

УДК 631.171

УПРАВЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ МОБИЛЬНЫМИ АГРЕГАТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС/GPS*

А.Ю.ИЗМАЙЛОВ,
академик РАН,

В.К.ХОРОШЕНКОВ,
канд. техн. наук,

Е.С.ЛУЖНОВА,
научн.сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, e-mail: vim-avt@rambltr.ru,
Москва, Российская Федерация

Сельскохозяйственные машинно-тракторные агрегаты работают в условиях переменных нагрузок, обусловленных многочисленными возмущающими воздействиями, имеющими случайный характер. В связи с этим необходима оптимизация режимов работы агрегата при стохастическом характере возмущений. Решаемые с помощью электроники задачи управления сельскохозяйственным агрегатом (СА) подразумевают наличие универсальной системы получения и использования отображения информации. Показали, что при автоматизации управления процессами, протекающими при работе СА, решаются следующие задачи: регулирование положения рабочих органов навесных и прицепных машин, норм и равномерности внесения сельскохозяйственных материалов в почву по ширине захвата и глубине в зависимости от скорости движения; автоматизация силовой трансмиссии СА; регулирование загрузки двигателя; контроль технологических, энергетических и эксплуатационных параметров, в том числе автоматизации вождения МТА. Синтезировали современную систему контроля управления СА. В структуре контроля и управления СА выделили несколько программных уровней. Показали, что на первом уровне осуществляется непосредственное управление агрегатом по реально измеряемым параметрам. Второй уровень объединяет операции контроля управляемых систем. К третьему уровню относятся процедуры оптимизации. Отметили, что одним из важных параметров, связанных с работой агрегата, является вождение. Установили, что при движении мобильного агрегата на него влияют случайные возмущающие воздействия основных (с периодом 100-200 м, амплитудой 5 м) и фазовых колебаний (периодом 17-30 м и амплитудой – 0,1 м), возникающих в результате изменения удельного сопротивления почвы, ширины захвата и глубины обработки. Доказали, что при создании систем автоматического управления необходимо учитывать случайный характер и эргономичность воздействий.

Ключевые слова: система автоматического управления, машинно-тракторный агрегат, технологические и эксплуатационные процессы, оптимизация режимов работы, навигационные системы ГЛОНАСС/GPS.

Сельскохозяйственные машинно-тракторные агрегаты (МТА) работают в условиях переменных нагрузок, обусловленных многочисленными и разнообразными возмущающими воздействиями, имеющими случайный характер: удельным сопротивлением почвы в зависимости от ее структуры, влажности; рельефом поля, условиями выполнения технологических операций и т.д. [1-4].

Ввиду этого изменяются возмущающие воздействия на сельскохозяйственный мобильный агрегат в горизонтальной плоскости. Это сказывается на величине отклонения от заданной траектории. Поскольку отклонение от предыдущей борозды должно быть, согласно агротехническим требованиям, при основной обработке почвы и посеве в пределах ± 5 см, оператору сложно соблюдать дан-

*Статья подготовлена в рамках выполнения Программы Союзного государства «Инновационное развитие производства картофеля и топинамбура» Государственного контракта № 243/19 от 18 февраля 2014 года. Договор № 15/03-2014 от 17 марта 2014 года.

ное требование, особенно на высоких скоростях. Кроме того, оператор должен качественно осуществлять контроль энергетических и других технологических и эксплуатационных процессов. В связи с этим необходима оптимизация режимов работы всего комплекса протекающих процессов [5-7].

Существующая элементная микропроцессорная база позволяет создать надежные быстродействующие комплексные системы как для контроля, так и для управления десятками и сотнями процессов, протекающих при работе сельскохозяйственного агрегата (СА).

Цель исследований – построение системы управления МТА с использованием навигационных систем.

Материалы и методы. Сельскохозяйственные тракторы в среднем за год агрегируются с 18 сельскохозяйственными орудиями, меняя их примерно 34 раза за сезон или 2 раза в неделю. Следовательно, для оптимизации работы агрегата нужно учитывать, по меньшей мере, все типовые технологические операции.

Однако при управлении агрегатами, на основных технологических операциях, в частности при вспашке, следует соблюдать точность вождения, предусмотренную агротехническими требованиями. Уже созданы и внедрены информационные системы для контроля технологических и эксплуатационных процессов, связанных с работой СА.

