

УДК 629.113-585.001.2

# МЕТОД РАСЧЕТА БЕССУХАРНОГО ИНЕРЦИОННОГО СИНХРОНИЗАТОРА С КОЛЬЦЕВЫМ ПРУЖИННЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

А.П. Недалков, к.т.н., А.А. Трикоз, к.т.н. (ФГУП «НАМИ») / А.Н. Блохин, к.т.н., (НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

Для обеспечения осевого усилия, требующегося для раздавливания масляной пленки на конусах трения синхронизаторов, с целью повышения коэффициента трения, необходимого для создания блокирующего момента, нужны фиксаторы синхронизаторов.

Надлежащую величину осевого усилия от фиксаторов синхронизатора (в данном конкретном случае в коробке передач ТМ 16-2000 [1, 3] функции фиксаторов выполняют пружинные кольца) можно определить по следующей зависимости [2]:

$$P_f = S_0 \cdot P_{y0}, \text{ Н}$$

где  $P_{y0}$  — удельная величина давления, равная  $50 \cdot 10^5$ , Н/м<sup>2</sup> (установлена экспериментальными исследованиями), для получения необходимого коэффициента трения скольжения конусов на начальном этапе блокировки синхронизации ( $\mu = 0,06 - 0,08$ );  $S_0$  — проекция площади блокирующего кольца на плоскость, перпендикулярную оси синхронизатора (рис. 1), которая равна:

$$S_0 = 2\pi \cdot R_c \cdot B_0 \cdot \sin\alpha, \text{ м}^2$$

где  $R_c$  — средний радиус блокирующего кольца синхронизатора, м;  $B_0$  — ширина блокирующего кольца, м;  $\alpha$  — угол наклона конусов трения, град.

Тогда формула для определения необходимого осевого усилия примет вид:

$$P_f = 2\pi \cdot R_c \cdot B_0 \cdot \sin\alpha \cdot P_{y0}, \text{ Н.}$$

Результаты расчета величины усилия пружины  $P_f$  для обеспечения блокировки синхронизатора основного редуктора коробки передач приведены в табл. 1.

Зная необходимую величину усилия фиксаторов и другие исходные данные определяем ширину  $H$  пружинного кольца:

$$H = (P_f \cdot D \cdot (D - S)^2 \cdot K_f) / (S^2 \cdot \Delta D \cdot E \cdot \text{tg}(\theta + \gamma)(1 + \mu_n))$$

где  $E$  — модуль упругости, равный  $2,15 \cdot 10^{11}$ , Н/м<sup>2</sup>;  $\Delta D$  — диаметрная деформация кольца, соответствующая определенной осевой силе  $P_f$ , м;  $S$  — толщина кольца, м;  $D$  — наружный диаметр кольца в свободном состоянии, м;  $H$  — ширина пружинного кольца, м;  $\theta$  — угол скоса на муфте синхронизатора, град.;  $\gamma$  — угол трения кромки пружинного кольца по скосу зуба муфты, град.;

$\mu_n$  — коэффициент трения пружинного кольца по торцу блокирующего кольца при его радиальной деформации;  $K_f$  — коэффициент увеличения силы фиксации.

Результаты расчета ширины  $H$  пружинного кольца синхронизатора основного редуктора коробки передач приведены в табл. 2.

Величина напряжений в пружинном кольце синхронизатора определяется с помощью следующей зависимости [2]:

$$\sigma = E \cdot S \cdot \Delta D / (D - S)^2, \text{ Н/м}^2$$

Результаты расчета значения  $\sigma$  приведены в табл. 3.

Из рис. 1 видно, что подвижный выступ при полном угловом перемещении при сжатии кольца не должен превышать размера одного зуба и двух впадин.

