

Рис. 8. Твердотельные модели обработанной поверхности:  
 $a - s = 0,5$  мм;  $б - s = 0,7$  мм;  $в - s = 1$  мм

Полученная модель позволяет автоматизировать процесс формообразования сложных поверхностей.

#### Литература

1. Лашнев, С. И. Проектирование режущей части инструмента с применением ЭВМ / С. И. Лашнев, М. И. Юликов – М. : Машиностроение, 1980. – 208 с.
2. Данилов, В. А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В. А. Данилов – Минск : Навука і тэхніка, 1995. – 264 с.
3. Родин, П. Р. Обработка фасонных поверхностей на станках с ЧПУ / П. Р. Родин, Г. А. Линкин, В. Н. Татаренко. – Киев : Техника, 1976. – 198 с.
4. You, S. Y. Scallop Removal in Die Milling by Tertiary Cutter Motion / S. Y. You, K. F. Eman // Journal of Engineering for Industry. – 1989. – № 3. – P. 213–215.
5. Bedi S. Chernoff W., Vickers G. Computer-aided Fairing and Direct Numerical Controlled Machining of Ship Hull Hydrodynamic Testing Models // CSME Transactions. – 1988. – Vol.12, № 1. – P. 43–48.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕЕЗДА МОБИЛЬНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО АГРЕГАТА

**М. А. Власов**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель В. Б. Попов

Целью работы является формирование функциональной математической модели и алгоритма решения задачи транспортного переезда МЭС, представленного универсальным энергетическим средством УЭС 290/450.

Неровности опорной поверхности, представленные ее микропрофилем, являются основным источником низкочастотных колебаний как УЭС, так и МСХА. При этом основное влияние на плавность хода оказывают вертикальные поступательные и продольные угловые колебания. От колес колебания передаются на корпус УЭС 290/450.

С одной стороны, это влечет за собой колебания нагрузки в агрегатах МЭС, а с другой – снижение уровня управляемости МЭС.

Геометрия неровностей микропрофиля опорной поверхности представляет собой случайный процесс, в котором, как правило, присутствуют гармонические составляющие. Так, сельскохозяйственный фон в виде стерни кукурузы после уборки на силос (движение поперек направления уборки) описывается корреляционной функцией с малой случайностью и большой периодичностью, т. е. представляет процесс близкий к обычному гармоническому. В этом случае профиль поля в первом приближении можно представить изменяющимся по гармоническому закону. Результаты исследований показывают, что периодические неровности можно рассматривать как непрерывное повторение единичных неровностей.

К микропрофилю относятся неровности с длиной волны от 0,1 до 100 м, вызывающие значительные колебания МЭС, но не содержащие длительных подъемов и спусков, влияющих на ее динамику. Микропрофиль вызывает колебания и оказывает существенное влияние на основные свойства МЭС: плавность хода, быстроходность, устойчивость и управляемость. Комплексное воздействие микропрофиля опорной поверхности определяет нагруженность узлов и агрегатов МЭС, ограничивает возможность реализации максимальной скорости, маневренности и т. п. Неровности, расположенные на отрезке пути менее 0,1 м, называются шероховатостями, сглаживаемыми шинами. Эти шероховатости вызывают незначительные колебания МЭС, но существенно влияют на работу шин (сцепные свойства, износ и т. п.).

Микропрофиль считается стационарным случайным процессом и основными его характеристиками являются: корреляционная функция, спектральная плотность и максимальная высота неровностей.

