

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
ВОЖДЕНИЯ ПРОШАШНОГО ТРАКТОРА

Вождение представляет собой наиболее тяжелый процесс управления сельскохозяйственным агрегатом, обуславливающий основную часть психофизической нагрузки оператора. При ручном вождении колесного трактора на 6-м часу работы интенсивность управляющих воздействий опытного механизатора на рулевой механизм возрастает в 4,6 раза, на 9-м часу работы - в 8,6 раза, среднеквадратическая ошибка вождения увеличивается на 43%. Из-за этого рабочие скорости ряда агрегатов при ручном управлении не превышают 6 км/ч, в то время как по своим техническим параметрам эти машины могут работать при скоростях до 10 км/ч и более. В результате снижаются производительность и качество выполнения операций, увеличиваются потери урожая, ухудшаются условия труда механизатора.

В связи с этим возникает необходимость разработки и внедрения систем автоматического вождения (САВ) машинно-тракторных агрегатов. В БАТУ создана электрогидравлическая САВ трактора с гидрообъемным рулевым управлением при возделывании и уборке картофеля.

САВ содержит два щупа с копирующими катками, шарнирно установленных на раме, которая в свою очередь крепится к остоу трактора. Один из щупов жестко связан с рычагом, на конце которого установлен постоянный магнит, другой - с рычагом, на конце которого закреплен сектор с бесконтактными выключателями. Электрогидравлическая схема САВ содержит насосную установку трактора, электрогидрораспределитель, аккумуляторную батарею, гидроцилиндр обратной связи, гидроцилиндр управляемых колес с рулевым механизмом, гидроцилиндр подъема САВ в транспортное положение, маслострубопровод, рукава высокого давления и электрокабель.

Изменение направления движения объекта управления  $10'$  (см. рис.) происходит в соответствии с сигналом  $X' = X_1 + X_2$  чувствительного элемента I, возникающим вследствие отклонения щупов системы от траектории ориентации.  $Y_k = Y_6 - Y_0$ . Отклонение является управляющим и образуется в элементе сравнения II, где сопоставляется отклонение борозды  $Y_6$  в прямой цепи системы с отклонением объекта  $Y_0$  в цепи главной обратной связи.

Выходная величина чувствительного элемента  $X'$  сравнивается с сигналом  $X_2$  местной отрицательной обратной связи и в виде вход-

ного сигнала  $\Delta X$  передается на преобразователь 3. В результате замыкания контактов преобразователя напряжение  $U$  поступает на катушку электромагнита 4, в обмотке которой появляется ток. Под действием силы тяги  $F_{эм}$ , возникающей в результате поступления управляющего сигнала  $I$  якорь электромагнита 5 движется вдоль продольной оси, смещая золотник гидрораспределителя 6 из нейтрального положения на величину  $X_3$ . С последнего входной сигнал в виде подачи рабочей жидкости  $U$  поступает в гидроцилиндр обратной связи (ГЦОС) 7, шток которого перемещает кронштейн с магнитом на величину  $X_6$ . Вытекая из другой полости ГЦОС, рабочая жидкость перемещает поршень гидроцилиндра управляемых колес (ГЦУК) 8 на величину  $X_4$ , который через рулевой механизм 9 поворачивает управляемые колеса на угол  $\alpha_k$ . В результате объект вождения 10 займет положение близкое к траектории ориентации. Необходимо отметить, что в зависимости от направления поворота рабочая жидкость будет поступать вначале либо в ГЦОС, а затем в ГЦУК, либо в ГЦУК, а затем в ГЦОС.

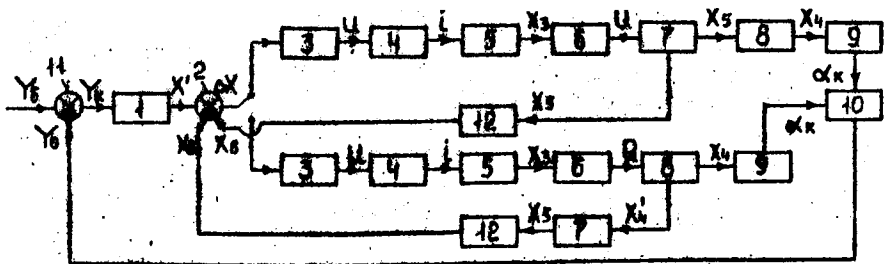


Рис. Функциональная схема САВ:

1-чувствительный элемент; 2, II-суммирующие элементы; 3-преобразователь; 4 - обмотка электромагнита; 5-якорь электромагнита; 6-гидрораспределитель; 7-гидроцилиндр обратной связи; 8-гидроцилиндр управляемых колес; 9-рулевой механизм; 10-объект управления; 12-звено обратной связи.

Процесс автоматического регулирования направления движения можно описать с помощью уравнений отдельных элементарных звеньев системы.

Чувствительный элемент является линейным звеном, передаточная функция которого имеет вид  $W_{ч.э.} = K_{ч.э.}$ , где  $K_{ч.э.} = 2L^{-1}e^{-t_{зв}}$

– коэффициент усиления чувствительного элемента;  $L$  – длина подвески щупа;  $\rho$  – радиус сектора на котором расположен преобразователь;  $\beta$  – угол наклона боковой поверхности грядки к горизонту.

