

прийнято такими, щоб хід штока індикатора був дещо більшим за дільний крок зуб'їв колеса для того, щоб можна було зафіксувати моменти переспряження поверхонь зуб'їв і витків черв'яка. Для досліджуваного зачеплення дільний крок колеса  $p_1=22,6988\text{мм}$  при ході штока індикатора  $t=25\text{мм}$ , що задовольняє умовам експерименту. Результати експериментального визначення функції  $\varphi_2=\varphi_2(\varphi_1)$  показано на рисунку 3.

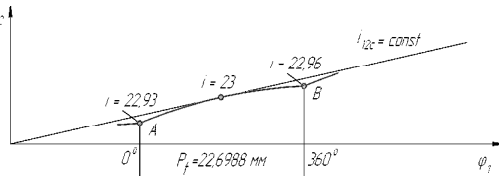


Рисунок 3 – Графік функції  $\varphi_2=\varphi_2(\varphi_1)$

Графік свідчить про те, що в точках А входу і В виходу активних поверхонь із зачеплення кут  $\varphi_2$  повороту колеса менший, ніж у спряженої передачі, а сама крива  $\varphi_2=\varphi_2(\varphi_1)$  лежить нижче лінії  $i_{12}=\text{const}$ . Цей факт свідчить про те, що заклинювання передачі неможливе.

### Висновки:

1. Запропонована спіроїдна передача має змінне миттєве передатне відношення на фазі зачеплення.
2. Миттєві передатні відношення в точках входу в зачеплення і виходу з нього майже однакові і менше за передатне число, що усуває удар активних поверхонь при переспряженні.
3. Інші геометро-кінематичні показники спіроїдної передачі задовольняють умовам роботи наближених передач.

**Список літератури:** 1. *Надеина Э.В.* Формообразование поверхностей зубьев плоского колеса приближенной спиральной передачи / Э.В. Надеина // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2003. – Вып.65. – С.105-110. 2. *Гуляев К.И.* Закон передаточного отношения при синтезе приближенной передачи / К.И. Гуляев, Г.А. Лифшиц // Механика машин. – М.: Наука, 1974. – Вып.45. – С.50-54. 3. *Литвин Ф.Л.* Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин. – М.: Наука, 1968 – 584с.

Надійшла до редколегії 13.04.2013

УДК 621.9.20.001.24

**Геометро-кінематичні показники наближеної спіроїдної передачі / Е.В. Надсіна, О.О. Ключко, В.С. Надсін // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПИ". – 2013. – №41(1014). – С.83-87. – Бібліогр.: 3 назв.**

Експериментально определены геометро-кинematicкие показатели приближенной спиральной передачи. Показано, что такие передачи могут быть использованы в технике.

**Ключевые слова:** спиральная передача, геометрия зацепления.

The experimentally determined geometric-kinematic indicators approximate spiroid gear is shown that such programs can be used in the technique.

**Keywords:** spiroid gear, mesh geometry.

УДК 621.9.04

**В.А. НАСТАСЕНКО**, к.т.н., профессор каф. ЭСЭУ и ОП ХДМА, Херсон

## ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАЛОЗАХОДНЫХ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ЧЕРВЯКОВ

Работа относится к области технологии производства червяков, в частности – гиперболоидных. Предложены наиболее простые технологические процессы и устройства для получения гиперболоидных

© В.А. Настасенко, 2013

червяков и проведен их анализ, доказывающий возможность замены 1 – 4-х заходных цилиндрических червяков – гиперболоидными, при минимальных изменениях технологических процессов.

**Ключевые слова:** гиперболоидный червяк, технология.

**Введение, связь работы с основными направлениями исследований.** В рамках жизненных циклов развития технических систем и объектов техники, выделяют 4 основных периода: 1) появление нового, 2) интенсивное совершенствование, 3) исчерпание возможностей совершенствования, 4) сокращение сфер возможного применения и замена их более эффективными техническими системами и изделиями [1]. Червячные передачи относятся к давно исследуемым видам зубчатых передач, у которых эффективность новых решений по улучшению их качественных показателей приближается к естественному пределу. Основными путями их совершенствования являются: повышение к.п.д., точности, износостойкости, нагрузочной способности, уменьшение веса и габаритов, а также повышение производительности и упрощение их производства и обслуживания при эксплуатации. При этом цилиндрические червячные передачи постепенно вытесняются глобоидными, технология производства которых отработана и нашла широкое применение [2]. Однако еще более перспективными являются гиперболоидные червячные передачи, нагрузочные способности которых близки к глобоидным, а точность профиля сохраняется при любом количестве заходов [3-7].

