Технология и средства механизации

УДК 502/504: 631.311.5

В. А. ПЕРОВ, Д. Е. КОСТРОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДВЕСКИ ГУСЕНИЧНОЙ МЕЛИОРАТИВНОЙ МАШИНЫ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ СВОЙСТВ И СЛУЧАЙНОГО ПРОФИЛЯ НЕРОВНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ

В процессе работы гусеничные мелиоративные машины перемещаются по неровностям со случайным профилем. Это вызывает случайные колебания в машине и отрицательно сказывается на эффективности работы. Получив зависимости статистических характеристик выходных процессов при учете нелинейности свойств подвески, авторы исследовали критерий оптимизации для получения оптимальных параметров системы подрессоривания.

Гусеничные мелиоративные машины, случайные колебания, статистические характеристики, оптимальные параметры подвески, система подрессоривания.

During the process of operation caterpillar reclamation machines move on rough surfaces of a random profile. This causes random vibrations in the machine and negatively influences the efficiency of the work. Having received the dependencies of statistical characteristics of the output processes at accounting non-linearity of the hanger properties the authors investigated an optimization criterion for obtaining optimal parameters of the cushioning system.

Caterpillar reclamation machines, random vibrations, statistical characteristics, optimal hanger parameters, cushioning system.

Задача исследования — определить оптимальные параметры системы подрессоривания (подвески) с учетом нелинейности свойств и случайного характера профиля неровностей поверхности движения.

При движении гусеничной машины по поверхности связь корпуса *1* с опорными катками *2* обеспечивается постоянно через элементы системы подрессоривания *3* (рис. 1). Рассмотрим движение корпуса в вертикальной плоскости, так как система подрессоривания в этой плоскости оказывает наиболее сильное влияние [1].

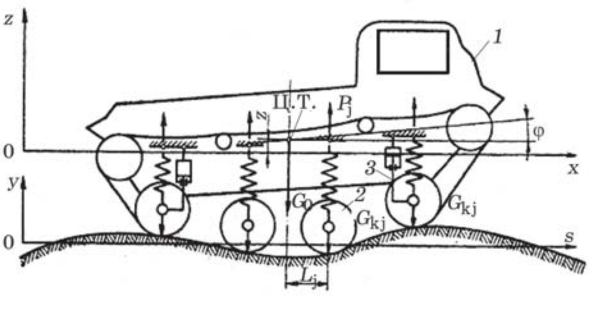

Рис. 1. Движение корпуса: *1* — корпус; *2* — опорные катки; *3* — элементы системы подрессоривания; ц.т. — центр тяжести

Для описания движения гусеничной машины примем следующее обобщенные координаты: $q_1 = x$, $q_2 = z$, $q_3 = \varphi$. Профиль пути, по которому движется машина, задается случайной функцией: $y = y(s)$ или $y = y(t)$.

При помощи уравнений Лагранжа 2-го рода получаем дифференциальные уравнения движения гусеничной мелиоративной машины в следующем виде [1]:

$$\sum_{k=1}^{3} a_{jk}\ddot{q}_k = Q;\ j = 1, 2, 3,$$

где инерционные коэффициенты: $a_{11} = \Delta m$ — произведение коэффициента условного приращения массы Δ на общую массу машины m; $a_{22} = m_0$ — масса корпуса машины (подрессоренная масса); $a_{33} = I_0$ — момент инерции корпуса машины относительно оси, проходящей через центр тяжести (см. рис. 1), остальные коэффициенты a_{jk} $(j \neq k)$ в общем случае не равны нулю, но гораздо меньше рассмотренных коэффициентов a_{jj}.

Обобщенные силы Q_j приближенно равны следующим значениям [1]:

$$Q_1 = \sum_{j=1}^{2n}\left(P_j + G_{kj}\right)\frac{\partial y_j}{\partial S};\ Q_2 = \sum_{j=1}^{2n} P_j;$$

$$Q_3 = \sum_{j=1}^{2n} P_j L_j,$$

где y_j — абсолютное перемещение j-го катка по вертикали ($y_j = y\,(s + l_j)$); P_j — сила, действующая на j-й каток через систему подрессоривания; $P_j = P_j\,(\dot{f}_j, f_j)$, $f_j = y_j - z - l_j\varphi$ — динамическое перемещение j-го катка относительно корпуса машины; G_{kj} — масса j-го катка с отнесенным к нему опорным участком ветви гусеницы.

Перейдем к другим обобщенным координатам: $u_j = f_j$; $j = 1, 2, ..., 2n$ — вертикальным деформациям (перемещениям) j-го узла системы подрессоривания. Применяем особую форму уравнений Лагранжа 2-го рода — уравнения Феркерса [2], так как число $2n$ больше числа степеней свободы. Выберем точки крепления j-го элемента системы подрессоривания таким образом, чтобы получить систему нелинейных независимых дифференциальных уравнений для деформации j-го элемента узла системы подрессоривания машины:

$$m_{jj}\dot{u}_j + R_j\left(\dot{u}_j, u_j\right) = -m_{jj}a_{0j}\left(t\right),$$
$$j = 1, 2, ..., 2n,$$

где $m_{jj} = m_{0/j}$, $R_j\,(\dot{u}_j, u_j)$ — нелинейная функция j-го элемента узла системы подрессоривания; $a_{0j} = \ddot{y}_j$ — проекция ускорения точки крепления в переносном движении вместе с основанием на вертикальную ось.

