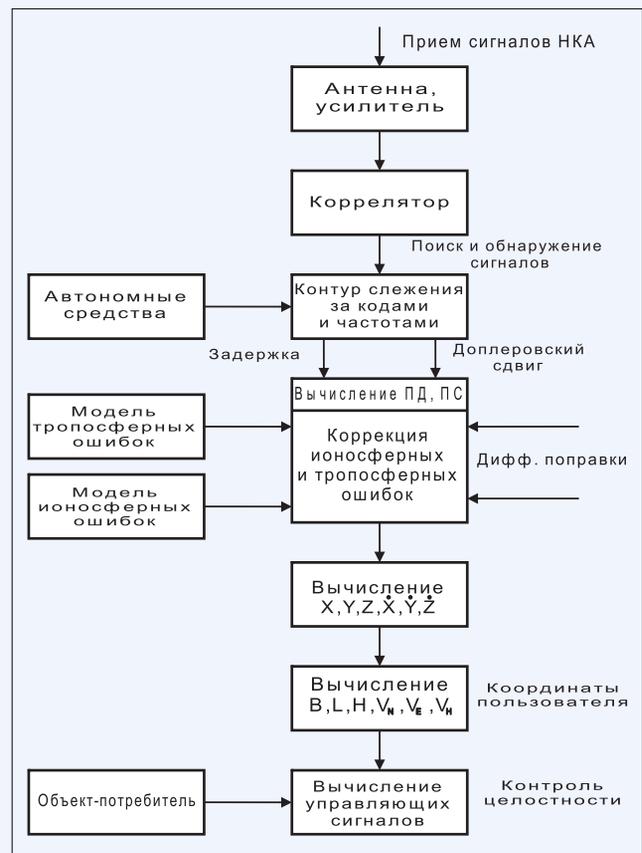


Рис. 1. Принцип навигационных определений

Некоторые источники ошибок, возникающих при работе ГЛОНАСС/GPS, трудно устранить [8, 9]. Вычисления предполагают, что сигнал распространяется с непрерывной скоростью, которая равна скорости света. Однако на практике все обстоит гораздо сложнее. Скорость света постоянна только в

вакууме. Когда сигнал проходит через ионосферу и тропосферу, скорость его распространения изменяется, что приводит к ошибкам в измерении дальности.

Так как конструкция спутниковой навигационной системы постоянно совершенствуется, а отдельные модули и узлы системы для решения различных задач могут отличаться друг от друга, то в качестве базовой автоматизированной системы управления технологическим процессом может быть использована система со следующими основными сегментами:

- навигационный сегмент;
- сегмент передачи специальных данных в реальном времени;
- сегмент визуализации движения в реальном времени;
- сегмент обработки данных и генерирования управляющих команд.

В настоящее время наибольшую точность и стабильность обеспечивают приемники, использующие сигналы всех видимых навигационных спутников из всех созвездий Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС).

В связи с этим отечественная фирма «КБ НАВИС» разработала приемник *GPS/ГЛОНАСС/Galileo/Compass* на 32 канала слежения четырех ведущих навигационных систем, работающих в диапазоне частоты $L1\ 1575,42\ \text{MHz}$ и $L1\ 1597,5\ \text{MHz}$.

Он имеет следующие характеристики:

- точность получения навигационных параметров в дифференциальном режиме – 1 м;
- частота выдачи навигационных данных – 1, 2, 5 и 10 Гц;
- поддерживаемые протоколы – *NMEA 0183*, *BINR*, *RTCM SC-104 v2.2*;
- интерфейсы – $2 \times RS-232$, $2 \times SPI$, *IWI*;
- частота выдачи данных – до 230400 бит/с;
- питание: 3,0-5,5 В;
- потребление по всем ГНСС – менее 150 мВт.

В системе точного земледелия спутниковые навигационные сигналы используют для решения следующих задач:

- мониторинг мобильной сельскохозяйственной техники;
- автоматизированное вождение машинно-тракторного агрегата;
- дифференцированный высева семян и внесение минеральных удобрений;
- мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур;
- агрохимический мониторинг полей.

Реализация технологии дифференцированного внесения удобрений [9] предусматривает разработку программного обеспечения, включающего под-

программы:

- формирование банка данных о состоянии полевых;
- расчет функциональной зависимости (функции отзывчивости) между наличием питательных элементов в почве и урожайностью сельскохозяйственных культур;
- обоснование оптимальных доз дифференцированного внесения удобрений;
- формирование электронных карт дифференцированного внесения удобрений в принятой системе позиционирования;
- контроль и управление технологическим процессом.