При использовании бортовых компьютеров для автоматизации контроля и управления процессами, протекающими при работе СА, решают следующие задачи: регулирование положения рабочих органов навесных и прицепных машин, регулирование норм и равномерности внесения по ширине захвата и глубине сельскохозяйственных материалов в почву в зависимости от скорости движения; автоматизация силовой трансмиссии СА; регулирование загрузки двигателя; контроль технологических, энергетических и эксплуатационных параметров, в том числе автоматизации вождения МТА.

Эти подсистемы следует применять на тракторах всех классов, что позволит создать унифицированные аппаратные средства для решения задач контроля и управления агрегатами любого состава.

Кроме того, на СА установлены такие традиционные подсистемы, как контроль давления масла в двигателе, температура охлаждающей жидкости двигателя, расход топлива и т.д.

Помимо перечисленных систем, для каждого конкретного МТА требуются дополнительные специфические подсистемы. Например, для опрыскивателя необходима система стабилизации положения штанги, для активных почвообрабатывающих машин – синхронизация оборотов рабочих органов в

зависимости от скорости движения, для разбрасывателей органических удобрений – стабилизация оборотов шнеков, при работе на склонах – стабилизация горизонтального положения машин и т.д.

Характер решаемых с помощью электроники задач подразумевает наличие универсальной системы отображения информации, которая должна обеспечивать вывод информации, присущей как любому СА, так и конкретному орудью или машине. Для этого бортовая микропроцессорная система должна работать одновременно с комплексом постоянных датчиков, и с набором датчиков, подключаемых вместе с орудием, что достигается с помощью унифицированного адаптера. Вариант функциональной схемы бортового компьютера представлен на рисунке 1.

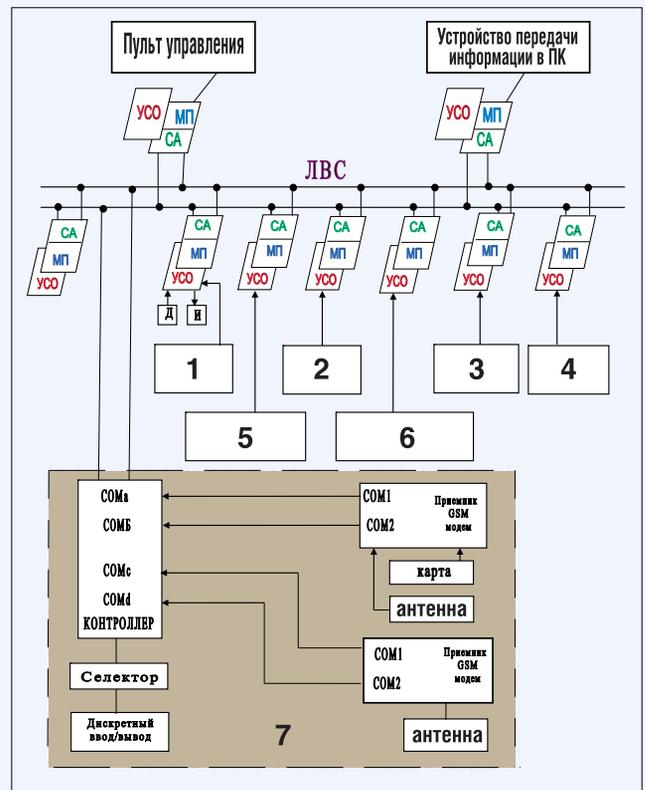


Рис. 1. Функциональная схема бортового компьютера: ЛВС – локальная вычислительная сеть; УСО – устройство сопряжения с объектом; Д – датчик; И – исполнительный механизм; СА – сетевой адаптер; МП – микропроцессор; 1 – система регулирования двигателя; 2 – система управления трансмиссией; 3 – система управления сельхозмашиной; 4 – система управления вождением; 5 – система управления навеской; 6 – система обработки информации с радарного датчика скорости; 7 – схема модуля приемника GPS COM17035

К контролируемым могут быть отнесены параметры: технического состояния СА; параметры эксплуатационных режимов трактора; параметры, свя-

занные с техническими, эксплуатационными и энергетическими показателями; параметры, связанные с регулированием гидронавесных устройств, блокировкой дифференциала и включения переднего моста, а также параметры, связанные с функционированием сельскохозяйственных агрегатов при основной обработке почвы, внесении жидких комплексных удобрений и средств химической защиты растений, разбрасывании минеральных удобрений, посева и т.д. [8].

