

УДК 631.3.012.3

Исследование плавности хода МТА на основе модульных энергетических средств

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

Эксплуатационно-технологические испытания агрегатов на основе макетных образцов модульных энергетических средств (МЭС) универсально-пропашного [2] и общего [5] назначения показали, что качество их работы и аналогичных сравниваемых МТА на базе серийных тракторов примерно одинаково. Лишь равномерность хода агрегируемых орудий по глубине у новых агрегатов (особенно навесных) была существенно выше [3].

Это объясняется тем, что МЭС, состоящий из энергетического и технологического модулей (ЭМ и ТМ), более адаптивен к изменению продольного рельефа пути, чем обычный трактор. В результате конструктивная цепочка ЭМ – навесное устройство ЭМ – ТМ – навесное устройство ТМ – орудие лучше копирует профиль поля в продольно-вертикальной плоскости, чем аналогичная цепочка каждого из базовых агрегатов: трактор – навесное устройство трактора – орудие.

Рассмотрим причины этого явления.

В процессе рабочего движения на энергетический и технологический модули МЭС передаются толчки и удары, вызванные неровностями опорной поверхности (h_1, h_2, h_3 , рис. 1), неравномерностью тягового сопротивления агрегируемых машин и другими причинами. Оба модуля совершают при этом поступательные вертикальные (Z_1, Z_2, Z_M) и угловые продольные взаимосвязанные перемещения.

Поскольку связь в агрегате осуществляется через нижние и центральную тяги заднего навесного устройства (ЗНУ) ЭМ, основное положение которого плавающее, то в процессе движения МТА на основе МЭС по рабочему полювому фону угловыми колебаниями ТМ (в силу их малости по сравнению с вертикальными)

можно пренебречь. Какой-либо заметный поворот технологического модуля относительно энергетического в рассматриваемой плоскости происходит лишь в случае преодоления агрегатом значительных по высоте неровностей.

Основные рабочие скорости МТА на основе МЭС существенно ниже тех, при которых может наступать высокочастотный резонанс. В связи с этим при исследовании низкочастотных колебаний МЭС вполне допустимо не учитывать влияние их неупругих масс, небольших по сравнению с массами соответствующих ЭМ.

С целью упрощения решения поставленной задачи уравнения, описывающие вертикальные колебания МТА на основе МЭС, целесообразно составлять отдельно для каждого из модулей. Взаимное влияние последних выражается при этом силами, приложенными в мгновенном центре поворота заднего навесного устройства ЭМ (т. О, рис. 1).

Движение исследуемых МТА принимается равномерным и прямолинейным, а профиль опорной поверхности под колесами правого и левого бортов МЭС – одинаковым. Этим самым исключается из рассмотрения подергивание и покачивание агрегатов. Кроме того, при небольшой амплитуде вертикальных колебаний силы сопротивления в шинах можно считать пропорциональными скорости колебаний, а характеристики упругих элементов – линейными [6].

С приемлемой для практики точностью можно принять, что колеса МЭС в процессе выполнения той или иной технологической операции сохраняют постоянный точечный контакт с поверхностью движения. В связи с этим профиль пути, представляющий собой случайную стационарную функцию расстояния, является одним из основных входных воздействий, вызывающих вертикальные колебания МЭС. Возмущающее влияние этого фактора, как показывает практика, довольно часто в несколько раз больше, чем неравномерность тягового сопротивления орудия.

Представим реальное энергетическое средство в виде эквивалентной ему динамической модели (см. рис. 1). Поддрессоренная часть ЭМ сосредоточена в центре его масс (т. S_T). Сюда же приведены горизонтальная (R_n^r) и вертикальная (R_n^z) составляющие равнодействующей R_n , а также момента сопротивления M_n^z , создаваемого агрегируемыми передней и (или) боковыми сельхозмашинами и орудиями.

