



ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ ЗВЕЗДОЧКИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РОЛИКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ СВОБОДНОГО ХОДА

А. Ю. Ошуркова, студентка
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»
e-mail: arina.oshurkova@gmail.com

П. О. Задорожная, студентка
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»
e-mail: polinkahome@mail.ru

Выполнено исследование влияния различных типов геометрического профиля (плоского, логарифмического, эксцентрикового) внутренней звездочки роликовых механизмов свободного хода на возникающие касательные напряжения. Установлено, что при малых углах заклинивания ($5...7^\circ$) использование эксцентрикового и логарифмического профилей приводит к увеличению напряжений на $5...22\%$. При больших углах заклинивания ($8...10^\circ$) и использовании плоского и логарифмического профилей звездочки величины возникающих напряжений будут одинаковыми.

Роликовый механизм свободного хода, работоспособность, касательное напряжение, нагрузочная способность

Механизм свободного хода (МСХ) – механическое устройство, предназначенное для выполнения двух основных функций: передачи вращающего момента только при одном направлении вращения ведущего звена и предотвращения передачи вращающего момента от ведомого элемента к ведущему в случае, когда последний начинает вращаться быстрее [1].

МСХ находят широкое применение в различном технологическом оборудовании: полиграфических и пищевых машинах; металлорежущих станках; стартерах для пуска двигателей и др. [2-4].

Основными рабочими элементами роликовых МСХ являются (рис. 1): внешняя обойма (1); заклинивающийся ролик (2); внутренняя звездочка (3). При повороте звездочки против часовой стрелки из-за действия силы трения и пружин ролики закатываются в узкую часть пространства между звездочкой и обоймой. Происходит их заклинивание, и начинается передача вращающего момента от ведущего элемента к ведомому. Ведущим элементом может быть как внешняя обойма, так и внутренняя звездочка.

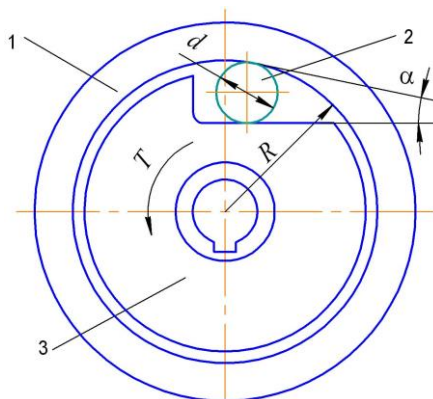


Рисунок 1 – Роликовый МСХ с плоским профилем внутренней звездочки

Геометрический профиль рабочей поверхности внешней обоймы и роликов выполняется по цилиндрическим поверхностям. Внутренняя звездочка может иметь различную геометрию рабочего профиля – плоский, логарифмический, эксцентриковый и другие, у каждого из которых свои преимущества и недостатки [1-5].

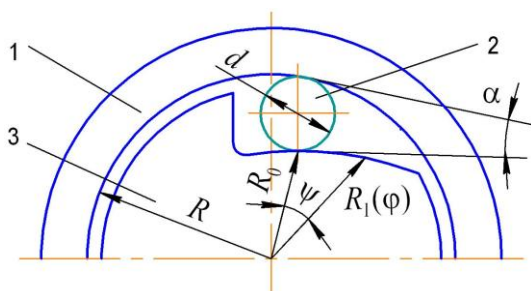


Рисунок 2 – Роликовый МСХ с логарифмическим профилем внутренней звездочки

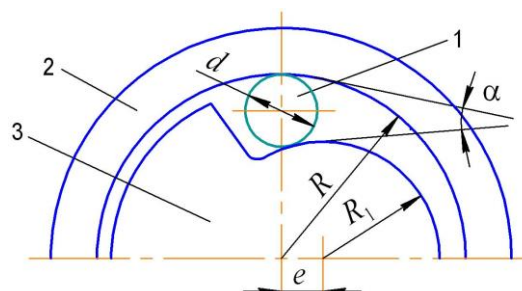


Рисунок 3 – Роликовый МСХ с эксцентриковым профилем внутренней звездочки

Роликовые МСХ с плоским профилем звездочки (рис. 1) получили самое широкое применение как наиболее технологичные в изготовлении. Основным недостатком такого профиля является большая чувствительность угла заклинивания α к погрешностям изготовления, износу и упругим деформациям рабочих элементов.

