

- образование загрязняющих веществ [Текст] / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл; пер. с англ. Г.Л. Агафонова под ред. П.А. Власова. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 352 с.
8. Будаев С.И. Электропроводность пламени и скорость сгорания топливно-воздушной смеси в двигателе с искровым зажиганием [Текст] / С.И. Будаев, П.В. Ивашин, В.В. Смоленский, А.П. Шайкин // Автотракторное электрооборудование. – 2004. – №3. – С. 42.
 9. Franke A. Characterization of an electrical sensor for combustion diagnostics [Text] / A. Franke // Doctoral thesis. – 2002. – 137 p.
 10. Степанов Е.М. Ионизация в пламени и электрическом поле [Текст] / Е.М. Степанов, Б.Г. Дьячков. – М. : Металлургия, 1968. – 312 с.
 11. Коломиец П.В. Влияние скорости распространения пламени на выделения оксидов азота при добавке водорода в бензиновые двигатели [Текст]: автореф. дисс. ... канд. тех. наук : 05.04.02 / Коломиец Павел Валерьевич. – Тольятти, 2007. – 19 с.
 12. Шайкин А.П. Взаимосвязь характеристик распространения пламени в объемах камеры сгорания у свечи зажигания и в наиболее удаленной от неё зоне в газовом ДВС [Текст] / А.П. Шайкин, П.В. Ивашин, И.Р. Галиев // Вектор науки ТГУ. – 2012. – С. 209 – 215.
 13. Gao Z. Investigation on characteristics of ionization current in a spark-ignition engine fueled with natural gas hydrogen blends with BSS de-noising method [Text] / Z. Gao, X. Wu, H. Gao, B. Liu // International journal of hydrogen energy. – 2010. – № 35. – P. 12918 – 12929.
 14. Eriksson, L. Spark advance modeling and control [Text] / L. Eriksson // Doctoral thesis. – 1999. – 183 p.
 15. Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей [Текст] / А.И. Мищенко. – Киев : Наукова думка, 1984. – 143 с.
 16. Hermanns E. Laminar burning velocities of methane-hydrogen-air mixtures [Text] / E. Hermanns // Doctoral thesis. – 2007. – 144 p.
 17. Minic D. Hydrogen energy – challenges and perspectives [Text] / D. Minic. – InTech. – 2012. – 326 p.
 18. Ma F. Hydrogen-enriched compressed natural gas as a fuel for engines [Text] // F. Ma, N. Naeve, M. Wang, L. Jiang // Natural gas. – 2010. – P. 606.

Силовое взаимодействие в кулачково-роликовой муфте

Строков А.М.

Университет машиностроения
+7(495)223-05-23 (1527), asguitar@gmail.com

Аннотация. В статье описаны принципы взаимодействия элементов и зависимость передаваемого момента от управляющего воздействия в кулачково-роликовых муфтах. Представленные зависимости являются необходимыми для проектировочных расчетов или построения математической модели такого механизма.

Ключевые слова: кулачково-роликовая муфта, расчёт, зависимость момента от управляющего воздействия.

В патентах [1] и [2] предложены конструкции муфты сцепления, в которой вместо фрикционного взаимодействия используется взаимодействие кулачков и роликов. Если один из этих компонентов набегает на другой и поверхность кулачка скошена под определённым углом α к направлению взаимного перемещения, усилие взаимодействия может быть разложено на две составляющие – параллельную перемещению и перпендикулярную к нему. Увеличивая прижатие одного к другому, за счёт сближения частей муфты, можно тем самым увеличивать усилие, передаваемое между ними в тангенциальном направлении.

Преимущество кулачково-роликовой муфты (далее – КРМ) по сравнению с фрикционной связано с тем, что в ней связь между усилием сжатия и передаваемым тангенциальным усилием определяется (при одинаковых габаритах) не коэффициентом трения, а характером

силового взаимодействия. Если считать, что максимальное значение коэффициента трения не больше 0,3, то в КРМ эта связь формируется в основном через связь с тангенсом угла скоса кулачка, который может составлять 1 (при угле в 45 градусов) или даже больше. При этом всё взаимодействие будет происходить не на среднем радиусе дисков, а на большем. И такая муфта не нуждается в большом запасе по номинальному моменту, так как возможная перегрузка в ней не приводит к выходу из строя.