Ширина подвижного выступа пружинного кольца определяется по следующим зависимостям:

$$B = (n/2)\pi m - \Delta D/2 - \delta \text{ — при нулевом смещении;}$$

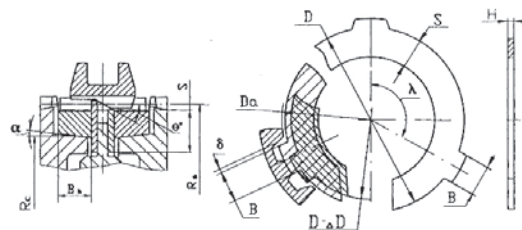


Рисунок 1. Схема синхронизатора

Таблица 1

Исходные параметры расчетов		
Удельная величина давления для получения необходимого коэффициента трения скольжения конусов на начальном этапе блокировки синхронизации, Н/м <sup>2</sup>	$P_{y0}$	500 000
Ширина блокирующего кольца, м	$B_0$	0,012
Угол наклона конусов трения, град	$\alpha$	6,5
Диаметр конусов, м	$D_k$	0,172
Проекция площади блокирующего кольца на плоскость, перпендикулярную оси синхронизатора, м <sup>2</sup>	$S_0$	0,000728
Результаты расчетов		
Необходимая величина осевого усилия от фиксаторов синхронизатора, Н	$P_f$	364

Таблица 2

Исходные параметры расчета		
Осевое усилие пружины соответствующее полной деформации кольца	$P_f$	364
Принятая величина диаметральной полной деформации кольца, м	$\Delta D$	0,0046
Наружный диаметр кольца, м	$D$	0,188
Толщина пружинного кольца, м	$S$	0,012
Угол скоса на муфте синхронизатора, град.	$\theta$	30
Угол трения пружинного кольца по скосу зуба муфты, град.	$\gamma$	6
Коефициент трения пружинного кольца по торцу блокирующего кольца при его радиальной деформации	$\mu_n$	0,05
Коефициент увеличения силы фиксации	$K_f$	1,1
Результаты расчетов		
Ширина пружинного кольца, м	$H$	0,0018

Таблица 3

Исходные параметры расчета		
Модуль упругости, Н/м <sup>2</sup>	$E$	$2,15 \cdot 10^{11}$
Толщина пружинного кольца, м	$S$	0,012
Полная деформация кольца, м	$\Delta D$	0,0046
Наружный диаметр кольца, м	$D$	0,188
Результаты расчетов		
Расчетное напряжение пружинного кольца, Н/м <sup>2</sup>	$\sigma$	$38,3 \cdot 10^7$

Таблица 4

Исходные параметры расчетов		
Модуль муфты синхронизатора, м	$m$	0,003
Число зубьев муфты синхронизатора	$Z$	63
Наружный диаметр муфты, м	$D_a$	0,1915
Высота зуба муфты, м	$h$	0,005
Рабочая деформация кольца, м	$\Delta D_2$	0,0036
Боковой зазор между зубом муфты и торцом выступа пружинного кольца, м	$\delta$	0,0007
Число зубьев и впадин муфты, в котором размещается подвижный выступ пружинного кольца	$n$	3
Смещение исходного контура	$x$	>0
Результаты расчетов		
Диаметр скосов блокирующих колец	$D_c$	0,01965
Ширина подвижного выступа пружинного кольца, м	$B$	0,010398

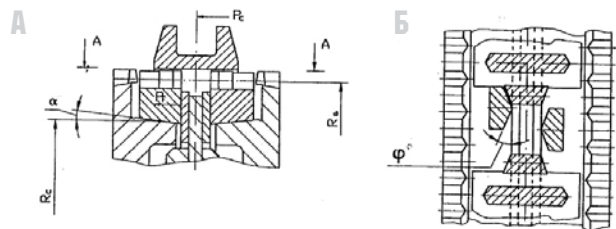


Рисунок 2. Расчетная схема угла блокировки синхронизатора основного редуктора

Таблица 5

Исходные параметры расчетов			
Модуль муфты синхронизатора, м	$m$	0,003	
Число зубьев муфты синхронизатора	$Z$	63	
Наружный диаметр зубьев муфты, м	$D_a$	0,1915	
Высота зуба муфты, м	$h$	0,005	
Полная деформация кольца, м	$\Delta D_2$	0,0046	
Боковой зазор между зубом муфты и торцом выступа пружинного кольца, м	$\delta$	0,0007	
Смещение исходного контура	$x$	>0	
Результаты расчетов			
Угол до оси подвижного выступа, град.	$\lambda$	118,8628	

$B = (nD_o \pi / 2) - \Delta D_2 - \delta$  — при смещении, не равном нулю, где  $\Delta D_2$  — величина рабочей деформации;  $n$  — суммарное число зубьев и впадин, в котором перемещается выступ пружинного кольца;  $\delta$  — боковой зазор между зубом и торцом выступа при предварительном поджатии кольца;  $D_o$  — средний диаметр блокирующих зубьев;  $D_o = m \cdot Z$  — средний диаметр при нулевом смещении;  $D_o = D_a + h$  — средний диаметр при смещении, не равном нулю;  $D_a$  — наружный диаметр зубьев муфты, из конструктивных соображений принимаем  $D_a = 191,5$  мм;  $h$  — высота зуба муфты;  $Z$  — число зубьев муфты.