Эти недостатки можно частично устранить, если выполнить внутреннюю звездочку с логарифмическим (рис. 2) или эксцентриковым (рис. 3) профилем.

В первом случае рабочий профиль звездочки описывается уравнением логарифмической спирали:

$$R_1(\varphi) = R_0 \exp(\varphi \operatorname{tg} \psi),$$

где $R_1(\varphi)$ – текущий профиль рабочего профиля звездочки, соответствующий полярному углу φ ;

R_0 – радиус-вектор расположения ролика на профиле звездочки;

ψ - постоянный угол профиля.

Величину угла профиля обычно назначают в пределах $\psi = 6 \dots 12^\circ$ [4]. Профиль с логарифмической спиралью обеспечивает постоянство профильного угла ($\psi = \text{const}$), но не гарантирует постоянство угла заклинивания α .

Эксцентриковый профиль получается за счет смещения рабочей окружности звездочки радиусом R_1 относительно центра внешней обоймы на величину эксцентриситета e . Такой профиль позволяет уменьшить влияние износа, производственных и эксплуатационных погрешностей на величину угла заклинивания.

Геометрический профиль рабочей поверхности звездочки следует выбирать с учетом требования технологичности и дешевизны изготовления.

Представляет интерес, как влияет профиль внутренней звездочки на нагрузочную способность роликовых МСХ. Для оценки влияния конструктивных параметров инженерных конструкций, в том числе МСХ, на их работоспособность можно использовать численные и аналитические методы [6-14]. Последние более просты для практического применения, так как базируются на известных и апробированных методиках сопротивления материалов, машиноведения, теории упругости и др.

Чаще всего в качестве критерия, определяющего работоспособность и долговечность роликового МСХ, принимают касательные напряжения τ , так как в этом случае учитывается одновременное действие нормальной силы и силы трения в точке контакта внутренней

звездочки и ролика. При наибольшей величине нагрузки, передаваемой механизмом, максимальное касательное напряжение не должно превышать допускаемое $\tau \leq [\tau]$.

Введем следующие обозначения: D – внутренний диаметр внешней обоймы, $D = 2R$; d – диаметр заклинивающегося ролика. Соотношение между ними определяется коэффициентом диаметра ролика $K_d = D/d$.

Тогда для роликового МСХ с внутренней звездочкой с плоским профилем формулу для определения наибольшего касательного напряжения можно представить в виде [4]:

$$\tau = 0,142 \sqrt{\frac{TE}{0,25zl(D^2/K_d)\text{tg}(\alpha/2)}}, \quad (1)$$

где T – передаваемый механизмом вращающий момент;

E – модуль упругости материала механизма;

z – число заклинивающихся роликов;

l – длина заклинивающегося ролика;

α – угол заклинивания.

Формулу для определения наибольшего касательного напряжения роликового МСХ с внутренней звездочкой с логарифмическим профилем можно представить в виде [4]:

$$\tau = 0,142 \sqrt{\frac{TE}{0,5zld\text{tg}(\alpha/2) \left(\frac{1}{0,5D/K_d} + \frac{1}{[(K_d - 1)\cos\alpha - 1]0,5D/K_d} \right)}}, \quad (2)$$

а с эксцентриковым профилем – в виде [4]:

$$\tau = 0,142 \sqrt{\frac{TE}{0,25zl(D^2/K_d)\text{tg}(\alpha/2) \left(1 + \frac{\cos\psi \sin(\psi - \alpha)}{\sin\alpha} \right)}}. \quad (3)$$

Расчеты сравнения влияния профиля звездочки на возникающие касательные напряжения в роликовых МСХ проведены по формулам (1)–(3). Результаты расчетов представлены на рис. 4–6 и в таблице.