Расчёты при проектировании КРМ должны решать две задачи. В одной должны определяться возможности муфты по передаче максимального крутящего момента при полном включении в зависимости от принятых конструктивных параметров. В другой определяется зависимость максимального момента от управляющего воздействия для моделирования процесса включения.

Количество кулачков и роликов, соответственно pt и pn при условии, что t и n – числа, не имеющие общих делителей, а p – количество периодов (количество элементов, находящихся в одинаковом взаимодействии). При этом желательно принимать количество периодов равным либо 2, либо 4 для более равномерного приложения усилий прижатия и устранения возможных перекосов.

Необходимо понимать, что на начальном этапе сближения полумуфт процесс полезного взаимодействия единичного кулачка и ролика радиуса r представляет из себя обкатывание вершины кулачка роликом до момента совмещения осей.

При дальнейшем сближении полумуфт, при превышении величины их сближения, находимой по представленной далее формуле (2), характер взаимодействия изменится. Теперь процесс полезного взаимодействия будет состоять из двух участков, показанных на рисунке 1. Первый участок (а) представляет из себя подъем ролика по образующей кулачка, при этом наблюдается линейность процесса, то есть зависимость между тангенциальной и осевой силами выражается через тангенс угла скоса кулачка. Второй участок (б) аналогичен начальному этапу сближения полумуфт – обкатывание вершины кулачка роликом до момента совмещения осей. Граничное условие – точка перехода определяется по формулам (1) и (2).

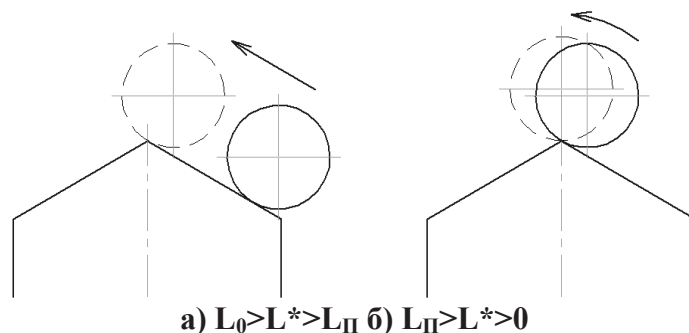


Рисунок 1. Процесс взаимодействия кулачка и ролика

Далее будет использоваться следующая система обозначений.

Горизонтальные координаты:

L – длина дуги (расстояние между осями ролика и кулачка);

$L_{П}$ – горизонтальная координата переходной точки, в которой изменяется характер взаимодействия ролика и кулачка с подъема по скосу на обкатывание вершины;

L_0 – величина L характерная для данного сближения полумуфт (начальная координата взаимодействия).

Вертикальные координаты:

h – ход ролика (вертикальная координата), исчисляемый от момента, когда оси элементов совмещены, то есть ролик находится на вершине кулачка;

$h_{П}$ – вертикальная координата переходной точки, в которой изменяется характер взаимодействия ролика и кулачка с подъема по скосу на обкатывание вершины;

h_0 – величина h характерная для данного сближения полумуфт (начальная координата взаимодействия) – сближение полумуфт.

Величины L_{II} и h_{II} являются постоянными и определяются только исходя из конструктивных параметров, L_0 и h_0 также являются постоянными, но определяются не только исходя из конструктивных параметров, но и от сближения полумуфт, а величины L^* и h^* являются переменными.