При этом система автоматического управления должна включать подсистемы контроля, так и локальные подсистемы управления основными параметрами, определяющими работу агрегата.

Результаты и обсуждение. Лабораторные и полевые испытания системы показали эффективность построения бортового компьютера на основе предложенного алгоритма. В связи с развитием навигационных систем ГЛОНАСС/GPS появилась возможность при их использовании повысить качество выполнения технологических операций (основной обработки почвы, внесения удобрений, посева и ухода за растениями). Поэтому была синтезирована более современная система, функциональная схема которой представлена на *рисунке 2*.

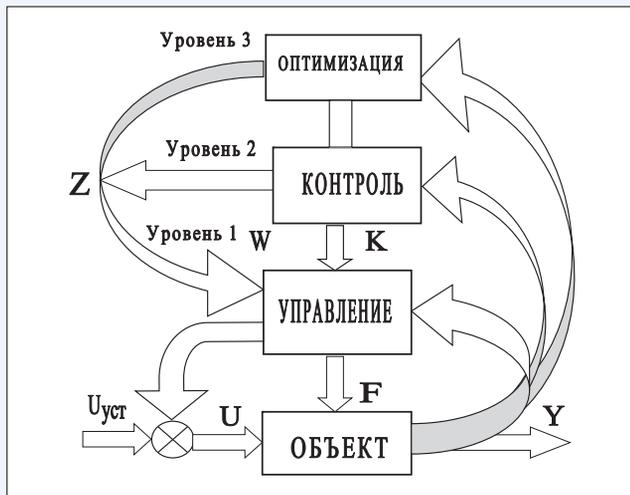


Рис. 2. Схема системы контроля управления сельскохозяйственным агрегатом

В обобщенном виде в структуре контроля и управления СА можно выделить несколько программных уровней (*рис. 2*). На первом уровне осуществляется непосредственное управление процессом агрегата по реально измеряемым параметрам Y с помощью регуляторов с прямой и обратной связью. Сигналы задающей переменной W при этом либо постоянны, либо формируются на одном из более высоких уровней управления. Закон управления формируется бортовой ЭВМ в результате работы соответствующих подпрограмм. Параметры

регуляторов K также формируются на более высоком уровне управления.

Второй уровень объединяет операции контроля управляемых систем СА. Здесь осуществляется наблюдение за определенными характеристиками СА. Информация Z , получаемая на этом уровне, используется для предупреждения механизатора о возможности нарушений технологического процесса из-за выхода управляющей величины U за порог рабочего диапазона или возможности аварийной ситуации.

К третьему уровню относятся процедуры оптимизации. В процессе оптимизации показатель качества определяют на основании измеряемых параметров Y , а поиск экстремума проводят целенаправленным изменением управляющих сигналов U , задающего вектора W и параметров регулятора K .

Одновременность событий – отличительная черта систем реального времени. В теории этих систем определяют функции, которые могут исполняться одновременно. Эти функции, иначе говоря, задачи – это минимальные объекты, с которыми работает операционная система реального времени.

Каждая подсистема контроля и управления представляет одну или несколько задач, взаимодействующих между собой. Такая система может осуществляться в мультипрограммном или мультипроцессорном режиме или их комбинации.

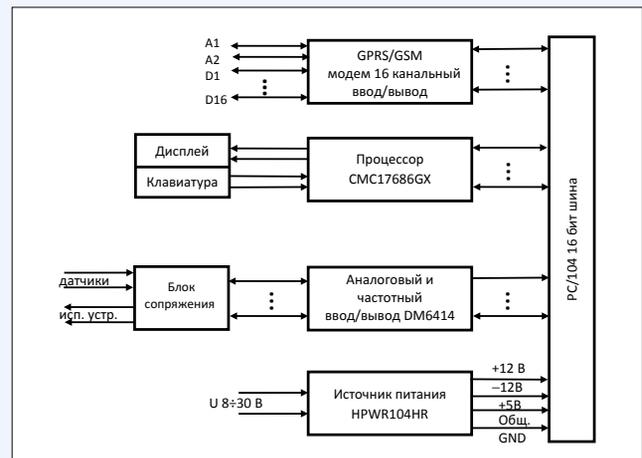


Рис. 3. Схема микропроцессорного устройства управления мобильным сельскохозяйственным агрегатом

Структурная схема системы автоматического контроля и управления бортового компьютера мобильного агрегата представлена на *рисунке 3*.