Пусть нелинейная функция $R_j\,(\dot{u}_j, u_j)$ имеет вид

$$R_j\left(\dot{u}_j, u_j\right) = b_j u_j + c_j\left(\dot{u}_j + \beta_j u_j^3\right),$$

где b_j — коэффициент, приведенный к вертикальной скорости; $\dot{u}_j$ — коэффициент сопротивления j-го узла системы подрессоривания; c_j — соответственно коэффициент жесткости; β_j — коэффициент нелинейности.

Эта функция, например, соответствует гидравлическим демпферам и упругим элементам в виде рессоры.

Нелинейные дифференциальные уравнения колебаний j-го элемента (узла) системы подрессоривания можно переписать в следующем виде:

$$\ddot{u}_j + 2\varepsilon_j\dot{u}_j + \omega_j^2\left(u_j + \beta_j u_j^3\right) = -a_{0j}\left(t\right),$$
$$j = 1, 2, ..., 2n, \qquad (1)$$

где $\omega_j = \sqrt{\dfrac{c_j}{m_{jj}}}$; $2\varepsilon_j = \dfrac{b_j}{m_{jj}}$.

Случайную функцию $a_{0j}(t)$ можно получить преобразованием из случайной функции $y_j(t)$: $a_{0j} = \ddot{y}_j$ Пусть в общем случае получаем неоднородную случайную функцию с вероятностными характеристиками: $Ma_0 = \langle a_0 \rangle$; $\sigma_0^{\,2}$ — математическим ожиданием и дисперсией. Тогда для расчета оптимальных параметров j-го элемента системы подрессоривания $\omega_j = \omega_0$; $\varepsilon_j = \varepsilon_0$ (свойства всех j-х элементов считаем одинаковыми) принимаем следующую аппроксимацию спектральной плотности:

$$S_{a0}(\omega) = \sigma_0^2 \delta(\omega - \theta),$$

где θ — преобладающая частота случайного процесса $a_0(t)$; $\delta(x)$ — дельта-функция Дирака.

Применяя метод канонических разложений [2] к уравнениям (1), получим систему уравнений для неизвестных $Mu_j = < u_0 > = y_j$, $\sigma_{uj}{}^2 = x_j$ — математическому ожиданию и дисперсии случайной функции $u_j(t)$:

$$y_j \left[1 + \beta_j \left(y_j^2 + x_j \right) \right] = -A_{1j};$$

$$x_j \left\{ \left[1 - \eta_j^2 \left(1 + 3\beta_j \left(x_j + y_j^2 \right) \right)^2 \right] + 4\gamma_j^2 \right\} = A_j,$$

где введены обозначения $A_{1j} = \dfrac{\langle a_0 \rangle}{\omega_0^2}$, $A_j = \dfrac{\sigma_0^2}{\theta^4}$,

$\eta_j = \dfrac{\omega_j}{\theta_1} = \eta_0$, $\gamma_j = \dfrac{\varepsilon_j}{\theta_1} = \gamma_0$.

Оптимальные параметры системы подрессоривания (η_0; φ_0) определяются по критерию максимальной вероятности [2]:

$$I_p = P\left(\max_{0 \le t \le T} \bar{w}(t) \in D_0 \right) = \max, \qquad (2)$$

где через $P(x)$ обозначена вероятность наступления события x.

Для вероятности $P(x)$ можно использовать формулу для пуассоновских потоков событий:

$$P\left(\max_{0 \le t \le T} \bar{w}(t) \in D_0 \right) = \exp\left[-v_+(\Gamma) T \right], \qquad (3)$$

где $v_+(\Gamma)$ — среднее число положительных пересечений вектор-функцией качества системы $\bar{w}(t)$ поверхности Γ области допустимых значений D_0.

Зададим вектор-функцию качества системы подрессоривания:

$$\bar{w} = \begin{pmatrix} u(t) \\ a(t) \end{pmatrix},$$

где $u(t) = u_j(t)$; $a(t) = a_j(t) = \ddot{u}_j + a_0$,

а область $D_0 : |\bar{u}| < u_s, \ |a| < a_s$,

где u_s, a_s, — допустимые значения u, a.

