

А.Т. Скойбеда, канд.техн.наук  
(Белорусский политехнический институт)

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ РЕЖИМОМ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ

Современные колесные тракторы и другие тягово-транспортные средства оборудованы рядом устройств повышения тяговых качеств и проходимости, которые при автоматизированном управлении ими могут быть использованы для поддержания заданного тягового режима. К таким устройствам относятся: дополнительные ведущие мосты, гидроувеличители сцепного веса, системы автоматической подкачки шин, увеличители крутящего момента, управляемые дифференциалы, уширители колес и др. Однако все эти системы имеют, как правило, автономное управление, а разработанные средства автоматического управления ими локальны. При этом известные средства повышения тяговых качеств и системы управления ими не имеют функциональной взаимосвязи между собой и с системами контроля тяги и скорости.

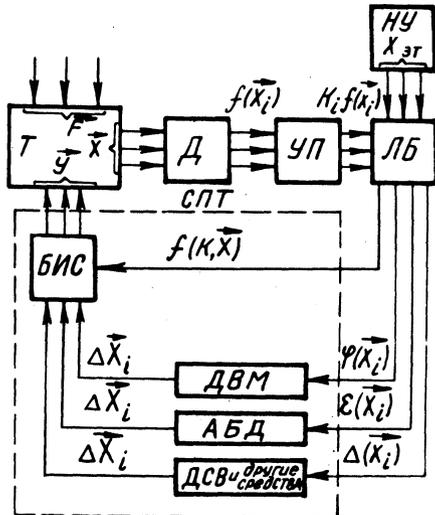


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема АСУ тягово-скоростным режимом: Т - тракторный агрегат, Д - датчик, УП - усилительно-преобразующее устройство, ЛБ - логический блок, НУ - начальные условия, СПТ - средства повышения тяги, ДВМ - дополнительный ведущий мост, АБД - автоматическая блокировка дифференциала, ДСВ и другие средства - дополнительный сцепный вес, БИС - блок изменения скорости.

Разрабатываемые в Отраслевой НИЛ колесных тракторов совместно с ГСКБ по пропашным тракторам системы автоматического управления средствами повышения проходимости позволяют объединить их в единый функциональный блок (рис.1).

Тракторный агрегат (Т) работает в условиях постоянно изменяющихся параметров профиля пути и физико-механических свойств почвы, что проявляется в изменении его выходных параметров тягового усилия и рабочей скорости движения. Выходные параметры измеряются датчиком (Д), связанным с усилительно-преобразующим устройством (УП), на который поступают сигналы в функции выходных параметров и усиливаются или преобразовываются им в сигналы, воспринимаемые логическим блоком (ЛБ). Логический блок настроен на определенные начальные условия (НУ), с которыми сравниваются поступающие из усилительно-преобразующего устройства сигналы. В результате сравнения и в зависимости от диапазона изменения выходных параметров в логическом блоке вырабатывается сигнал для включения соответствующего средства повышения тяги или скорости движения. Таким образом происходит попередное включение всех объединяемых АСУ средств повышения проходимости.

Логический блок производит также оценку возможностей отдельных средств повышения проходимости и в случае их недостаточности (при резком ухудшении тягово-сцепных свойств опорной поверхности) переключает передачи на более низкую ступень или воздействует на блок бесступенчатого изменения скорости (БИС).

Представленная схема АСУ тяговым режимом использует в качестве информационно-управляющих переменных, поступающих на логический блок, положение рейки топливного насоса, крюковое усилие и буксование трактора. В качестве корректирующей переменной, при необходимости по начальным условиям сохранения постоянной рабочей скорости движения, используют положение педали изменения подачи топлива.

В целом автоматические системы управления тяговым режимом должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать постоянство характеристик технологического процесса и загрузки двигателя;
- система должна быть самонастраивающейся по многомерным параметрам в зависимости от заданных начальных условий;
- аппаратные решения системы должны быть простыми, надежными и обеспечивать широкий диапазон настройки начальных условий;
- система должна обеспечивать в пределах допуска качество и высокую надежность управления.