Главные и определяющие рабочий процесс параметры – расход $q(t)$ через высевающую катушку и глубина заделки семян Z . Поэтому проследим, какое влияние оказывают входные воздействия на качество выполнения этих процессов [10, 11]. Входные воздействия можно разделить на две группы переменных, которые влияют на положение сеялки $Z(t)$, или определяют расход семян $q(t)$ и глубину заделки $z(t)$.

Особенностью разработки алгоритмов контроля и функциональных схем для анализируемого технологического процесса стала необходимость предварительного перевода дискретных значений процесса расхода $q(t)$ семян за единицу времени Δt или глубины заделки в дискретные по площади ΔS – путем деления текущих значений $q_i(t)$ на текущую скорость движения агрегата по выражению:

$$k_i(t) = \frac{q_i(t)}{V_i(t) \cdot B},$$

где – B ширина захвата, м, V_i – скорость, м/с

Это требует использования датчика скорости агрегата, выдающего отсчеты с шагом дискретизации Δt технологического процесса.

Ее структура определяется задачами контроля, которые заключаются в следующем:

- получение текущей информации от датчиков объекта контроля о фактическом состоянии контролируемых процессов;
- предварительное преобразование и централизованная обработка информации;
- выработка решения о соответствии или несоответствии контролируемого процесса $k(t)$ заданному уровню качества;
- выдача информации о необходимости восстановления заданного качества и последовательности действий по его восстановлению и, в случае необходимости, формирования корректирующего сигнала.

Передаточная функция системы автоматического регулирования нормы высева при наличии ин-

тегрирующего звена будет иметь вид:

$$W_p = \frac{K_1 \cdot K_2}{Tp + 1},$$

где K_1 – коэффициент усиления усилителя;

K_2 – коэффициент передачи электродвигателя с редуктором;

T – постоянная времени электродвигателя с редуктором;

p – оператор Лапласа.

Так как задающее воздействие поступает с электронной карты, то эта величина является детерминированной функцией времени и координат.

Структурная схема системы автоматического регулирования технологического процесса высева семян и внесения минеральных удобрений с использованием навигационных средств ориентации МТА на поле представлена на рисунке 2.

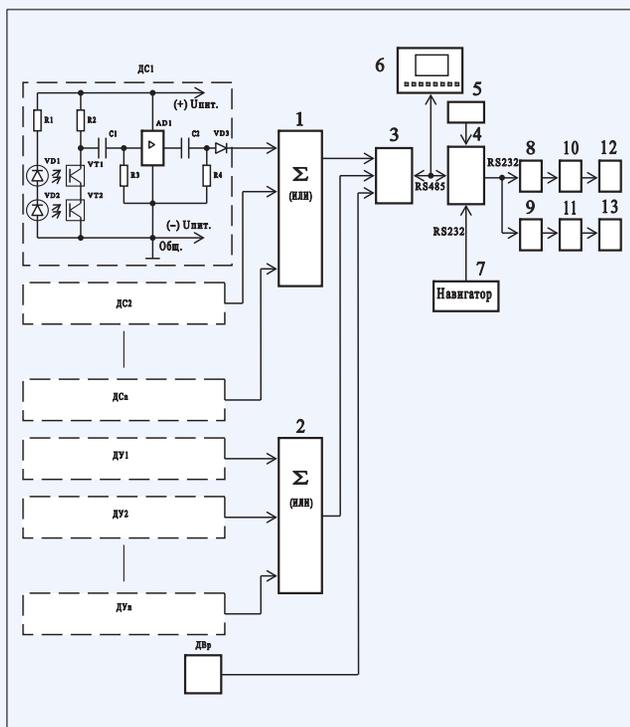


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического управления высевам семян и внесением удобрений с использованием навигационных средств связи

Система содержит импульсные фотоэлектрические датчики измерения нормы высева семян ДС1 ДСп и датчики измерения нормы внесения удобрений ДУ1...ДУп.

Выходы усилителей датчиков через дифференцирующие цепи $C2$, $R4$ и диод $VD3$ подключены к схемам суммирования сигналов датчиков с помощью схемы «ИЛИ» нормы высева семян 1 и удобрений 2, выходы которых подключены к счетным входам блока частотного ввода 3. На вход управ-

ления счетным вводом подается сигнал с датчика частоты вращения колеса ДВр. Контроллер 4 управляет технологическим процессом дифференцированного высева семян и внесения твердых минеральных удобрений с помощью видеотерминала 6 и навигатора 7. Программа работ в цифровом виде заносится с электронного носителя информации 5, представляющего собой оцифрованную карту поля в глобальной системе координат и дозами нормы высева семян и внесения твердых минеральных удобрений по соответствующим координатам. Драйверы 8, 9 формируют команды управления частотой вращения электроприводов 10 и 11, высевающих аппаратов 12 и 13.

Система работает следующим образом. Каждый датчик высева семян ДС1...ДСп и внесения удобрений ДУ1...ДУп регистрирует часть семян, пролетающих через него.