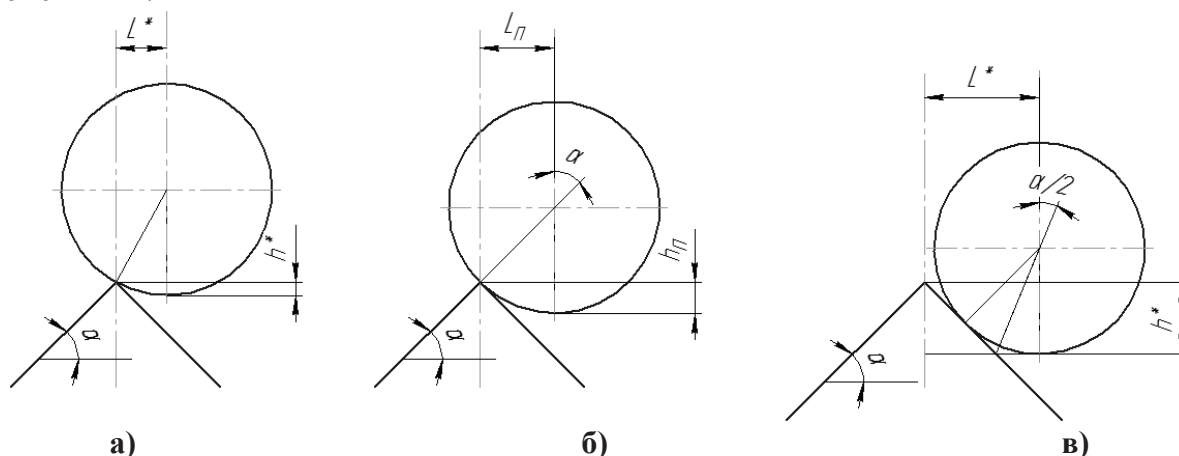


Рисунок 2. Расчетные схемы для определения зависимостей между вертикальными и горизонтальными координатами при: а) обкатывании вершины кулачка роликом; б) переходном процессе; в) подъеме ролика по скосу кулачка

Взаимосвязь между этими величинами находится из геометрических соображений по расчетным схемам, изображенным на рисунке 2.

Координата переходной точки (рисунок 2б):

$$L_{II} = r \times \sin \alpha, \quad (1)$$

$$h_{II} = r - r \times \cos \alpha. \quad (2)$$

При обкатывании вершины (рисунок 2а):

$$L^* = r \times \sin \left(\arccos \frac{r-h^*}{r} \right), \quad (3)$$

$$h^* = r - r \times \cos \left(\arcsin \frac{L^*}{r} \right). \quad (4)$$

При подъеме по скосу (рисунок 2в):

$$L^* = h^* \times \operatorname{ctg} \alpha + r \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (5)$$

$$h^* = \left(L^* - r \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \times \operatorname{tg} \alpha. \quad (6)$$

Формула для определения тангенциального усилия в случае обкатывания вершины кулачка роликом на начальном этапе сближения полумуфт, то есть $h < h_{II}$:

$$F_t = \left[c \times (h_0 - h^*) + (F_t \times \mu) \right] \times \operatorname{tg} \left(\arccos \frac{r-h^*}{r} \right) + \left[c \times \left(h_0 - r \times \left(1 - \cos \left(\arcsin \frac{L^*}{r} \right) \right) \right) + (F_t \times \mu) \right] \times \operatorname{tg} \left(\arcsin \frac{L^*}{r} \right). \quad (7)$$

В случае если взаимодействие включает в себя подъем ролика по скосу кулачка и обкатывание его вершины, то есть $h_{II} < h < h_0$, определение тангенциального усилия состоит также из двух промежутков, граничное условие которых $h = h_{II}$.

На промежутке подъема ролика по скосу кулачка:

$$F_t = \left[c \times (h_0 - h^*) + (F_t \times \mu) \right] \times \operatorname{tg} \alpha = \left[c \times \left(h_0 - \left(L^* - r \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \times \operatorname{tg} \alpha \right) + (F_t \times \mu) \right] \times \operatorname{tg} \alpha. \quad (8)$$

На промежутке обкатывание вершины кулачка формула аналогична (7):

$$F_t = \left[c \times (h_0 - h^*) + (F_t \times \mu) \right] \times \operatorname{tg} \left(\arccos \frac{r-h^*}{r} \right) = \left[c \times \left(h_0 - r \times \left(1 - \cos \left(\arcsin \frac{L^*}{r} \right) \right) \right) + (F_t \times \mu) \right] \times \operatorname{tg} \left(\arcsin \frac{L^*}{r} \right). \quad (9)$$

Нахождение точки, в которой тангенциальное усилие будет максимальным, сводится к

решению кубического уравнения, полученного приравниванием производной по ходу ролика зависимости тангенциального усилия от хода ролика (7) и (9) к нулю. Переменная x в нем и есть ход ролика h_{max} (вертикальная координата), соответствующий максимальному тангенциальному усилию.

$$x^3 - 3rx^2 + 3r^2x - r^2h_0 = 0. \tag{10}$$

Точка максимума может находиться либо на промежутке, когда происходит обкатывание вершины, либо в точке перехода – начала обкатывания.