Поскольку в современных рамках развития машиностроения требования к улучшению указанных выше показателей червячных передач постоянно растут, поэтому решение задачи их совершенствования является актуальным и важным условием для научных исследований. При этом целесообразно комплексное совершенствование всех указанных выше показателей.

**Анализ состояния проблемы, цели и задачи работы.** В основу гиперболоидных зубчатых передач могут быть положены два вида гиперболоидов, полученных вращением образующей ABC гиперболы относительно оси их симметрии (рисунок 1): 1) двуполостные 2) однополостные. Второй вид гиперболоидов – предпочтительнее, поскольку более близок к виду обычных конструкций червяков.

Главным преимуществом гиперболоидных червяков и созданных на их базе червячных передач является полное совмещение винтового профиля их витков с винтовым профилем исходной инструментальной рейки на всей ее длине, при любом количестве заходов червяка, за счет адекватного увеличения его диаметра от центрального сечения к периферии (рисунок 2). При этом начальная прямая  $n.n.$  исходной зубчатой рейки 1 с высотой профиля  $A_p B_p$  в полюсе профилирования  $O_p$  совмещена с начальной окружностью  $n.o.$  цилиндрического основного червяка, а положение любой текущей точки  $i_p$  на винтовом профиле исходной зубчатой рейки определяется радиус-вектором  $r_p$  и углом его наклона  $\theta_p$ .

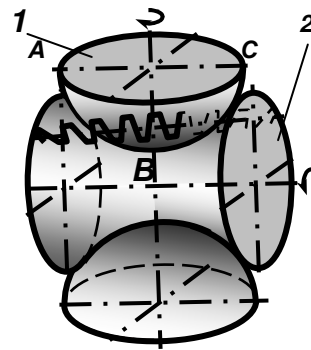


Рисунок 1 – Основные виды гиперболоидов вращения

При переходе к цилиндрическому червяку рейка 1 сформирует винтовой профиль 2 высотой  $A_{ци} B_{ци}$ , а текущая точка этого профиля  $i_{ци}$  займет положение, определяемое радиус-вектором  $r_{ци}$  и углом его наклона  $\theta_{ци}$ , что адекватно исказит параметры профиля витка по сравнению с профилем исходной рейки. У гипер-

болоидного основного червяка начальная прямая *н.п.* исходной зубчатой рейки 1 также совмещена в полюсе профилирования  $O_p$  с начальной окружностью *н.о.*, а высота профиля  $A_p B_p$  рейки и профиля  $A_{чз} B_{чз}$  витков 3 гиперболюидного червяка будут идентичными в рамках винтового движения образующей, при этом текущая точка  $i_p$  профиля исходной зубчатой рейки будет совмещена с текущей точкой  $i_{чз}$  профиля витка 3 гиперболюидного червяка, что обеспечит равенство их радиус-векторов  $r_p=r_{чз}$  и углов их наклона  $\theta_p=\theta_{чз}$ , и исключит искажения параметров профиля. Прямолинейная форма начальной прямой *н.п.* на гиперболюидном червяке не только повышает точность их зацепления с зубьями колеса, но и снижает чувствительность червяка к погрешностям осевой установки при его изготовлении и сборке, что устраняет 2 главных недостатка глобидных червячных передач.

Однако наиболее острой проблемой для гиперболюидных червячных передач является потребность снижения сложности производства, связанного с формированием гиперболюидной поверхности основного червяка и его витков. Поэтому главной целью данной работы является поиск наиболее эффективных технических и экономических путей снижения сложности производства гиперболюидных червяков, а также способов и оборудования для их обработки. Учитывая постоянный рост требований к точности и эффективности червячных передач при их эксплуатации и производстве, выбранная в данной работе цель исследований является актуальной и имеет большое практическое и теоретическое значение.

