

Управляемость и устойчивость движения агрегата на основе МЭС

Канд. техн. наук В. Т. НАДЫКТО (ЮФ ИМЭСХ, Украина)

Управлять движением модульного энергетического средства (МЭС) общего назначения (ОН) можно, по крайней мере, тремя способами [3, 4]:

- подворотом полурам ЭМ при жестком (вариант 1) и шарнирном (вариант 2) соединении ЭМ и ТМ;
- одновременным подворотом полурам ЭМ и рамы ТМ при шарнирном соединении модулей (вариант 3).

С точки зрения технического исполнения вариант 1 — самый простой, так как исключение угловой подвижности в горизонтальной плоскости технологического модуля (ТМ) относительно энергетического (ЭМ) не вызывает особой трудности.

Для математического описания вариант 2 наиболее сложен из-за наличия дополнительной степени свободы в виде угла поворота ТМ. Но, по-

3-684

где $A_{11} = M_T + M_M$; $A_{12} = (k_a + k_b + k_c)/v_0$;
 $A_{13} = l(3k_a + k_b)/v_0$; $A_{14} = -(k_a + k_b)$; $A_{15} = -k_c l/v_0$;

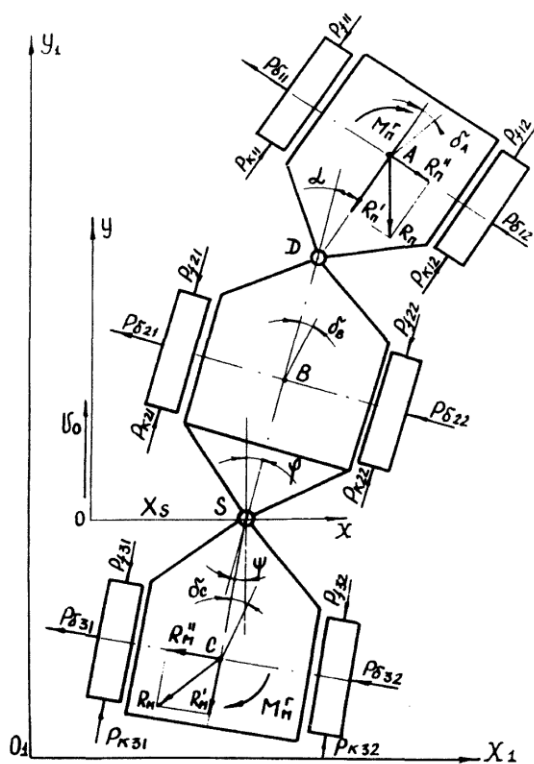


Рис. 1. Схема сил, действующих на МЭС ОН

касательная силы тяги и сила сопротивления качению передних колес ЭМ.

Заблокированное состояние вертикального шарнира ТМ (вариант 1) означает, что

$$\varphi = \psi; \dot{\varphi} = \dot{\psi}; \ddot{\varphi} = \ddot{\psi}. \quad (2)$$

В случае управления МЭС путем одновременного поворота полурам ЭМ и подворота рамы ТМ (вариант 3) справедливы условия:

$$\psi = (\varphi - k\alpha); \dot{\psi} = (\dot{\varphi} - k\dot{\alpha}); \ddot{\psi} = (\ddot{\varphi} - k\ddot{\alpha}), \quad (3)$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Чтобы оценить устойчивость и управляемость движения практически любого агрегата на основе МЭС ОН, достаточно исходную систему дифференциальных уравнений (1) переписать с учетом условий (2) или (3), а также конкретных выражений для определения главных вектора и момента сил, действующих на МЭС со стороны технологической части МТА.

При незаблокированном вертикальном шарнире ТМ передаточная функция по поперечному смещению его колес относительно поперечного смещения передних движителей ЭМ представляет собой дробно-рациональную функцию, числителем которой является полином пятого, а знаменателем — полином шестого порядка. Учитывая, что рассматриваемое МЭС не предназначено для работы в междурядьях пропашных культур, амплитудную частотную характеристику (АЧХ) отработки управляющего воздействия агрегатом на его основе можно при этом считать удовлетворительной. В диапазоне частот $0-0,5 \text{ с}^{-1}$ она вообще близка к желаемой (рис. 2, кривая Л).

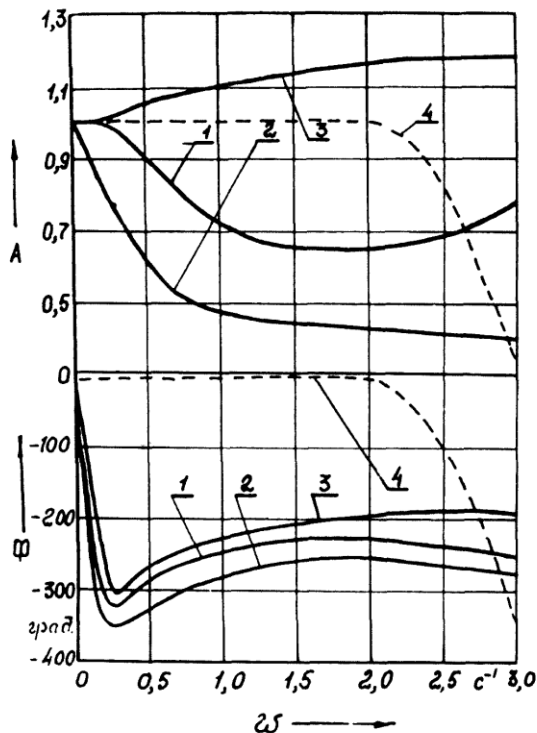


Рис. 2. Желаемые (4) и действительные АЧХ и ФЧХ по управляющему воздействию при свободном (1), заблокированном (2) и управляемом (3) состояниях вертикального шарнира ТМ МЭС ОН

В случае заземления шарнира ТМ показатели степеней числителя и знаменателя упомянутой выше передаточной функции понижаются на две единицы. Действительные амплитудные и фазовые (ФЧХ) частотные характеристики при этом ухудшаются (см. рис. 2, кривая 2). Отсюда следует, что с позиции качества отработки управляющего воздействия исключение взаимной угловой подвижности в горизонтальной плоскости ЭМ и ТМ данного МЭС при его движении на гоне нецелесообразно.