Если найденная величина превышает значение h_{II} , то расстояние между осями, соответствующее максимальной величине тангенциального усилия, принимает значение h_{II} :

$$h_{max} = h_{II} = r - r \times \cos\alpha. \tag{11}$$

Дальнейшие расчеты проще вести, переведя вертикальную координату h в горизонтальную L – расстояние между осями ролика и кулачка (аналогично (3)):

$$L_{max} = r \times \sin\left(\arccos\frac{r-h_{max}}{r}\right), \tag{12}$$

или для случая когда $h_{max} = h_{II}$ (аналогично (1)):

$$L_{max} = L_{II} = r \times \sin\alpha. \tag{13}$$

Подставляя найденную величину L_{max} в функцию зависимости тангенциального усилия от расстояния между осями роликов и кулачков находим максимальное тангенциальное усилие на первой паре взаимодействующих элементов.

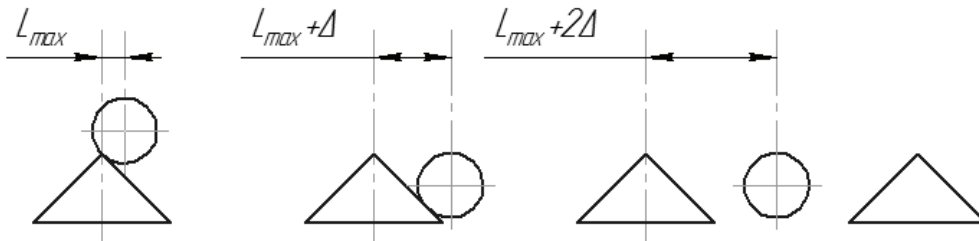


Рисунок 3. Часть развертки периода, показывающая изменение длины дуги взаимодействия

Приведенные формулы показаны для первой взаимодействующей пары ролик-кулачок, для следующих пар изменится аргумент – длина дуги L – который получит приращение на величину Δ , зависящую от количества роликов и кулачков, для каждой последующей пары (рисунок 3):

$$\Delta = \frac{2\pi R}{pt} - \frac{2\pi R}{pn} = \frac{2\pi R}{p} \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right). \tag{14}$$

Если $L + \Delta < L_{II}$, то формула тангенциального усилия остается без изменений.

Если же $L + \Delta > L_{II}$, то контакт происходит по скосу кулачка, и поэтому формула зависимости приобретает вид, соответствующий данному характеру взаимодействия.

Также необходимым условием является:

$$L + \Delta < h_0 \times ctg\alpha + r \times tg\frac{\alpha}{2}. \tag{15}$$

Если это условие не выполняется, то взаимодействие ролика и кулачка не происходит.

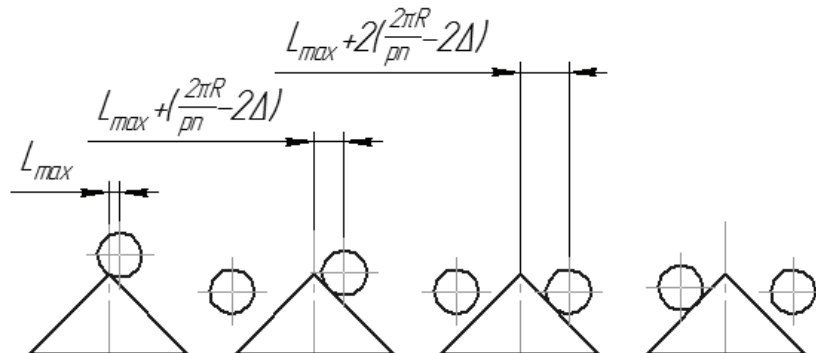


Рисунок 4. Часть развертки периода показывающая изменение длины дуги взаимодействия

Но возможна и другая картина развертки, например, показанная на рисунке 4. Приращение на каждой последующей взаимодействующей паре элементов выражается несколько другой зависимостью, но аргументами, по-прежнему, будут являться количество кулачков и роликов. Таким образом, имея развертку, не составит труда определить приращение длины дуги взаимодействия.