Научную новизну выполняемой работы составляет анализ точности простейших технологий формообразования гиперболюидных червяков и оборудования для их производства, а на его базе – поиск наиболее простых новых технических решений, перспективных для реализации в ближайшем будущем.

**Предлагаемый путь реализации поставленной цели.** У современных высокоточных цилиндрических червячных передач фактическое количество заходов не превышает 4-х, что ограничивает угол наклона витков к оси червяка величиной  $\omega_0 \leq 10^\circ$ . В этом случае возможна их обработка по существующим технологиям, при равномерном вращении  $\omega$  червяка и прямолинейной осевой подаче  $s_z$  режущего инструмента, выполненным по нормали к его витку, в рамках заявки на патент РФ [8], с двумя существенными отличиями – смещением заднего центра станка на высоту  $\pm h_{ч}$  (1), а установленного перед ними на суппорте станка инструмента – на высоту  $\pm h_u$  (2), вниз – при обработке правозаходных червяков, вверх – при обработке левозаходных червяков (рисунок 3а,б):

$$\pm h_{ч} = l_{ч} \sin(\pm \omega_0), \text{ м}; \quad (1) \quad \pm h_u = l_u \sin(\pm \omega_0), \text{ м}, \quad (2)$$

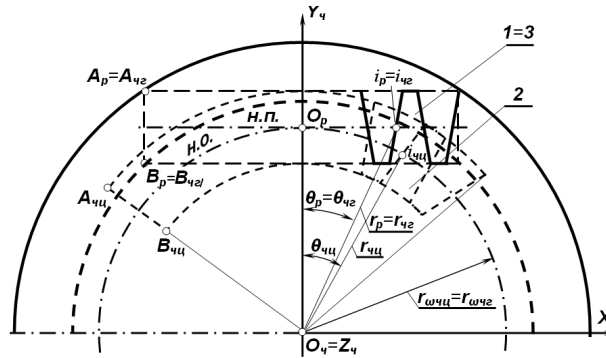


Рисунок 2 – Связь зубьев 1 исходного реечного зубчатого контура с витками 2 цилиндрического и витками 3 гиперболюидного основных червяков

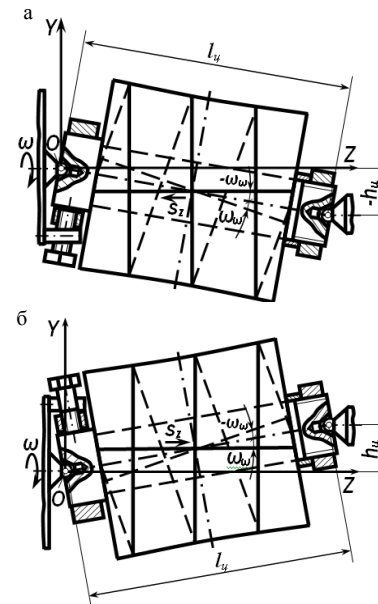


Рисунок 3 – Схемы чистовой обработки гиперболюидных червяков при переднем расположении суппорта с режущим инструментом и смещении заднего центра станка: а – правозаходных, б – левозаходных

зубьев, входящих с ним в станочное зацепление, и развернутой к оси  $OZ$  червяка по винтовой линии 3 под углом ее наклона  $\pm \omega_0$ , равным углу  $\pm \gamma_0$  подъема витков червяка на его начальном цилиндре.

