

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

SIMULATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF TILLAGE UNITS

С.Г. ПАРХОМЕНКО¹, к.т.н.
Г.Г. ПАРХОМЕНКО², к.т.н.

¹ Азово-Черноморский инженерный институт
Донского государственного аграрного университета,
г. Зерноград, Россия, s-parkhom@mail.ru

² Северо-Кавказский научно-исследовательский
институт механизации и электрификации
сельского хозяйства, г. Зерноград, Россия,
parkhomenko.galya@yandex.ru

S.G. PARKHOMENKO¹, PhD in Engineering
G.G. PARKHOMENKO², PhD in Engineering

¹ Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian
University, Zernograd, Russia, s-parkhom@mail.ru

² North Caucasian Scientific Research Institute
of Agriculture Engineering and Electrification, Zernograd,
Russia, parkhomenko.galya@yandex.ru)

Исследования выполнены с целью совершенствования рабочего процесса гидравлических следящих систем почвообрабатывающих агрегатов. Качество обработки почвы не должно ухудшаться. Рабочие органы почвообрабатывающих машин должны перемещаться автоматически. Автоматические устройства можно разделить на две группы: прямого и непрямого действия. Предпочтительнее не прямое действие. В статье представлен анализ автоматических устройств, применяемых в машинах для обработки почвы. Следящие системы могут быть гидравлическими, электрогидравлическими и пневматическими. Механические системы не являются эффективными. Гидравлические системы дешевле электрических и пневматических. Они обеспечивают лучшие энергетические и качественные показатели технологического процесса обработки почвы. Следящие системы используют датчики силы тяги, положения навески, глубины обработки, скорости, ускорения и др. Разработан метод компьютерного моделирования и оптимизации гидравлических следящих систем почвообрабатывающих агрегатов. Результаты компьютерного моделирования гидравлических следящих систем помогают выбрать направление улучшения качественных и энергетических показателей технологического процесса обработки почвы.

Оптимизированная комбинированная следяще-силовая система автоматического регулирования пахотного агрегата позволяет значительно снизить колебания тягового сопротивления плуга; отклонения глубины вспашки находятся в пределах агротехнических требований. Отклонение тягового сопротивления снижено до 13,5 % при неравномерности удельного сопротивления почвы 20 %, при глубине вспашки – 0,21 м, отклонении глубины вспашки – 0,019 м (9 %). Неравномерность глубины вспашки может быть снижена до 0,01 м (4,8 %), но возрастет до 16,2 % неравномерность тягового сопротивления.

Оптимизированная гидравлическая система автоматического регулирования садовой почвообрабатывающей машины с трапецидальным механизмом позволяет уменьшить необработанную площадь почвы в 1,37–1,46 раз.

Ключевые слова: гидравлическая следящая система, тяговое сопротивление, глубина обработки, оптимизация, показатели технологического процесса, почвообрабатывающий агрегат.

The studies were performed to improve workflow of hydraulic automatic control systems of the tillage units. Tillage quality should not deteriorate. Working bodies of tillage machines have to be moved automatically. Automated devices can be separated into two groups: direct and indirect action. It is preferable to indirect action. The article presents analysis of automatic devices used into tillage machines. Automatic control systems can be hydraulic, electro-hydraulic and pneumatic. Mechanical systems are not effective. Hydraulic systems are cheaper electric and pneumatic. They provide best of energy and quality indicators of technological process of tillage. Automatic control systems are uses draft forces, hitch position, depth of the implement, speed, acceleration and other sensors.

Method of computer modeling and optimization of hydraulic automatic control systems of tillage units was developed. Results of computer modeling of hydraulic automatic control systems help to select direction of improving quality and energy indicators of technological process of tillage.

Optimized combine implement depth and draft control system of arable unit allow reducing deviation the draft force of the plow; deviation of the depth of plowing is equal to or smaller than agro-technical requirements. Deviation of the draft force was decreased to 13.5 % for deviation specific soil resistance – 20 %, depth of plowing – 0.21 m, deviation of the depth of plowing – 0.019 m (9 %). Deviation of the depth of plowing may be decreased to 0.010 m (4,8 %), but deviation of the draft force shall be increased up to 16.2%.

Optimized hydraulic automatic control system of garden tiller with a trapezoidal mechanism leaves smaller untreated soil area from 1.37–1.46 times.

Keywords: hydraulic automatic control system, draft force, implement depth, optimization, indicators of technological process, tillage unit.

Введение

Известно, что простая механизация обработки почвы при непосредственном ручном управлении рабочими органами или с использованием сервопривода не дает экономического эффекта, поскольку при этом невозможно обеспечить высокую производительность агрегата из-за естественного физического предела операторов. При этом управление связано с работой человека, находящегося, как правило, непосредственно на агрегате в условиях запыленности, повышенной вибрации и высокой вероятности несчастного случая. В связи с этим управление целесообразно осуществлять автоматически.

Все автоматические устройства можно разделить на две группы: прямого и непрямого (косвенного) действия.

В устройствах прямого действия управление осуществляется непосредственно за счет реакции объекта на обрабатываемую среду [1, 2].

В устройствах непрямого (косвенного) действия перемещение объекта управления осуществляется за счет энергии, подводимой извне, источником которой в общем случае является двигатель трактора. Подобное управление осуществляется чувствительным элементом, взаимодействующим непосредственно с обрабатываемой средой. В устройствах непрямого действия чувствительный элемент оказывает определенное силовое воздействие на обрабатываемую среду, исключая повреждение или нарушение ее свойств.

