

# ВВЕДЕНИЕ В СИНУСОЭКЦЕНТРИКОВЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Р. М. Игнатищев – засл. деятель науки Республики Беларусь, д-р техн. наук, проф.

## 1. Предисловие

Основная накопившаяся о синусоэксцентрикковых передачах (СЭП) информация отражена в [1 – 11]. Начальные изложения, как правило, оказываются сложными, неполными, логически плохо увязанными, трудно воспринимаемыми читателями. Основная причина этому: отсутствие результатов, появляющихся лишь в последующих исследованиях. Автор считает: настало время систематизировать накопленное и дать более стройное изложение вопроса.

## 2. Станочное зацепление для формирования элементарной структурной составляющей СЭП и основные её геометрические параметры

Необходимые для построения раздела изображения представлены на рис.1.

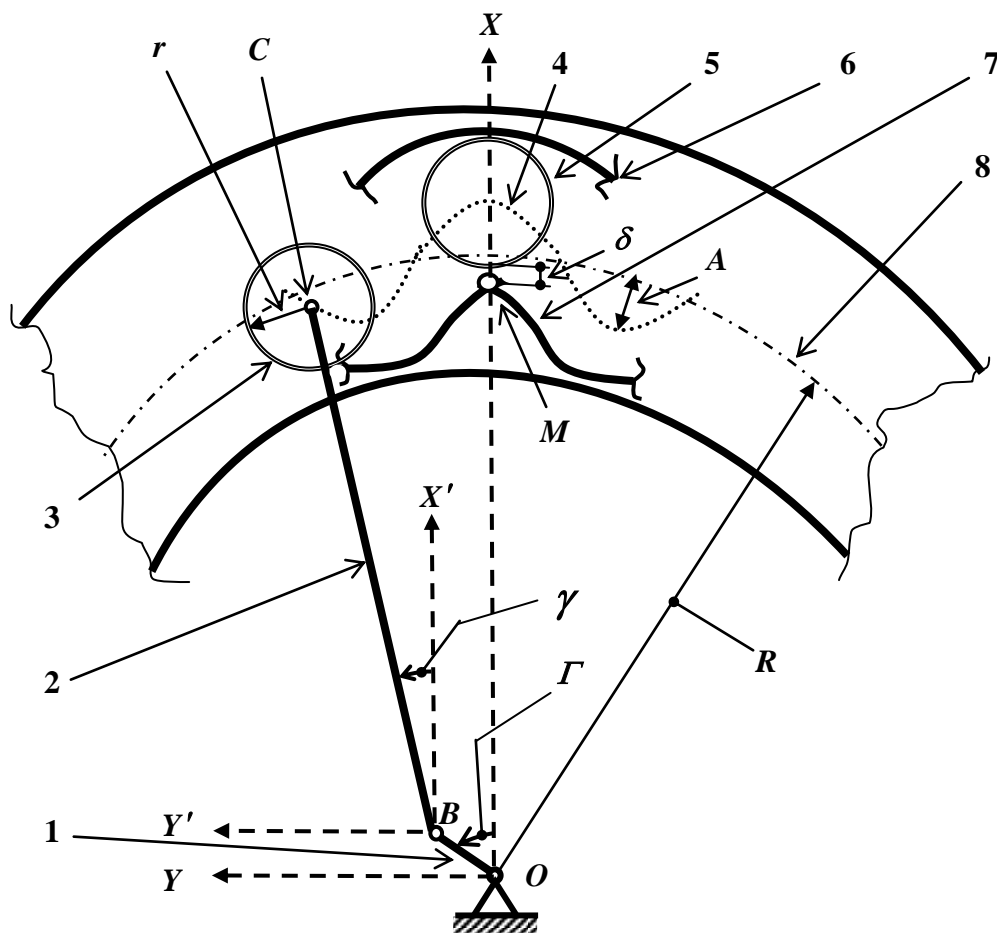


Рис.1. Изображения к составлению аналитического описания кругосинусоид, к пояснениям станочного зацепления и к констатации возможного у этой передачи явления заострения

