

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (ФЦП «Исследования и разработки» соглашение № 14.574.21.0166, RFMEFI57417X0166).

Список литературы

1 Lefevre, F. Coupled thermal and hydrodynamic models of flat micro heat pipes for the cooling of multiple electronic components / F. Lefevre, M. Lallemand // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2006. – Vol. 49. – No. 7–8. – P. 1375–1383.

2 Lurie, S. A. Topology optimization of the wick geometry in a flat plate heat pipe / S. A. Lurie, L. N. Rabinskiy, Y. O. Solyaev // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2019. – Vol. 128. – P. 239–247.

УДК 629.366

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ФИТИЛЯ В ПЛОСКИХ ТЕПЛОТВОДЯЩИХ ОСНОВАНИЯХ, РАБОТАЮЩИХ ПО ПРИНЦИПУ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

П. О. ПОЛЯКОВ, Л. Н. РАБИНСКИЙ, Ю. О. СОЛЯЕВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Предложена методика топологической оптимизации плоских теплоотводящих оснований, работающих по принципу тепловых труб и применяемых для охлаждения микроэлектроники. Рассматриваются основания, выполненные из меди (медные стенки/медный фитиль) и с водой в качестве рабочей жидкости. Предполагается, что толщина слоя фитиля на внутренних стенках изделия может быть переменной, то есть является неизвестной функцией координат, которая определяется в результате решения задачи топологической оптимизации. Целью оптимизации является снижение потерь давления и повышение капиллярного предела рассматриваемой плоской тепловой трубки. Расчеты проводятся в квазистационарном приближении в плоской постановке и включают в себя модель фильтрации жидкости в пористом фитиле, модель ламинарного течения газа в паропроводе и модель теплопроводности в стенке изделия с учетом эффектов конденсации/испарения рабочей жидкости. Особенностью расчетов является необходимость поиска оптимальной внутренней геометрии фитиля в плоской тепловой трубке для обеспечения одновременного снижения потерь давлений в противонаправленных потоках жидкости (в фитиле) и газа (в паропроводе). Требование по максимальной температуре нагрева в зоне подвода тепла является ограничением задачи оптимизации. В результате расчетов установлены оптимальные структуры теплоотводящих оснований различной формы с одним или несколькими источниками тепла.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (ФЦП «Исследования и разработки», соглашение № 14.574.21.0166, RFMEFI57417X0166).

УДК 631.371.06

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ РАБОЧЕГО МЕСТА МЕХАНИЗАТОРА МОБИЛЬНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО АГРЕГАТА

В. Б. ПОПОВ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

Мобильный сельскохозяйственный агрегат (МСХА), состоящий из универсального энергетического средства (УЭС) и переведенной в транспортное положение (поднятой) навесной машины, регулярно работает в режиме транспортного переезда. Основным источником низкочастотных колебаний для колесных движителей УЭС являются неровности (микропрофиля) опорной поверхности (рисунок 1). Случайный характер неровностей опорной поверхности через движители воздействуют на корпус УЭС и на связанное с ним рабочее место механизатора (РММ). В данном случае при исследовании плавности хода МСХА входными сигналами технической системы являются неровности опорной поверхности $q_1(t)$, $q_2(t)$, а выходными – перемещения РММ – $z(t)$ и место (точка) его крепления на раме – $z_c(t)$ относительно опорной поверхности.

Эквивалентная динамическая схема (рисунок 1) функциональная математическая модель (ФММ), имитирующая динамику транспортного переезда, формируется на основе уравнения Лагранжа II рода и описывает вынужденные колебания МСХА. ФММ представлена нелинейными дифференциальными уравнениями (ДУ) с постоянными коэффициентами, а решение системы ДУ можно получить, например, с помощью метода Рунге – Кутты 4-го порядка в программной среде MathCAD.