Автоматические устройства непрямого действия по виду алгоритма функционирования могут быть программными, астатическими и следящими.

Механические устройства по виду алгоритма функционирования являются программными. При получении сигнала от обрабатываемой среды срабатывает пусковое (или спусковое) устройство, затем исполнительный механизм с объектом управления совершает заранее predetermined движение с постоянными параметрами, далее возвращается в исходное положение и находится в нем до получения следующего сигнала [1, 2].

Основным недостатком программных устройств является отсутствие в них позиционного соответствия между положениями объекта управления и чувствительного элемента: если по какой-либо причине началось движение, то оно должно полностью завершиться.

Механический привод не пригоден, поскольку:

- требуются большие усилия на его включение, что вызывает недопустимо сильное воздействие на обрабатываемую среду;
- значительная инерционность привода заставляет снижать рабочие скорости;
- конструкция устройства содержит значительное количество звеньев и поэтому очень сложна.

Гидравлические устройства не имеют данных недостатков. Их основными достоинствами являются следующие:

- малые усилия при включении исполнительных механизмов;
- возможность получения больших исполнительных усилий;
- простота устройства, малый вес на единицу мощности;
- малые перемещения щупа;
- малая инерционность привода позволяет применять достаточно высокие скорости движения агрегата.

Наряду с достоинствами, у гидравлических устройств отмечен ряд недостатков [2]. К ним относятся: возможность утечки жидкости, изменение характеристик привода из-за изменения вязкости жидкости от температуры, чувствительность к загрязнениям рабочей среды и т.д. Однако эти недостатки не снижают функциональных преимуществ гидравлических устройств.

У астатических устройств, как и у программных, не существует однозначного статического соответствия между положениями чувствительного элемента и объекта управления.

Характер и параметры движения объекта управления не могут быть заданы заранее, они непрерывно изменяются при движении в существенных пределах. Таким образом, технологический процесс нецелесообразно осуществлять по заранее установленному жесткому закону его перемещений, когда управляемая величина независимо от режима работы объекта сохраняет постоянное значение, т.е. в астатическом режиме.

Поэтому необходимо устройство, осуществляющее слежение, т.е. управление объектом производится в соответствии с задающим воздействием, содержащим текущую информацию о взаимодействии с обрабатываемой средой.

Следящие устройства характеризуются наличием обратной связи. Наличие отрицательной обратной связи по регулируемым параметрам, к которым относят положение объекта управления или его производные (скорость, ускорение), является характерным признаком следящего устройства. Отрицательная обратная связь уменьшает суммарное воздействие звеньев автоматического устройства, связанных обратной связью.

Следящие системы используют датчики силы тяги, положения навески трактора, глубины обработки, скорости, ускорения и др.

Следящие устройства по типу исполнительного механизма могут быть гидравлическими, электрогидравлическими и пневматическими.

Гидравлические устройства обладают преимуществами по сравнению с электрическими и пневматическими. Гидравлические устройства имеют более высокую удельную энергонасыщенность. Вес гидравлических элементов благодаря высокой энергонасыщенности в 7–10 раз меньше веса электрических элементов той же мощности. Гидравлические устройства также обеспечивают большую жесткость передачи движения, что весьма важно для улучшения динамики системы в целом. Запаздывание движения исполнительного механизма может возникнуть лишь вследствие сжимаемости жидкости, не превышающей 0,6 %, а также из-за ее утечек и податливости трубопроводов. В то же время связь поршня с газом в пневматических устройствах и якоря с магнитными полями в электрических весьма упругая и податливая [2].

Малая инерционность подвижных звеньев гидравлических следящих устройств обуславливает их высокое быстродействие. Скорость распространения гидравлического импульса велика, поэтому при расчетах точности и чувствительности устройства можно пренебречь погрешностью, связанной с запаздыванием передачи импульса давления.

К достоинствам гидравлических устройств следует отнести также возможность их использования в любую погоду, поэтому они нашли широкое распространение в автоматических устройствах мобильных сельскохозяйственных агрегатов, часто работающих при неблагоприятных погодных условиях. Немаловажным фактором, способствующим этому, является также наличие на тракторе источника гидравлической энергии, который позволяет

использовать до 30 % всей мощности двигателя. Поэтому гидравлические автоматические устройства значительно дешевле электрических и пневматических, для работы которых необходима установка соответствующих источников.

В конструкциях современных мобильных сельскохозяйственных агрегатов предусмотрены различные способы регулирования качественных и энергетических показателей технологических процессов: силовой, позиционно-силовой и следяще-силовой.

Цель системы силового регулирования – стабилизация тягового сопротивления агрегируемых с трактором навесных почвообрабатывающих машин. Это достигается за счет изменения глубины хода их рабочих органов. Однако улучшение технико-эксплуатационных показателей машинно-тракторного агрегата (стабилизация загрузки и повышение топливной экономичности двигателя, снижение буксования и повышение рабочей скорости трактора, т.е. повышение производительности агрегата) зачастую происходит с нарушением агротехнических требований на допускаемые отклонения действительной глубины обработки почвы от заданной.