В бортовом компьютере в стандарте PC/104 используют 16-битовую шину (BUS) с набором стандартных плат, имеющих низкое потребление. Платы снабжены надежным штыревым разъемом, который позволяет соединять платы в этажерку и крепить их по углам, что делает конструкцию контрол-

лера жесткой, надежной, не требующей дополнительного охлаждения. Сигналы от спутников принимает 12-канальный приемник *GPS (COM17035)*. Контроллер этого модуля обрабатывает сигналы со спутников и вычисляет местоположение агрегата, которое передается в виде двоичных кодов в память процессора (*СМC17686GX*) и запоминается с момента подачи определенного сигнала с клавиатуры. Повторный сигнал с клавиатуры означает прекращение запоминания траектории движения агрегата. Пройденный агрегатом путь отражается на дисплее вместе с контуром обрабатываемого поля. После разворота агрегата механизм или вычислительное устройство вводит смещение траектории движения (ширина пахотного агрегата, сеялки, машины ЖКУ) и включает режим автоматического движения по эквидистантной траектории.

Для полунавесных и прицепных агрегатов разность между заданным и фактическим курсом в значительной мере зависит от типа машины и состояния почвы. Различают динамические характеристики почвообрабатывающих машин с преимущественным влиянием профиля поля и ухода за растениями с преимущественным влиянием сил сопротивления.

Один из наиболее важных параметров, связанный с работой агрегата, – вождение. При этом отклонения от предыдущей борозды должны быть в пределах 5 см.

Движение агрегата по полю осуществляется по траектории $f(x,t)$ (рис. 4). Точка 3 агрегата нахо-

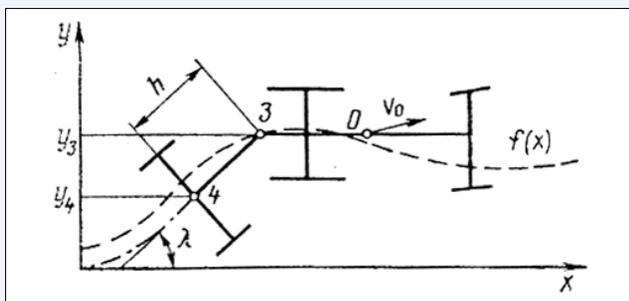


Рис. 4. Схема траектории движения агрегата

дится на траектории его кинематического центра – директрисе траектории движения $f(x,t)$, а точка 4 перемещается по трактрисе.

Между двумя этими траекториями существует геометрическая зависимость:

$$\sin \lambda = [f(x,t) - y_4] = (y_3 - y_4) / h, \quad (1)$$

где h – расстояние между точкой прицепа и кинематическим центром машины, а:

$$\operatorname{tg} \lambda = \sin \lambda / (1 - \sin^2 \lambda). \quad (2)$$

Выразив $\sin \lambda$ из уравнения (2) и определив y_4 из выражения (1), после преобразований получим нелинейное дифференциальное уравнение первого порядка взаимосвязи программного движения $f(x,t)$ с конструктивным параметром h при движении точки 4 по трактрисе:

$$yh^2 - y^2 (f(x,t) - y)^2 - (f(x,t) - y)^2 = 0. \quad (3)$$

Общее решение уравнения (3) зависит от траектории движения, которая в свою очередь определяется программой движения.

Следует отметить, что время, необходимое на выравнивание курсовой траектории, зависит от длины сельхозагрегата (трактор + орудие). Экспериментальные исследования показали, что при движении мобильного агрегата в зависимости от выполняемой операции на него влияют случайные возмущающие воздействия основных колебаний с периодом 100-200 м, амплитудой ≈ 5 м и фазовых колебаний с периодом 17-30 м и амплитудой $\approx 0,1$ м, возникающих от изменения удельного сопротивления почвы, ширины захвата и глубины отработки. В связи с этим при создании систем автоматического управления необходимо учитывать случайный характер воздействий и эргодинамичность реализации этих воздействий.