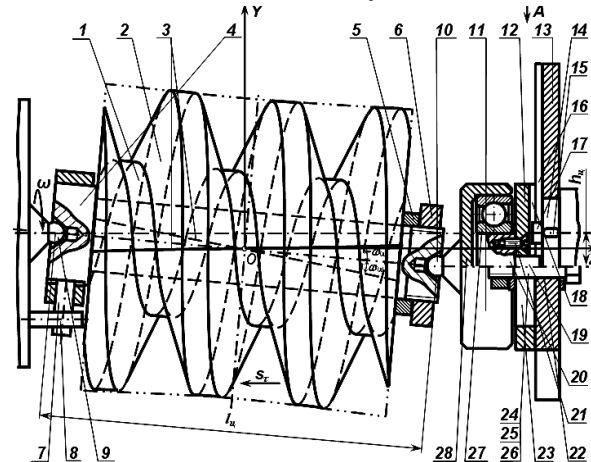


Рисунок 4 – Схема установки гиперболюидного червяка на оправку со смещением заднего центра бабки станка и устройство для его осуществления

где  $l_{ч}$  – расстояние между центрами сфер сферических головок переднего и заднего центров станка, м;  $l_u$  – расстояние между центром станка и поперечной осью симметрии гиперболы, м;  $\omega_0$  – угол наклона винтовой линии основного червяка к его продольной оси.

Для данных схем обработки (рисунок 3) проблематичным является смещение заднего центра станка. Если для левозаходных червяков оно возможно более простым путем – смещением заднего центра вверх (например, за счет ввода подкладок под заднюю бабку), то для обработки правозаходных червяков необходимо, либо заднее (за червяком) положение суппорта, что усложняет станок и управление им, или применение специальных приспособлений, ряд конструкций которых предложены в заявке на патент [8] и показан на рисунках 4 и 5.

На рисунке 4 показана схема наклона гиперболюидного червяка 1, связанного с системой координат  $OYZ$ , центр которой размещен на продольной оси червяка в среднем сечении впадины его витков 2, которые формируют винтовым движением начальной зубчатой рейки, содержащей ряд

Червяк может быть цельным или установлен на оправке 4, с упором в ее буртик и с зажимом втулкой 5 и гайкой 6, с возможностью вращения червяка  $\omega$  или оправки зажимным поводковым устройством 7 и поводком 8.

Установку червяка на станке под углом наклона  $\pm \omega_0$  выполняют вводом в центровые отверстия червяка или оправки переднего 9 и заднего 10 центров станка с шариковыми вершинами

диаметра  $d_{ц}$ , которые адекватны диаметру этих центровых отверстий, путем сдвига заднего центра относительно переднего центра на величину (1) где  $l_{ц} = l_{цн} - d_{ц}$ , а расстояния  $l_{цн}$  получено измерением, выполненным перед установкой червяка в центрах станка, между выступающими поверхностями введенных в оба центровых отверстия оправки шариков, диаметр которых равен диаметру  $d_{ц}$  шаровых конечностей переднего и заднего центров станка, с учетом из этого расстояния величины одного диаметра  $d_{ц}$ .

Устройство для сдвига заднего центра бабки станка имеет: укороченный центр 10, который закреплен на корпусе 11 с возможностью его вращения на полуоси 12, закрепленной на вертикальной подвижной каретке 13, установленной на направляющей 14, закрепленной на пиноли 15 задней бабки станка, например, шпонками 16, или на втулке, которая введена в пиноль, а эта направляющая имеет продольную канавку 17, ось которой по нормали пересекает ось пиноли, с возможностью поворота и установки в вертикальной или горизонтальной плоскостях. На торце по краям подвижной каретки на оси, которая пересекает ось заднего центра, закреплены пальцы 18, диаметр которых равен ширине канавки (исполнение 1), выполненной на направляющей, в которую они введены с возможностью продольного движения, а для закрепления подвижной каретки на направляющей, на ней выполнены продольные боковые пазы 19, адекватные им отверстия 20 выполнены по бокам на основании каретки, в которые введены крепежные болты 21 с гайками 22 и опорными шайбами 23. При этом, для улучшения условий вращения заднего центра, между его корпусом 11 и полуосью 12 может быть установлен упорный шариковый подшипник 24. Для фиксации величины смещения  $\pm h_{ц}$ , с кареткой может быть введен в контакт винт 25, а на направляющей закреплена связанная с ним гайка 26, при этом винт может быть микрометрическим со шкалой для фиксации перемещений, и вместо гайки он закреплен в адекватной ему опоре, установленной на направляющей.