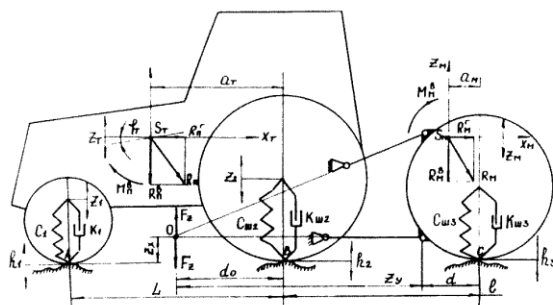


Рис. 1. Расчетная схема колебаний МТА на основе МЭС в продольно-вертикальной плоскости

ЭМ, как динамической системе, присущи две степени свободы: вертикальное перемещение центра масс Z_T и угловые колебания остова φ_T , связанные с вертикальными перемещениями точек A и B (см. рис. 1) следующими зависимостями:

$$Z_T = Z_1 a_T + Z_2 (L - a_T) / L; \quad \varphi_T = (Z_2 - Z_1) / L.$$

Математическая модель движения ЭМ МЭС в дифференциальной форме приведена в работе [4].

Проведя ряд преобразований, получим математическую модель вертикальных колебаний МТА на основе МЭС в операторной форме:

$$\left. \begin{aligned} K_{11} Z_1(S) + K_{12} Z_2(S) &= F_{11} h_1(S) + F_{12} R_m^h(S) + \\ &+ F_{13} R_m^r(S) + F_{14} R_n^h(S) + F_{15} M_n^h(S); \\ K_{21} Z_1(S) + K_{22} Z_2(S) &= F_{21} h_1(S) + F_{22} R_m^h(S) + \\ &+ F_{23} R_m^r(S) + F_{24} R_n^h(S) + F_{25} M_n^h(S); \\ K_{31} Z_3(S) &= F_{31} h_3(S) + F_{32} R_m^h(S) + F_{33} R_m^r(S) \end{aligned} \right\}$$

где $K_{11} = A_{11} S^2 + A_{12} S + A_{13}$, $K_{12} = A_{14} S^2$, $K_{21} = A_{24} S^2$, $K_{22} = A_{21} S^2 + A_{22} S + A_{23}$, $K_{31} = A_{31} S^2 + A_{32} S + A_{33}$, $F_{11} = f_{11} S + f_{12}$, $F_{12} = d_0 (a_m - A_{крх}) / [L(Z_y + d)]$, $F_{13} = d_0 (A_{крх} - Z_y) / [L(Z_y + d)]$, $F_{14} = a_r / L$, $F_{15} = -1/L$, $F_{21} = f_{21} S + f_{22}$, $F_{22} = (L - d_0) (a_m - A_{крх}) / [L(Z_y + d)]$, $F_{23} = (L - d_0) (A_{крх} - Z_y) / [L(Z_y + d)]$, $F_{24} = (L - a_r) / L$, $F_{25} = 1/L$, $F_{31} = f_{31} S + f_{32}$, $F_{32} = 1 - (a_m - A_{крх}) / (Z_y + d)$, $F_{33} = (Z_x - A_{крх}) / (Z_y + d)$, S – оператор дифференцирования, f – коэффициент сопротивления качению, d_0 , d , a_m , a_r , Z_y , Z_x – конструктивные параметры (см. рис. 1), L – база ЭМ.

Исследование полученной модели без учета передне-навесных машин показало, что влияние неровностей пути на вертикальные колебания переднего моста ЭМ и моста ТМ МЭС универсально-пропашного назначения (УПН) имеет одинаковый качественный и примерно равный количественный характер (рис. 2, а, кривые 1 и 3). Амплитуда колебаний заднего моста ЭМ во всем диапазоне частот в 1,5 раза больше упомянутых. Вертикальные перемещения мостов ЭМ можно считать практически независимыми. Взаимосвязь колебаний имеет место в довольно узком диапазоне частот: 13–15 c^{-1} (см. рис. 2, а, кривая 4).