(1-2-3) – механизм формирования канавок для СЭП. Состоит из последовательно соединённых малого 1 (длина  $OB=A$ ), большого 2 (длина  $BC=R$ ) кривошипов и производящего круга 3 (производящего канавку круга, радиусом  $r$ ; при фрезеровании этим кругом является поперечное сечение вращающейся пальцевой фрезы). Положение тел 1, 2 определяется углами  $\Gamma$  и  $\gamma$ . 3 – произвольное положение производящего круга; его центр  $C$  при изменениях переменных  $\Gamma$  и  $\gamma$  описывает на плоскости  $X'Y'$  окружность, а на  $XU$  линию 4 – кругосинусоиду;  $XU$  – неподвижная (иначе: основная, базовая) система отсчёта;  $X'Y'$  – система отсчёта с началом во времени совпадающим с шарниром  $B$  и перемещающаяся поступательно относительно  $XU$ . 5 – положение производящего круга в момент формирования центром  $C$  максимума кругосинусоиды. 6 – внешняя и 7 – внутренняя границы получающейся канавки (внутренняя и внешняя эквидистанты кругосинусоиды 4). Кругосинусоида является замкнутой, волнообразной (по отношению к окружности 8) линией. Радиус окружности кругосинусоиды 8 оказывается равным длине  $R$  большого кривошипа, а амплитуда – длине  $A$  малого кривошипа.  $M$  – вершина внутренней границы канавки; может получаться срезано-заострённой (это понятие аналогичное известным – из теорий зубчатых и кулачковых механизмов);  $\delta$  – величина срезания профиля; срезание считается отсутствующим, если  $\delta=0$ .

Пусть  $Z$  – число волн кругосинусоиды; волна – это часть кругосинусоиды, содержащая три точки своего пересечения с окружностью 8 (по рис.1) – одна точка пересечения расположена посередине волны, две по концам.

Одно из главных преимуществ СЭП – многопарность зацепления, причём, в отличие от промышленно-традиционных случаев, эта многопарность распределена по всему углу в  $360^0$  (у простой же циклоидно-цевочной передачи многопарность распределена по углу  $180^0$ , а у волновой многопарность хотя и двухсторонняя, что предпочтительней по отношению к циклоидно-цевочной передаче, но имеются пропуски – примерно от  $90^0$  до  $180$  и с  $270$  до  $360^0$ ).

Пусть  $S$  – полный комплект промежуточных тел, размещаемый в кругосинусоидной канавке (шариков, цевок и пр.; для конкретности, что не влияет на общие результаты, будем иметь ввиду шарики).

Построить СЭП с условием  $S = Z$  автору статьи не удалось. Но если

$$S - Z = \Delta ,$$

то возникает долго мучивший автора вопрос: «какие может принимать значения  $\Delta$ »?

Перехожу к анализу, дающему ответ на данный вопрос.

Ограничиваемся рассмотрением случая: центры шариков полного их комплекта распределены по углу  $2 \cdot \pi$  радиан равномерно, т.е. следуют через каждые

$$\frac{2 \cdot \pi}{S} \text{ радиан; причём } \frac{\Gamma}{\gamma} = \text{const} = \pm S ; \quad (1)$$

второе в (1) означает: «при равномерном вращении малого кривошипа равномерно вращается и большой кривошип», а также то, что к рассмотрению принимаем два варианта (первый – кривошипы имеют однонаправленное вращение – знак «плюс»; второй – направления вращений кривошипов противоположные – знак «минус»).

Обозначаем также:

$$\vec{OC} = \vec{\rho}.$$

Из рис.1 видно:  
для варианта  $\Gamma = +\gamma \cdot S$  -

$$\left. \begin{aligned} X &= A \cdot \cos(\gamma \cdot S) + R \cdot \cos \gamma \\ Y &= A \cdot \sin(\gamma \cdot S) + R \cdot \sin \gamma ; \end{aligned} \right\} \quad (2_1)$$

для второго варианта -

$$\left. \begin{aligned} X &= A \cdot \cos(\gamma \cdot S) + R \cdot \cos \gamma \\ Y &= -A \cdot \sin(\gamma \cdot S) + R \cdot \sin \gamma . \end{aligned} \right\} \quad (2_2)$$

После возведения в квадраты и сложения уравнений (2<sub>1</sub>), с использованием известных тригонометрических формул, получаем:

$$\frac{\rho^2 - (R^2 + A^2)}{2 \cdot A \cdot R} = \cos [(S - I) \cdot \gamma].$$

Из (2<sub>2</sub>), аналогично:

$$\frac{\rho^2 - (R^2 + A^2)}{2 \cdot A \cdot R} = \cos [(S + I) \cdot \gamma].$$

