

Ранг матрицы системы (2) равен $M-1$. Выбрав базисный минор матрицы системы (2), получим некоторый план эксперимента. Выполнив эксперимент, получим вектор предпочтений, с точностью до произвольного линейного преобразования. Это означает, что координаты вектора предпочтения мы измеряем в интервальной шкале. Для нахождения $U^1, U^2, \dots, U^M, \dots$, можно рассматривать два различных плана эксперимента, отличающиеся базисными минорами. Первый будем называть планом А, второй - планом В. В итоге мы получаем два вектора оценок, с различными константами h . Относительно полученных оценок (U_A^i, U_B^i) , $i = 1, 2, \dots, M$, полагаем, что $U_A^i = w_1 + w_2 U_B^i + \varepsilon_i$, где $i = 1, 2, \dots, M$; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_M$ - независимые одинаково распределенные случайные величины, а w_1, w_2 - константы.

Оценки вектора предпочтений, с различным базированием, будем называть альтернативными предпочтениями. Все результаты измерений, независимо от способа, получены в интервальной шкале. Статистическое совпадение альтернативных предпочтений, считаем основанием для подтверждения существования инвариантных субъективных предпочтений.

Оценки предпочтений устойчивы, если альтернативные предпочтения связаны статистически значимой адекватной возрастающей линейной зависимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романчук, В. М. Метод сингулярных вейвлетов в задачах экспертного оценивания сводного показателя качества. Материалы междунар. науч.- техн. конф.- Минск: БНТУ, 2009. - с.128.
2. Романчук В.М., Серенков П.С., Василенок В.Д. Аппроксимация субъективной модели. Сб. трудов VI междунар. науч.-практ. конф. "УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИКИ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ", Ч. II, ПГУ РБ, 2012.- стр. 225-226.

УДК 621.85.052

Скойбеда А.Т., Комяк И.М., Жуковец В.Н.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ОПОРНЫХ БАШМАКОВ НА ДИНАМИКУ КОЛЕСНО-ШАГАЮЩЕГО ДВИЖИТЕЛЯ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Проведен анализ влияния формы профиля опорных башмаков на динамические характеристики колесно-шагающего движителя.

Проведенный в работе [1] анализ кинематики колесно-шагающего движителя показал, что круглый профиль опорного башмака имеет ряд недостатков. Даже при устоявшемся движении, на транспортное средство действуют периодически повторяющиеся ускорения, что негативно влияет на динамику колесно-шагающего движителя. Поэтому возникла потребность в нахождении такой формы наружной поверхности башмака, отличной от круглого профиля, которая смогла бы улучшить кинематику и динамику движения. Применяв методику анализа плоских кривых, изложенную в работах [2, 3], получили зависимости для вычисления кинематических характеристик движителя. Эти характеристики выражаются функциями $Y_1(\varphi)$ и $Y_2(\varphi)$, которые в итоге задают геометрическую форму опорных башмаков.

Согласно методике можно вычислить координаты X и Y точек профиля башмака. Координаты профиля также можно выразить через радиус-вектор ρ и угол его поворота α , который отсчитывается от оси симметрии башмака. Эти величины следует найти по формулам:

$$\begin{cases} X = Y_2 \cdot \sin \varphi; \\ Y = Y_1 + Y_2 \cdot \cos \varphi. \end{cases} \quad (1)$$

$$\alpha = \arctg(X/Y); \quad (2) (3)$$

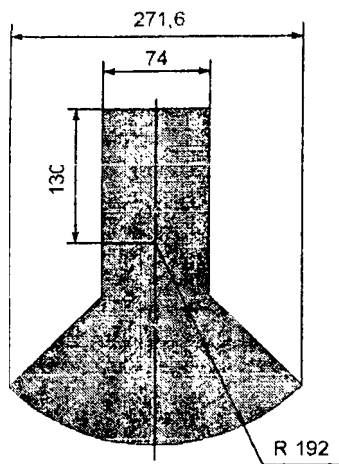


Рис. 1 – Схема опорного башмака круглого профиля

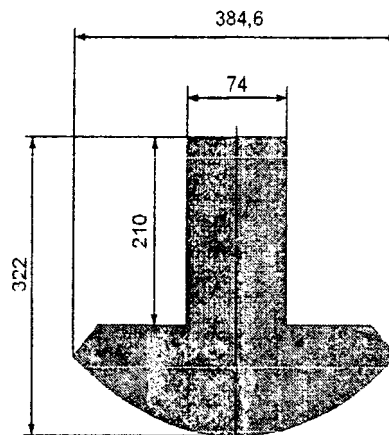


Рис. 2 – Схема опорного башмака некруглого профиля

У изготовленного опытного образца колесно-шагающего движителя величины $Y_1 = 0,13 \text{ м} = \text{const}$, $Y_2 = 0,192 \text{ м} = \text{const}$. Вычисленные по формулам (1-3) характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры существующего профиля башмака