Влияние неровностей продольного профиля агрофона на вертикальные колебания ТМ МЭС общего назначения практически такое же, как и в предыдущем случае: резонансные пики в обоих вариантах близки по значению и приходятся на частоты 13–14 c^{-1} (см. рис. 2, а, б, кривые 3).

Вертикальные перемещения ЭМ резко отличаются как количественно, так и качественно. Максимальные значения амплитуд колебаний обоих мостов ЭМ МЭС общего назначения сдвинуты в область частот порядка 7 c^{-1} (рис. 3). Амплитудные частотные характеристики (АЧХ) заднего моста, к тому же, имеют два резонансных пика, последний из которых по частоте совпадает с резонансным пиком вертикальных колебаний ТМ. Исходя из этого, можно предположить, что при $\omega = 14 c^{-1}$ упругие свойства переднего моста ЭМ обеспечиваются в основном за счет шин.

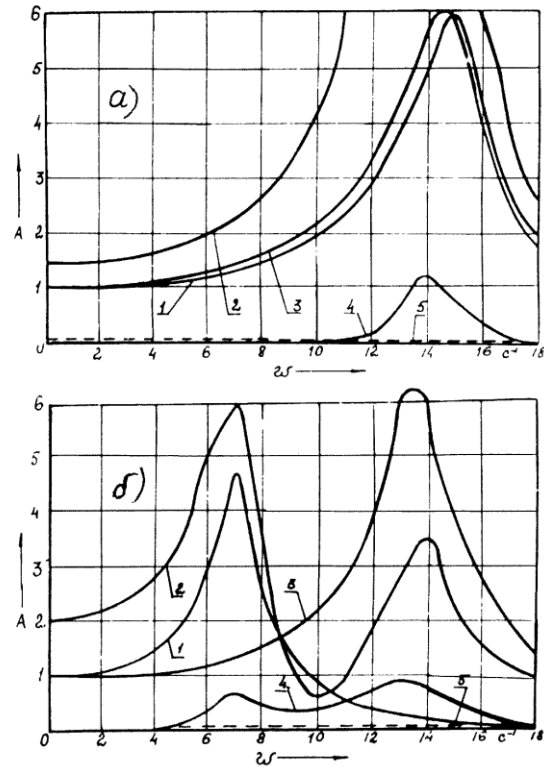


Рис. 2. Желаемая (5) и действительные расчетные АЧХ вертикальных колебаний переднего (1), заднего (2) мостов энергетического и технологического (3) модулей относительно неровностей продольного профиля пути, а также заднего моста ЭМ относительно переднего (4): а – для МЭС УПН; б – для МЭС общего назначения

Взаимосвязь вертикальных колебаний мостов ЭМ МЭС общего назначения незначительна (см. рис. 2, б, кривая 4).

Кроме неровностей продольного профиля пути, возмущающими факторами, приводящими к колебаниям МЭС в продольно-вертикальной плоскости, являются, как следует из приведенной системы уравнений, вертикальная (R_m^h) и горизонтальная (R_m^r) составляющие тягового сопротивления, приложенного к ТМ со стороны технологической части МТА.

В процессе моделирования установлено, что ТМ обоих МЭС практически инвариантны по отношению к изменению силы R_m^h и довольно чувствительны к колебаниям R_m^r (см. рис. 3). Вертикальные колебания ЭМ (особенно задних мостов) в большей степени зависят от горизонтальной составляющей тягового сопротивления технологической части агрегата. Очень важную роль при этом играют углы наклона центральной и нижних тяг ЗНУ ЭМ. Установлено, что изменения этих углов, способствующие разгрузке соответствующего моста, приводят к подъему его АЧХ, и наоборот. Если, например, центральную тягу навесного устройства ЭМ МЭС общего назначения установить под отрицательным углом вместо положительного, то это, безус-