Т.к.  $R$  и  $A$  величины постоянные, то экстремальные значения переменная  $\rho$  принимает при тех же значениях  $\gamma$ , при которых принимает свои максимумы и минимумы функция

$$W = \frac{\rho^2 - (R^2 + A^2)}{2 \cdot A \cdot R},$$

которая для первого варианта равна

$$\cos [(S - I) \cdot \gamma],$$

для второго

$$\cos [(S + I) \cdot \gamma].$$

Пусть  $\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2, \dots, \vec{\rho}_i, \dots, \vec{\rho}_S$  - радиус-векторы, определяющие в системе  $XU$  положения центров первого, второго и т.д. последнего (номер «S») шариков. Их модули – переменные во времени величины. Переменные и полярные их углы ( $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_i, \dots, \gamma_S$ ), но друг от друга эти углы отличаются на постоянные величины. Когда центр шарика находится на вершине кругосинусоиды, модуль его радиус-вектора имеет максимальное значение. Ясно, что  $\rho_{1max} = \rho_{2max} = \dots = \rho_{Smax} = A + R$ . Значения полярных углов в моменты прохождения центрами шариков вершин кругосинусоид (что происходит в различные моменты времени) определяются из выражений:

$$\gamma_{imax} = \frac{2 \cdot \pi}{S - I} \cdot (i - 1) \quad (3)$$

- при первом варианте и

$$\gamma_{imax} = \frac{2 \cdot \pi}{S + I} \cdot (i - 1) \quad (4)$$

- при втором варианте.

При этом, что отображено выражениями (3) и (4), угловые расстояния между каждой парой соседних векторов  $\vec{\rho}_i$  и  $\vec{\rho}_{i+1}$  ( $i = 1, \dots, S$ ) одинаковы –

$$\Delta\gamma = \frac{2 \cdot \pi}{S - 1}$$

при первом варианте и

$$\Delta\gamma = \frac{2 \cdot \pi}{S + 1}$$

при втором варианте.

Т.е. число  $Z$  волн кругосинусоиды с числом  $S$  шариков оказывается связанным соотношением ( $2 \cdot \pi$  радиан делится на угловой шаг  $\Delta\gamma$ )

$$Z = S - 1 \quad (5)$$

- при варианте «сонаправленные вращения кривошипов» и

$$Z = S + 1 \quad (6)$$

- при варианте «противоположные вращения кривошипов».

Итак, кругосинусоиды, в удобных для вертикально-фрезерных станков с ЧПУ переменных при нарезании канавок одной фрезой, принимают вид (при организации серийных производств целесообразно делать многофрезную головку):

$$\left. \begin{aligned} X &= A \cdot \cos \Gamma + R \cdot \cos \left( \frac{Z+2}{Z+1} \cdot \Gamma \right) \\ Y &= A \cdot \sin \Gamma + R \cdot \sin \left( \frac{Z+2}{Z+1} \cdot \Gamma \right) \\ 0 &\leq \Gamma \leq (Z+1) \cdot 2\pi; \end{aligned} \right\} \Leftarrow S = Z + 1 \quad (7_1)$$

при использовании первого варианта зацепления -

$$\left. \begin{aligned} X &= A \cdot \cos \Gamma + R \cdot \cos \left( \frac{Z-2}{Z-1} \cdot \Gamma \right) \\ Y &= A \cdot \sin \Gamma + R \cdot \sin \left( \frac{Z-2}{Z-1} \cdot \Gamma \right) \\ 0 &\leq \Gamma \leq (Z-1) \cdot 2\pi . \end{aligned} \right\} \Leftarrow S = Z - 1 \quad (7_2)$$

при использовании второго варианта зацепления.

(7<sub>1</sub>) и (7<sub>2</sub>) описывают кривые, относящиеся к классу хорошо известных (ещё до Клавдия Птолемея; примерные годы жизни: 100 – 178) эпи- и гипоциклоид.

Традиционные аналитические исследования форм кругосинусоид целесообразно вести в относительных единицах (что *позволяет на единицу понижать число переменных*), т.е. традиционно используемые аналитически-числовые исследования, например первого варианта зацепления, целесообразно проводить по уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} x &= \cos \Gamma + \lambda \cdot \cos \left( \frac{Z+2}{Z+1} \cdot \Gamma \right) \\ y &= \sin \Gamma + \lambda \cdot \sin \left( \frac{Z+2}{Z+1} \cdot \Gamma \right) \\ 0 &\leq \Gamma \leq (Z+1) \cdot 2\pi \end{aligned} \right\} \leftarrow \begin{aligned} S &= Z+1 \\ \lambda &= \frac{R}{A} \end{aligned} \quad (7)$$

В СЭП-зацеплениях необходимо уметь анализировать не только кругосинусоиды, но также величины срезания  $\delta$ . Важным параметром СЭП, влияющим на КПД, является и средний угол заострения вершин (и впадин) канавок; эти углы целесообразно иметь в интервалах  $60 \dots 90^\circ$ ; большего сообщить автор пока не может – из-за малой накопленности результатов исследований в этом направлении.