Требования стабилизации тягового сопротивления почвообрабатывающей машины и обеспечения постоянства глубины обработки почвы по своей сути противоречивы, поэтому в реальных условиях эксплуатации, особенно на полях с переменным удельным сопротивлением почвы, необходимо компромиссное решение: применение силового регулирования ограниченной эффективности, чтобы отклонения глубины обработки не превышали заданных допусков.

При позиционно-силовом способе уменьшается диапазон перемещения машины относительно трактора, а при следяще-силовом используется дополнительное автоматическое следящее управление качественными и энергетическими показателями технологических процессов.

Применение позиционно-силового регулирования в некоторых случаях приводит к некоторому улучшению качества технологического процесса, но при этом ухудшаются энергетические показатели. Принципиальные недостатки позиционно-силового способа регулирования существенно ограничивают случаи его эффективного применения.

Следяще-силовое регулирование позволит устранить эти недостатки, но только на основе оптимизации параметров.

Цель исследований

Исследования выполнены с целью совершенствования рабочего процесса гидравлических следящих систем машинно-тракторных агрегатов для обработки почвы.

Материалы и методы

Параметрическая оптимизация системы автоматического регулирования (САР) выполнена в программном комплексе «МВТУ», разработанном в МГТУ им. Н.Э. Баумана [3, 4].

Рассмотрим компьютерное моделирование следяще-силовой САР на примере пахотного агрегата МТЗ-80 и ПН-3-35 [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

Комбинированная следяще-силовая САР включает контур силового регулирования и контур следящего регулирования глубины обработки (рис. 1).

Звенья САР на структурной схеме объединены в макроблоки: «Усилительный орган», «Исполнительный орган», «Возмущающее воздействие», «Объект регулирования», «Блок оценки значений глубины вспашки и тягового сопротивления» [8, 9, 10, 11].

В качестве чувствительного элемента силовой САР («Воспринимающий орган» в Главной Обратной Связи (ГОС)) использован пружинный силовой датчик тягового сопротивления навесной машины, который имеет статическую нелинейность типа «Зазор». Сигнал от датчика поступает на «Сумматор № 1» через усиленное безынерционное звено с коэффициентом усиления $K_{сил}$ [8, 9, 10, 11].

Чувствительным элементом следящей САР является усиленное безынерционное звено с коэффициентом усиления $K_{след}$ в ГОС следящей САР, сигнал с которого также поступает на «Сумматор № 1» [8, 9, 10, 11].

Величиной коэффициентов $K_{след}$ и $K_{сил}$ задается интенсивность каждого контура регулирования в следяще-силовой САР.

Результирующий сигнал $X_{ГОС}$ с «Сумматора № 1» поступает (рис. 1) по Главной Обратной Связи следяще-силовой САР (ГОС САР) на «Сравнивающий орган»:

$$X_{ГОС} = K_{след} \cdot a + K_{сил} \cdot X_R = (k_{нач} - \delta k) \cdot a + (k_{нач} + \delta k) \cdot X_R, \quad (1)$$

где $K_{след}$ – коэффициент усиления ГОС следящей САР; $K_{сил}$ – коэффициент усиления ГОС силовой САР; $k_{нач}$ – начальное значение ко-

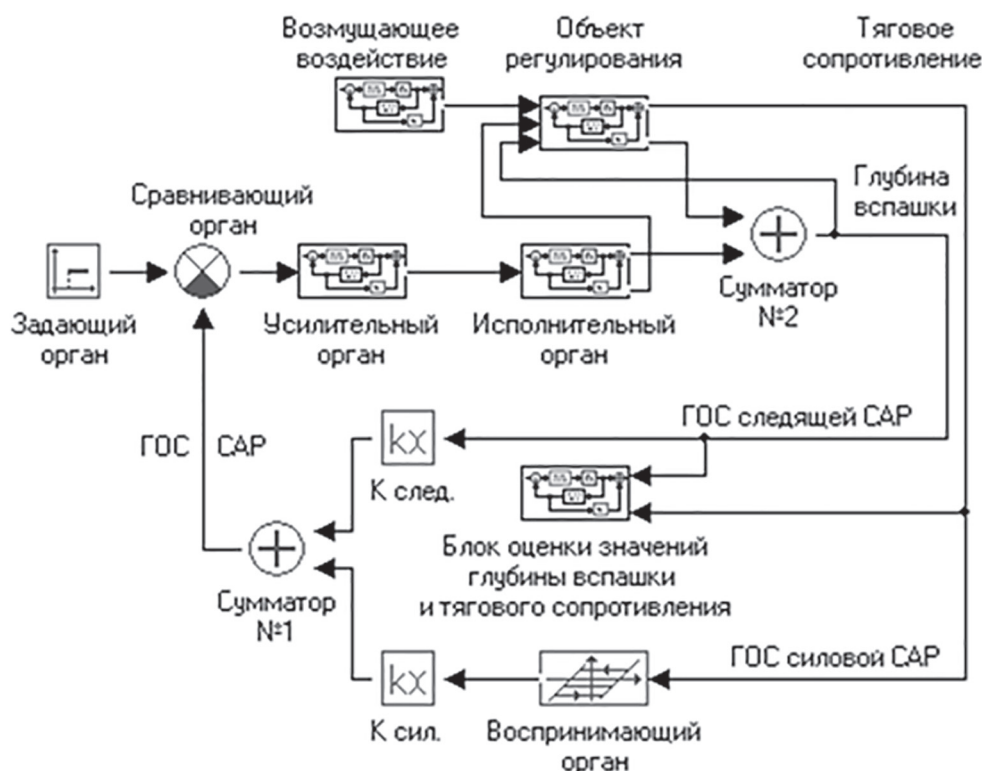


Рис. 1. Структурная схема следяще-силовой САР агрегата МТЗ-80 и ПН-3-35

эффицентов усиления; δk – коэффициент, определяющий долю следящего и силового сигналов в ГОС следяще-силовой САР; a – глубина вспашки (выход «Сумматора № 2»); X_R – сигнал от датчика тягового сопротивления (выход звена «Воспринимающий орган»).