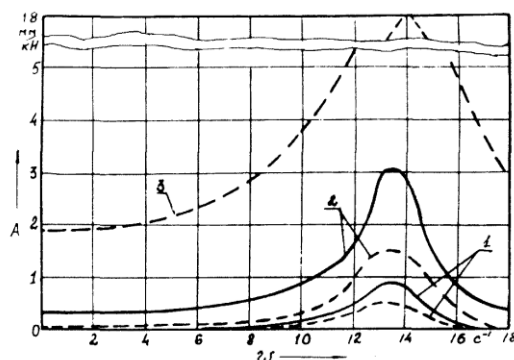


Рис. 3. АЧХ вертикальных колебаний переднего (1), заднего (2) мостов энергетического и технологического (3) модулей МЭС УПН относительно вертикальной (---) и горизонтальной (—) составляющих тягового сопротивления МТА

ловно, приведет к разгрузке переднего моста ЭМ. Одновременно ухудшится динамика его движения в продольно-вертикальной плоскости, поскольку возрастут соответствующие АЧХ относительно вертикальной и особенно горизонтальной составляющих тягового сопротивления технологической части агрегата (рис. 4).

Следует отметить, что в процессе анализа плавности хода МЭС исходили из предположения об эргодичности случайного процесса колебаний продольного профиля агрофона. В реальных условиях эксплуатации картина может быть несколько иной по следующей причине. Передние колеса МЭС за счет буксования в определенной мере сглаживают неровности пути. В результате вертикальные колебания заднего моста ЭМ несколько снижаются, так как его движители перемещаются по более выровненному фону. Последний может быть при этом случайной стационарной функцией с совершенно иными (существенно отличающимися) статистическими характеристиками.

За счет буксования задних колес ЭМ продольный профиль пути сглаживается еще больше, в результате создаются предпосылки для существенного повышения плавности хода ТМ. На основе этого возникает предположение, что, благодаря большей плавности хода технологического модуля по сравнению с энергетическим, стабильность глубины обработки почвы агрегатом на основе МЭС будет выше, чем у МТА на базе одного ЭМ (или серийного трактора).

Для экспериментальной проверки данной гипотезы исследовали два пахотных МТА. Первый из них включал МЭС (ЭМ и ТМ) и плуг ПЛП-6-35, а второй — только ЭМ (трактор МТЗ-142) с плугом ПЛН-4-35.

В процессе исследований пахотных агрегатов регистрировали влажность и твердость почвы, глубину ее обработки и вертикальные колебания рам плугов (последние — с помощью механического вибрографа).

Пахотные агрегаты на основе МЭС и его ЭМ были отрегулированы на глубину обработки 25 см. Среднее значение влажности почвы в слое 0–15 см составило 27,5 %, среднее значение твердости — 0,28 МПа.

МЭС с плугом ПЛП-6-35 (конструктивная ширина захвата 1,75 м) двигался со скоростью 2 м/с, агрегат на базе ЭМ — 1,8 м/с; скорость движения ленты записывающего устройства составляла 12 мм/с.

Корреляционно-спектральный анализ виброграмм показал, что частота вертикальных колебаний рам

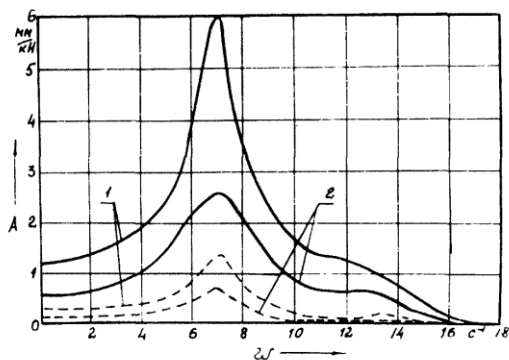


Рис. 4. АЧХ вертикальных колебаний переднего моста ЭМ МЭС общего назначения относительно вертикальной (---) и горизонтальной (—) составляющих тягового сопротивления МТА при угле наклона центральной тяги ЗНУ — 6° (1) и 12° (2)