Синтез по созданию бортового компьютера – результат сотрудничества ВИМ, ВГТЗ и ОАО «НИИ КП».

Мировые ведущие компании выпускают управляемые тракторы и комбайны, оснащенные электронными измерительными средствами и гидравлическими исполнительными устройствами, разработанными специализированными фирмами, ввиду чего резко упрощается создание промышленных систем управления. Это позволяет разрабатывать унифицированные системы управления и обеспечивать их специализированными программными средствами.

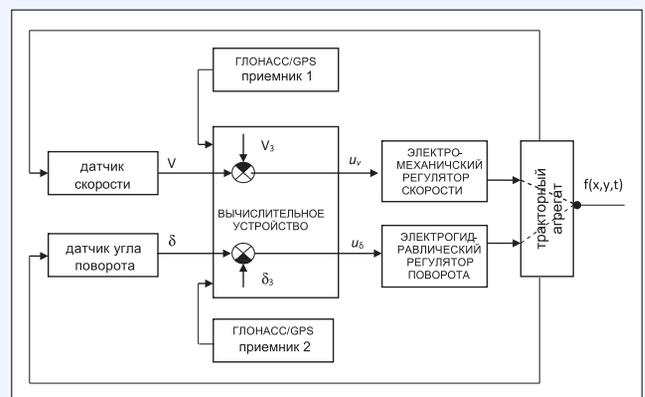


Рис. 5. Структурная схема системы управления агрегатом с использованием навигационных систем

Структурная схема системы управления агрегатом с использованием навигационных систем, представлена на *рисунке 5*.

Выводы. Синтез систем управления, начиная с алгоритма и программного обеспечения, позволяет в короткое время создать комплексную систему

управления энергетическими, технологическими и эксплуатационными процессами и при необходимости в соответствии с потребностями расширять функциональные возможности средств управления, как это показано на *рис. 5*.

Литература

1. Измайлов А.Ю., Артюшин А.А., Бисенов Г.С. Перспективы использования навигационных систем ГЛОНАСС/GPS при транспортном обеспечении сельскохозяйственных организаций // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 2. – С. 16-20.

2. Измайлов А.Ю., Фалеев А.П., Ксенофонов 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.-практ. (техн.) конф. Ч. 2. – М.: ВИМ, 2012. – С. 602-610.

3. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А. и др. К вопросу применения новых наноматериалов для рабочих органов почвообрабатывающих машин // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сб. докл. XII Междунар. науч.-практ. (техн.) конф. Ч.2. – М.: ВИМ, 2012. – С. 229-235.

4. Хорошенков В.К., Гончаров Н.Т., Фалеев А.П., Лужнова Е.С. Синтез оптимальной системы управления энергетическими и эксплуа-

тационными параметрами с/х МТА // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сб. докл. XII Междунар. науч.-практ. (техн.) конф. Ч. 2. – М.: ВИМ, 2012. – С.641-946.

5. Артюшин А.А., Смирнов И.Г. Научно-техническое обеспечение применения ГЛОНАСС в сельскохозяйственном производстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 1. – С. 8-11.

6. Личман Г.И., Марченко А.Н., Белых С.А. Размещение приемника сигналов ГЛОНАСС/GPS на агрегате // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 1. – С. 7-9.

7. Шаповалова Л.Н., Хорошенков В.К. Синтез многосвязной системы управления: Сб. докл. XII Междунар. науч.-практ. (техн.) конф. Ч. 2. – М.: ВИМ, 2012. – С. 619-626

8. Елизаров В.П., Гончаров Н.Т., Хорошенков В.К. и др. Способы решения электронного управления электроприводом дозатора селекционных посевных машин // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сб. докл. XI Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. – М.: ВИМ, 2010. – С. 317-325.

References

1. Izmaylov A.Yu., Artyushin A.A., Bisenov G.S. Perspektivy ispol'zovaniya navigatsionnykh sistem GLONASS/GPS pri transportnom obespechenii sel'skokhozyaystvennykh organizatsiy [Prospects of GLONASS/GPS navigation systems use at transport support of the agricultural enterprises]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2013. No. 2. pp. 16-20 (Russian).