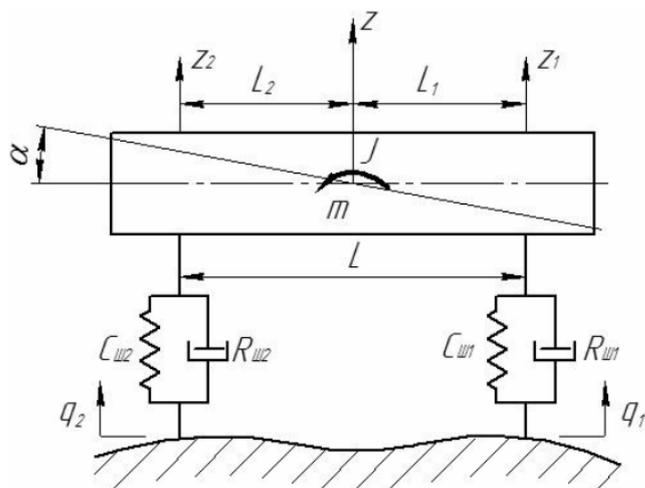


Рис. 1. Расчетная схема динамической модели УЭС (МСХА)

Для вывода уравнений движения, описывающих колебания УЭС и МСХА в вертикальной плоскости, используем уравнения Лагранжа второго рода в виде:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial E_K}{\partial \dot{x}_i} + \frac{\partial E_{\Pi}}{\partial x_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}_i} = 0,$$

где  $E_K$  и  $E_{\Pi}$  – кинетическая и потенциальная энергии системы;  $\Phi$  – функция рассеивания;  $x_i$  –  $i$ -я обобщенная координата.

За обобщенные координаты на схеме (рис. 1) приняты вертикальные перемещения центра тяжести  $z$  и угловые колебания  $\alpha$  относительно центра упругости УЭС. Обобщенные координаты связаны с вертикальными перемещениями его осей через выражения:

$$z = \frac{z_1 L_2 + z_2 L_1}{L}; \quad \text{tg } \alpha = (z_2 - z_1) / L.$$

При малых угловых перемещениях  $\text{tg } \alpha \approx \alpha$ . В этом случае кинетическая энергия УЭС определяется как:

$$E_k = \frac{1}{2} M z_2^2 + \frac{1}{2} J \alpha_2^2 = \frac{1}{2} M \left( \frac{z_1 L_2 + z_2 L_1}{L} \right)^2 + \frac{1}{2} J \left( \frac{z_2 - z_1}{L} \right)^2 = \frac{1}{2} m_1 z_1^2 + \frac{1}{2} m_2 z_2^2 + m_3 z_1 z_2,$$

где  $m_1 = M \frac{L_2^2 + \rho^2}{L^2}$ ;  $m_2 = M \frac{L_1^2 + \rho^2}{L^2}$ ;  $m_3 = M \frac{L_1 L_2 - \rho^2}{L^2}$ .

Навеска на УЭС 290/450 вызывает перераспределение масс по осям УЭС ( $m_1$  и  $m_2$ ), при этом появление массы  $m_3$  свидетельствует об отличии коэффициента  $\varepsilon$  от единицы. Приняв за начало отсчета положение статического равновесия УЭС (МСХА), получим выражение для его потенциальной энергии:

$$E_{\text{п}} = \frac{1}{2} 2c_{\text{ш1}}(z_1 - q_1)^2 + \frac{1}{2} 2c_{\text{ш2}}(z_2 - q_2)^2.$$

Следует отметить, что высота неровностей изменяется в зависимости от времени, причем воздействие, вызванное неровностью поверхности, поступает на заднее колесо с запаздыванием  $\tau$  относительно переднего колеса. Следовательно:

$$q_1 = q(t); \quad q_2 = q(t - \tau); \quad \tau = \frac{L}{v}.$$

Диссипативная функция, характеризующая рассеяние энергии в шинах, имеет вид:

$$\Phi = \frac{1}{2} 2k_{\text{ш1}}(\dot{z}_1 - \dot{q}_1)^2 + \frac{1}{2} 2k_{\text{ш2}}(\dot{z}_2 - \dot{q}_2)^2.$$