плугов в обоих вариантах примерно одинакова. Энергия же рассматриваемых процессов существенно отличается. Если дисперсия вертикальных колебаний рамы плуга, агрегируемого с МЭС, была 29 кв. ед., то у МТА на основе одного ЭМ — 47,7 кв. ед.. Действительное значение F -критерия Фишера (F_d) для сравниваемых дисперсий составило 1,64. Табличное же значение данного критерия (F_{α}) для доверительной вероятности 95 % не превышало 1,39 [1]. Поскольку $F_d > F_{\alpha}$, то нуль-гипотеза о равенстве полученных дисперсий отклоняется. Этот вывод справедлив и для доверительной вероятности 99 %, поскольку в этом случае $F_{\alpha} = 1,59 < F_d$.

Из приведенного анализа следует, что дисперсия вертикальных колебаний плуга при его агрегатировании с МЭС значительно меньше, чем при агрегатировании с одним ЭМ. Причем разница полученных значений данного статистического параметра не случайна. Следовательно, не случайна и разница между средними квадратическими отклонениями глубины обработки сравниваемых пахотных МТА. Так, если для агрегата на основе МЭС она составила $\pm 2,08$ см, то для МТА на основе ЭМ — $\pm 2,65$ см. Разница между дисперсиями колебаний глубины вспашки оказалась существенной как на статистическом уровне значимости 0,05, так и 0,01.

Как видно, в отличие от традиционной схемы модульное построение энергетического средства позволяет существенно повысить равномерность хода по глубине агрегируемого с ним орудия.

Список литературы

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). — М.: Агропромиздат, 1985.
2. Исследования модульного энерготехнологического средства / Г. М. Кутяков и др. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 1989. № 12.
3. Исследования МЭС класса 3...5 на базе трактора Т-150 К / Г. М. Кутяков и др. // Сельскохозяйственные тракторы и двигатели: Тр. МГАУ. — М.: 1996.
4. Надыкто В.Т. Динамика плоскопараллельного движения МТА на основе МЭС в продольно-вертикальной плоскости. — Черкассы, 1996. — Деп. в НИИТЕХИМ, № 77 — хп96.
5. Рославцев А.В. Колесные тракторы кл. 3: улучшение тягово-сцепных и эксплуатационно-технологических качеств // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 1992. № 8.
6. Тракторы: Теория. Учебник для студентов вузов по спец. "Автомобили и тракторы" / В. В. Гуськова и др.; Под общ. ред. В. В. Гуськова. — М.: Машиностроение, 1988.

АГРОПАРТНЕР-98

ЧЕТВЕРТАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ВЫСТАВКА-ЯРМАКА
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ЭКСПОЗИЦИЯ

САХАР-98

24-27 ФЕВРАЛЯ 1998 ГОДА

УКРАИНА, КИЕВ,
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР УКРАИНЫ
ПАВИЛЬОН 12

сырье

технологии

оборудование для сахарной промышленности

ОРГАНИЗАТОРЫ:

Министерство промышленной политики Украины, Министерство АПК Украины, Ассоциация фермеров Украины, Государственный фонд поддержки фермерских хозяйств, Ассоциация продовольственного машиностроения «ПРОМА», Национальный выставочный центр Украины и фирма «Троян»

252022, Украина, г. Киев, д/я 54

Тел./факсы: (044) 251.94.08, 251.95.76, 251.96.31

Телефон: (044) 251.96.19

техника и технологии для растениеводства
семена и посадочный материал
минеральные удобрения и машины для их внесения
средства защиты растений
машины и оборудование для животноводства и
кормопроизводства
ветеринарное обеспечение
оборудование и технологии для переработки сельскохозяйственной
хлебобулочное оборудование и материалы
хранилища, тара, упаковка и упаковочное оборудование
нефтепродукты