Имеющееся в системе рассогласование (выход звена «Сравнивающий орган») между сигналами от «Задающего органа» и ГОС САР (формула (1)) передается на «Усилительный орган».

На объект регулирования (трактор с навешенной машиной) поступают регулирующие воздействия САР: подъем или опускание навесной системы трактора. При изменении угловой скорости относительного вращательного движения навесной системы с машиной возникают динамические воздействия на трактор, от которых происходят продольно-угловые колебания трактора на пневматических колесах, что приводит к неравномерности глубины хода и нестабильности тягового сопротивления рабочих органов машины [5, 10, 11].

Суммарные изменения глубины хода рабочих органов навешенного на трактор плуга (выход «Сумматора № 2», рис. 1) происходят при подъеме или опускании плуга относительно трактора (выход макроблока «Исполнительный орган») и из-за продольно-угловых колебаний трактора вместе с плугом (выход макроблока «Объект регулирования»).

Изменение тягового сопротивления плуга вызывает изменение скорости движения трактора МТЗ-80.

Тяговое сопротивление навесного плуга на горизонтальном участке поля определяется по формуле [5, 10, 11]:

$$R = K_0 \cdot B \cdot a \cdot \left[1 + (V_p - V_0) \cdot \frac{\Delta c}{100} \right] + m \cdot \frac{dV_p}{dt}, \quad (2)$$

где K_0 – удельное сопротивление почвы, кПа, при начальной скорости движения V_0 , равной 5 км/ч; B – ширина захвата плуга, м; a – глубина обработки почвы, м; V_p – рабочая скорость движения агрегата, км/ч; Δc – изменение удельного сопротивления в % при изменении скорости движения на 1 км/ч от начальной V_0 ; m – масса плуга с почвой, находящейся на рабочих органах, т; t – текущее время, с.

В программном комплексе «МВТУ» предусмотрен режим параметрической оптимизации САР по характеристикам переходных процессов при ступенчатых входных воздействиях.

Это позволяет обосновать в отдельности для каждого контура САР требуемые показатели регулирования, в частности определить значения критических коэффициентов усиления следящего $K_{\text{след}}$ и силового $K_{\text{сил}}$ контуров, что необходимо для последующей параметрической оптимизации следяще-силовой САР. Значительно информативнее оптимизация САР по критерию допускаемой неравномерности глубины вспашки при достаточной эффективности силового регулирования. Для этого предлагается проводить оптимизацию при некоторых периодических детерминированных возмущающих воздействиях, например при «Треугольном воздействии», которое менее абстрагировано от реальных полевых условий работы, чем «Ступенчатое воздействие». В макроблоке «Возмущающее воздействие» формируется симметричное (относительно нуля) треугольное воздействие (изменение удельного сопротивления почвы с неравномерностью 10 кПа).

Для анализа качества автоматического регулирования и определения значений критериев параметрической оптимизации разработан макроблок «Блок оценки значений глубины вспашки и тягового сопротивления» (рис. 2). В макроблоке «Блок оценки значений глубины вспашки и тягового сопротивления» блоки MAX и MIN запоминают и выдают на входы звеньев «Новый» блок № 1 и «Новый» блок № 2 максимальные и минимальные значения глубины вспашки и тягового сопротивления (формула (2)), зафиксированные в процессе моделирования на данный момент времени.

Звенья «Ключ – 5Т» реализуют алгоритм управляемого ключа:

$$y(t) = Y_0, \text{ если } t < T_0; y(t) = x(t), \text{ если } t \geq T_0;$$

где $x(t)$ и $y(t)$ – входной и выходной сигналы; T_0 – время «замыкания» входа и выхода; Y_0 – выходной сигнал при времени, меньшем T_0 .

Эти ключи установлены перед звеньями MIN для определения минимальных значений в установившемся режиме колебаний после окончания переходных процессов с нулевыми начальными условиями. В данном случае принято $T_0 = 2$ с. Величины Y_0 заданы заведомо больше минимальных (0,3 м – по глубине и 15 кН – по тяговому сопротивлению), чтобы исключить их из анализа.

