

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 996237 (СССР). Устройство для стабилизации крутосклонного транспортного средства/В.В.Гуськов, В. П. Зарецкий, П. В. Зеленый. – Оpubл. в Б.И., 1983, № 6.
2. А.с. 1009816 (СССР). Бортовой редуктор крутосклонного транспортного средства/П.В.Зеленый, В.П. Зарецкий, В. В. Гуськов. – Оpubл. в Б.И., 1983, № 13.
3. Колесные тракторы для работы на склонах/П.А.Амельченко, И.П.Ксенович, В.В.Гуськов, А.И.Якубович. – М., 1978. – 248 с.
4. Коновалов В.Ф. Динамическая устойчивость тракторов. – М., 1981. – 144 с.

УДК 629.114.2

П.В.ЗЕЛЕНЫЙ, канд.техн.наук
(БПИ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ ПЕРЕДНИХ КОЛЕС ТРАКТОРА В ЗАДАЧАХ ДИНАМИКИ ТРАЕКТОРНОЙ И КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

При выполнении ряда технологических сельскохозяйственных операций машинно-тракторные агрегаты должны обладать повышенной траекторной и курсовой управляемостью. К таким операциям в первую очередь относятся возделывание пропашных культур и операции, связанные с обеспечением движения направляющих колес строго по следу маркера и ориентации продольной оси агрегата в направлении, которое по возможности должно совпадать с рабочими ходами. Высокая устойчивость движения трактора и агрегируемой с ним машины является необходимым условием соблюдения агротехнических требований к качеству сельскохозяйственных технологических процессов.

Современный уровень вычислительной техники позволяет уже на стадии проектирования тракторов, машин и орудий к ним решать сложные задачи по динамике машинно-тракторных агрегатов и прогнозировать технические концепции развития их узлов. В частности, решение математических моделей позволит создать более совершенное рулевое управление, которое обеспечит устойчивое траекторное и курсовое движение агрегата. При этом стремятся к такой степени адекватного отображения реальных процессов, которая достаточна для решения поставленных задач.

Основными параметрами моделирования управляемого поворота передних колес трактора в междурядьях или при движении по следу маркера являются направление, скорость (частота) и угол поворота колес. В качестве исходных параметров необходимо задавать такие, которые воспринимает водитель, в действительности управляя траекторным движением трактора. К таким параметрам относятся направление, расстояние и скорость смещения переднего моста от заданной траектории. Навыки водителя в точностном восприятии этих параметров могут моделироваться с помощью допустимых пределов их изменения. Физические возможности водителя, определяющие время его реагирования, а также время, необходимое для выбора зазоров в рулевом механизме и включения гидроусилителя руля, могут быть учтены в комплексе. Для комплексного учета времени реагирования водителя и выбора зазоров

в модель вводится четвертый исходный параметр — время запаздывания начала поворота колес. Это время исчисляется от момента получения информации о превышении боковым смещением или его скоростью допустимых пределов.

Многочисленные экспериментальные наблюдения выявили, что передний мост возвращается к заданной прямолинейной траектории рабочего хода в результате управляющих воздействий водителя на рулевое колесо после самопроизвольного бокового смещения, вызванного действием на агрегат внешних сил, по траектории, которая достоверно описывается асимптотической зависимостью

$$X_T = A t^B e^{Ct}.$$

Исходными данными для вычисления коэффициентов A , B и C этой зависимости служат: время $t_{вз}$, в течение которого водитель осуществляет возвращение моста из смещенного положения в зону допустимых положений; смещение X_{T1} , полученное мостом к началу возвращения; допустимое смещение $X_{д}$, не воспринимаемое органами чувств водителя (рис. 1).

$$C = \frac{\ln X_{д} - \ln X_{T1}}{t_{вз} + X_{T1} [\ln t_1 - \ln(t_1 + t_{вз})]};$$

$$B = -C X_{T1};$$

$$A = X_{T1} / \left(\frac{e^{t_1}}{X_{T1}} \right)^C.$$

В соответствии с изложенным для цифровой ЭВМ математическая модель управления поворотом передних колес трактора, совершающего движение в междурядьях или по следу маркера, имеет вид:

$$\theta_1 = \begin{cases} \theta_1' & \text{при } |X| \leq X_{д}; \\ \theta_1' + \Delta \theta \dot{X} \dot{X} t_{ин} & \text{при } |X| > X_{д}; |\dot{X}| > \dot{X}_{д}; X\dot{X} > 0; \\ \theta_1' + \Delta \theta^X (X - X_T) t_{ин} & \text{при } |X| > X_{д}; |\dot{X}| \leq \dot{X}_{д}; X\dot{X} \leq 0, \end{cases}$$