При проведении посева информация о текущих координатах посевного агрегата поступает с навигатора 7 по интерфейсу RS232. Контроллер 4 находит в таблице значения нормы высева и нормы внесения удобрений, соответствующие текущим координатам, и по интерфейсу RS232 передает команды на драйверы для формирования управляющих сигналов 8, 9, которые дают соответствующие команды электроприводам 10 и 11, изменяющим частоту вращения высевающих катушек 12 и 13, регулирующих норму высева семян и внесения твердых минеральных удобрений с учетом изменения скорости движения, регистрируемой энкодером 14, и положения агрегата на поле, регистрируемое навигатором.

Выводы

1. В результате исследования в ВИМ разработаны техническая документация и программное обеспечение, а также изготовлен микропроцессорный образец системы автоматического управления.

2. Созданное в ВИМ информационно-автоматизированное устройство на базе приемника NAVSTAR и системы ГЛОНАСС/GPS дает возможность управлять посевом и дифференцированно вносить потребную дозу удобрения.

3. Для регулирования дозы внесения удобрений предусмотрено комплектование агрегата электроприводом, а в целях уменьшения погрешности необходимо использовать навигационные приемники двух и более систем (ГЛОНАСС, GPS, Galileo).

4. В выпускаемых устройствах ГЛОНАСС дифференциальная поправка, поступающая по радиоканалу, обновляется через 10 с, а в режиме RTK – через 0,5-2 с. При скорости агрегата 10 км/ч за 0,5 с объект (роботизированный посевной агрегат управления) перемещается более чем на 1,5 м, поэтому необходимо использовать дифференцирующие устройства.

Литература

1. Измайлов А.Ю., Фалеев А.П., Ксенофонтов Н.П. Автоматизированные системы управления для создания роботизированных технологий в растениеводстве // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сб. докл. XII Междунар. науч.-техн. конф. Ч.2. – М.: ВИМ, 2012. – С. 602-611.

2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Инновационные механизированные технологии и автоматизированные технические системы для сельского хозяйства // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. – М.: ВИМ, 2012. – С. 31-44.

3. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Управление и информационное обеспечение инновационными технологическими процессами в растениеводстве // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. – М.: ВИМ, 2010. – С. 47-58.

4. Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П., Лобачевский Я.П. Интеллектуальная автоматизация технических средств сельскохозяйственного назначения // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2014. – С. 359-362.

5. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К., Гончаров Н.Т., Фалеев А.П., Лужнова Е.С. Автоматизация производственных процессов в полеводстве с использованием навигационных спутниковых систем // Энергообеспечение и энергосбережение

в сельском хозяйстве: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Т. 5. – М.: ВИЭСХ, 2012. – С. 214-224.

6. Измайлов А.Ю., Ксенофонтов Н.П. Применение новейших достижений в автоматизированных информационных средствах управления при выполнении технологии посева зерновых и пропашных культур // Инновационные технологии нового поколения – основа модернизации сельского хозяйства: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. – М.: ВИМ, 2011. – С. 190-194.

7. Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К. Автоматизированная система управления посевом и внесением удобрений // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – № 4. – С. 9-12.

8. Измайлов А.Ю., Личман Г.И., Марченко Н.М. Точное земледелие: проблемы и пути решения // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 5. – С. 9-14.

9. Алексеев В. Приемники GNSS для спутниковых навигационных систем GPS/GLONASS // Беспроводные технологии. – 2013. – № 2. – С. 52-62.

10. Пат. RUS 2452167 РФ. Способ и устройство дифференцированного припосевного внесения основных и стартовых доз минеральных удобрений / Марченко Н.М., Марченко А.Н., Лобачевский Я.П., Личман Г.И., Педай Н.П., Михеев В.В., Рогачев В.Р., Тыкушин А.А. // Бюл. 2012. № 16.

11. Михеев В.В., Звезгинцев П.С., Кусова Н.И. Методологические особенности технико-экономической оценки машинных технологий производства пропашных культур // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2013. – С. 157-181.

SELFADJUSTING AUTOMATIC CONTROL OF SOWING UNIT

A.Yu.Izmaylov, V.K.Khoroshenkov, E.S.Luzhnova, I.I.Afonina, V.A.Kolesnikova

All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: smit@vim.ru

The selfadjusting automatic control of sowing unit and differentiated introduction of mineral fertilizers doses according to agrochemical indicators of the soil (precision agriculture) are used wider nowadays. It was defined that the main requirement to the differentiated seeding and fertilizing is an accuracy and duration of transition from one norm to another. Established that at a speed of unit of 10 km/h object moves for 0.5 s about on 1.5 m and more. Thus in this device the radio channel originated differentiated correction is updated in 10 s, and in the RTK mode – 0.5-2 s that breaks the accuracy of introduction of seeds and fertilizers. The block schematic diagram of system of automatic control of technological process of seeding and mineral fertilizing with use of navigation means of machine-tractor aggregates orientation in the field and technical means for realization of technology of precision agriculture at sowing and fertilizers application due to electronic maps of soil fertility and navigation satellite systems was worked out. It was noted that for regulation of a fertilizing dose it is necessary to complete the unit with the electric drive, and for error reduction use navigation GLONASS, GPS, Galileo receivers. To tracking of four leading navigation systems GPS/GLONASS/Galileo/Compass receiver with 32 canals developed by domestic-owned firm