Результаты расчета ширины подвижного выступа  $B$  и диаметра скосов  $D_c$  пружинного кольца синхронизатора основного редуктора коробки передач приведены в табл. 4.

Так как выступы кольца имеют угловое перемещение и должны укладываться в определенные заданные размеры, необходимо рассчитать угол расположения выступов при ненагруженном кольце, который является одним из необходимых конструктивных его параметров. Из графического изображения на рис. 1 кинематики работы пружинного кольца достаточно просто заметить, что угол до оси подвижного выступа будет определяться следующими зависимостями:

При нулевом смещении:  
 $\lambda_{град} = 120_{град} - (180_{град} / (\pi m Z)) \cdot (\Delta D - \delta)$   
 при смещении, не равном нулю:

$\lambda_{град} = 120_{град} - (180_{град} / (\pi D_o)) \cdot (\Delta D - \delta)$

где  $\Delta D$  — диаметральной (полная) деформация кольца, м;  $\delta$  — боковой зазор между зубом и торцом выступа, м;  $Z$  — число зубьев муфты.

Результаты расчета угла  $\lambda$  до оси подвижного выступа синхронизатора основного редуктора приведены в табл. 5.

При приложении усилия синхронизации  $P_c$  муфта через фиксаторы (пружинное кольцо) прижимает блокирующее кольцо к фрикционной конусной поверхности,

Таблица 6

Исходные параметры расчета		
Модуль муфты синхронизатора, м	$m$	0,003
Число зубьев муфты синхронизатора	$Z$	63
Наружный диаметр зубьев муфты, м	$D_a$	0,1915
Высота зуба муфты, м	$h$	0,005
Ширина блокирующего кольца, м	$B_6$	0,012
Удельная величина давления для получения необходимого коэффициента трения скольжения конусов на начальном этапе блокировки синхронизации, Н/м <sup>2</sup>	$P_{уд}$	500 000
Угол наклона конусов трения, град	$\alpha$	6,5
Коэффициент трения скольжения конусов на начальном этапе блокировки при расчетном усилии фиксаторов $P_f$	$\mu_k$	0,06
Коэффициент усиления блокирующих свойств синхронизатора	$K_6$	1
Коэффициент увеличения силы фиксации	$K_f$	1
Средний диаметр конусов, м		
Сила от прикладываемого к рукоятке рычага усилия, приведенная к оси синхронизатора, Н	$P_c$	3500
Смещение исходного контура	$x$	1,5
Результаты расчетов		
Средний радиус скосов блокирующих зубьев, м	$R_6$	0,099
Величина угла блокировки синхронизатора, град. Принимаем угол $\varphi = 30$ град	$\varphi$	29,84161

на которой выполнены для увеличения коэффициента трения специальные спиральные канавки. Это обеспечивает поворот блокирующего кольца, скосы на зубьях шлицев которого упираются в соответствующие скосы шлицев муфты (рис. 1 и рис. 2) и тем самым позволяют переместиться муфте в осевом направлении только после полного уравнивания угловых скоростей синхронизируемых элементов и войти в зацепление с зубчатым венцом, жестко связанным с шестерней.

Угол блокировки синхронизатора, гарантированно обеспечивающий полную синхронизацию при заданных геометрических параметрах синхронизатора, определяется следующей формулой [2]:

$$\varphi \leq \arctg \left( \frac{\mu_k \left[ R_c + R_6 \left( 1 - P_f \cdot \frac{K_f}{P_c} \right) \sin \alpha \right]}{R_6 \left( 1 - P_f \cdot \frac{K_f}{P_c} \right) \sin \alpha \cdot K_6} \right), \text{ град}$$