На рисунке 5 показаны вид сверху для исполнения 1 и новые исполнения устройства для сдвига заднего центра. В исполнении 2 оно отличается от предыдущего тем, что канавка на направляющей выполнена угловой 27 или трапецеидальной формы, а вместо пальцев, на торце по краям каретки выполнены адекватные канавке выступы 28.

Исполнение 3 устройства отличается от предыдущего тем, что вместо канавки, на боковых сторонах направляющей выполнены фаски 29, а на торце по бокам подвижной каретки выполнены адекватные этим фаскам выступы 30, которые введены между собой в контакт.

Принцип работы устройств следующий. Перед установкой червяка 1 в центрах 9 и 10 станка, по зависимости  $\pm h_{ц} = (l_{цн} - d_{ц}) \sin \omega_{ц}$ , выполняющий расчет величины смещения  $\pm h_{ц}$ , затем устанавливают ее с помощью винта 25 или по шкале микрометрического

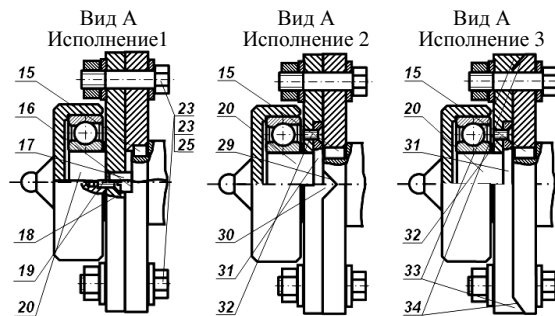


Рисунок 5 – Вид сверху различных исполнений устройств для сдвига заднего центра

метрического винта и подводят к этому винту в контакт подвижную каретку 13, положение которой закрепляют на направляющей 11 болтами 21 и гайками 22, введенными в пазы 19 направляющей и отверстия 20 каретки, после чего устройства готовы к работе. Далее работа устройства и обработка гиперболического червяка не отличается от работы обычных вращающихся центров и обработки аналогичных известных цилиндрических червяков.

Следует также учесть, что предлагаемые в работах [5-8] технологии обработки гиперболических червяков обеспечивают формирование их лишь конвольютного типа ZH в 3-х вариантах, которые являются аналогами ZN1, ZN3, ZN3 конвольютных цилиндрических червяков: ZH1 – с прямолинейным профилем витка, ZH2 – с прямолинейным профилем впадины, ZH3 – с прямолинейным нормальным профилем витка – наиболее близкий к профилю рейки (см. таблицу). При этом исключаются 2 разновидности, аналоги которых имеются среди цилиндрических червяков: архимедовы ZA (с прямолинейным профилем в осевом сечении) и эвольвентные ZI (с прямолинейным профилем витка касательным к винтовой линии, лежащей на соосной цилиндрической поверхности).

Воспроизведение архимедового основного червяка (в осевом сечении которого формируется архимедова спираль), возможно при осевом движении

инструмента. Поскольку при гиперболической форме начальной поверхности червяка любой сдвиг с подачей  $s_z$  от его поперечной осевой плоскости, (неизбежный при винтовой обработке с шагом  $t_z$ ), приведет к отклонению от архимедовой спирали, поэтому аналог архимедова червяка у гиперболических червяков невозможен.

Формирование аналога эвольвентного червяка ZI приведет к искажениям гиперболической поверхности, что нецелесообразно по условию точности зацепления, однако для окончательного вывода о целесообразности такого типа гиперболических червяков требуются дополнительные исследования.

Полный комплект формирования основных гиперболических червяков приведен в работе [6].

Таблица – Схемы формообразования основных типов червяков, нарезаемых лезвийными инструментами

Основные типы червяков, нарезаемых лезвийными инструментами	
Цилиндрические червяки – аналоги	Гиперболические червяки
<b>Архимедов ZA</b> <small>Образующая винтовая линия</small> 	-
<b>Конвольютный ZN1</b> <small>Образующая винтовая линия</small> 	<b>Гиперболический ZH1</b> <small>Образующая винтовая линия</small> 
<b>Конвольютный ZN2</b> <small>Образующая винтовая линия</small> 	<b>Гиперболический ZH2</b> <small>Образующая винтовая линия</small> 
<b>Конвольютный ZN3</b> <small>Образующая винтовая линия</small> 	<b>Гиперболический ZH3</b> <small>Образующая винтовая линия</small> 
<b>Эвольвентный ZI</b> <small>Образующая винтовая линия</small> 	?