φ, градусы	X, м	Y, м	Угол поворота α, градусы	Радиус-вектор ρ, м
-45	-0,1358	0,2658	-27,06	0,2984
-30	-0,0960	0,2963	-17,95	0,3114
-15	-0,0497	0,3155	-8,95	0,3193
0	0,0000	0,3220	0,00	0,3220
15	0,0497	0,3155	8,95	0,3193
30	0,0960	0,2963	17,95	0,3114
45	0,1358	0,2658	27,06	0,2984

Ниже приведена (рис. 1) схема существующего опорного башмака.

Улучшить характеристики движителя можно с помощью рационального некруглого профиля башмака при значениях функций, согласно [3]:

$$Y_1 = 4 \cdot b \cdot \cos \varphi - a; \quad (4)$$

$$Y_2 = a - 2 \cdot b \cdot (1 + \cos^2 \varphi) + c. \quad (5)$$

Ниже приведена (рис. 2) схема опорного башмака рационального некруглого профиля, устраняющего вертикальные колебания центральной оси ступицы движителя.

Выполним расчеты по формулам (1-5) для расстояния между осями ступицы и кривошипа $a = 0,1 \text{ м}$, длины кривошипа $b = 0,05 \text{ м}$, длины стойки башмака $c = 0,322 \text{ м}$ и сведем полученные результаты в таблицу 2.

Таблица 2 – Геометрические параметры рационального профиля башмака

φ, градусы	X, м	Y, м	Угол поворота α, градусы	Радиус-вектор ρ, м
-45	-0,1923	0,2338	-39,45	0,3027
-30	-0,1235	0,2871	-23,27	0,3125
-15	-0,0592	0,3141	-10,67	0,3196
0	0,0000	0,3220	0,00	0,3220
15	0,0592	0,3141	10,67	0,3196
30	0,1235	0,2871	23,27	0,3125
45	0,1923	0,2338	39,45	0,3027

Сравним динамические характеристики движителя для двух вариантов опорных башмаков на примере такого параметра, как величина момента сопротивления вращению кривошипа. Для прочностных расчетов важно знать величины моментов сопротивления для каждого кривошипа в отдельности (рис. 3).

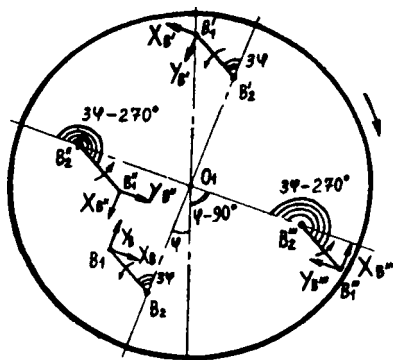


Рис.3 – Схема действия сил сопротивления на ступицу и кривошипы

Для кривошипа B :

$$\begin{aligned}
 M_{C.B} &= b \cdot (X_B \cdot \cos 3\varphi + Y_B \cdot \sin 3\varphi) = \\
 &= b \cdot \left(\frac{M_{B_1}}{2 \cdot a} + F_C \cdot \cos \varphi + \left(G_B \cdot \left(1 - \frac{L_B}{2 \cdot a} \right) + \frac{G_H}{2} - G \right) \cdot \sin \varphi \right) \cdot \cos 3\varphi + \\
 &\quad + b \cdot ((G - G_B) \cdot \cos \varphi + F_C \cdot \sin \varphi) \cdot \sin 3\varphi
 \end{aligned} \tag{6}$$

Для кривошипа B' :

$$\begin{aligned}
 M_{C.B'} &= -b \cdot (X_{B'} \cdot \cos 3\varphi + Y_{B'} \cdot \sin 3\varphi) = \\
 &= -b \cdot \left(\frac{M_{B_1}}{2 \cdot a} - \left(G_B \cdot \left(1 + \frac{L_B}{2 \cdot a} \right) + \frac{G_H}{2} \right) \cdot \sin \varphi \right) \cdot \cos 3\varphi - \\
 &\quad - b \cdot (G_H + G_B) \cdot \cos \varphi \cdot \sin 3\varphi
 \end{aligned} \tag{7}$$

