

К ОБОСНОВАНИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМОРТИЗАТОРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАВНОСТИ ХОДА ШТАНГИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ

Ю.С. БИЗА¹, И.С. КРУК^{1,2}, А.И. ГАЙДУКОВСКИЙ¹,
А.А. НОВИКОВ², С.В. ЯКУБОВСКИЙ¹, П.Э. ГРИНКЕВИЧ¹

¹Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

²Институт переподготовки и повышения квалификации МЧС Республики Беларусь,
Светлая Поща, Республика Беларусь

В статье приведены теоретические исследования по обоснованию параметров амортизаторов при использовании в системе стабилизации штанги. Получена математическая модель, описывающая влияние характеристик амортизаторов на процесс затухания колебаний штанги.

In article theoretical researches on a substantiation of parameters of shock-absorbers are resulted at use in system of stabilisation of a bar. The mathematical model describing influence of characteristics of shock-absorbers on process of attenuation of fluctuations of a bar is received.

Введение

Общей тенденцией мирового земледелия является широкое применение химических средств защиты растений, что позволяет не только улучшать качество и увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур, но и значительно экономить энергетические и трудовые ресурсы. Химический метод защиты растений остается самым распространенным по универсальности, высокой производительности труда, эффективности, рентабельности, высокому уровню механизации. Однако нерациональное и неразумное его использование может повлечь значительные экологические последствия.

Основным методом внесения пестицидов является опрыскивание, выполняемое высокопроизводительными опрыскивателями, процесс работы которых неизменно сопровождается возмущениями, передаваемыми на штангу и вызывающими ее колебания. Это, в первую очередь, приводит к неравномерности распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности, повышенной нагрузке на экологию окружающей среды и накоплению остаточных количеств средств химизации в конечной продукции растениеводства и почве. Кроме того, несущая конструкция штанги воспринимает дополнительные динамические нагрузки, что при неуправляемом колебательном процессе может привести к ее поломке. Поэтому в конструкциях опрыскивателей применяются различные системы стабилизации штанги, основанные на использовании демпфирующих элементов (пружин, амортизаторов, рессор и т. д.) [1]. Наибольшее распространение получили амортизаторы, характеристики которых и параметры установки определяют эффективность гашения колебаний штанги в вертикальной плоскости.

Основная часть

Разнообразие конструкций и размеров штанг требует обоснованного подхода к разработке систем гашения колебаний, основанного на рациональном использовании характеристик и параметров установки амортизаторов. Рассмотрим эффективность гашения колебаний штанги парой амортизаторов, установленных под углом α к горизонтальной плоскости (рис. 1).

Система состоит из шасси 1 с рамой 2, в направляющих которой в вертикальном направлении перемещается подвижная рамка 4, закрепленная на штоке гидроцилиндра изменения высоты установки штанги 3. Штанга 5 опирается на подвижную рамку с возможностью свободного перемещения. Гашение колебаний штанги в вертикальной плоскости обеспечивается амортизаторами 4.

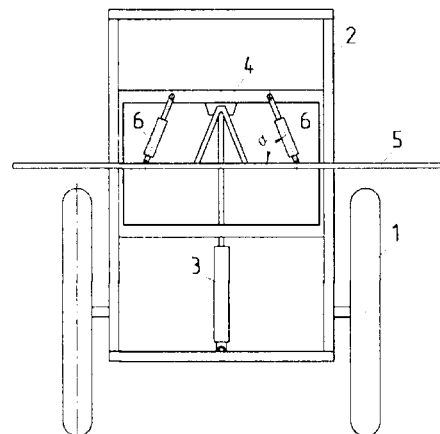


Рис. 1. Схема к расчету амортизаторов системы стабилизации штанги: 1 — шасси опрыскивателя; 2 — рама; 3 — гидроцилиндр изменения высоты установки штанги; 4 — подвижная рамка; 5 — штанга; 6 — амортизаторы

Эффективность работы предложенной системы стабилизации определяется в большей мере коэффициентом сопротивления амортизаторов. Рассмотрим процесс колебания системы в вертикальной плоскости и их гашения амортизаторами.

Движение штанги относительно опоры штанги на подвижной рамке может быть описано уравнением Лагранжа второго рода [2, 3]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q} = Q, \quad (1)$$

где t — время;
 q — обобщенная координата;
 \dot{q} — обобщенная скорость (для поступательного движения системы в направляющих $\dot{q}_2 = \dot{z} = \dot{\mathfrak{S}} = \dot{\mathfrak{S}}_c$);
 Q — обобщенная сила;
 E_k — кинетическая энергия системы:

$$E_k = \frac{1}{2} a \dot{q}^2, \quad (2)$$

где a — инерционный коэффициент системы.

