

УДК 621.833.6

А. С. Сунцов, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ ПО ДЛИНЕ ЗУБЬЕВ КОЛЕС ДВУХСАТЕЛЛИТНОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ СО СБОРНЫМ ВОДИЛОМ

Широко распространенные планетарные передачи Джеймса, обладая хорошими технико-экономическими показателями, имеют существенный недостаток: содержат сложное в изготовлении, нетехнологичное водило, выполняемое обычно в виде вала, жестко соединенного с одним-двумя дисками, в которых располагаются оси сателлитов [1–3].

При сравнительно небольшой нагрузочной способности передача может быть выполнена двухсателлитной со сборным водилом, представляющим собой П-образный элемент (изогнутый пруток),

вставленный в паз или отверстие на выходном валу (рис. 1). Концы этого элемента огибают функцию осей сателлитов. Такую конструкцию целесообразно использовать в качестве быстроходной ступени двух- или многоступенчатой планетарной передачи.

Деформация прутка в приведенной конструкции ведет, с одной стороны, к неравномерному распределению нагрузки по ширине венца сателлита (если последний не является самоустанавливающимся), с другой – способствует наиболее полному выравниванию нагрузки по сателлитам.

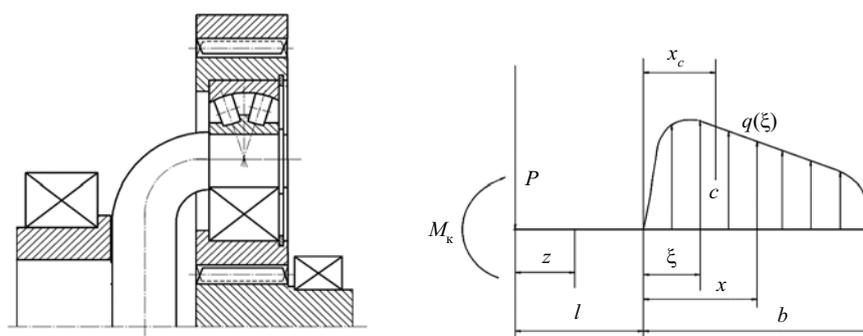


Рис. 1. Планетарная передача со сборным водилом и схема нагружения оси сателлита

Установим влияние податливости П-образного элемента водила на распределение нагрузки по ширине венца сателлита при отсутствии его самоустанавливаемости. Величина коэффициента неравномерности зависит от перекоса оси, вызванного кручением и прогибом элемента водила.

Угол кручения определим по известной формуле сопротивления материалов с учетом близости к линейному закону распределения нагрузки на ось сателлита (см. рис. 1):

$$\varphi_k = \frac{32a_w qb}{\pi d^4 G} (L + x_c), \quad (1)$$

где a_w – межосевое расстояние передачи; G – модуль упругости 2-го рода; d – диаметр прутка, из которого выполнен элемент водила (примерно равен диаметру оси сателлита); L – расстояние от оси прутка в месте его сопряжения с валом до торца подшипника; b – ширина подшипника сателлита; q – средняя погонная нагрузка на ось ($q = 2w \frac{b_w}{b} \cos \alpha_w$, w – средняя погонная нагрузка в зацеплении, α_w – угол зацепления, b_w – рабочая ширина венца сателлита);

x_c – координата центра тяжести эпюры нагрузки с учетом близости зависимости к линейной,

$$x_c = \frac{\int_0^b q(x)x dx}{\int_0^b q(x) dx}. \quad (2)$$

С учетом близости коэффициентов неравномерности распределения нагрузок в зацеплении и в зоне контакта оси с кольцом подшипника входящая в выражения (1) и (2) величина погонной нагрузки, действующей на ось сателлита, может быть выражена через коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине зубьев $K_{H\beta}^0$:

$$q(x) = \left[\frac{2x}{b} (K_{H\beta}^0 - 1) - K_{H\beta}^0 + 2 \right] q.$$

Угловое перемещение оси сателлита в плоскости симметрии (при $x = 0,5b$) под действием изгибающего момента

$$\varphi_M = \frac{64}{\pi d^4 E} \left[\int_0^l P(l + x_c - z) dz + \int_0^{b/2} M(x) dx \right],$$

где $M(x) = P(x_c - x) + \int_0^x q(\xi)(x - \xi)d\xi$; $l = L - 0,5d$;

$P = qb$; E – модуль Юнга.