Автору не удалось обозримо-аналитически описать эквидистанты кругосинусоид (с целью последующего традиционно-аналитического их исследования). Но они, относительно несложно, поддаются компьютерному графо-аналитическому исследованию (использовалась программа Excel), что иллюстрировано на рис.2 (где  $h$  – это выраженный в долях  $A$  радиус  $r$  производящего круга).

Изложенный метод позволяет составить многотомную книгу, но автор не видит в этом необходимости – считает более практичным проводить такие многофакторные исследования непосредственно на станках с ЧПУ, в процессе создания *конкретных* экспериментальных и промышленных образцов СЭП.

Из пар зацепляющихся шестерён построено огромное число различных структур зубчатых механизмов, в частности планетарных. Громадное количество различных редуцирующих устройств можно построить и из рассмотренного простейшего зацепления кругосинусоидной канавки с промежуточными телами (шариками, роликами, надетыми на них игольчатыми подшипниками и т.д.).

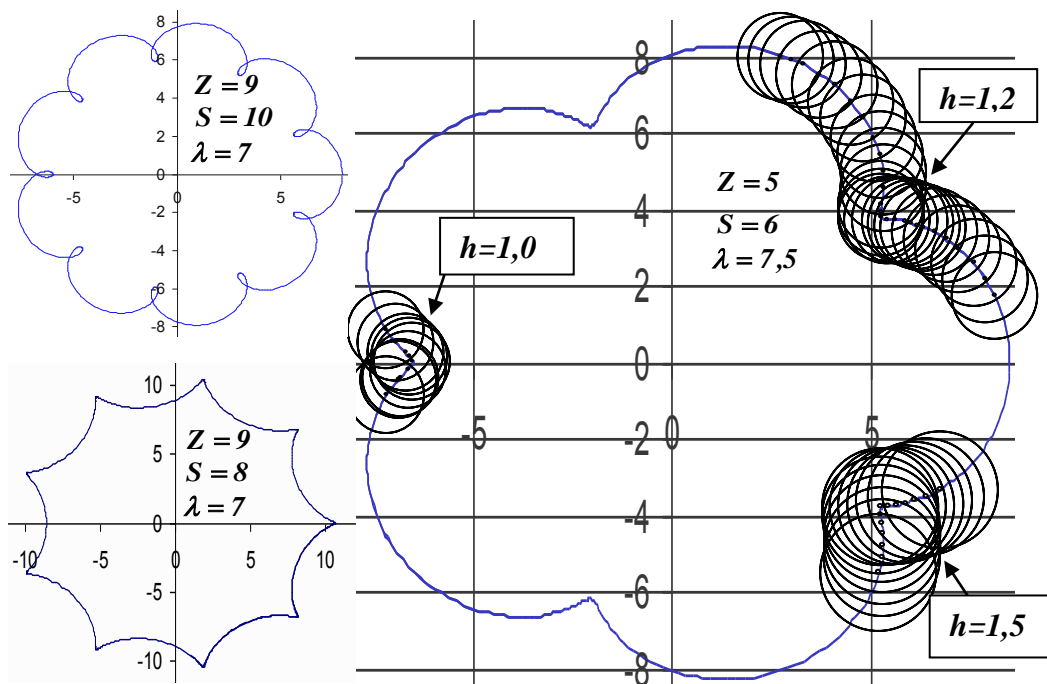


Рис.2. Примеры кругосинусоид и фрагменты исследования явления заострения вершин

### 3. Кинематика приоритетного структурного варианта СЭП (приоритетного с точки зрения начала инновационного процесса)

Состоит из двух элементарных зацеплений, имеющих общий малый кривошип и жёстко связанные между собой большие кривошипы. Изображён на рис.3: *a* – неподвижная канавка = корпус с кругосинусоидной канавкой; *b* – эксцентрик = объединённые в одно звено малые кривошипы (с противовесами); *c* – водило = объединённые в одно звено два больших кривошипа, каждый со своим рядом шариков – один ряд шариков расположен в неподвижной канавке, второй в подвижной; *d* – подвижная канавка = ведомый вал с кругосинусоидной канавкой. Обозначения:

$\vec{\omega}$  – угловая скорость звена; первый символ в индексе при  $\vec{\omega}$  идентифицирует звено, об угловой скорости которого ведётся речь; второй символ идентифицирует систему отсчёта, в которой находится человек, оценивающий величину этой угловой скорости. Например,  $\vec{\omega}_{cd}$  – это угловая скорость звена «*c*» (водила) относительно звена «*d*» (относительно подвижной кругосинусоиды).