В общем случае АСУ тяговым режимом МТА представляет собой сложную динамическую систему, на вход которой поступают возмущающие воздействия (условия работы) и воздействия управления, а на выход – показатели работы. Система может быть описана дифференциальными уравнениями вида

$$W_i[\vec{X}_i(t)] = \vec{Y}_i(t) + \vec{F}_i(t), \quad (i=1,2,\dots,k), \quad (1)$$

где  $W_i[\vec{X}_i(t)]$  – дифференциальный оператор от функции выходной координаты (показателя работы);  $\vec{Y}_i(t)$  – вектор-функция управляющего воздействия в  $i$ -м контуре;  $\vec{F}_i(t)$  – вектор-функция возмущающего воздействия (условий работы) по  $i$ -му контуру.

С точки зрения задач регулирования автоматизированные системы управления тяговым режимом (АСУТР) следует отнести к системам, для которых оптимум обеспечивается оптимизацией каждого в отдельности регулируемого параметра.

Так, если в тракторном транспортном агрегате максимизировать производительность, то необходимо оптимизировать тяговый, скоростной и тормозной режимы. В этом случае можно получить наименьшие затраты денежных или трудовых ресурсов на выполнение заданного объема работ, т.е. задача сводится к оптимизации некоторого обобщенного критерия, например эффективности труда.

Матричное уравнение для случая связи систем управления через нагрузку в изображениях по Лапласу имеет вид [1]:

$$P_H = A_H^{-1} [K_C X_{i \text{ эт}} + G F_i + B F_i], \quad (2)$$

где  $P_H$  – регулируемый обобщенный параметр (производительность агрегата, эффективность труда и др.);  $A_H^{-1}$  – обратная матрица параметров системы управления;  $K_C$  – коэффициент усиления  $i$ -й подсистемы;  $X_{i \text{ эт}}$  – эталонное (заданное) значение регулируемого параметра;  $G$  – матрица знаменателя передаточной функции (собственный оператор) объекта регулирования;  $B$  – матрица коэффициентов, определяющих влияние нагрузки на регулируемую величину;  $F_i$  – матрица нагрузки по  $i$ -му контуру.

Составив матричные выражения и выполнив необходимые преобразования, можно получить уравнения каждой регулируемой величины и найти ее значение, удовлетворяющее заданным условиям.

Определение качества регулирования путем сравнения амплитудно-частотных характеристик функции возмущающих воздействий и выходных координат позволяет выработать требования к логическим и динамическим свойствам системы. При этом требуется выполнение условий

$$T(\vec{F}) \geq T(\vec{X}), \quad \omega(\vec{X}) \leq \omega(\vec{F}), \quad (3)$$

где  $T(\vec{F})$ ,  $\omega(\vec{F})$  и  $T(\vec{X})$ ,  $\omega(\vec{X})$  – период и частота многомерной вектор-функции возмущающих воздействий и вектор-функции выходной координаты.

Для систем регулирования тягового режима необходимо оценить влияние локальных подсистем повышения тяги, которые включены в общую систему, на характеристики выходного параметра и определить требования к системе в целом.

Раскрытие внутренней структуры процесса регулирования возможно при использовании характеристик вариационной статистики: автокорреляционной функции, спектральной плотности, взаимно-корреляционных функций, вероятности пребывания процесса вне и в поле допуска по времени и среднему числу отклонений и других характеристик.