Для кривошипа B'' :

$$\begin{aligned}
 M_{C.B''} &= -b \cdot (X_{B''} \cdot \cos(3\varphi - 270^\circ) + Y_{B''} \cdot \sin(3\varphi - 270^\circ)) = \\
 &= b \cdot \left(\frac{G_H}{2} + G_B \right) \cdot \sin(\varphi - 90^\circ) \cdot \cos(3\varphi - 270^\circ) - \\
 &\quad - b \cdot (G_H + G_B) \cdot \cos(\varphi - 90^\circ) \cdot \sin(3\varphi - 270^\circ)
 \end{aligned} \tag{8}$$

Для кривошипа B''' :

$$\begin{aligned}
 M_{C.B'''} &= b \cdot (X_{B'''} \cdot \cos(3\varphi - 270^\circ) + Y_{B'''} \cdot \sin(3\varphi - 270^\circ)) = \\
 &= b \cdot \left(\frac{G_H}{2} + G_B \right) \cdot \sin(\varphi - 90^\circ) \cdot \cos(3\varphi - 270^\circ) - \\
 &\quad - b \cdot G_B \cdot \cos(\varphi - 90^\circ) \cdot \cos(3\varphi - 270^\circ)
 \end{aligned} \tag{9}$$

Величина реактивного момента:

$$M_{B_1} = M_K - (G \cdot Y_1 - G_B \cdot L_B) \cdot \sin \varphi + F_C \cdot (Y_1 \cdot \cos \varphi + Y_2) . \tag{10}$$

Где: момент трения качения $M_K = G \cdot \psi \cdot (Y_2 - (dY_1/d\varphi) \cdot \sin \varphi)$; сила сопротивления скольжению $F_C \leq G \cdot f$, равная по величине силе полезного сопротивления перемещаемого груза; реакция опорной

поверхности G , равная силе тяжести движителя. Силу тяжести ноги делим на три составляющие: две составляющие башмаков G_B и составляющую ноги между отверстиями для крепления кривошипов G_H .

Исходные данные для расчета динамики движителя согласно формулам (6-10): Расстояние от оси кривошипа на ноге до центра масс башмака $L_B = 0,25$ м; коэффициент сопротивления качению $\psi = 0,05$; реакция опоры на один движитель $G = 750$ Н; вес средней части ноги движителя $G_H = 50$ Н; вес башмака ноги движителя $G_B = 75$ Н; сила полезного сопротивления перемещаемого груза на один движитель $F_C = 300$ Н.

Таблица 3 – Нагрузки на кривошипы движителя с круглыми башмаками

Угол поворота ступицы, градусы	Момент сопротивления вращению $M_{C.B}$, Н·м	Момент сопротивления вращению $M_{C.B'}$, Н·м	Момент сопротивления вращению $M_{C.B''}$, Н·м	Момент сопротивления вращению $M_{C.B'''}$, Н·м
-45,0	-61,64	34,14	-5,63	-4,38
-40,0	-49,90	25,42	-5,33	-4,52
-35,0	-36,28	15,57	-4,88	-4,51
-30,0	-21,73	5,41	-4,33	-4,33
-25,0	-7,20	-4,22	-3,69	-3,97
-20,0	6,43	-12,62	-3,00	-3,43
-15,0	18,46	-19,22	-2,27	-2,73
-10,0	28,37	-23,69	-1,52	-1,90
-5,0	35,89	-25,89	-0,76	-0,97
0,0	40,95	-25,95	0,00	0,00
5,0	43,72	-24,17	0,76	0,97
10,0	44,51	-21,01	1,52	1,90
15,0	43,75	-17,01	2,27	2,73
20,0	41,91	-12,74	3,00	3,43
25,0	39,45	-8,74	3,69	3,97
30,0	36,73	-5,41	4,33	4,33
35,0	34,02	-3,05	4,88	4,51
40,0	31,44	-1,75	5,33	4,52
45,0	28,98	-1,48	5,63	4,38