В таком случае длина дуги взаимодействия на каждой последующей паре будет получать приращение Δ_1 , которое находится из простейших геометрических соотношений:

$$\Delta_1 = \frac{2\pi R}{pn} - 2\Delta. \quad (16)$$

При этом логика дальнейших действий остается неизменной.

Сумма всех составляющих, участвующих в образовании тангенциального усилия, умноженная на количество периодов p , и дает максимальное тангенциальное усилие, передаваемое муфтой:

$$F_{t\Sigma} = p \times \sum F_{ti}. \quad (17)$$

Умножая найденную суммарную величину $F_{t\Sigma}$ на радиус R , на котором расположены элементы, находим момент, передаваемый муфтой:

$$M = F_{t\Sigma} \times R. \quad (18)$$

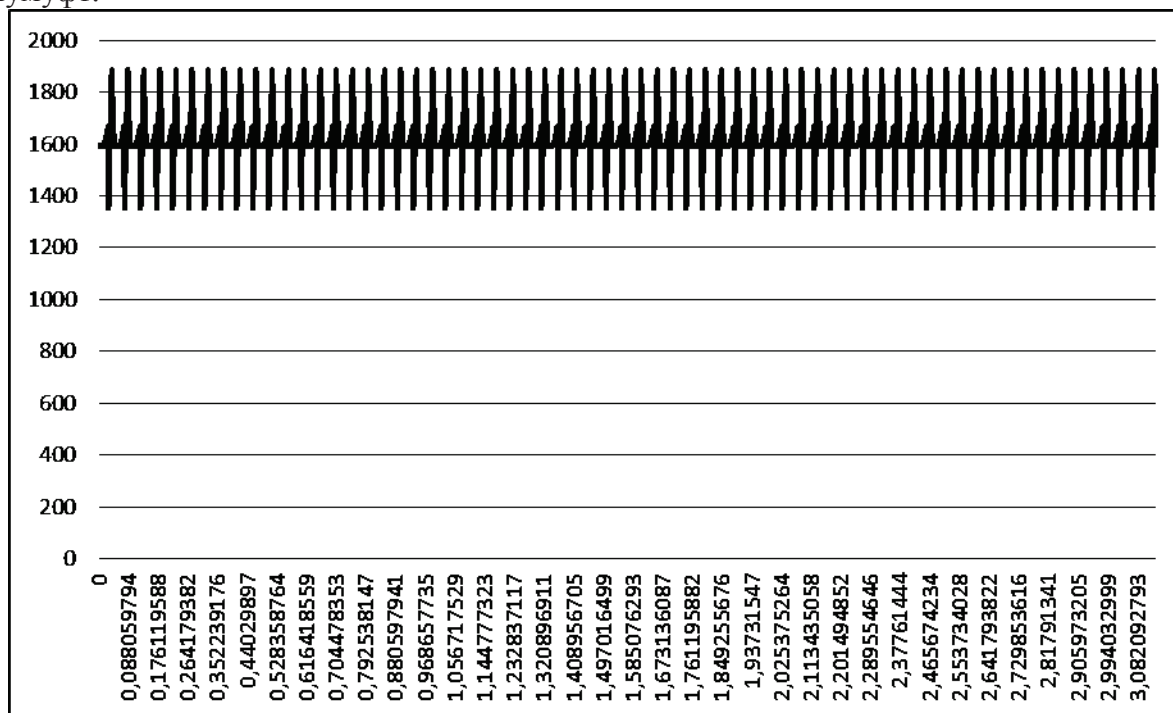
Предложенные формулы удобны для построения программ для автоматизированного расчета и подбора характеристик кулачково-роликовых муфт. Так же расчет можно производить в Microsoft Office Excel или аналогах.

Логика при использовании Excel закладывается следующая: сначала все ролики периода взаимодействуют с одним кулачком, а затем, путем смещения получившихся результатов на величину расстояния между кулачками, добавляются взаимодействия всех роликов с остальными кулачками периода.