Далее, выполнив необходимые дифференцирования выражений для кинетической и потенциальной энергии, а также диссипативной функции, подставим производные в уравнения Лагранжа. После алгебраических преобразований уравнения вынужденных колебаний МСХА можно записать как:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + k_{\text{ш1}} \dot{z}_1 + c_{\text{ш1}} z_1 + m_3 \ddot{z}_2 = k_{\text{ш1}} q_1 + c_{\text{ш1}} \dot{q}_1; \\ m_2 \ddot{z}_2 + k_{\text{ш2}} \dot{z}_2 + c_{\text{ш2}} z_2 + m_3 \ddot{z}_1 = k_{\text{ш2}} q_1 + c_{\text{ш2}} \dot{q}_1. \end{cases}$$

Разделим первое и второе уравнения системы уравнений на  $m_1$  и  $m_2$  соответственно, в результате получим:

$$\begin{cases} \ddot{z}_1 + 2h_1\dot{z}_1 + \omega_{\kappa 1}^2 z_1 + \eta_1 \ddot{z}_2 = 2h_1 \dot{q}_1 + \omega_{\kappa 1}^2 q_1; \\ \ddot{z}_2 + 2h_2\dot{z}_2 + \omega_{\kappa 2}^2 z_2 + \eta_2 \ddot{z}_1 = 2h_2 \dot{q}_2 + \omega_{\kappa 2}^2 q_2, \end{cases}$$

$$\text{где } 2h_1 = \frac{2k_{\text{ш1}}}{m_1}; \quad 2h_2 = \frac{2k_{\text{ш2}}}{m_2}; \quad \omega_{\kappa 1}^2 = \frac{2c_{\text{ш1}}}{m_1}; \quad \omega_{\kappa 2}^2 = \frac{2c_{\text{ш2}}}{m_2}.$$

На основе разработанной ФММ транспортного переезда МСХА, состоящего из универсального энергетического средства УЭС 290/450, был сформирован алгоритм расчета отдельных характеристик плавности его хода, а также математическая модель, учитывающая распределение масс на передние и задние оси, их взаимное влияние друг на друга. Разработан алгоритм решения системы ДУ методами операционного исчисления.

#### Литература

1. Попов, В. Б. Расчет грузоподъемности подъемно-навесного устройства универсального энергетического средства третьего поколения / В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2012. – № 3. – С. 43–48.
2. Попов, В. Б. Аналитические выражения кинематических передаточных функций механизмов навески энергоносителей / В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2000. – № 2. – С. 25–29.
3. Попов, В. Б. Анализ навесных устройств универсального энергосредства «Полесье250» / В. Б. Попов // Тракторы и с.-х. машины. – 1990. – № 12. – С. 11–14.
4. Попов, В. Б. Математическое моделирование мобильного сельскохозяйственного агрегата в режиме транспортного переезда / В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2005. – № 3 – С. 13–18.
5. Попов, В. Б. Влияние параметров мобильного сельскохозяйственного агрегата на некоторые характеристики плавности его хода в режиме транспортного переезда / В. Б. Попов, С. Ф. Андреев // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2014. – № 1. – С. 39–44.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СО СТОРОНЫ ПОЧВЫ ПРИ ЕЁ ПАХОТЕ ПЛУГОМ ПЯТИКОРПУСНЫМ НАВЕСНЫМ ПЛН-5-35

А. О. Найдин

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого» Республика Беларусь

Научный руководитель В. Б. Попов

Академик В. П. Горячкин для определения силы тяги плуга предложил формулу, раскрывающую закономерности и физическую связь между основными факторами рабочего процесса плуга и общим сопротивлением, возникающим при его работе. Эти зависимости записаны в рациональном виде, поэтому и формула получила название *рациональной*. Она имеет вид:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = fG + kab + \varepsilon rabv^2,$$

где  $f$  – коэффициент, аналогичный коэффициенту трения;  $G$  – сила тяжести плуга, Н;  $k$  – коэффициент удельного сопротивления, Па;  $ab$  – размеры сечения пласта, м;  $\varepsilon$  – безразмерный коэффициент, зависящий от формы отвала и свойств почвы;  $\rho$  – плотность почвы;  $v$  – скорость, м/с.