где  $\mu_k$  — коэффициент трения скольжения конусов на начальном этапе блокировки синхронизатора;  $R_c$  — средний радиус конусов трения, м;  $R_6$  — средний радиус скосов блокирующих зубьев, м;  $R_6 = mZ + 2mx$ ;  $P_f$  — осевая сила от радиальной деформации пружинного кольца, Н;  $P_c$  — сила от прикладываемого водителем к рукоятке рычага усилия, приведенного к оси синхронизатора, Н;  $K_6$  — коэффициент усиления блокирующих свойств

Таблица 7

Исходные параметры расчета		
Удельная величина давления для получения необходимого коэффициента трения скольжения конусов на начальном этапе блокировки синхронизации, Н/м <sup>2</sup>	$P_{уд}$	500 000
Ширина блокирующего кольца, м	$B_6$	0,0157
Угол наклона конусов трения, град	$\alpha$	6,5
Средний диаметр конусов, м	$D_k$	0,226
Проекция площади блокирующего кольца на плоскость, перпендикулярную оси синхронизатора, м <sup>2</sup>	$S_6$	0,001252
Результаты расчетов		
Необходимая величина осевого усилия от фиксаторов синхронизатора, Н. Принимаем	$P_f$	625,9441

Таблица 8

Исходные параметры расчета		
Осевое усилие пружины, соответствующее полной деформации кольца	$P_f$	626
Принятая величина диаметральной полной деформации кольца, м	$\Delta D$	0,0037
Наружный диаметр кольца, м	$D$	0,251
Толщина пружинного кольца, м	$S$	0,0144
Угол скоса на муфте синхронизатора, град.	$\theta$	30
Угол трения пружинного кольца по скосу зуба муфты, град.	$\gamma$	6
Коэффициент трения пружинного кольца по торцу блокирующего кольца при его радиальной деформации	$\mu_k$	0,05
Коэффициент усиления силы фиксации	$K_f$	1
Результаты расчетов		
Ширина пружинного кольца, м	$H$	0,005

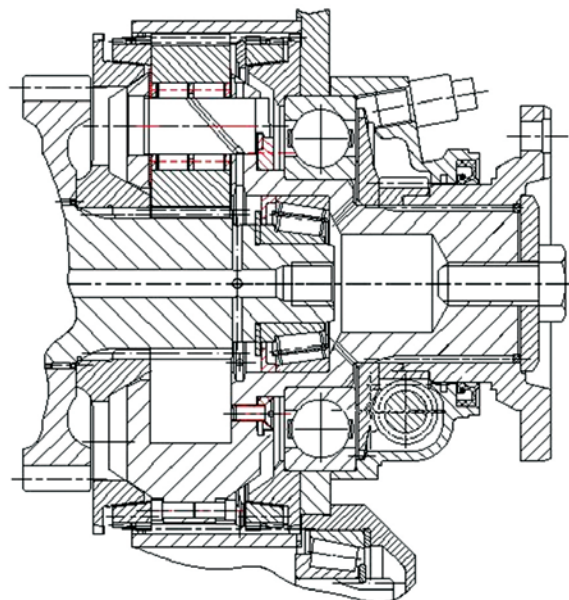


Рисунок 3. Планетарный демультипликатор коробки ТМ16-2000

Таблица 9

Исходные параметры расчета		
Модуль муфты синхронизатора, м	$m$	0,0025
Число зубьев муфты синхронизатора	$Z$	97
Наружный диаметр зубьев муфты, м	$D_a$	0,24376
Высота зуба муфты, м	$h$	0,00524
Ширина блокирующего кольца, м	$B_б$	0,0157
Удельная величина давления для получения необходимого коэффициента трения скольжения конусов на начальном этапе блокировки синхронизации, Н/м <sup>2</sup>	$P_{yб}$	500 000
Угол наклона конусов трения, град	$\alpha$	6,5
Коэффициент трения скольжения конусов на начальном этапе блокировки при расчетном усилии фиксаторов $P_f$	$\mu_k$	0,06
Коэффициент усиления блокирующих свойств синхронизатора	$K_б$	1,15
Коэффициент увеличения силы фиксации	$K_f$	1
Средний диаметр конусов, м	$D_k$	0,226
Сила от прикладываемого к рукоятке рычага усилия, приведенная к оси синхронизатора, Н	$P_c$	7000
Средний радиус скосов блокирующих зубьев, м	$R_б$	0,1245
Результаты расчетов		
Величина угла блокировки синхронизатора, град. Принимаем угол $\varphi = 27$ град.	$\varphi$	26,92768

синхронизатора;  $K_f$  — коэффициент увеличения силы фиксации.