На основании закона сложения угловых скоростей и принятого выше условия станочного зацепления (1) записываем:

$$\vec{\omega}_{ba} = \vec{\omega}_{da} + \vec{\omega}_{bd}, \quad \vec{\omega}_{bd} = \pm S_d \cdot \vec{\omega}_{cd} \Rightarrow \frac{\vec{\omega}_{ba}}{\pm S_d} - \frac{\vec{\omega}_{da}}{\pm S_d} = \vec{\omega}_{cd} \quad (8)$$

$$\vec{\omega}_{da} = \vec{\omega}_{ca} + \vec{\omega}_{dc}, \quad \vec{\omega}_{ba} = \pm S_a \cdot \vec{\omega}_{ca} \Rightarrow \vec{\omega}_{da} - \frac{\vec{\omega}_{ba}}{\pm S_a} = \vec{\omega}_{dc} \quad (9)$$

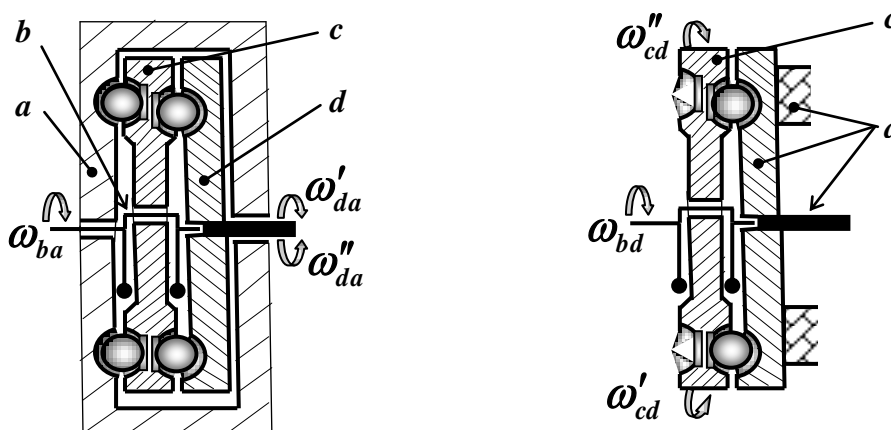


Рис.3. Конструктивная схема приоритетной СЭП с фрагментом её изображения, используемого для вывода формулы передаточного отношения

Из (8) и (9):

$$\vec{\omega}_{ba} \cdot \left( \frac{1}{\pm S_d} - \frac{1}{\pm S_a} \right) + \vec{\omega}_{da} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\pm S_d} \right) = 0.$$

Откуда

$$U = \frac{\vec{\omega}_{ba}}{\vec{\omega}_{da}} = \frac{\frac{1}{\pm S_d} - 1}{\left( \frac{1}{\pm S_d} - \frac{1}{\pm S_a} \right)}. \quad (10)$$

СЭП работоспособны при неполных комплектах промежуточных тел и, поэтому, формулы для вычисления их передаточных отношений  $U$  целесообразно выражать через числа волн кругосинусоид. Из (10):

$$\begin{array}{l} S_a = Z_a + 1 \\ S_d = Z_d + 1 \end{array} \Rightarrow U = \frac{\vec{\omega}_{ba}}{\vec{\omega}_{da}} = \frac{Z_d \cdot (Z_a + 1)}{Z_d - Z_a}, \quad (11)$$

$$\begin{array}{l} S_a = Z_a - 1 \\ S_d = Z_d - 1 \end{array} \Rightarrow U = \frac{\vec{\omega}_{ba}}{\vec{\omega}_{da}} = \frac{Z_d \cdot (Z_a - 1)}{Z_a - Z_d}. \quad (12)$$

Третий и четвертый варианты дают меньшие значения передаточных чисел.

Формула для вычисления передаточных отношений, объединяющая все варианты рассмотренной СЭП (приоритетной для начала инновационного процесса):

$$U = \frac{\vec{\omega}_{ba}}{\vec{\omega}_{da}} = \pm \frac{Z_d \cdot (Z_a \pm 1)}{Z_d - Z_a} \quad (11)$$

- можно в одной ступени получать практически любые значения передаточных чисел. В частности: 36, 44, 49, 56, 64, 77, 81, 91, 100, 121, 133, 144, 153, 169, 175, 196, 225, 255, 280, 340, 408, 435, 495, 615, 736, 900, 1024 и т.д.

#### 4. Некоторые из накопленных опытных данных

При выполнении работы [9] изготавливалось, а затем испытывалось (в цевочном исполнении -  $Z_a = 14$ ,  $Z_d = 15$ ,  $S_a = 15$ ,  $S_d = 16 \Rightarrow U = 225$ ; диаметр цевок 2 мм; диаметр мотор-редуктора 50 мм) 3 опытных образца из стальных термообработанных деталей. Проведенная опытная проверка полностью подтвердила изложенное в разделах 1-3 и перспективность приоритетной СЭП по другим показателям.