2. Izmaylov A.Yu., Faleev A.P., Ksenofontov N.P. Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya dlya sozdaniya robotizirovannykh tekhnologiy v rasteniyevodstve [Automated control systems for the creation of robotic technologies in crop production]. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sb. dokl. XII Mezhdunar. nauch.-prakt. (tekhn.) konf. Ch. 2. Moscow: VIM, 2012. pp. 602-610 (Russian).

nauch.-prakt. (tekhn.) konf. Ch. 2. Moscow: VIM, 2012. pp. 602-610 (Russian).

3. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A. i dr. K voprosu primeneniya novykh nanomaterialov dlya rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Revised use of new nanomaterials for working tools of soil-cultivating machines]. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sb. dokl. XII Mezhdunar. nauch.-prakt. (tekhn.) konf. Ch. 2. Moscow: VIM, 2012. pp. 229-235 (Russian).

4. Khoroshenkov V.K., Goncharov N.T., Faleev A.P., Luzhnova E.S. Sintez optimal'noy sistemy upravleniya energeticheskimi i ekspluatatsionnymi parametrami s/kh MTA [Synthesis of an optimal control system by energy and operational parameters of agricultural MTA]. Modernizatsiya sel'skokho-

zyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologii i avtomatizirovannykh sistem: Sb. dokl. XII Mezhdunar. nauch.-prakt. (tekhn.) konf. Ch. 2. Moscow: VIM, 2012. pp. 641-946 (Russian).

5. Artyushin A.A., Smirnov I.G. Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie primeneniya GLONASS v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Scientific and technical support of GLONASS application in agricultural production]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2015. No. 1. pp. 8-11 (Russian).

6. Lichman G.I., Marchenko A.N., Belykh S.A. Razmeshchenie priemnika signalov GLONASS/GPS na agregate [Placement of receiver GLONASS/GPS on the unit]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2014. No. 1. pp. 7-9 (Russian).

7. Shapovalova L.N., Khoroshenkov V.K. Sintez mnogosvyaznoy sistemy upravleniya [Synthesis of multivariable control system]: Sb. dokl. XII Mezhdunar. nauch.-prakt. (tekhn.) konf. Ch. 2. Moscow: VIM, 2012. pp. 619-626 (Russian).

8. Elizarov V.P., Goncharov N.T., Khoroshenkov V.K. i dr. Sposoby resheniya elektronnoy upravleniya elektroprivodom dozatora selektsionnykh posevnykh mashin [Ways of the solution of electronic control by the electric driver of the doser of selection sowing machines]. Avtomatizatsiya i informatsionnoe obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve: Sb. dokl. XI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ch. 1. Moscow: VIM, 2010. pp. 317-325 (Russian).

CONTROL OF AGRICULTURAL MOBILE UNITS WITH USE OF THE GLONASS/GPS NAVIGATION SYSTEM

A.Yu.Izmaylov, member of the RAS, **V.K.Khoroshenkov**, Cand.Sc.(Eng.), **E.S.Luzhnova**, researcher
All-Russian Research Institute of Mechanization for Agriculture, e-mail: vim-avt@rambler.ru, Moscow, Russian Federation

Agricultural machine and tractor units operate in the conditions of the variable action caused by the numerous disturbance having casual character. In this regard optimization of unit operating modes at disturbance stochastic nature is necessary. The problems of control of the agricultural unit (AU) solved by means of electronics subtending existence of universal system of receiving and use of information display. It was showed that at processes control automation proceeding at AU operation the following problems are solved: regulation of position of working tools of mounted and trailing machines, norms and uniformity of agricultural materials application into the soil on width of capture and depth depending on movement speed; automation of power transmission of AU; regulation of engine load; control of technological, power and operational parameters, including automation of MTA driving. The modern AU control system was synthesized. Several program levels were allocated in structure of AU control and management. It was showed that at the first level direct control of the unit in really measured parameters is exercised. The second level connects operations of control of the operated systems. Optimization procedures belong to the third level. Driving is one of the important parameters connected with unit operation. Established that at the mobile unit movement it is influenced by the casual disturbance of the fundamental (with the period of 100-200 m, with an amplitude of 5 m) and phase (the period of 17-30 m and amplitude – 0,1 m) oscillations resulting from variation of specific soil drag, width of capture and cultivation depth. It was proved that at creation of automatic control systems of it is necessary to consider casual character and ergonomics of disturbance.

Keywords: Automatic control system; Machine-tractor unit; Technological and operational processes; Optimization of operating modes; Navigation system GLONASS/GPS.