Результаты расчета угла блокировки  $j$  синхронизатора основного редуктора коробки передач приведены в табл. 6.

Проведем расчет параметров пружинного кольца и угла блокировки синхронизатора планетарного демультипликатора (рис. 3 и рис. 4).

Результаты расчета величины усилия пружины  $P_f$  для обеспечения блокировки синхронизатора коробки передач приведены в табл. 7.

Результаты расчета ширины  $H$  пружинного кольца синхронизатора планетарного демультипликатора коробки передач приведены в табл. 8.

Результаты расчета угла блокировки  $\varphi$  синхронизатора планетарного демультипликатора коробки передач приведены в табл. 9.

Разработанные приведенные в статье аналитические зависимости позволяют рассчитать все основные геометрические и прочностные параметры принципиально новой простой малогабаритной бессухарной конструкции синхронизатора механических коробок передач.

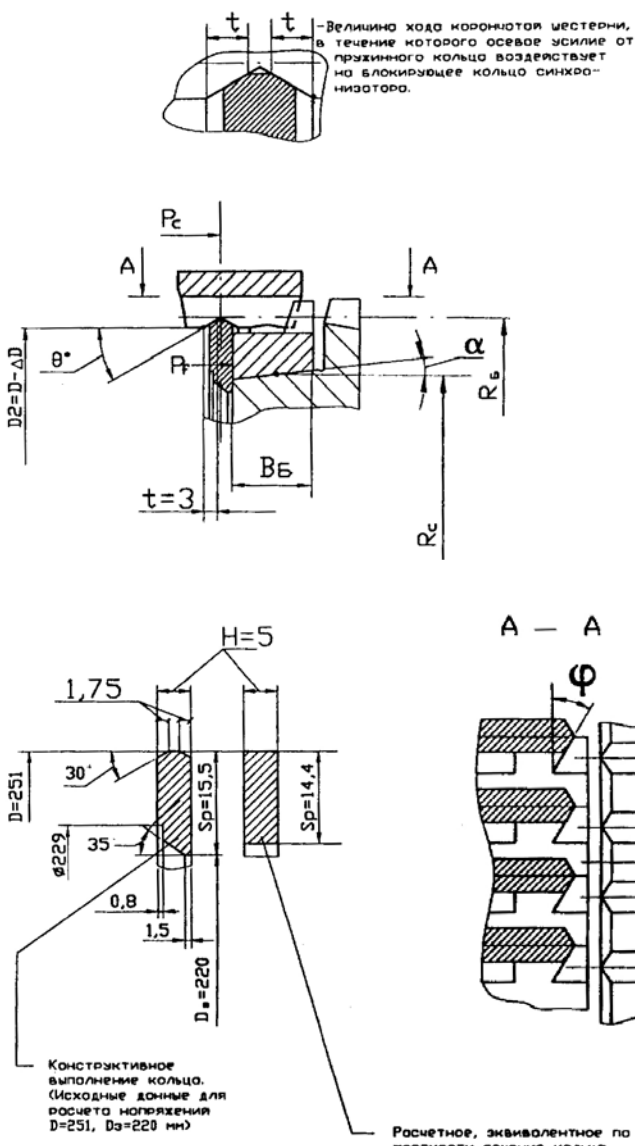


Рисунок 4. Расчетная схема пружинного кольца и угла блокировки синхронизатора планетарного демультипликатора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Недялков, А. П. Перспективы создания типоразмерного ряда унифицированных механических ступенчатых коробок передач с автоматизированным управлением. / А.П. Недялков, А.А. Ипатов // Автомобили. Сборник научных трудов. Выпуск 232. М.: ГНЦ РФ — ФГУП «НАМИ», 2004, с. 11-62.
- Недялков, А.П. Расчет основных элементов синхронизаторов коробки передач / А.П. Недялков, А.А. Трикоз // Автомобили и двигатели. Сборник научных трудов. Выпуск 230. М.: ГНЦ РФ — ФГУП «НАМИ», 2002, с. 160-169.
- Недялков, А.П. Механические синхронизированные коробки передач / Совершенствование технико-экономических показателей автомобильной техники. Сб. науч. тр./ НАМИ — 1993. — Вып. 214. С. 73-85.