Для среднего числа выбросов имеем формулу [2]:

$$v_+ = \sum_{k=1}^{2} \frac{\Omega_k}{2\pi} \left\{ \left[\exp\left(-z_{1k}^{(1)2} \right) + \exp\left(-z_{2k}^{(1)2} \right) \right] + \right.$$
$$\left. + \left[\exp\left(-z_{1k}^{(2)2} \right) + \exp\left(-z_{2k}^{(2)2} \right) \right] \right\}, \qquad (4)$$

где введены обозначения $\Omega_1 = \dfrac{\sigma_{\dot{u}}}{\sigma_u}$; $\Omega_2 = \dfrac{\sigma_{\dot{a}}}{\sigma_a}$;

$z_{11}^i = \dfrac{u_0 + \langle u_j \rangle}{\sqrt{2}\sigma_{uj}}$; $z_{12}^i = \dfrac{a_0 + \langle a_j \rangle}{\sqrt{2}\sigma_{aj}}$; $z_{21}^i = \dfrac{u_0 + \langle u_j \rangle}{\sqrt{2}\sigma_{uj}}$; $z_{22}^i = \dfrac{a_0 + \langle a_j \rangle}{\sqrt{2}\sigma_{aj}}$,

$i = 1, 2$. (5)

Суммарные дисперсии перемещений $\sigma_u{}^2$ и ускорений $\sigma_a{}^2$, а также $\sigma_u{}^2$, $\sigma_a{}^2$ вычисляются таким образом:

$$\sigma_u^2 = \sum_j \sigma_{uj}^2; \quad \sigma_a^2 = \sum_j \sigma_{aj}^2; \quad \sigma_{\dot{u}}^2 = \frac{\sigma_u^2 \omega_0^2}{\sigma_0^2};$$

$$\sigma_{\dot{a}}^2 = \frac{\sigma_{\dot{a}}^2}{\sigma_0^2} = \frac{\left(2\eta_0^2 - 1 \right) + \xi_0^2}{\left\{ 1 - \eta_0^2 \left(1 + 3\beta_j \sigma_{uj}^2 \right) \right\}^2 + 4\gamma_j^2};$$

$$\xi_0^2 = \frac{\langle a_0 \rangle^2}{\sigma_0^2}. \qquad (6)$$

Подставляем (6), (5) в формулу (4) для v_+, а затем при помощи формул (2), (3) вычисляем целевую функцию $I_p(\eta_0; \gamma_0)$. Построим на плоскости безмерных параметров η_0, γ_0 линии равной вероятности I_p (рис. 2). Получаются четыре зоны, характеризующие качество работы нелинейной системы подрессоривания гусеничной мелиоративной машины. Зона III характеризует наиболее высокое качество работы системы ($I_p >$ 0,99). Для этой зоны оптимальное сочетание параметров следующее: $\eta_0^{\text{опт}}$, $\gamma_0^{\text{опт}}$.

Рис. 2. **Плоскость безразмерных параметров**

Вывод

Рассмотренная методика определения оптимальных параметров системы подрессоривания гусеничной мелиоративной машины с учетом случайного профиля неровностей поверхности движения и нелинейности свойств позволяет более рационально и точно спроектировать систему и повысить эффективность работы машины.

Список литературы

1. **Дмитриев, А. А.** Теория и расчет нелинейных систем подрессоривания гусеничной машин [Текст] / А. А. Дмитриев, В. А. Чобиток, А. В. Тельминов. — М. : Машиностроения, 1976. — 206 с.

2. **Перов, В. А.** Стохастические задачи оптимизации параметров и оценки надежности нелинейных упругих систем (узлов) полиграфических машин [Текст] / В. А. Перов. — М. : МГУП, 2000. — 232 с.

3. Динамика системы «дорога — шина — автомобиль — водитель» [Текст] / А. А. Хачатуров [и др.]. — М. : Машиностроение, 1976. — 535 с.

4. **Swanlund, M.** Enhancing pavement smoothness [Text] / M. Swanlund. — USA: Public Roads, 2000. — 67 p.

Материал поступил в редакцию 17.03.08.

Перов Виктор Александрович, *доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой теоретической механики и теории машин и механизмов*

Тел. 8 (495) 976-05-75

Костров Денис Евгеньевич, *аспирант, ассистент кафедры теоретической механики и теории машин и механизмов*

Тел. 8 (495) 976-05-75

УДК 502/504: 631.31

А. А. МИХАЙЛИН

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

ПОСТАНОВКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОСТИ ОБРАБОТАННОГО ПЛАСТА ПОЧВЫ НА СКЛОНЕ

При обработке склоновых земель новым способом безотвальной обработки происходит аккумуляция почвенной влаги на склоне. Предлагается способ определения условий равновесия обработанного влагонасыщенного слоя почвы на склоне.

Устойчивость обработанного пласта почвы, условия критического перенасыщения влагой, способ обработки склоновых почв, использование атмосферных осадков, снижение урожайности, коэффициент сцепления грунта.

When cultivating slope lands by a new mold method there takes places an accumulation of the soil moisture on the slope. We propose a determination method, conditions of the balance of the cultivated moisture saturated soil layer on the slope.

Stability of the cultivated soil layer, conditions of the critical oversaturation with moisture,the method of cultivation of slope soils,usage of atmospheric precipitation, decreasing of crop capacity, soil adhesion coefficient.

В условиях Ростовской области значительные площади земель сельскохозяйственного назначения находятся на склонах и испытывают эрозионную нагрузку. Это приводит к непродуктивному использованию атмосферных осадков и, следовательно, снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Склоновые земли в основном обрабатываются вспашкой с оборотом