Средние значения, неравномерность и относительная неравномерность глубины вспашки и тягового сопротивления вычисляются по оди-

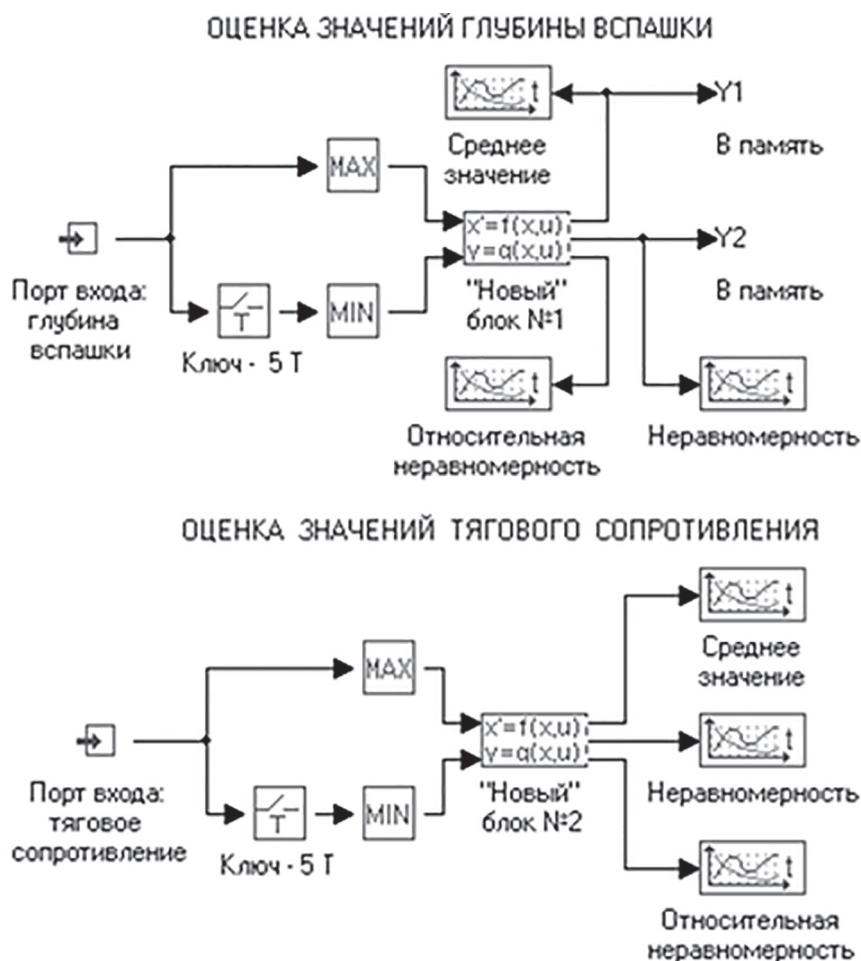


Рис. 2. Макроблок «Блок оценки значений качественных и энергетических показателей технологического процесса: глубины вспашки и тягового сопротивления»

наковым алгоритмам соответственно в блоках: «Новый» блок № 1 и «Новый» блок № 2.

Формат записи в «Новом» блоке № 1:

```
input aw, an; {входные сигналы: максимальный
и минимальный}
as=(aw+an)/2; {вычисление среднего значения}
da=aw-an; {вычисление неравномерности}
Da=(da/(as+0.000001))*100; {вычисление относительной
неравномерности в %
(число 0.000001 введено для исключения деления на 0)}
bb=time-8; {начало установившегося режима:
через 8 сек}
a1as=0; a2as=0; a3as=as;
dd1=if(bb, a1as, a2as, a3as); {среднее значение}
a1da=0; a2da=0; a3da=da;
dd2=if(bb, a1da, a2da, a3da); {неравномерность}
a1Da=0; a2Da=0; a3Da=Da;
dd3=if(bb, a1Da, a2Da, a3Da); {относительная
неравномерность, %}
output dd1, dd2, dd3; {выходные сигналы}
```

Параметрическая оптимизация проведена при отсутствии возмущающих воздействий от неровностей поля на объект регулирования, т.е. для варианта работы пахотного агрегата на поле с ровной поверхностью. Такая абстракция необходима для последовательного поэтапного анализа при оптимизации параметров САР.

В качестве критерия оптимизации принята неравномерность средней глубины вспашки, значения которой из «Нового» блока № 1 занесены в память (блоки «В память»: Y1 и Y2). Параметр оптимизации – коэффициент δk (формула (1)), определяющий долю силового и следящего сигналов в ГОС САР.

Метод оптимизации: «Поиск 2». При оптимизации задавались граничные значения оптимизируемого параметра: $\{MIN(\delta k) = 0\}$; $\{MAX(\delta k) = 1,35\}$ и критериев оптимизации: $\{MIN(Y1) = 0,2; MAX(Y1) = 0,21\}$ и $\{MIN(Y2) = 0,018; MAX(Y2) = 0,02\}$.

Также выполнены исследования на ПЭВМ с помощью ПК «МВТУ» (рис. 3) рабочего процесса гидравлического следящего устройства машины для обработки почвы в рядах садов и виноградников, имеющей четырехзвенный механизм для перемещения рабочего органа при обходе штамба. Трапецеидальный механизм разработан на основе синтеза четырехзвенных механизмов: параллелограммного, механизма подъемного крана и механизма культиватора Н-7 фирмы Holder (Германия) [12, 13].

Своевременный отвод рабочего органа обеспечивается при упреждающем переводе золотника гидрораспределителя из нейтрального положения в позицию максимальной подачи масла в гидроцилиндр. Для этого шуп специальной формы установлен впереди рабочего органа на необходимом расстоянии, которое зависит от скорости движения агрегата и от размеров защитной зоны.

Моделирование следящей системы проведено в режиме параметрической оптимизации. Оптимизируемый параметр – коэффициент передачи воспринимающего органа. Критерии оптимизации: минимальное перерегулирова-

ние и минимальная ошибка следящей системы при обходе штамба дерева.