$$\begin{cases} \ddot{z}_1 + 2h_1\dot{z}_1 + \omega_1^2 z_1 + \eta_1 \ddot{z}_2 = 2h_1\dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 \\ \ddot{z}_2 + 2h_2\dot{z}_2 + \omega_2^2 z_2 + \eta_2 \ddot{z}_1 = 2h_2\dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2. \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{Здесь } \eta_1 = \frac{m_3}{m_1}; \omega_1^2 = \frac{2c_{\text{м1}}}{m_1}; 2h_1 = \frac{2k_{\text{м1}}}{m_1}; \eta_2 = \frac{m_3}{m_2}; \omega_2^2 = \frac{2c_{\text{м2}}}{m_2}; 2h_2 = \frac{2k_{\text{м2}}}{m_2}.$$

где η_1, η_2 – коэффициенты связи между колебаниями передней и задней осей УЭС; h_1, h_2 – коэффициенты демпфирования колебаний; ω_1, ω_2 – частоты колебаний осей УЭС.

В ФММ, имитирующей динамику транспортного переезда МСХА, колебания передней и задней осей УЭС достаточно часто могут быть связаны между собой (η_1, η_2), и тогда распределенная эксплуатационная масса МСХА ($m = m_1 + m_2 + m_3$) состоит из трех компонент.

Важным компоновочным параметром как отдельно УЭС, так и МСХА, в зависимости от которого выбирается соответствующая расчетная схема, является коэффициент распределения подрессоренных масс технической системы ε :

$$\varepsilon = \rho^2 / L_1 L_2, \quad \rho = \sqrt{J/m}.$$

где ρ – радиус инерции корпуса УЭС и связанной с ним НМ; L_1, L_2 – расстояния от осей заднего и переднего мостов УЭС до центра тяжести МСХА; J – момент инерции и эксплуатационная масса МСХА – (m), равная сумме масс УЭС и навесной машины.

Если значение радиуса инерции находится в пределах $0,8 \leq \varepsilon \leq 1,2$, то колебания осей заднего и переднего мостов УЭС (МСХА) можно считать несвязанными, а система ДУ (1) приобретает вид

$$\begin{cases} \ddot{z}_1 + 2h_1\dot{z}_1 + \omega_1^2 z_1 = 2h_1\dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1; \\ \ddot{z}_2 + 2h_2\dot{z}_2 + \omega_2^2 z_2 = 2h_2\dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2. \end{cases} \quad (1a)$$

Модернизированная ФММ включает распределенную массу МСХА ($m = m_1 + m_2$), его момент инерции (J), а также упругие ($c_{\text{м1}}, c_{\text{м2}}$) и демпфирующие элементы $k_{\text{м1}}, k_{\text{м2}}$ шин, воспринимающие и смягчающие толчки со стороны с/х фона (q_1, q_2).

Вертикальные колебания корпуса УЭС в точке крепления РММ на раме УЭС (z_c) связаны с колебаниями его передней и задней частей зависимостью

$$z_c = \frac{L_c}{L_1} z_1 + \frac{L - L_c}{L} z_2, \quad (2)$$

где L_c – расстояние по горизонтали от оси передних колес УЭС до точки крепления РММ.

Уравнение колебаний РММ получаем также воспользовавшись уравнениями Лагранжа II рода. За обобщенную координату принимаем z – колебания РММ относительно статического равновесия технической системы. Значения кинетической и потенциальной энергии, а также диссипативной функции применительно к РММ определяются по выражениям

$$E_k = \frac{1}{2} m_c \dot{z}^2; \quad E_{\text{п}} = \frac{1}{2} c_c z^2; \quad \Phi = \frac{1}{2} k_c z^2, \quad (3)$$

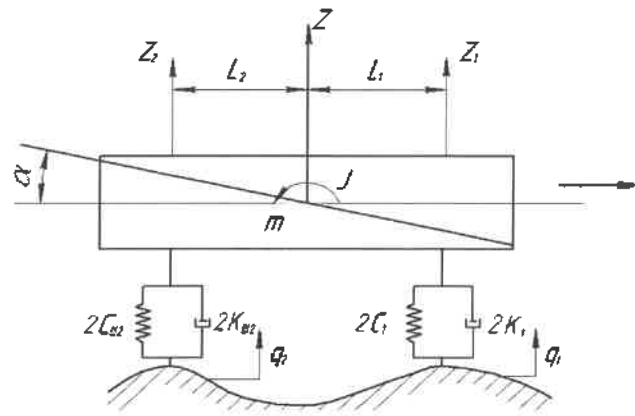


Рисунок 1 – Схема динамической модели МСХА

где m_c – масса РММ и механизма; c_c – жесткость подвески РММ; k_c – коэффициент демпфирования в подвеске РММ.