Управление рассматриваемым энергетическим средством путем одновременного подворота полурам ЭМ и рамы ТМ (вариант 3) качественно и количественно изменяет реакцию МТА на полезный сигнал. Действительная АЧХ МТА по сравнению с желаемой (см. рис. 2, кривые 3, 4) в рабочем диапазоне частот характеризуется небольшим (до 20%) переугулированием, что вполне допустимо с позиции функционального назначения данного МЭС.

Более того, переход к управляемому вертикальному шарниру ТМ вместо заблокированного позволяет уменьшить на 50–60° фазовый сдвиг в диапазоне частот 0,25–2 с⁻¹. Это соответствует

снижению реакции МТА при отработке им управляющего воздействия от 0,6 до 4 с.

По сравнению с незаблокированным состоянием вертикального шарнира ТМ практическая реализация способа управления МЭС ОН путем одновременного подворота полурам ЭМ и рамы ТМ практически не влияет на быстроту отработки МТА управляющего воздействия (см. рис. 2, кривые 1, 3 ФЧХ). А если учитывать нецелесообразность применения этих энергетических средств при возделывании пропашных культур, то незначительной можно считать и разницу в точности отработки ими полезного сигнала (см. рис. 2, кривые 1, 3 АЧХ).

Реакцию агрегатов на возмущение оценивали с помощью передаточной функции W_b по углу поворота их технологической части относительно курсового угла. При незаблокированном вертикальном шарнире ТМ W_b представляет собой дробно-рациональную функцию с полиномом второго порядка в числителе и пятого порядка в знаменателе.

Блокировка вертикального шарнира ТМ, равно как перевод его в управляемое состояние, приводит по сравнению с предыдущим вариантом управления МЭС ОН к понижению показателей степеней числителя и знаменателя передаточной функции W_b на две единицы.

Анализ расчетных АЧХ показывает, что исключение независимой угловой подвижности в горизонтальной плоскости ТМ МЭС вызывает повышение устойчивости движения МТА на его основе. Особенно эффективно влияние данного конструктивного решения в диапазоне частот 0,5–2 с⁻¹.

Характер протекания ФЧХ существенно изменяется при $\omega > 1,75$ с⁻¹. Начиная с частоты 2 с⁻¹, уменьшение фазового сдвига составляет 200–240°, что соответствует снижению реакции МТА на возмущающее воздействие от 1,2 до 2,1 с.

С целью подтверждения правомерности теоретических исследований был подготовлен агрегат в составе МЭС-300, сцепки СП-16 и четырех культиваторов КПС-4. В соответствии с методикой [1], управляемость движения данного МТА оценивали в процессе копирования им синусоидальной кривой, а устойчивость — при отслеживании прямой линии.

Анализ экспериментальных данных показал, что по сравнению со свободным заблокированное состояние вертикального шарнира ТМ ухудшает точность и быстроту отработки агрегатом управляющего воздействия (рис. 3). Исключение взаимной угловой подвижности ЭМ и ТМ при копировании синусоидальной кривой увеличивает с 20,53 до 307,07 см² дисперсию колебаний траектории движения исследуемого МТА.

В процессе отслеживания прямой линии дисперсия возрастает с 48,85 до 143,55 см². Тем не менее, с учетом функционального назначения рас-

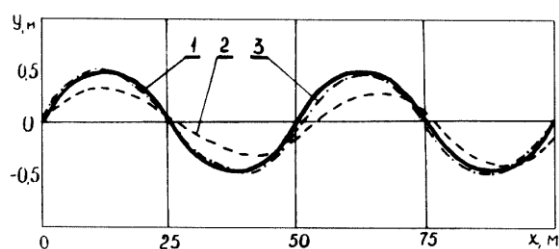


Рис. 3. Траектории движения культиваторного МТА на основе МЭС ОН в случае отслеживания им базовой синусоидальной линии (1) при заблокированном (2) и свободном (3) состояниях вертикального шарнира ТМ

смаатриваемого МЭС можно считать, что достаточная устойчивость движения МТА на его основе полностью обеспечивается и при незаблокированном состоянии вертикального шарнира ТМ. Основной спектр колебаний траектории агрегата в последнем случае приходится на частоты $0-1,2 \text{ с}^{-1}$.

Таким образом, конструкция МЭС общего назначения, ЭМ которого имеет шарнирно-сочлененную раму, не требует устройства блокировки вертикального шарнира ТМ. Свободное сочленение его модулей в горизонтальной плоскости обеспечивает вполне удовлетворительную устойчивость и управляемость движения МТА.

Список литературы

1. Исследование МЭС в составе широкозахватных МТА на возделывании пропашных культур / Г. М. Кутков и др. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 1992. № 10—12.
2. Надыкто В. Т. Математические модели агрегатов на базе МЭС общего назначения. — Деп. в НИИТЕХИМе, № 78-хп96, 1996.
3. Рославцев А. В. Колесные тракторы кл. 3: расширение сферы применения и особенности аналитического представления движения МЭС на их основе // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 1992, № 1.
4. Рославцев А. В. Колесные тракторы кл. 3: улучшение тягово-сцепных и эксплуатационно-технологических качеств // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 1992, № 8.