

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЙ, ПРИОБРЕТАЕМЫХ  
ХАРАКТЕРНЫМИ ТОЧКАМИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО  
АГРЕГАТА В ПРОЦЕССЕ ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕЕЗДА  
DETERMINATION OF THE ACCELERATIONS ACQUIRED BY  
THE CHARACTERISTIC POINTS OF THE MACHINE-  
TRACTOR UNIT IN THE PROCESS OF TRANSPORT MOVING**

В.Б. Попов, канд.техн. наук, доцент

Гомельский государственный технический университет  
им. П.О. Сухого, г.Гомель, Беларусь

Popov V.B., PhD in Engineering, Associate Professor,  
Sukhoj State Technical University of Gomel, Belarus

На основе функциональной математической модели и аппарата передаточных функций определены ускорения, приобретаемые характерными точками машинно-тракторного агрегата в процессе транспортного переезда

On the basis of the functional mathematical model and the apparatus of transfer functions, the accelerations acquired by the characteristic points of the machine-tractor unit during the transport moving were developed.

## ВВЕДЕНИЕ

Проблемы обеспечения управляемости и устойчивости машинно-тракторного агрегата (МТА), обостряющиеся при динамическом перераспределении нагрузки на мостах тракторов общего назначения в процессе транспортного переезда, связаны с возникновением переменных сил инерции. Под транспортным переездом здесь понимается так называемый “длинный переезд” [1], т.е. переезд МТА с одного поля на другое с переведенной в транспортное положение навесной машиной. Примерами могут служить транспортные переезды в период кошения трав, выполняемые трактором “Беларус-3022” [2], агрегируемого с косилкой-плющилкой ротационной КПП-9 [3].

Цель работы – аналитическое определение ускорений в характерных точках МТА, возникающих в процессе его транспортного переезда под действием кинематического возбуждения со стороны опорной поверхности.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЙ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК МТА

Допущения о пропорциональности упругих и диссипативных сил изменению характеристик неровности, позволяют использовать аппарат передаточных функций [4] для определения параметров колебаний МТА.

Преобразованные по Лапласу при нулевых начальных условиях уравнения для независимых друг от друга колебаний передней и задней частей остова трактора принимают вид:

$$(S^2 + 2 \cdot h_{u1} \cdot S + \omega_{c1}^2) \cdot Z_1(S) = (2 \cdot h_{u1} \cdot S + \omega_{c1}^2) \cdot Q_1(S) \quad (1)$$

$$(S^2 + 2 \cdot h_2 \cdot S + \omega_{c2}^2) \cdot Z_2(S) = (2 \cdot h_2 \cdot S + \omega_{c2}^2) \cdot Q_2(S), \quad (2)$$

Из приведенных выражений определяются соответствующие передаточные функции -  $W_{Z1}(S)$  и  $W_{Z2}(S)$ .

Для заднего моста передаточная функция (ПФ) принимает вид:

$$W_{Z1}(S) = \frac{Z_1(S)}{Q_1(S)} = \frac{2h_{u1}S + \omega_{c1}^2}{S^2 + 2h_{u1}S + \omega_{c1}^2} = \frac{b_1S + 1}{a_1^2S^2 + b_1S + 1}; \quad (3)$$

где,  $a_1 = 1/\omega_{c1}$ ;  $b_1 = 2h_{u1}/\omega_{c1}^2$ .

ПФ для переднего моста имеет аналогичную структуру:

$$W_{z_2}(S) = \frac{Z_2(S)}{Q_2(S)} = \frac{2h_2S + \omega_{c2}^2}{S^2 + 2h_2S + \omega_{c2}^2} = \frac{b_2S + 1}{a_2^2S^2 + b_2S + 1} \quad (4)$$

Следует отметить, что реакция на переднем мосту запаздывает (по отношению к заднему мосту) на отрезок времени равный частному от деления базы трактора на скорость движения МТА.

Характеристики вынужденных колебаний, как трактора, так и МТА определяются сочетанием свойств ФММ и закона изменения внешних воздействий. Такую комбинацию удобнее исследовать, если в качестве характеристики динамической модели принять ее амплитудно-частотную характеристику (АЧХ), а воздействие задавать спектральной плотностью случайной функции сельскохозяйственного фона [5].