Учитывая, что современные методы повышения работоспособности червяков в стандартных одно- четырехзаходных редукторах, вывели червячные пары из разряда лимитирующих их работу, поэтому внедрение гиперболюидных червячных передач, повышающих эти показатели на 10...20%, возможно в том случае, когда их стоимость не будет существенно отличаться от цилиндрических. Предлагаемые технологии и устройства со смещением одного лишь заднего центра станка, обеспечивают такую возможность, что позволяет заменить все выпускаемые в настоящее время 1-, 2-, 3- и 4- заходные цилиндрические червячные передачи гиперболюидными, в кратчайшие сроки.

#### **Выводы:**

1. Учитывая, что возможности повышения качественных показателей современных цилиндрических червячных передач в основном исчерпаны, переход к гиперболюидным червячным передачам обеспечивает реальный резерв для получения преимуществ.

2. Предложенный способ обработки гиперболюидных червяков [8], со сдвигом заднего центра станка, несущественно усложняет технологию их изготовления, поэтому может быть рекомендован производителям и пользователям данной продукции для замены всех ныне применяемых 1-4-х заходных цилиндрических червячных передач уже в ближайшем будущем.

**Список литературы:** 1. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. / А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368с. 2. Производство зубчатых колес Справочник / С.Н.Калаишиков, А.С. Калаишиков, Г.И.Коган и др. Под общ. ред. Б.А.Тайца. – М.: Машиностроение, 1990, – 464с. 3. Настасенко В.А. Новые технологические процессы для обработки гиперболюидных червячных передач / В.А. Настасенко // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2010 – Вип.40. – С.176-185. 4. Настасенко В.О. Гіперболюїдні зубчасті передачі та інструменти, нові варіанти виготовлення і можливості використання / В.О. Настасенко // Машиностроение и технология XXI века. XVIII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецьк: ДонНТУ, 2011 – С.240-247. 5. Настасенко В.О. Удосконалення виробництва гіперболюїдних зубчастих передач та черв'ячних зуборізних інструментів / В.О. Настасенко // Надійність інструмента і оптимізація технічних систем. Сборник научных работ – Краматорськ: ДДМА, 2012. – Випуск 30. – С.226-232. 6. Настасенко В.А. Основные типы гиперболюидных червяков и способы их производства / В.А. Настасенко // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – Вип.44. – С.181-188. 7. Настасенко В.А. Сравнение точности конволютных цилиндрических и гиперболюидных червяков / В.А. Настасенко // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Херсон: ХДМА, 2012. – С.116-121. 8. Заявка на патент на изобретение Российской Федерации № 2012138947 от 11.09.2012. Способы обработки гиперболюидных червяков и червячных зуборезных инструментов и устройства для их реализации. / Авт. Настасенко В.А.

*Поступила в редколлегию 29.04.2013*

УДК 621.9.04

**Повышение технологичности изготовления малозаходных гиперболюидных червяков / В.А. Настасенко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №41(1014). – С.87-93. – Бібліогр.: 8 назв.**

Робота відноситься до галузі технології виробництва черв'яків, зокрема – гіперболюїдних. Запропоновано найбільш прості технологічні процеси та пристрої для отримання гіперболюїдних черв'яків і проведено їх аналіз, що доводить можливість заміни 1 – 4-х західних циліндрових черв'яків – гіперболюїдними, при мінімальних змінах технологічних процесів.

**Ключові слова:** гіперболюїдний черв'як, технологія.

Work behaves to the area of technology of production of worms, in particular – hyperboloid. The most simple technological processes are offered and device for the receipt of hyperboloid worms and their analysis, proving possibility of replacement 1, is conducted – 4th entries of cylindrical worms – hyperboloidal, at the minimum changes of technological processes.

**Keywords:** hyperboloid worm, technology.