В следящей системе имеется нелинейный объект регулирования – безынерционное звено с переменными коэффициентами передачи, которые обусловлены кинематикой механизма перемещения рабочего органа. Математическая модель объекта регулирования записана в «Новый» блок (7, рис. 3). Задающий орган – «Новый» блок (1, рис. 3) формирует входной сигнал САР $X_{вх}(t)$ из сигналов: «ступенька» и «дуга окружности» (граница защитной зоны) (1, рис. 4).

Результаты и их обсуждение

Для следяще-силовой САР пахотного агрегата МТЗ-80 и ПН-3-35 получено оптимальное значение коэффициента $\delta k = 1,17$; оптимальные коэффициенты усиления в ГОС следящей и силовой САР соответственно равны: $K_{след} = 0,18$ и $K_{сил} = 2,52$.

Моделированием доказано, что такая схема следяще-силовой САР обеспечивает выполнение агротехнических требований на максимально допустимое (не больше 2 см) от-

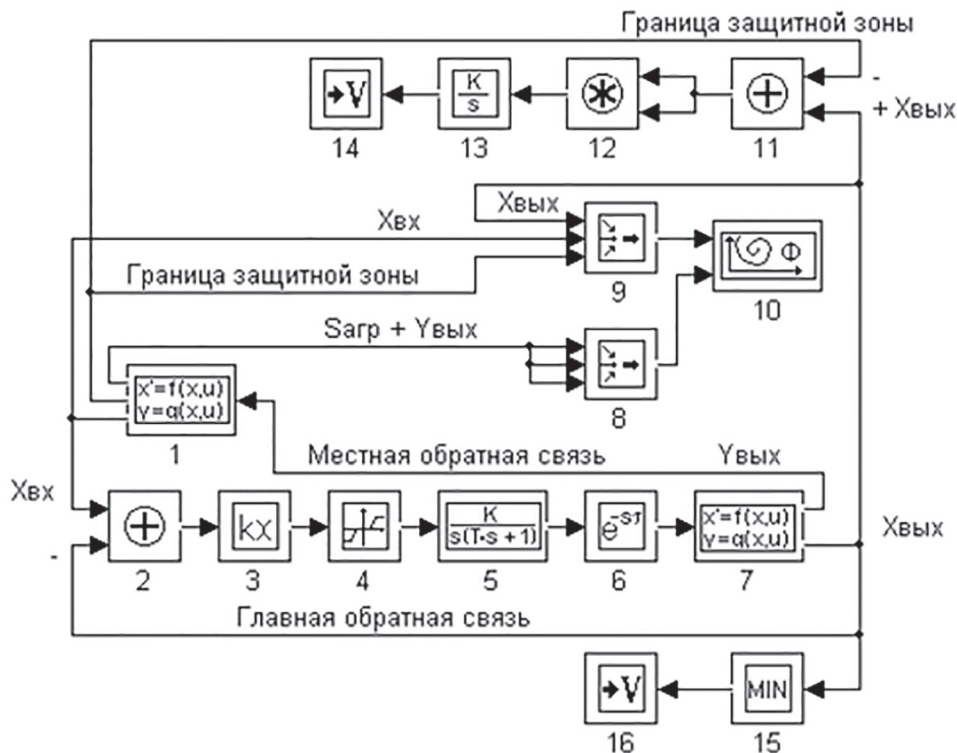


Рис. 3. Структурная схема следящего устройства садовой почвообрабатывающей машины в ПК «МВТУ»:

- 1 – задающий орган; 2 – сравнивающий орган; 3 – воспринимающий орган; 4 – усилительный орган;
- 5, 6 – исполнительный орган; 7 – объект регулирования; 8, 9, 10 – блоки для построения графиков;
- 11, 12, 13, 14, 15, 16 – блоки для параметрической оптимизации САР

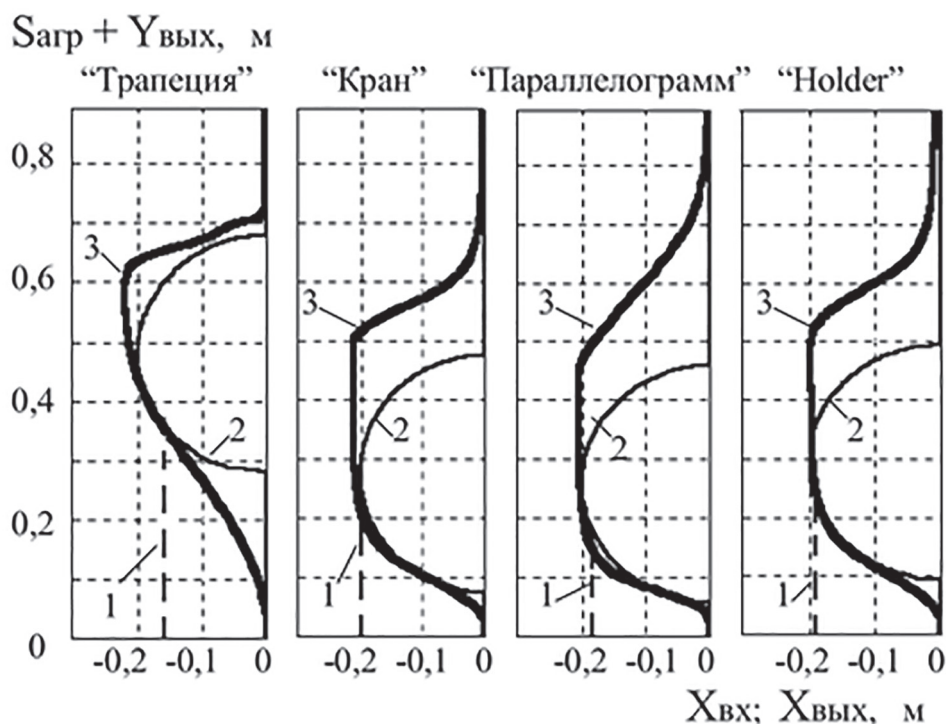


Рис. 4. Форма защитной зоны при работе четырехзвенных механизмов садовой почвообрабатывающей машины: 1 – вход САР; 2 – граница защитной зоны; 3 – выход САР