Таким образом, посредством АЧХ связываются спектральные плотности характеристик неровностей с/х фона и параметры вибрации остова трактора:

$$S_{\ddot{z}_1}(\omega) = A_{z_1}(\omega)^2 S_{q_1}(\omega); \quad S_{\ddot{z}_2}(\omega) = A_{z_2}(\omega)^2 S_{q_2}(\omega); \quad (6)$$

где  $S_{\ddot{z}_i}(\omega)$  – спектральные плотности характеристик неровностей СХФ;  $S_{z_1}(\omega)$ ,  $S_{z_2}(\omega)$  – спектральные плотности ускорений от характеристик неровностей для заднего и переднего мостов,  $A_{z_1}(\omega)$ ,  $A_{z_2}(\omega)$  – АЧХ ускорений от неровностей.

Из теории автоматического управления [4] известно, что АЧХ динамического звена равна модулю его передаточной функции, т. е.

$$A_{z_i}(\omega) = |W_{z_i}(j\omega)|,$$

Необходимо получить соответствующие АЧХ  $|W_{z_i}(j\omega)|$  для передней и задней частей остова трактора, заменив в ПФ (3) и (4)  $S$  на  $j\omega$ . и, избавясь от  $j$  в знаменателях дробно-рациональных функций

(3) и (4). Модули ПФ  $|W_{z_i}(j\omega)|$  ускорений находим, умножая соответствующие модули ПФ вертикальных перемещений на  $\omega^2$ .

Среднеквадратичные вертикальные ускорения заднего и переднего мостов трактора определяются по известному из [5] выражению:

$$\sigma_{zi} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S_{zi}(\omega) d\omega} \quad (5)$$

В результате перевода навесной машины – КПр-9 в транспортное положение центр тяжести МТА -  $S'$  смещается относительно центра тяжести трактора -  $S$ , расположение которого совпадает с общим для трактора и МТА центром упругости (рисунок 1).

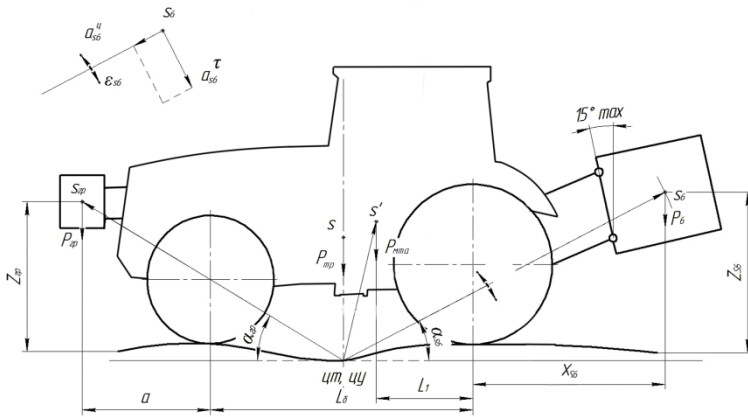


Рисунок 1– Схема, поясняющая плоские колебания характерных точек МТА

За обобщенные координаты МТА принимаем вертикальные перемещения центра масс  $z_0$  и угловые перемещения остова  $\alpha$  трактора. Они связаны с вертикальными колебаниями осей заднего и переднего мостов следующими зависимостями:

$$z_0 = \frac{z_1 L_2 + z_2 L_1}{L_B}; \quad \alpha = (z_2 - z_1) / L_B, \quad (6)$$

где,  $L_B = L_1 + L_2$  - база трактора.

Среднеквадратичные линейная скорость центра тяжести МТА и угловая скорость его колебаний относительно центра упругости определяются как результат дифференцирования выражений (6) по

независимой переменной  $t$ . Повторное дифференцирование по независимой переменной дает нам выражения для его среднеквадратичных линейного и углового ускорений:

$$\ddot{z}_0 = \frac{\ddot{z}_1 L_2 + \ddot{z}_2 L_1}{L_B}; \quad \ddot{\alpha} = (\ddot{z}_2 - \ddot{z}_1) / L_B \quad (7)$$

Колебания мостов трактора жестко связаны с колебаниями его центра тяжести и центра тяжести МТА и далее через МН с колебаниями центра тяжести навесной машины – КПП-9 и грузов балласта. Вертикальные колебания осей заднего и переднего мостов  $z_1$  и  $z_2$  сопровождаются соответствующими колебаниями центра тяжести МТА -  $Z_{S'}$ , навесной машины -  $Z_{S6}$  и центра крепления балласта -  $Z_{гп}$  (рисунок 1).