Оптимальная динамическая система регулирования должна обеспечивать меньшие значения дисперсии ( $D_{\text{вых}}$ ) функции выхода и вероятности пребывания ее вне поля допуска, а также более пологий вид автокорреляционной функции. Функция спектральной плотности должна быть более крутой, т.е. спектр дисперсий выхода должен сосредотачиваться в области более низких частот. Коэффициенты взаимной корреляции, сравниваемых процессов  $K_{xy}$  должны уменьшаться, так как должна уменьшаться чувствительность контролируемых параметров к изменениям выходных факторов. То есть, при создании систем автоматического регулирования тягового режима необходимо добиваться выполнения следующих условий:

$$\left. \begin{aligned} D_{x \text{ вых}} &< D_{x \text{ вх}}; \\ R_{(\tau)} \text{ вых} &< R_{(\tau)} \text{ вх}; \quad \tau_{(R_0)} \text{ вых} > \tau_{(R_0)} \text{ вх}; \\ S_{(\omega)} \text{ вых} &< S_{(\omega)} \text{ вх}; \quad \omega_{S \rightarrow 0} \text{ вых} < \omega_{S \rightarrow 0} \text{ вх}; \\ K_{xy(\tau)_1} &< K_{xy(\tau)_2}. \end{aligned} \right\} (4)$$

Вероятность выхода параметра  $X_0(t)$  за пределы допуска  $\pm X_0$  можно определить из выражения

$$P[|X(t)| \geq X_0] = 2 \int_{X_0}^{\infty} f(X) dX, \quad (5)$$

где  $f(X)$  – плотность распределения контролируемого параметра.

Приняв, что отношения подчиняются нормальному закону распределения, получим

$$P[|X(t)| \geq X_0] = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{X_0}^{\infty} e^{-\frac{X^2}{2\sigma_x^2}} dX. \quad (6)$$

Вероятное число отклонений контролируемого параметра  $\eta(X)$  за пределы  $\pm X_0$  в единицу времени может быть определено через двумерную плотность вероятности  $f(X, X')$  случайной функции  $X(t)$  и ее производной  $X'(t)$ :

$$\Pi(X) = 2 \int_0^{\infty} X' f(X, X') dX'. \quad (7)$$

В общем случае система автоматического регулирования тягового режима должна выполнять функцию оптимального фильтра, т.е. при больших колебаниях входных факторов не допускать значительных изменений параметров технологического процесса и загрузки двигателя.

Исследования системы автоматического блокирования межколесных дифференциалов как средства регулирования тягового режима колесного трактора показали высокую эффективность этого метода, в особенности при движении со значительной крюковой нагрузкой по наклонной поверхности и при различном по бортам трактора сцеплении колес с почвой.

Статистический анализ свидетельствует о том, что блокирование дифференциалов – эффективное средство повышения тяги и существенно (в 1,5 – 2 раза) снижает дисперсию и коэффициент вариации процесса крюковой нагрузки, т.е. трактор с заблокированными дифференциалами меньше реагирует на изменение внешних сопротивлений, а процессы формирования нагрузок протекают более устойчиво.

Подтверждением этому является постепенное приближение корреляционной функции  $\rho_{кр}(\tau)$  к оси абсцисс и пересече-

ние ее в точке, соответствующей 0,17 с, а при дифференциальном приводе – в точке 0,08с (рис. 2,а).

Анализ одновременно записанных процессов изменения крутящих моментов на полуосях передних и задних колес показывает, что блокировка дифференциалов уменьшает на 50 – 80% дисперсию и увеличивает на 10 – 25% суммарное значение моментов на колесах. Автокорреляционные функции этих процессов при разблокированных дифференциалах более интенсивно стремятся к оси абсцисс и пересекают ее раньше в 2,5–3 раза по сравнению с заблокированными дифференциалами (рис. 2,б,в).