клонение глубины вспашки от заданной. При средней глубине 0,21 м неравномерность составила 0,019 м (относительная неравномерность 9 %).

Эффект силового регулирования проявился в стабилизации тягового сопротивления: при неравномерности удельного сопротивления почвы 20 % неравномерность тягового сопротивления снижена до 13,5 %.

При дальнейшем сокращении доли силового регулирования и увеличении эффективности следящей САР ($\delta k = 0,72$; $K_{след} = 0,63$; $K_{сил} = 2,07$) неравномерность глубины снижена до 0,01 м (4,8 %) за счет возросшей до 16,2 % неравномерности тягового сопротивления.

В результате исследований установлено, что САР с трапецидальным механизмом («трапеция», рис. 4) перемещения рабочего органа садовой почвообрабатывающей машины имеет существенно меньшую ошибку слежения, оставляет наименьшую необработанную площадь почвы за пределами заданной защитной зоны около штамба. Другие системы оставляют необработанную площадь в 1,37–1,46 раза больше [12, 13].

Выводы

Таким образом, по результатам компьютерного моделирования следящих САР для

конкретных условий работы в зависимости от поставленных задач можно выбрать наиболее подходящие варианты улучшения качественных и энергетических показателей технологического процесса почвообрабатывающих агрегатов.

Комбинированная следяще-силовая САР с оптимизированными параметрами позволяет значительно снизить колебания тягового сопротивления плуга при отклонении глубины вспашки от заданной в пределах агротехнических требований.

Оптимизированная САР садовой почвообрабатывающей машины позволяет значительно уменьшить необработанную площадь почвы за пределами заданной защитной зоны около штамба.

Литература

1. Думай Л.Б. Применение гидропривода для автоматизации рабочих процессов в почвообрабатывающих машинах при обработке виноградников и садов // Усовершенствование почвообрабатывающих машин: Материалы НТС ВИСХОМ. Москва, 1965. С. 150–165.
2. Пархоменко Г.Г. Совершенствование технологического процесса обработки почвы в рядах многолетних насаждений: дисс....канд. техн. наук. Зерноград. 2000. 156 с.

3. Системы автоматического регулирования: практикум по математическому моделированию / Б.А. Карташов, А.Б. Карташов, О.С. Козлов, Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко; под ред. Б.А. Карташова. Ростов на Дону: Феникс. 2015. 458 с.
4. Практикум по автоматике. Математическое моделирование систем автоматического регулирования / Б.А. Карташов, А.Б. Карташов, О.С. Козлов, Г.С. Пархоменко, С.Г. Пархоменко; под ред. Б.А. Карташова. Москва: КолосС. 2004. 184 с.
5. Пархоменко С.Г. Совершенствование функционирования МТА с колесным трактором класса 1,4 на основе оптимизации параметров пневматических шин: дисс. ... канд. техн. наук. Зерноград. 1999. 156 с.
6. Пархоменко Г.С., Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Расчет в MATHCAD рабочих режимов тягово-приводных машинно-тракторных агрегатов // Достижения науки – агропромышленному производству: Мат-лы 44-й междунар. науч. – техн. конф. Челябинского ГАУ. Челябинск. 2005. С. 271–275.
7. Пархоменко Г.С., Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Анализ рабочих режимов и расчет на ПЭВМ состава тяговых машинно-тракторных агрегатов // Мат-лы 42-й междунар. науч.-техн. конф. Челябинского ГАУ. Челябинск. 2003. С. 315–320.
8. Пархоменко Г.С., Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Моделирование на ПЭВМ по программному комплексу МВТУ усовершенствованной силовой САР трактора МТЗ – 80 // Мат-лы 43-й междунар. науч.-техн. конф. Челябинского ГАУ. Челябинск. 2004. С. 22–26.
9. Пархоменко Г.С., Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Моделирование на ПЭВМ следящей системы с нелинейным колебательным объектом регулирования // Мат-лы 45-й междунар. науч.-техн. конф. Челябинского ГАУ. Челябинск. 2006. С. 34–38.
10. Пархоменко Г.С., Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Методика параметрической оптимизации в программном комплексе «МВТУ» комбинированной следяще-силовой САР пахотного агрегата с трактором класса 1,4 // Совершенствование технических средств в растениеводстве. Межвузовский сб. науч. трудов. Зерноград: АЧГАА. 2010. С. 3–12.
11. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Параметрическая оптимизация комбинированной следяще-силовой системы автоматического регулирования пахотного агрегата // Повышение эффективности использования ре-сурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: сборник научных докладов междунар. науч.-практ. конф. Тамбов. 2015. С. 18–22.
12. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Теоретическое исследование механизмов перемещения рабочих органов для обработки почвы // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: Сб. науч. докладов междунар. научно-технич. конф. ФГБНУ ВИМ. 2015. С. 210–214.
13. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Повышение эксплуатационной надежности САР почвообрабатывающих машин // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 87–91.