Созданные инженером (затем к.т.н.) В.И.Довженко опытно-промышленные образцы одной из разновидностей СЭП с 2000 г. до настоящего времени успешно работают в установке шлакового переплава завода «Могилёвтрансмаш».

## 5. Оценки, рекомендации, мнения автора

СЭП дают конструкторам новые компоновочные возможности – подобно синусошариковым передачам (незаменимым при создании *силовых* редуцирующих узлов с передаточными отношениями 1,5-7,0 и располагаемых в скважинах малого диаметра – 50...127 мм) для СЭП также имеются доступные им, и пока не занятые традиционными передачами, эксплуатационно-промышленные ниши; в частности СЭП позволяют создавать высоко моментные *редуцирующие узлы, вписывающиеся в щелеобразные пространства* - могут иметь форму диска, малой толщины (с ведущим валом в виде шкива ремённой передачи). С рядом других оригинальных конструктивных решений, найденных на основе простейшего зацепления кругосинусоидной канавки с промежуточными телами, можно ознакомиться в [1-10].

У СЭП практически нет проблем с изгибной прочностью, которые имеют место у зубчатых передач. Что же касается контактной прочности, то твёрдости поверхностей промежуточных тел максимальные, используемые в промышленности - 57...63 HRC (у сопряжённых поверхностей на 5-10 единиц меньше).

Причём у традиционных эвольвентных передач имеет место явление монотонно *существенного* возрастания, во времени, контактных напряжений в околополюсных зонах активных поверхностей зубьев. Обусловлено это сильным влиянием на радиусы кривизны эксплуатационно-нормальных износов. Например, максимальный по профилю износ (посередине ножки зуба) величиной всего 0,1 мм у зубчатого колеса с модулем 10 мм при 29 зубцах приводит к увеличению кривизны (в опасной по питтингу зоне – в околополюсной зоне) в 3 раза. А для работающего на Могилёвском «Химволокно» в составе мультипликатора зубчатого колеса с 285 зубцами и модулем 4,5 мм (в нормальном сечении) кривизна увеличивается (в опасной по питтингу зоне) в три раза при максимальном по профилю износе всего в 0,01 мм; при износе же в 0,05 мм эта кривизна возрастает в 10 раз. *У СЭП нет явления повышения во времени контактных напряжений.* И если она правильно спроектирована, изготовлена и эксплуатируется, то питтинг у неё не появится.

У приоритетной СЭП мало число деталей (по сравнению с трёх- и более ступенчатыми зубчатыми редукторами; шарики в счёт не идут), технологии изготовления простые - для изготовления канавок режущий инструмент прост (особенно для малых размеров) и видна несложность производства штампов; нет необходимости в шлифованиях - шарики, иголки являются и рабочими телами, и выглаживающим инструментом. Для водил – литьё с последующей калибровкой кондукторами. Всё это не может не приводить к существенно меньшим себестоимостям, по сравнению с зубчатыми аналогами.

Приведенный выше ряд передаточных чисел начат с числа «36». Не потому, что СЭП не подвластны меньшие значения передаточных чисел. Потому, что нарождающиеся технологии будут входить в соревнование с технологиями, отработанными в течение сотни лет, всем миром. Это обязывает инновационный процесс начинать с соревнований не с одно- и двухступенчатыми зубчатыми передачами, а с пяти- (и выше), четырёх- и трёхступенчатыми. Тогда более разительно будут видны себестоимостные преимущества новых передач.

Всегда ли следует стремиться в знаменателе формулы (11) иметь значение «1»?

Нет. Возможности, по передаточным отношениям, у одноступенчатых СЭП большие, но чаще встречаются передаточные отношения меньше сотни и знаменатель можно принимать большим единицы (2, 3) – потому, что несущая способность СЭП определяется, с не большими погрешностями, значениями диаметров кругосинусоид; и



если Вы уменьшите, к примеру, диаметр шарика в 2 раза, то их количество в зацеплениях также возрастёт в два раза, но это даст увеличение плавности хода, а также уменьшит осевой размер и массы противовесов.

СЭП отличается *многопарностью* зацепления – в любой момент времени силовой момент (Нм) передаётся примерно каждыми двумя из трёх шариков (цевок, игольчатых подшипников и т.д.), а максимальное число находящихся в зацеплении промежуточных тел  $S = Z + 1$ ; при этом, нагруженные шарики равномерно распределены по углу  $360^0$  (по всей окружности), что графически иллюстрировано на рис.4.