«KB NAVIS» was suggested. It was established that the automated device created by All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture information based on NAVSTAR and GLONASS/GPS system successfully operates seeding and make possible the differentiate fertilizing.

Keywords: Sowing unit; Navigation systems; GLONASS; Automated information complexes.

References

1. Izmaylov A.Yu., Faleev A.P., Ksenofontov N.P. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya dlya sozdaniya robotizirovannykh tekhnologiy v rastenievodstve [Automated control systems for creation of the robotized technologies in plant industry]. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sb. dokl. XII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch. 2. Moscow: VIM, 2012. pp. 602-611 (Russian).*
2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. *Innovatsionnye mekhanizirovannye tekhnologii i avtomatizirovannye tekhnicheskie sistemy dlya sel'skogo khozyaystva [Innovative mechanized technologies and the automated technical systems for agriculture]. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch. 1. Moscow: VIM, 2012. pp. 31-44 (Russian).*
3. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. *Upravlenie i informatsionnoe obespechenie innovatsionnykh tekhnologicheskimi protsessami v rastenievodstve [Management and information support of innovative technological processes in plant industry]. Avtomatizatsiya i informatsionnoe obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch. 1. Moscow: VIM, 2010. pp. 47-58 (Russian).*
4. Izmaylov A.Ju., Grishin A.A., Grishin A.P., Lobachevskiy Ya.P. *Intellektual'naya avtomatizatsiya tekhnicheskikh sredstv sel'skhozajstvennogo naznachenija [Intellectual automation of technical means of agricultural purpose]. Innovatsionnoe razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sb. nauch. dokl. Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Moscow: VIM, 2014. pp. 359-362 (Russian).*
5. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K., Goncharov N.T., Faleev A.P., Luzhnova E.S. *Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v polevodstve s ispol'zovaniem navigatsionnykh sputnikovykh sistem [Automation of production processes in field cropping with use of navigation satellite systems]. Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom khozyaystve: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. T. 5. Moscow: VIESKh, 2012. pp. 214-224 (Russian).*
6. Izmaylov A.Yu., Ksenofontov N.P. *Primenenie noveyshikh dostizheniy v avtomatizirovannykh informatsionnykh sredstvakh upravleniya pri vypolnenii tekhnologii poseva zernovykh i propashnykh kul'tur [Use of the latest developments in the automated information control facilities when realization of technology of grain and tilled crops sowing]. Innovatsionnye tekhnologii novogo pokoleniya – osnova modernizatsii sel'skogo khozyaystva: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch. 1. Moscow: VIM, 2011. pp. 190-194 (Russian).*
7. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K. *Avtomatizirovannaya sistema upravleniya posevom i vneseniyem udobreniy [Automated control system of seeding and fertilizing]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2011. № 4. pp. 9-12 (Russian).*
8. Izmaylov A.Yu., Lichman G.I., Marchenko N.M. *Tochnoe zemledelie: problemy i puti resheniya [Precision agriculture: problems and solutions]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2010. No 5. pp. 9-14.*
9. Alekseev V. *Priemniki GNSS dlya sputnikovykh navigatsionnykh sistem GPS/GLONASS [GNSS receivers for GPS/GLONASS navigation satellite systems]. Besprovodnye tekhnologii. 2013. No 2. pp. 52-62 (Russian).*
10. Patent RUS 2452167 01.11.2010. Marchenko N.M., Marchenko A.N., Lobachevskiy Ya.P., Lichman G.I., Peday N.P., Mikheev V.V., Rogachev V.R., Tykushin A.A. *Sposob i ustroystvo differentsirovannogo priposevnogo vneseniya osnovnykh i startovykh doz mineral'nykh udobreniy [Method and the device for the differentiated application of the main and starting doses of mineral fertilizers at sowing] (Russian).*
11. Mikheev V.V., Zvegintsev P.S., Kusova N.I. *Metodologicheskie osobennosti tekhniko-ekonomicheskoy otsenki mashinnykh tekhnologiy proizvodstva propashnykh kul'tur [Methodological features of a technical and economic assessment of tilled crops production machine technologies]. Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Moscow: VIM, 2013. pp. 157-181 (Russian).*