Угол прогиба оси под действием поперечной силы

$$\varphi_Q = \frac{8,8}{\pi d^2 G b} \int_0^{b/2} \left[P - \int_0^x q(\xi) d\xi \right] dx.$$

Отсюда определяется суммарный угол перекоса оси:

$$\gamma_\Sigma = \varphi_k + \varphi_M + \varphi_Q. \quad (3)$$

В соответствии с формулой А. И. Петрусевича [4] коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине зубьев колес

$$K_{H\beta}^0 = 1 + \frac{\gamma_\Sigma C b_w}{2w}. \quad (4)$$

Здесь C – удельная жесткость зацепления ($C = 0,075E$ [5, 6]).

Подставив выражение (3) в равенство (4) и решая полученное уравнение относительно $K_{H\beta}^0$, найдем зависимость указанного коэффициента от параметров передачи.

На рис. 2 представлен график зависимости коэффициента неравномерности распределения нагрузки по длине зубьев зацепляющихся колес $K_{H\beta}^0 = KH(D)$ от параметров $D = d/b$ и $A = a_w/b$ передачи, построенный при $b = b_w$ и $\bar{l} = l/b = 0,6$, из которого следует, что даже при отсутствии начального неприятия зубьев колес и минимальном угле кручения солнечной шестерни неравномерность распределения нагрузки, следовательно, и напряжений изгиба зубьев по ширине венца несомоустанавливающегося сателлита, недопустимо велики вследствие деформативности сборного водила. В связи с этим целесообразно сателлиты установить на сферические под-

Получено 05.05.2016

шипники (см. рис. 1) либо предусмотреть другие методы выравнивания нагрузки и напряжений. Это же относится, как показывают расчеты, и к передачам с консольным расположением осей сателлитов в щеле водила.

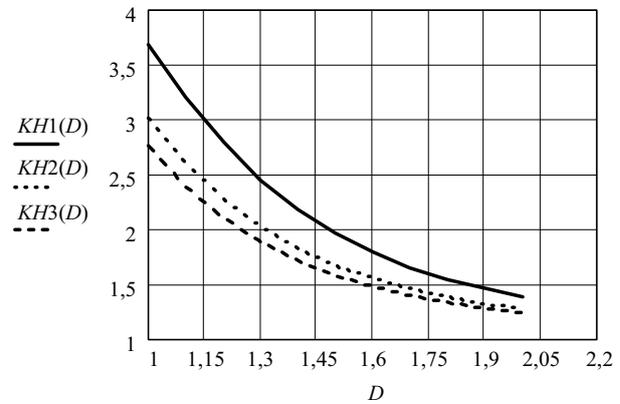


Рис. 2. Зависимость коэффициента неравномерности распределения нагрузки по ширине венца сателлита от относительного диаметра оси водила $D = d/b$: – $A = 2$; – $A = 1$; – $A = 0,7$

Библиографические ссылки

1. Айрапетов Э. Л., Генкин М. Д. Деформативность планетарных механизмов. – М.: Наука, 1973. – 212 с.
2. Кудрявцев В. Н., Кирдяшев Ю. Н., Гинзбург Е. Г. Планетарные передачи: справочник. – Л.: Машиностроение, 1977. – 563 с.
3. Kraynev A., Salamandra K., Raghavan M. Synthesis of the Two-Stream Transmissions // Power Transmissions: Proceedings of the 4th International Conference, held at Sinaia. – Romania, June 20–23. – 2012. – Pp. 335–345.
4. Кудрявцев В. Н., Кирдяшев Ю. Н., Гинзбург Е. Г. Указ. соч.
5. Айрапетов Э. Л., Генкин М. Д. Указ. соч.
6. Kraynev A., Salamandra K., Raghavan M. Указ. соч.
4. Плеханов Ф. И. Деформативность элементов планетарной передачи и ее влияние на распределение нагрузки в зацеплениях колес // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2015. – № 3. – С. 43–49.