Среднеквадратичные ускорения, совершающих плоское движение характерных точек МТА, определяются по известному из [6] выражению:

$$\ddot{Z}_{Si} = \ddot{a}_{um} + \ddot{a}_{Si}^n + \ddot{a}_{Si}^r, \quad (8)$$

где  $\ddot{a}_{um}$  - среднеквадратичное ускорение центра тяжести МТА;  $\ddot{a}_{Si}^n$ ,  $\ddot{a}_{Si}^r$  - соответственно нормальное и тангенциальное среднеквадратичные ускорения характерной точки.

Среднеквадратичные линейное и угловое ускорения центра тяжести МТА определяются по выражениям (8). Нормальные и тангенциальные среднеквадратичные ускорения характерных точек определяются по известным из [6] выражениям:

$$\ddot{a}_{Si}^n = \dot{\alpha}_{Si}^2 \cdot L_{Si} \cdot \sin \beta_{Si} \quad \ddot{a}_{Si}^r = \ddot{\alpha}_{Si} \cdot L_{Si} \cdot \sin \beta_{Si}$$

где  $\dot{\alpha}_{Si}$  и  $\ddot{\alpha}_{Si}$  соответственно среднеквадратичные угловые скорость и ускорения характерных точек;  $L_{Si}$  - расстояние от центра упругости до характерной точки;  $\beta_{Si}$  - угол, образуемый  $L_{Si}$  с горизонтом.

Среднеквадратичные угловые ускорения характерных точек определяются по выражениям:

$$\ddot{\alpha}_{\text{сгp}} = \ddot{\alpha} \cdot \frac{L_{\text{сгp}}}{L_{\text{с'}}} ; \quad \ddot{\alpha}_{\text{с6}} = \ddot{\alpha} \cdot \frac{L_{\text{с6}}}{L_{\text{с'}}} .$$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На стадии формирования вариантов МТА следует рассчитывать ускорения, возникающих в характерных точках компонент МТА во время его транспортных переездов по пересеченной местности. Это позволит прогнозировать вероятность: потери управляемости МТА, возникновения резонансов, нарушения грузоподъемности шин, нежелательного превышения норм давления на опорную поверхность со стороны движителей.

Для выполнения предварительного расчета следует опираться на ФММ транспортного переезда, в том числе схему динамической модели, а также возможности преобразований Лапласа и аппарата ПФ.

С помощью представленной здесь методики, помимо упомянутых характерных точек, по аналогии могут быть определены параметры колебаний других характерных точек, например, рабочего места оператора.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Амельченко, П.А. Агрегатирование тракторов «Беларусь»: учеб. пособие / П.А. Амельченко, Б.Я. Шнейсер, Н.Г. Шатуня. – Мн.: Ураджай, 1993. – 302 с.
2. Трактора «БЕЛАРУС-2522В /2522ДВ/ 2822ДЦ/ 3022В/ 3022ДВ» и их модификации. Руководство по эксплуатации. 2-е издание, переработанное и дополненное © РУП «Минский тракторный завод», 2008 г. 396 с.
3. Косилка-плющилка ротационная трехсекционная навесная КПР-9 «ПАЛЕССЕ СН90». Руководство по эксплуатации «Поликодор», г. п. Корма, 2005г. 63 с.
4. Макаров, И. М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал) / И. М. Макаров, Б. М. Менский – М. : Машиностроение, 1982. – 504 с.
5. Гуськов В.В. Тракторы. Часть II. Теория. Минск, “Вышэйш. школа”, 1977. 384с.

6. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики. Динамика : учеб. для высш. техн. учеб. заведений / А. А. Яблонский. – 4-е изд., доп. – М. Высш. шк., 1971. – 488 с.

15.01.2019