Конструктивные параметры роликового МСХ следующие: внутренний диаметр обоймы $D=100$ мм; число заклинивающихся роликов $z=5$; диаметры роликов $d=6,6; 10; 20$ мм; угол заклинивания изменяется в диапазоне $\alpha=5\dots 10^\circ$; длина заклинивающихся роликов $l=24$ мм; модуль упругости материала элементов механизма $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа; угол профиля $\psi=9^\circ$.

На рис. 4 приведена кривая, показывающая характер и степень влияния угла заклинивания и диаметра заклинивающегося ролика на касательные напряжения τ роликового МСХ с плоским профилем звездочки.

Как видно из полученных результатов, наибольшее касательное напряжение составляет 778 МПа, а наименьшее – 317 МПа. При росте угла заклинивая с 5 до 10° (в 2 раза) наблюдается нелинейное уменьшение возникающих касательных напряжений в среднем в 1,40 раза. Увеличение диаметра заклинивающегося ролика с 6,66 до 20 мм (в 3 раза) приводит к снижению касательных напряжений в 1,70 раза.

На рис. 5 приведена кривая, показывающая характер и степень влияния угла заклинивания и диаметра заклинивающегося ролика на касательные напряжения τ роликового МСХ с логарифмическим профилем звездочки.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наибольшее касательное напряжение составляет 1041, а наименьшее – 304 МПа. При росте угла заклинивая с 5 до 10°

(в 2 раза) наблюдается нелинейное уменьшение возникающих касательных напряжений в среднем в 2,0 раза. Увеличение диаметра заклинивающего ролика с 6,66 до 20 мм (в 3 раза) приводит к снижению касательных напряжений в 1,73 раза.

На рис. 6 приведена кривая, показывающая характер и степень влияния угла заклинивания и диаметра заклинивающего ролика на касательные напряжения τ роликового МСХ с эксцентриковым профилем звездочки.

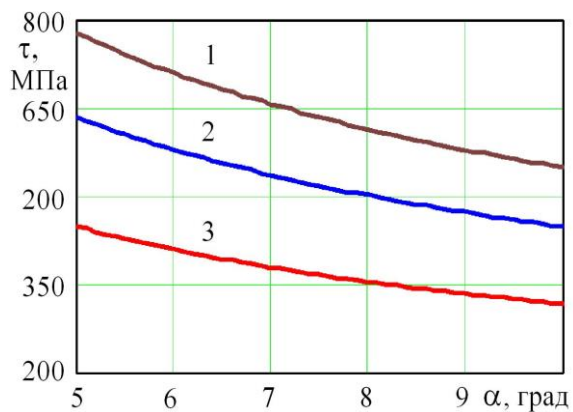


Рисунок 4 – Изменение касательных напряжений роликового МСХ с плоским профилем звездочки: 1 – $d = 6,6$ мм; 2 – $d = 10$ мм; 3 – $d = 20$ мм

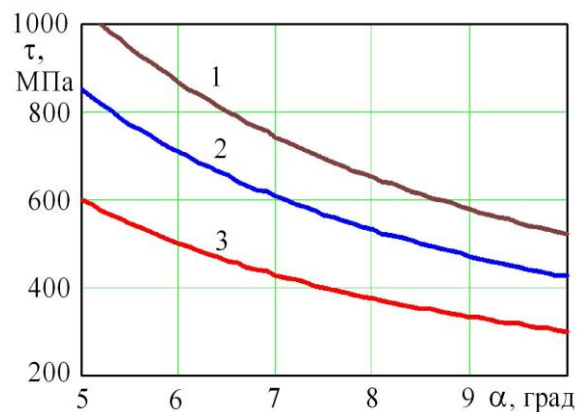


Рисунок 5 – Изменение касательных напряжений роликового МСХ с логарифмическим профилем звездочки: 1 – $d = 6,6$ мм; 2 – $d = 10$ мм; 3 – $d = 20$ мм