Продифференцировав выражения из (3), учитывая, что обобщенная сила в данном случае равна нулю, и выполнив преобразования, получим дифференциальное уравнение колебаний РММ относительно опорной поверхности:

$$\ddot{z} + \frac{k_c(\dot{z} - \dot{z}_c)}{m_c} + \frac{c_c(z - z_c)}{m_c} = 0. \quad (4)$$

Таким образом, для получения характеристик колебаний РММ необходимо:

- из системы ДУ (1) или (1а) определить колебания корпуса УЭС над его передними (z_1) и задними (z_2) колесами;
- из выражения (2) определить z_c и посредством дифференцирования выражения (2) по независимой переменной – t определить \dot{z}_c ;
- решив уравнение (4), найти колебания РММ относительно опорной поверхности.

УДК 531.4.45:778.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КИНОКАМЕРЫ

В. И. ПОРТНОВ, Е. С. БОГОМОЛОВА, К. С. АНТОНОВА, П. С. ЧИЛИНОВА
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

В нашей работе мы изучали действие трения на движение тел, особенно – сухое трение скольжения и трение качения. В качестве основного инструмента измерения была выбрана кинокамера [1]. Эксперимент был выполнен в достаточно спартанских условиях со встроенной в обычный айфон камерой, в результате чего удалось показать, что эксперименты с кинокамерой достаточно точные и современные, при этом простые и доступные.

Цель работы: исследовать динамику сухого трения с помощью камеры благодаря скатыванию шаров по наклонной плоскости, особое внимание уделить изучению зависимости сил трения от скорости движения.

Описание эксперимента. Три шарика – каучуковый, железный и стеклянный – скатывались с деревянного уголка длиной чуть больше 2 м, размеченного сантиметровой разметкой. Уголок был достаточно прочно закреплён штативом за один из концов, так что образовывалась наклонная плоскость. Высоту крепления можно было варьировать. Кинокамера (iPhone 7+ разрешение 4К, 30 кадров в секунду) крепилась на другом штативе на расстоянии примерно 2 м от уголка под прямым углом к нему.

В каждом скатывании один из шариков устанавливался на отметке 0, и одновременно с началом записи шарик отпускался. Затем полученные видео разбивались на кадры с определением времени в программе Light Alloy, в каждом кадре положение шарика определялись в программе Paint.

Трение. Изучение трения чрезвычайно важно для любого транспортного учебного заведения. В нашей работе мы изучали действие трения (в основном сухого) на движение тел, особенно – сухое трение скольжения и трение качения.

Трение скольжения – хорошо изученное явление. Самым известным законом, описывающим его, является закон Кулона – Амонтона, согласно которому сила трения скольжения описывается формулой $F = A + \mu N$, где N – сила нормального давления, μ – коэффициент трения, а A – фактор, связанный с межмолекулярным сцеплением поверхностей.

Зависимость силы трения от скорости движения многократно исследовалась. Было обнаружено, что следует различать два вида контакта тел: упругий (при небольших силах давления) и пластический (при больших силах давления, когда существенна деформация поверхности). При пластическом контакте зависимость от скорости ярко выражена при низких скоростях: чем больше скорость, тем *меньше* сила трения.

Многократные попытки моделирования трения [2] показали, что расхождение теории и практики связано с наличием пограничного смазочного слоя, который рассеивается только в глубоком вакууме. Обычно считают, что для того, чтобы сдвинуть тело с места, к нему нужно приложить большую силу,