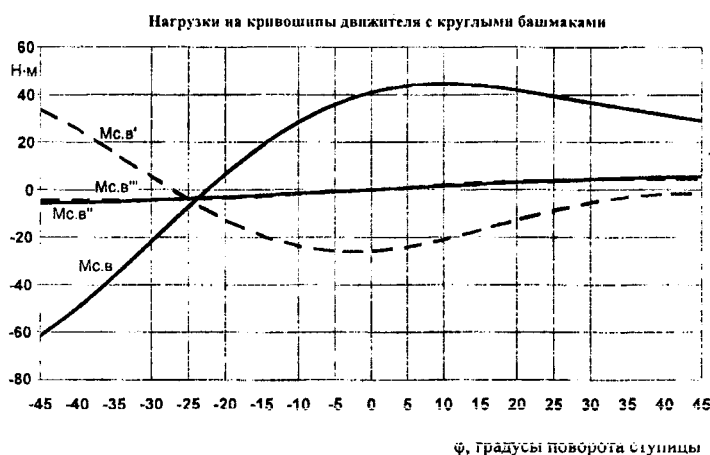


Рис. 4 – Моменты сопротивления вращению кривошипам движителя с круглыми башмаками

Таблица 4 – Нагрузки на кривошипы движителя с рациональными башмаками

Угол поворота ступицы, градусы	Момент сопротивления вращению $M_{C.B}$, Н·м	Момент сопротивления вращению $M_{C.B'}$, Н·м	Момент сопротивления вращению $M_{C.B''}$, Н·м	Момент сопротивления вращению $M_{C.B'''}$, Н·м
1.	2.	3.	4.	5.
-45,0	-55,45	27,95	-5,63	-4,38

Окончание таблицы 4				
1.	2.	3.	4.	5.
-40,0	-46,46	21,98	-5,33	-4,52
-35,0	-34,92	14,21	-4,88	-4,51
-30,0	-21,73	5,41	-4,33	-4,33
-25,0	-7,93	-3,50	-3,69	-3,97
-20,0	5,47	-11,66	-3,00	-3,43
-15,0	17,59	-18,35	-2,27	-2,73
-10,0	27,79	-23,10	-1,52	-1,90
-5,0	35,70	-25,71	-0,76	-0,97
0,0	41,23	-26,23	0,00	0,00
5,0	44,50	-24,95	0,76	0,97
10,0	45,79	-22,28	1,52	1,90
15,0	45,40	-18,66	2,27	2,73
20,0	43,65	-14,48	3,00	3,43
25,0	40,72	-10,01	3,69	3,97
30,0	36,73	-5,41	4,33	4,33
35,0	31,70	-0,72	4,88	4,51
40,0	25,62	4,06	5,33	4,52
45,0	18,56	8,94	5,63	4,38

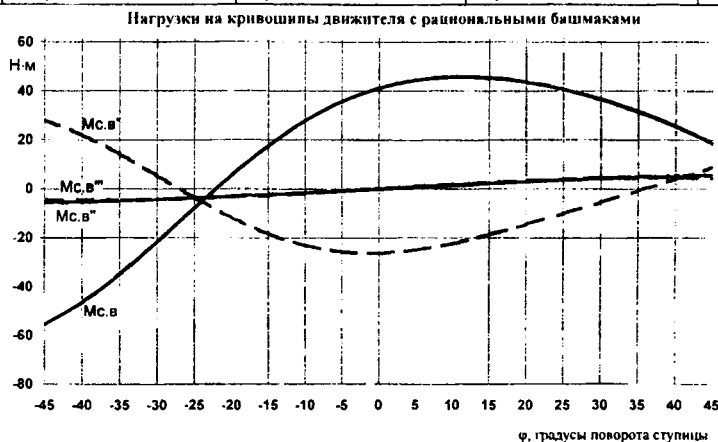


Рис.5 – Моменты сопротивления кривошипам двигателя с рациональными башмаками

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что наибольшие колебания значений моментов сопротивления, вызывающих нагрузки на кривошпы, характерны для существующего варианта опорных башмаков. Профиль башмака, заданный формулами (4-5), в целом значительно уменьшает скачки значений моментов сопротивления при смене опорных башмаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скойбеда А.Т., Жуковец В.Н., Сонич О.А. Кинематика колесно-шагающего движителя при опоре на башмаки круглого профиля./Современные методы проектирования машин: Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Вып.2. В 7 томах. – Т. 3. Проектирование приводов машин / Под общ. ред. П.А. Витязя. – Минск, 2004. – с. 102–106. 2. Жуковец В.Н. Профиль плоского кулачка в виде замкнутой кривой, описанной системой уравнений в параметрическом виде.//Вестн НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 2006. № 1. – с. 76–86. 3. Скойбеда А.Т., Комяк И.М., Жуковец В.Н. Колесно-шагающий движитель и его динамические преимущества по сравнению с колесом / Механика-2011: сб. науч. тр. V Белорусского конгресса по теорет. и прикладной механике, Минск, 26 – 28 окт. 2011 г.: в 2 т. – Минск, 2011. – Том 1. – Стр. 138-144.