Суммирующий элемент 2 без учета люфтов и сжимаемости масла в ЦОС можно представить в виде  $\Delta X = X' - X_6$ , где  $X_6 = K_{06} \cdot X_5$  – перемещение сектора от обратной связи;  $K_{06} = \rho \cdot \rho_1^{-1}$  – коэффициент усиления обратной связи;  $X_5$  – перемещение штока ЦОС;  $\rho_1$  – радиус установки штока ЦОС на рычаге.

Преобразователь, состоящий из герметичного контакта и электромагнитного реле, представляет собой релейное звено с зоной нечувствительности  $\Delta_1$  и выходной величиной  $U$ .

Уравнение преобразователя можно представить в виде

$$U = \begin{cases} 0 & \text{при } \Delta X = 0 \\ U & \text{при } \Delta X \geq \Delta_1 \\ -U & \text{при } \Delta X \leq -\Delta_1 \end{cases},$$

где  $U$  – напряжение на клеммах электромагнита.

Электромагнит для удобства решения задачи разделим на две части: электрическую и механическую.

Передаточная функция электрической части имеет вид

$$W_{эч} = \frac{K_{эч}}{T_1 p + 1},$$

где:  $T_1 = L/R$  – постоянная времени электрической части преобразователя;  $L$  – индуктивность обмотки электромагнита;  $R$  – сопротивление обмотки электромагнита;  $p$  – оператор Лапласа;  $K_{эч} = 1/R$  – коэффициент усиления электрической части преобразователя.

Передаточная функция механической части электромагнита

$$W_{мч} = \frac{K_{мч}}{T_2^2 p^2 + T_3 p + 1},$$

где  $T_2^2 = m/C_3$  – постоянная времени, характеризующая инерционность подвижных частей преобразователя;  $m$  – масса подвижных частей преобразователя (сердечника электромагнита и золотника гидрораспределителя);  $C_3$  – коэффициент жесткости пружины;  $T_3 = C_2/C_3$  – постоянная времени, характеризующая демпфирующие свойства преобразователя;  $C_2$  – коэффициент трения;  $K_{мч} = C_1/C_3$  – коэффициент усиления механической части преобразователя;  $C_1$  – коэффициент линейной деформации.

Гидрораспределитель с зоной нечувствительности  $\Delta_2$  является нелинейным звеном. Из-за нелинейности обусловлен наличием люфта и кинеструкции золотника. Однако угол наклона щупа к

характеристики близок к  $90^\circ$ . В связи с этим, для упрощения задачи исследования с достаточной точностью для нас будем считать распределитель релейным звеном.

Уравнение гидрораспределителя представим в виде

$$Q = \begin{cases} 0 & \text{при } |X_3| \leq \Delta_2 \\ Q & \text{при } X_3 > \Delta_2 \\ -Q & \text{при } X_3 < -\Delta_2 \end{cases},$$

где  $Q$  - максимальный расход масла через распределитель;  $\Delta_2$  - зона нечувствительности распределителя.

ГЦОС и ГЦУК, входной величиной для которых является поток рабочей жидкости  $Q$ , а выходной - перемещение штоков  $X_5$  и  $X_4$  соответственно без учета сжимаемости жидкости и податливости их стенок представляют собой интегрирующие звенья, передаточные функции которых

$$W_{ГЦОС} = \frac{K_{ГЦОС}}{p}; \quad W_{ГЦУК} = \frac{K_{ГЦУК}}{p},$$

где соответственно  $K_{ГЦОС}$  и  $K_{ГЦУК} = F_n / (F_n^2 + \mu(2f_1 + f_2))$  - коэффициенты усиления гидроцилиндров;  $F_n$  - площади поршней гидроцилиндров;  $\mu$  - коэффициент расхода жидкости на утечки;  $f_1$  - коэффициент вязкого трения между поршнем и корпусом гидроцилиндра;  $f_2$  - коэффициент сопротивления повороту колес.

ГЦУК и ГЦОС, входной величиной для которых является перемещение штоков предыдущих гидроцилиндров  $X'_5$  и  $X'_4$ , а выходной - перемещение штоков  $X_4$  и  $X_5$  соответственно, без учета сжимаемости жидкости и податливости их стенок представляют собой линейные звенья, передаточные функции которых имеют вид,  $W'_{ГЦУК} = K'_{ГЦУК}$ ,  $W'_{ГЦОС} = K'_{ГЦОС}$ , где  $K'_{ГЦУК} = F_{ок} / F_{ук}$ ;  $K'_{ГЦОС} = F_{ук} / F_{ок}$  - коэффициенты усиления гидроцилиндров;  $F_{ок}$ ,  $F_{ук}$  - площади поршней ГЦОС и ГЦУК соответственно.

Рулевой механизм является линейным звеном с передаточной функцией  $W_{рм} = K_{рм}$ , где  $K_{рм} = l_n^{-1}$  - коэффициент усиления рулевого механизма;  $l_n$  - длина поворотного рычага.

Уравнение объекта вождения рассматриваем без учета бокового увода колес, так как скорость трактора на гоне не превышает 1,5 м/с.

Тогда передаточная функция объекта  $W_k = (k_k(T_k p + 1)) / p^2$ , где  $k_k = V^2 / B$  - коэффициент усиления объекта вождения;  $V$  - скорость движения трактора;  $B$  - база трактора;  $T_k = b_k / V$  - постоянная времени;  $b_k$  - расстояние от оси задних колес до точки копирования шупа.

Имея математическую модель СЛЗ, необходимо оптимизировать ее параметры на ЭЦМ при условии нахождения управляемых колес трактора в зоне агротехнического допуска  $\pm 5$  см.