**Преимущество *sinЭП*** (это подшипниковая СЭП – на цевки надеты игольчатые подшипники): *КПД не ниже, чем в зубчатых передачах*. Потому, что у *sinЭП* во всех кинематических парах чистое качение; в зубчатых же передачах - качение с проскальзыванием.

Неожиданное для многих (по наблюдениям автора): несмотря на необходимость в *sinЭП* иметь большое количество игольчатых подшипников (10...20 и более), *их доля в себестоимости всего 1...3 %*. Что же касается надёжности, то уместна широко вошедшая в жизнь аналогия: электронные устройства имеют высокую надёжность, несмотря на множество содержащихся в них сопротивлений, ёмкостей, диодов и прочего; но ведь подшипники - это также очень хорошо отработанные в производстве и высоко надёжные (на заданный срок службы) узлы.

Понятно, что на *sinЭП* целесообразно идти из-за КПД - при больших мощностях - 10, 100, 1000 и более кВт.

**Преимущество *sinЭЦ*** (промежуточными телами являются цевки = иголки): *нет более простой передачи* (структура + технология изготовления = малая стоимость) *для мини- и микроредукторов* (вписывающихся в кубы со стороной 10...50 мм). КПД *sinЭЦ* = КПД простых циклоидно-цевочных передач (без подшипников на цевках).

**Оценка *sinЭШ*** (промежуточными телами являются шарики). Свободное (но с малым зазором) размещение шариков в гнездах обеспечивает ему КПД больший, чем у *sinЭЦ* - не меньший, чем КПД у волновых и простых циклоидно-цевочных передач. Если речь вести о 90 % потребностей, то *для целей позиционирования нет лучшего редуктора, чем sinЭШ*:

по многопарности зацепления, распределённого по углу  $360^0$ , он не уступает лучшему из известных решений - волновым передачам и превосходит простые циклоидно-цевочные (у которых многопарность односторонняя - распределена по углу  $180^0$ ), но существенно превосходит волновые передачи по диапазону охватываемых передаточных отношений, долговечности и себестоимости изготовления;

нет проще механизма для устранения зазоров (способом вращения винтов, крепящих крышку к корпусу; для повышения плавности регулировки целесообразно использовать мелкие резьбы).

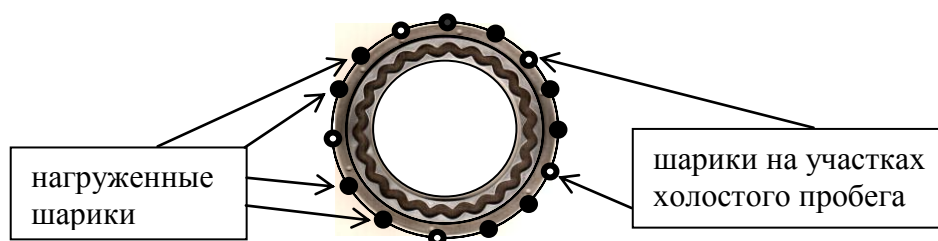


Рис.4. – Графическое представление многопарности зацепления

**СЭП целесообразно включить в широкий инновационный процесс.** Поясняю.

Продукция редукторостроения весьма многообразна – ориентировочно оценивается *150-ю тысячами* (!) различных возможных изделий, отличающихся огромным разнообразием предъявляемых к ним комплексов технико-экономических показателей. Наиболее часто встречающимися элементами этих совокупностей различных комплексов являются:

различия в потребных частотах вращения тихоходных валов и в применяемых двигателях;

уровни кинематической точности (для телескопов и прицелов – одни; для бетономешалок и пилорам – другие);

сроки службы, наработки на отказ, безотказности (сегодня для шпindelь-редукторов к турбо- и электробурам 150 часов наработки на отказ – хорошо, 500 часов – отлично, практически недостижимо; а для автомобильных редуцирующих узлов 1000 часов мало; различное отношение и к признаку «безотказность» - для вертолётного редуктора одно, для редуктора транспортёра, перемещающего сумки пассажиров на таможенном контроле, другое);

уровни шума и вибраций (одно дело – пассажирский лифт и другое – дробилка);  
окружающая среда – взрывоопасность (есть сверхкатегорные угольные шахты и есть металлорежущие цеха); химическая стойкость; работа в экваториальном поясе и за Полярным кругом; и т.п.;

масса и геометрические формы редукторного привода;

КПД, термическая мощность, энергосбережение;

величины длительно передаваемого момента и пиковые, ударные его значения; радиальные нагрузки на выходные концы валов;

эксплуатационные расходы по поддержанию редукторного привода в работоспособном состоянии и ремонтпригодность; возможности наладить у себя (потребителя) вспомогательное производство потребных редукторных приводов (например, на территории Могилёвского завода «Химволокно» с такой целью в своё время был организован ремонтно-механический завод с цехом по производству зубчатых колёс);

цена, себестоимость, прибыль и многое другое;

в доведении каждого изделия до промышленного применения должны участвовать изготовители (заводы), ибо никто лучше заводчан не знает, что у них есть и «где лежит» (на какой станок, или технологию можно ориентироваться, а на какую нет, хотя в сопоставлении она может быть гораздо лучшей).