References

1. Dumay L.B. Application of hydraulic drive for workflow automation of tillage machines for processing of vineyards and orchards. Usovershenstvovanie pochvoobrabatyvayushchikh mashin: Mat-ly NTS VISKhOM. [Improvement of tillage machines: Proc. of scientific-technical Council VISHOM]. Moscow. 1965, pp. 150–165 (in Russ.).
2. Parkhomenko G.G. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo protsessa obrabotki pochvy v ryadakh mnogoletnikh nasazhdeniy. Diss. kand. tekhn. nauk. [Improving the process of tillage in the ranks of perennial crops. PhD in Engineering thesis]. Zernograd. 2000. 156 p. (in Russ.).
3. Kartashov B.A., Kartashov A.B., Kozlov O.S., Parkhomenko G.S., Parkhomenko S.G. Sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya: praktikum po matematicheskomu modelirovaniyu. [Automatic control systems: workshop on mathematical modeling]. Rostov-on-Don, “Feniks” Publ. 2015. 458 p.
4. Kartashov B.A., Kartashov A.B., Kozlov O.S., Parkhomenko G.S., Parkhomenko S.G. Praktikum po avtomatike. Matematicheskoe modelirovanie sistem avtomaticheskogo regulirovaniya. [Workshop on automatic. Mathematical modeling of automatic control systems]. Moscow, “Koloss” Publ. 2004. 184 p.
5. Parkhomenko S.G. Sovershenstvovanie funktsionirovaniya MTA s kolesnym traktorom klassa 1,4 na osnove optimizatsii parametrov pnevmaticheskikh shin. Diss. kand. tekhn. nauk [Improvement of operation of machine-tractor unit with a wheel tractor of 1.4 class, based on the optimization of parameters of pneumatic tires. PhD in Engineering thesis]. Zernograd. 1999. 156 p. (in Russ.).

6. Parkhomenko G.S., Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Calculation in MATHCAD of operating modes of traction-drive machine-tractor units. Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu: Mat-ly 44-y mezhdunar. nauch. – tekhn. konf. Chelyabinskogo GAU [Advances in science - agricultural production: Proc. of 44 int. sci. and tech. conf. of Chelyabinsk State Agroengineering University]. Chelyabinsk. 2005, pp. 271–275 (in Russ.).
7. Parkhomenko G.S., Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Analysis of operating modes and calculation on PC of composition of traction tractor units. Mat-ly 42-y mezhdunar. nauch. – tekhn. konf. Chelyabinskogo GAU [Proc. of 42 int. sci. and tech. conf. of Chelyabinsk State Agroengineering University]. Chelyabinsk. 2003, pp. 315–320 (in Russ.).
8. Parkhomenko G.S., Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Modeling on PC for software complex MBTY advanced draft control system of tractor MTZ – 80. Mat-ly 43-y mezhdunar. nauch. – tekhn. konf. Chelyabinskogo GAU [Proc. of 43 int. sci. and tech. conf. of Chelyabinsk State Agroengineering University]. Chelyabinsk. 2004, pp. 22–26 (in Russ.).
9. Parkhomenko G.S., Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Modeling on PC of servo system with nonlinear os-cillatory object of regulation. Mat-ly 45-y mezhdunar. nauch. – tekhn. konf. Chelyabinskogo GAU [Proc. of 45 int. sci. and tech. conf. of Chelyabinsk State Agroengineering University]. Chelyabinsk. 2006, pp. 34–38 (in Russ.).
10. Parkhomenko G.S., Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Methodology of parametric optimization in the software package MBTY of combined implement depth and draft control system of arable unit with a tractor of 1,4 class. Sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv v rastenievodstve. Mezhdunar. sbornik nauchnykh trudov [Improvement of technical equipment in crop production. Interuniversity collection of scientific papers]. Zernograd. 2010, pp. 3–12 (in Russ.).
11. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Parametric optimization of a combined implement depth and draft control system of arable unit. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skokhozyaystvennoy produktsii – novye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rastenievodstva i zhivotnovodstva: Sbornik nauchnykh dokladov XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 23–24 sentyabrya 2015 goda, g. Tambov. [Improving the efficiency of resource use in the production of agricultural products – new technologies and a new generation of equipment for crops and livestock. Collection of scientific reports of XVIII Intern. scientific-practical. Conf., September 23–24, 2015, Tambov]. Tambov, R. V. Pershin publishing house. 2015, pp. 18–22. (in Russ.).
12. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Theoretical study of the mechanisms for moving of working bodies of tillage. Intellektual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sb. nauch. dokladov Mezhdunar. nauchno – tekhnich. konf. FGBNU VIM [Intelligent machine technology and machinery for the implementation of the State program of development of agriculture: Sat. scientific. reports Intern. scientific and Techn. Conf. FSBI VIM]. 2015, pp. 210–214 (in Russ.).
13. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Increasing the operational reliability of automatic control systems of tillage machines. Trudy GOSNITI [Proc. of the GOSNITI]. Moscow. 2016. Vol. 122, pp. 87–91 (in Russ.).