где θ_1' — угол поворота колес на предшествующем шаге численного интегрирования системы дифференциальных уравнений, которая моделирует динамику траекторного движения всего машинно-тракторного агрегата как дискретной механической системы; $t_{ин}$ — шаг интегрирования; $\Delta \theta \dot{X}$ и $\Delta \theta^X$ — коэффициенты, устанавливающие взаимосвязь между частотой поворота колес, их боковым смещением и скоростью этого смещения; $X_{д}$ и $\dot{X}_{д}$ — допустимые боковое смещение и его скорость, не воспринимаемые водителем.

Таким образом, согласно модели угол поворота передних колес трактора на каждом последующем шаге интегрирования принимают равным его значению на предшествующем шаге. Это условие справедливо до тех пор, пока боковое смещение переднего моста от заданной траектории не превышает допустимое $X_{д}$ (рис. 1). Если смещение превышает допустимое, то по истечении времени запаздывания $t_{зп}$ осуществляют поворот колес в сторону, противо-

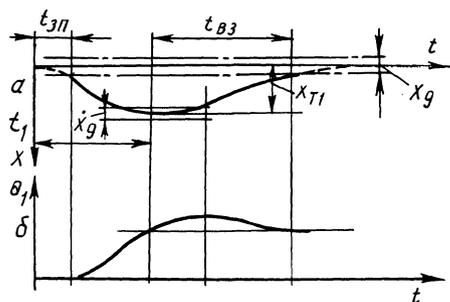


Рис. 1. К модели управления поворотом передних колес трактора:

а — смещение (x) переднего моста от заданной траектории рабочего хода агрегата в функции времени; б — ответный угол (θ) поворота передних колес, противостоятствующий этому смещению.

Условные обозначения на графиках: $X_{д}$ и $X_{г}$ — допустимые смещение переднего моста и его боковая скорость, не воспринимаемые органами чувств водителя; $t_{3п}$ — время запаздывания, учитывающее реакцию водителя на возмущение моста, выбор зазоров в рулевом

механизме и время включения гидросилителя руля; X_{T1} — смещение переднего моста, полученное к началу его возвращения в зону допустимых смещений; $t_{вз}$ — время, затрачиваемое водителем на возвращение моста; t_1 — момент времени приостановления водителем возрастания отклонения моста и последующего возвращения к заданной траектории.

действующую возникшему смещению, с частотой, пропорциональной его скорости \dot{X} , к данному моменту времени t . Как только постепенное наращивание на каждом последующем шаге угла поворота колес уменьшит эту скорость до значения $X_{д}$, не воспринимаемого водителем, происходит возвращение переднего моста к заданной траектории. Угол поворота его колес при этом принимают таким, чтобы обеспечить упомянутое возвращение моста по описанной выше асимптотической приближающейся к заданной траектории кривой. После уменьшения бокового смещения X переднего моста до значения, не превышающего допустимое $X_{д}$, угол θ_1 поворота колес на каждом последующем шаге интегрирования системы уравнений динамики тракторного движения агрегата вновь принимают равным его значению θ_1 на предшествующем шаге.

Такая модель управления поворотом передних колес трактора лучше известной [1] соответствует действительной картине управления. Она учитывает не только превышение передним мостом допустимого смещения, но и влияние на частоту и угол поворота колес значения и скорости этого смещения. Вместе с тем обеспечивается плавное приближение моста к заданной прямой траектории. Плавное приближение моста исключает его немедленный заброс в противоположную сторону, не вызванный условиями движения, и возникающие из-за этого колебания траектории моста. Они свидетельствуют о неадекватном моделировании реального процесса.

Конкретные значения исходных параметров: времени запаздывания; допустимые смещение и его скорость, а также коэффициентов, устанавливающих зависимость частоты поворота колес от их бокового смещения и скорости, — могут быть получены экспериментально на основании статистической обработки результатов испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войтиков А.В., Закревская Л.В. Метод автоматического управления трактором при моделировании курсового движения. — В кн.: Автотракторостроение: Автоматизированные системы управления мобильными машинами. Минск, 1980, вып. 14, с. 65–70.