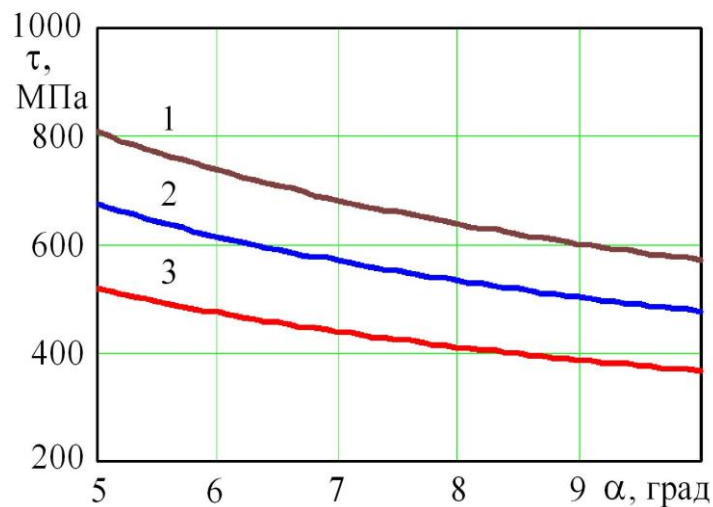


Рисунок 6 – Изменение касательных напряжений роликового МСХ с эксцентриковым профилем звездочки: 1 – $d = 6,6$ мм; 2 – $d = 10$ мм; 3 – $d = 20$ мм

Видим, что наибольшее касательное напряжение составляет 808, а наименьшее – 367 МПа. При росте угла заклинивая с 5 до 10° (в 2 раза) наблюдается нелинейное уменьшение возникающих касательных напряжений в среднем в 2,0 раза. Увеличение диаметра заклинивающего ролика с 6,66 до 20 мм (в 3 раза) приводит к снижению касательных напряжений в 1,56 раза.

Анализ полученных результатов (таблица) показывает, что при малых углах заклинивания $\alpha = 5 \dots 7^\circ$ применение звездочек с эксцентриковым и логарифмическим профилями напряжения увеличиваются, соответственно, на 5...15 и 22%. Таким образом, несмотря на преимущества, достигаемые за счет использования этих профилей, работоспособность и долговечность роликовых МСХ уменьшается.

При увеличении углов заклинивания до $\alpha=8..10^\circ$ при применении звездочек с логарифмическим профилем напряжения практически соответствуют таковым при использовании звездочек с плоским профилем. Для звездочек с эксцентриковым профилем напряжения несколько увеличиваются – на 5...11% и 22%.

При малых углах заклинивания рекомендуется использовать внутренние звездочки с плоским профилем, так как применение эксцентрикового и логарифмического профилей усложняет технологию их изготовления и уменьшают работоспособность.

Таблица – Влияние геометрических параметров роликового МСХ на касательные напряжения

Тип роликового МСХ	Касательные напряжения, возникающие при диаметре заклинивающегося ролика, МПа		
	6,6 мм	10 мм	20 мм
	Угол заклинивания $\alpha=6^\circ$		
С плоской звездочкой	710	580	410
С эксцентриковой звездочкой	737	615	474
С логарифмической звездочкой	868	709	501
	Угол заклинивания $\alpha=9^\circ$		
С плоской звездочкой	575	473	330
С эксцентриковой звездочкой	602	502	387
С логарифмической звездочкой	579	477	335

В случае увеличения углов заклинивания можно рекомендовать логарифмический профиль, обеспечивающий сохранение работоспособности при уменьшении влияния погрешностей изготовления и монтажа элементов механизма на угол заклинивания.