Для СЭП структура, геометрия и кинематика характеризуются достаточной ясностью, расчётной беспроблемностью и точностью (что и показано выше); нет и проблем с прочностными расчётами – они вписываются в рамки, отработанные наукой, вошедшей в учебники и справочники по деталям машин. Это, и упомянутые 150 тысяч, позволяют рекомендовать хозяйственным структурам широко включать СЭП в свои планы инновационной деятельности.

## **БИБЛИОГРАФИЯ**

1. А. с. 1216498 SU, МПК F 16 H 13/08. Планетарная передача / Р. М. Игнатищев. - № 3795289; заявл. 02.10.1984; опубли. 07.03.1986, Бюл. № 9.- 2 с.: ил.

2. **А. с. 1704531 SU, МПК F 16 H 13/08, 1/32.** Планетарная передача / Р. М. Игнатищев. - № 43122275; заявл. 17.07.1987; опубл. заказ 85/ДСП.- 6 с.: ил.

3. **А. с. 1788826 SU, МПК F 16 H 1/34, 25/06.** Планетарная передача / Р. М. Игнатищев. - № 4419685; заявл. 03.05.1988; опубл. заказ 11/ДСП.- 6 с.: ил.

4. **Пат. 4045 ВУ, МПК F 16 H 1/00.** Синусоэксцентриковая передача / Р. М. Игнатищев. - № и 20070369; заявл. 14.05.2007; опубл. 30.12.2007 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.- 8 с.: ил.

5. **Пат. 4255 ВУ, МПК F 16 H 1/00.** Синусоэксцентриковая передача для привода гибких связей / Р. М. Игнатищев. - № и 20070572; заявл. 02.08.2007; опубл. 28.02.2008 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.- 6 с.: ил.

6. **Пат. 4305 ВУ, МПК F 16 C 3/00, F 16 D 17/00, F 16 H 25/00.** Синусоэксцентриковая передача для отсчётных устройств и позиционирований / Р. М. Игнатищев. - № и 20070598; заявл. 17.08.2007; опубл. 30.04.2008 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.- 6 с.: ил.

7. **Пат. 4306 ВУ, МПК, F 16 H 3/00, B 60 K 17/00.** Синусоэксцентриковая коробка передач / Р. М. Игнатищев. - № и 20070584; заявл. 09.08.2007; опубл. 30.04.2008 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.- 7 с.: ил.

8. **Пат. 4317 ВУ, МПК, F 16 H 1/32, F 16 H 59/00, H 02 K 7/00.** Синусоэксцентриковый мотор-редуктор / Р. М. Игнатищев. - № и 20070591; заявл. 14.08.2007; опубл. 30.04.2008 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь.- 6 с.: ил.

9. Создание научных, конструкторских и технологических предпосылок для разработки и разработка экспериментальных образцов синусоигольчатых редуцирующих узлов малых габаритов с передаточным отношением из интервала 100-1000: отчёт о НИР (заключ.) / Могилёвский машиностр. инст.; рук. Р.М.Игнатищев; исполн.: А.И.Крез [и др.]- Могилёв, 1991.- 29с.: ил., библиогр.: с.29.- № ГР 0191.0007220, инв. № 03920005292, ВНТИЦ.

10. **Игнатищев, Р.М.** Шестерням весомая паддержка – синусоэксцентриковые передачи.– Могилёв: УПКП МОТ Соболя, 2007. - 24 с.: ил.

11. **Игнатищев, Р.М.** Руслану Игнатищеву 70 лет - жизнь прожита в науке – эстафета молодым.– Могилёв: УПКП МОТ Соболя, 2009. – 36 с.- С.29-33.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Игнатищев Руслан Михайлович, заслуженный деятель науки Республики Беларусь, доктор технических наук, профессор, проживает по адресу: 212033, г. Могилёв, ул. Королёва, д. 27, кв.55. Телефоны: 264921 – кв.; 8 103753288352 – мобильный. E-mail: ruslan-ignatishhev@yandex.ru.