Приняв за обобщенную координату угол поворота штанги $q = \varphi$, уравнение (1) примет вид:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \varphi} = Q_a,$$

где Q_a — обобщенная диссипативная сила сопротивления амортизаторов:

$$Q_a = -\mu \dot{\varphi}, \quad (3)$$

где μ — коэффициент сопротивления амортизаторов.

Потенциальная энергия системы состоит только из потенциальной энергии полей сил тяжести ($E_n = Pz_c = 0$, так как $z_c = z_0 = 0$).

С учетом зависимостей (2) и (3) уравнение (1) примет вид:

$$a \ddot{\varphi} = -\mu \dot{\varphi},$$

или

$$a \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -\mu \frac{d\varphi}{dt}. \quad (4)$$

Понижая порядок дифференциального уравнения, зависимость (4) представим в виде:

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{\mu}{a} \omega. \quad (5)$$

Разделяя переменные и интегрируя зависимость (5), получим

$$\int_0^{\omega} \frac{d\omega}{\omega} = -b \int_0^t dt,$$

или

$$\ln \omega = -bt + C_1, \quad (6)$$

где $b = \frac{\mu}{a}$;

C_1 — постоянная интегрирования.

Постоянная интегрирования может быть найдена по начальным условиям. При $t = 0$ зависимость (6) примет вид:

$$C_1 = \ln \omega_0.$$

Таким образом,

$$\ln \omega = -bt + \ln \omega_0,$$

или

$$\ln \frac{\omega}{\omega_0} = -bt. \quad (7)$$

Потенцируя полученное выражение, имеем:

$$\omega = \omega_0 e^{-bt} = \omega_0 e^{-\frac{\mu}{a} t},$$

или

$$\frac{d\phi}{dt} = \omega_0 e^{-bt} = \omega_0 e^{-\frac{\mu}{a} t}. \quad (8)$$

Разделяя переменные и интегрируя зависимость (8), получим:

$$\int_0^{\phi} d\phi = \omega_0 \int_0^t e^{-bt} dt,$$

или

$$\phi = -\frac{\omega_0}{b} e^{-bt} + C_2, \quad (9)$$

где C_2 — постоянная интегрирования.

Принимая, что после воздействия штанга получит начальное отклонение на угол ϕ_0 , по начальным условиям при $t = 0$ из уравнения (9), получим:

$$C_2 = \phi_0 + \frac{\omega_0}{b}.$$

В конечной форме выражение (9) запишется как

$$\phi = \phi_0 + \frac{\omega_0}{b} (1 - e^{-bt}) = \phi_0 + \frac{\omega_0 a}{\mu} \left(1 - e^{-\frac{\mu}{a} t} \right). \quad (10)$$

На основании полученной зависимости можно построить следующие графические зависимости (рис. 2).

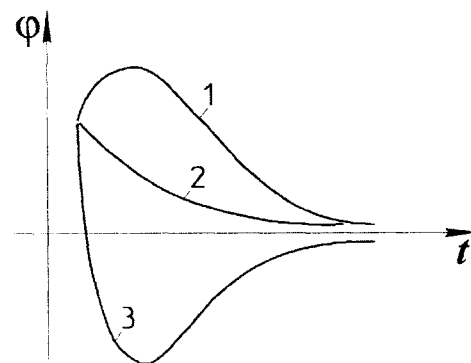


Рис. 2. Графическое решение зависимости (10):
 1 — $\omega_0 > 0$; 2 — $\omega_0 < 0$ (ω_0 мало); 3 — $\omega_0 < 0$ (ω_0 большое)

Заключение

Наибольшее распространение в конструкции систем стабилизации штанги получили амортизаторы. Рациональное сочетание их характеристик и параметров установки позволяет обеспечить эффективность процесса гашения колебаний в вертикальной плоскости.

В результате проведенных исследований нами получена зависимость, позволяющая описать процесс затухающих колебаний штанги и подобрать параметры используемых амортизаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крук, И.С., Гайдуковский, А.И. Пути снижения амплитуды колебаний штанги широкозахватного сельскохозяйственного опрыскивателя // Инженерный вестник. 2006. № 2(22). С. 41–42.
2. Тарг, С.М. Курс теоретической механики: учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 1986. 416 с.
3. Пановко, Я.Г. Введение в теорию механических колебаний: учебн. пособие. М.: Наука, 1980. 272 с.