Результаты исследований позволяют на этапе проектирования роликовых МСХ предварительно подбирать профиль внутренней звездочки, оценивать работоспособность и долговечность механизмов при заданной нагрузочной способности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крайнев, А. Ф. Идеология конструирования / А. Ф. Крайнев. – Москва: Машиностроение, 2003. – 384 с.
2. Архангельский, Г. В. Роликовые механизмы свободного хода / Г. В. Архангельский, А. Г. Архангельский. – Одесса: Наука и техника, 2009. – 92 с.
3. Ряховский, О. А. Справочник по муфтам / О. А. Ряховский, С. С. Иванов. – Ленинград: Политехника, 1991. – 384 с.
4. Пилипенко, М. Н. Механизмы свободного хода / М. Н. Пилипенко. – Ленинград: Машиностроение, 1966. – 287 с.
5. Ивасышин, Г. С. Применение эвольвенты с переменной эволютой для повышения работоспособности сопряжений в муфтах свободного хода, зубчатых передачах и спирально-реечных механизмах / Г. С. Ивасышин // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. – № 6. – С. 29 – 34.
6. Белоковылский, А. М. Расчет надежности роликовых обгонных муфт / А. М. Белоковылский // Уральский научный вестник. – 2018. – Т.10. – №2. – С. 52–56.
7. Velikanov, N. L. Definition of Locked-up Stresses Around a Rectilinear Welding Seam / N. L. Velikanov, S. I. Koryagin, O. V. Sharkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V.124. – 012094. doi:10.1088/1757-899X/124/1/012094.
8. Притыкин, А. И. Разработка методов расчета и конструктивных решений балок с однорядной и двухрядной перфорацией стенки: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01 /

Притыкин Алексей Игоревич; ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова». – Калининград, 2011. – 44 с.

9. Попов, А. В. Анализ распределения напряжений в механизме свободного хода клинового типа повышенной нагрузочной способности / А. В. Попов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – № 8 (168). – С. 110–112.

10. Карабань, В. Г. Влияние тепловых факторов на показатели точности сопрягаемых поверхностей клиновых механизмов свободного хода / В. Г. Карабань, С. Н. Омеляненко // Сборник научных трудов SWorld. – 2012. – Т. 6. – № 4. – С. 3–5.

11. Шарков, О. В. Исследование напряженного состояния внешней обоймы эксцентриковых механизмов свободного хода методом объемных конечных элементов / О. В. Шарков, И. А. Золотов // Машиностроитель. – 2006. – № 12. – С. 16–17.

12. Притыкин, А. И. Влияние ширины полок и толщины стенки на местную устойчивость перфорированных балок / А. И. Притыкин, И. А. Притыкин // Вестник МГСУ. – 2010. – № 1. – С. 133–137.

13. Золотов, И. А. Анализ напряженно-деформированного состояния внешней обоймы роликовых механизмов свободного хода / И. А. Золотов, О. В. Шарков // Известия вузов. Машиностроение. – 2013. – № 10. – С. 36–41. doi:10.18698/0536-1044-2013-10-36-41.

14. Шенкман, Л. В. Теоретический анализ ударных процессов в храповом механизме свободного хода блочного типа с храповиком наружного зацепления / Л. В. Шенкман, С. Н. Козлова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 5 (105). – С. 82–84.

INFLUENCE OF SPROCKET PROFILE ON WORKING CAPACITY OF ROLLER FREEWHEEL MECHANISM

A. Yu. Oshurkova, student,
Kaliningrad State Technical University
e-mail: arina.oshurkova@gmail.com

P. O. Zadorozhnyaya, student,
Kaliningrad State Technical University
e-mail: polinkahome@mail.ru

The influence of various types of geometric profile (flat, logarithmic, eccentric) of the internal sprocket of roller freewheel mechanism on the arising tangential stresses is studied. It was established that at small wedge angles of $5...7^\circ$, the use of an eccentric and logarithmic profile leads to an increase in stresses by $5...22\%$. At large wedge angles $8...10^\circ$ when using the flat and logarithmic profiles of the sprocket, the value of the stresses will be the same.

Roller freewheel mechanism, working capacity, tangential stress, load capacity