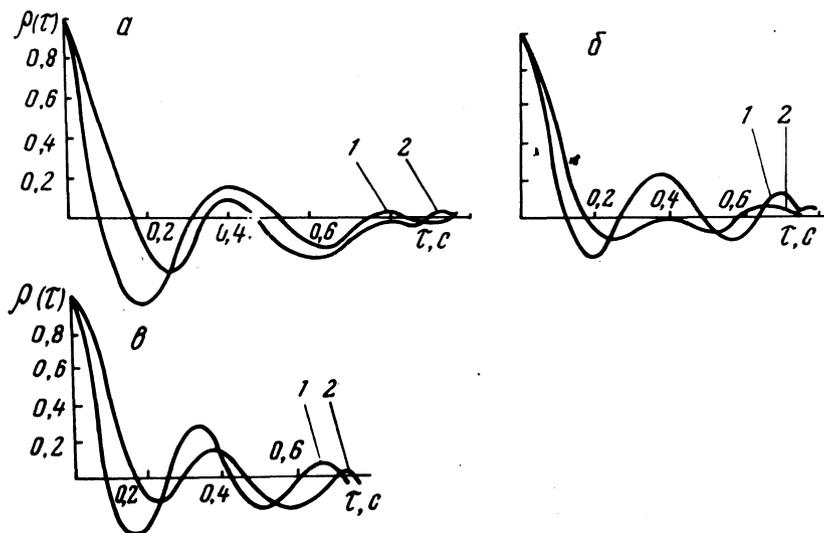


Рис. 2. Нормированные корреляционные функции процессов: а – крутящей нагрузки; б – крутящего момента на полуоси заднего колеса; в – крутящего момента на ступице переднего колеса; 1, 2 – соответственно без блокировки и с блокировкой межколесного дифференциала.

Взаимные корреляционные функции позволяют судить о степени взаимозависимости исследуемых параметров. Для процессов, имеющих высокую степень корреляционной связи, характерно наличие резко выраженного максимума, расположенного в непосредственной близости от оси ординат. Процессы, имеющие такую степень корреляционной зависимости, характерны более беспорядочным изменением взаимной корреляционной функции (рис. 3, а, б).

Блокирование межколесных дифференциалов значительно уменьшает общее буксование трактора. При этом процесс буксования протекает более устойчиво, что способствует стабилизации оборотов и загрузки двигателя [2].

При комплексной автоматизации необходимо провести исследование других средств повышения тяги, определить их параметры и возможности использования в объединенной системе управления тяговым режимом колесных тракторов.

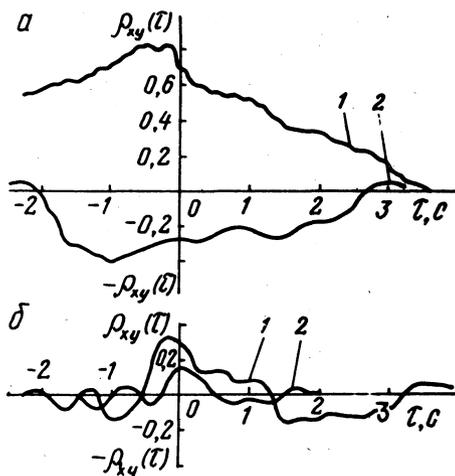


Рис. 3. Взаимные корреляционные функции между процессами: а - крутящими моментами на колесах задней оси ( $M_{\text{к}}^{\text{п}} - M_{\text{к}}^{\text{л}}$ ); б - крюковой нагрузкой ( $P_{\text{к}}^{\text{к}}$ ) и крутящим моментом правой полуоси ( $M_{\text{к}}^{\text{п}}$ ) заднего моста; 1,2 - соответственно без блокировки и с блокировкой межколесного дифференциала.

Резюме. 1. Система автоматического управления тяговым режимом колесного трактора - сложная многоконтурная динамическая система.

2. Автоматизация управления средствами повышения тягово-сцепных качеств позволяет регулировать тяговый режим тракторного агрегата в широких пределах при значительном качественном улучшении динамических процессов и загрузки двигателя.

3. Теоретические и экспериментальные исследования локальных подсистем позволяют определить их амплитудно-частотные характеристики, чувствительность к изменению управляющих воздействий и эффективность использования в качестве средств повышения тяговых свойств и стабилизации загрузки двигателя трактора.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гельфенбейн С.П. О комплексной автоматизации регулирования мобильных сельскохозяйственных агрегатов. - "Труды ВИМ", т. 49. М., 1970. 2. Скойбеда А.Т. Обоснование и исследование автоматической блокировки межколесных дифференциалов трактора с четырьмя ведущими колесами. Канд.дис. Минск, 1972.