1. Создается столбик значений угла β от нуля до $2\pi/p$, причем каждая строка дает приращение $\pi/(p*m*n*10)$, то есть процесс взаимодействия рассматривается в обратном порядке.
2. Следующий столбик представляет значение дуги L , полученное умножением значения угла β из предыдущего столбика на радиус взаимодействия элементов в муфте R .
3. Вводится формула зависимости тангенциального усилия от расстояния между осями взаимодействующих элементов в процессе обкатывания (7) и продлевается до значения L , соответствующего L_{Π} (1) – смене характера взаимодействия с обкатывания вершины кулачком на контакт по скосу кулачка. Далее вводится формула зависимости тангенциального усилия от расстояния между осями взаимодействующих элементов в процессе подъема ролика по скосу кулачка (8) и продлевается до тех пор, пока значение не приравняется к нулю, а длина дуги, соответствующая этому значению – L_0 . Далее, получившийся столбик копируется и вставляется с периодом по величине значений угла β , равным $2\pi/(p*m)$, но не превышая величины $2\pi/p$.
4. Следующий столбик копирует весь предыдущий столбик, только имеет смещение по углу β , равное $2\pi/(p*n)$. Если при этом образуются «хвосты» – ячейки, содержащие ненулевые значения, находящиеся ниже строки, содержащей значение $\beta = 2\pi/p$, то их необходимо перенести в начало данного столбца.
5. Для следующих столбцов действуют такие же принципы: каждый последующий столбик имеет смещение относительно предыдущего на величину по углу β , равное $2\pi/n$, а «хвосты» переносятся в начало столбца. Общее количество столбиков равно n/p .
6. Далее необходимо произвести строчное суммирование. Умножая сумму на количество периодов p и на радиус взаимодействия элементов R , находят суммарный момент.
7. Чтобы найти передаваемый муфтой момент, необходимо найти среднее арифметическое из последнего столбика суммарного момента.

Расчет по предложенному алгоритму для кулачково-роликовой муфты, имеющей следующие параметры: $R=70\text{мм}$, $r=4\text{мм}$, $m=6$, $n=11$, $p=2$, $\alpha=45^\circ$, $c=3600\text{Н/мм}$, $h=4,4\text{мм}$, – показал, что такая муфта передает при максимальном управляющем воздействии момент, равный 1625 Н*м . На рисунке 5 показан график изменения передаваемого момента за период в зависимости от угла поворота полумуфт относительно друг друга при максимальном сближении

полумуфт.

Рисунок 5. Импульсы передачи момента КРМ за период. (x:β,рад; y:M_Σ,Н*м)

Выводы

Зависимости, предложенные в данной статье, дают представление о процессах взаимодействия, сопровождающих работу кулачково-роликовой муфты, позволяют построить математическую модель кулачково-роликовой муфты, необходимую для моделирования процесса включения муфты, а также определить момент, передаваемый кулачково-роликовой муфтой. Также представленные зависимости являются необходимыми для проектировочного расчета таких муфт.

Литература

1. Гостроус А.В., Строков А.М., Шипилевский Г.Б. Импульсное кулачково-роликовое сцепление: свидетельство № 133886 Рос. Федерация №2013123912; заявл. 27.05.2013 ; опубл. 27.10.2013.
2. Гостроус А.В., Строков А.М., Шипилевский Г.Б.: Импульсное кулачково-роликовое сцепление: свидетельство № 133887 Рос. Федерация №2013123915; заявл. 27.05.2013 ; опубл. 27.10.2013.

К вопросу об оптимизации системы подрессоривания быстроходной гусеничной машины

д.т.н. проф. Савочкин В.А., д.т.н. проф. Шарипов В.М., к.т.н. доц. Смирнов И.А.,
Шишанов С.М.

Университет машиностроения,
Московское высшее военное командное училище (Военный институт)
Военного учебно-научного центра Сухопутных войск
«Общевойсковая Академия Вооруженных Сил РФ»,
(495) 223-05-23, доб. 1111, trak@mami.ru

Аннотация: В статье приведена общая схема оптимизации системы подрессоривания быстроходной гусеничной машины, заключающаяся в выборе пространства качества, установлении области допустимых состояний динамической системы и ее границ, соответствующих предельным состояниям, приведение в соответ-