

Предложенные конструкции в ближайшее время должны быть внедрены в среднем машиностроении, в частности, в приводных системах аварийно-спасательной, инженерной и противопожарной техники.

Современные методы зубонарезания хорошо согласовываются с технологическими приемами изготовления и сборки основных компонентов предложенных волновых зубчатых передач [4].

**Выводы.** Таким образом, в статье представлено новое семейство конструкций силовых трехволновых зубчатых передач повышенной надежности, нагрузочной способности при минимальном уровне шума и вибрации. Улучшение эксплуатационных характеристик достигается трансформацией гибкого металлополимерного зубчатого колеса, лимитирующего надежность и нагрузочную способность во вращение выходного вала.

**Список литературы:** 1. Приймаков А.Г., Градыский Ю.А., Приймаков Г.А. Основы конструирования силовых волновых механизмов с позиции трибофатики: Монография. – Харьков: Оберіг, 2012. – 302с. 2. Приймаков А.Г., Воробьев Ю.С., Приймаков Г.А. Теория и конструирование силовых волновых зубчатых передач: Монография. – Харьков: Оберіг, 2010. – 383с. 3. Приймаков А.Г., Приймаков Г.А., Швырев Н.П. Расчет и проектирование герметичных силовых волновых зубчатых передач: Монография. – Харьков: Оберіг, 2010. – 112с. 4. Маргулис М.В. Снижение материалоемкости машин. – К.: Общ-во "Знание" УССР, 1985. – 32с. (Серия VIII "Новое в науке, технике, производстве", №24).

Поступила в редакцию 09.04.2013

УДК 621.833.7: 614.84

**Трехволновые силовые зубчатые передачи для противопожарной и аварийно-спасательной техники / А.Г. Приймаков, А.В. Устиненко, В.А. Гузенко // Вісник НТУ "ХПИ".** Серия: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПИ". – 2013. – №41(1014). – С.114-120. – Бібліогр.: 4 назв.

Запропоновані нові конструкції силових трихвильових зубчастих передач для приводних систем протипожежної та аварійно-рятувальної техніки. Ці передачі мають підвищену надійність, навантажувальну здатність при мінімальних рівнях шуму та вібрації, що в край необхідне при виконанні аварійно-рятувальних робіт.

**Ключові слова:** трихвильова передача, генератор хвиль, металлополимерное гнучке колесо, герметизований простір.

Proposed new construction of power three-wave gears drive systems for fire and rescue vehicles. These transmission have increased reliability, load capacity with minimum noise and vibration that edge necessary when performing rescue operations.

**Keywords:** three-wave transmission, generator waves metal flexible wheel, pressurized space.

УДК 621.833

**Р.В. ПРОТАСОВ**, ассистент каф. ТММ и САПР НТУ "ХПИ";  
**А.В. УСТИНЕНКО**, к.т.н., доц., старший научный сотрудник каф. ТММ и САПР

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭВОЛЮТНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Рассмотрена зависимость между параметрами исходного контура эволютного зацепления ( $k$ ,  $\alpha$ ) и основными качественными показателями. Построены области, ограничивающие выбор  $k$  и  $\alpha$  для передач с определенными числами зубьев. Определены зоны с низкими качественными показателями и границы существования работоспособных передач. Анализ полученных результатов позволяет определить тенденции к назначению параметров исходного контура для синтеза новых рациональных эволютных передач.

**Ключевые слова:** эволютное зацепление, качественные показатели, блокирующий контур.

© О.В. Протасов, О.В. Устиненко, 2013

**Введение. Актуальность задачи.** Повышение контактной прочности зубчатых передач является актуальной задачей современного машиностроения.

Новые эволютные передачи с выпукло-вогнутым контактом (ВВК), предложенные А.И. Павловым [1], имеют повышенную нагрузочную способность, однако область существования этих передач с рациональными качественными показателями и соответствующие им геометрические параметры подробно не изучены. Исследование этой области является актуальной научно-практической задачей.

**Постановка задачи.** При синтезе эволютной передачи в дифференциальном уравнении исходного контура [1, 2]

$$y_1'' = y_1'(1 + y_1'^2) / (-ky_1' + x_1), \quad (1)$$

необходимо задаться начальными условиями:

- коэффициент разности эволютной передачи  $k$ ;
- угол профиля исходного контура (угол зацепления) в полюсе  $\alpha$ .

Варьируя эти параметры в широком диапазоне, можно получить передачи с различными качественными показателями.

Рассмотренные ранее [3] рекомендации относительно области рационального существования эволютных передач очень часто является противоположными, т.к. различные варианты неравноценны по своим качественным показателям, в первую очередь – по геометрическим. Это существенно затрудняет выбор проектировщиком параметров исходного контура.

**Целью работы** является исследование области существования рациональных параметров исходного эволютного контура и разработка методики их выбора. За основу возьмем подход, предложенный в конце 50-х годов XX века И.А. Болотовским для эвольвентных цилиндрических передач, заключающийся в построении так называемого блокирующего контура [4].

**Содержание исследований.** Зависимость геометрических параметров и качественных показателей передачи от параметров исходного контура наиболее наглядно можно показать с помощью кривых, построенных для каждого конкретного сочетания чисел зубьев  $z_1$  и  $z_2$  в системе координат  $k$  и  $\alpha$ . В этой системе координат каждая зубчатая пара с определенными параметрами исходного контура изобразится единственной точкой. Бесчисленное множество точек координатного поля соответствует множеству вариантов передач, которые можно принять при одном и том же значении чисел зубьев, варьируя только параметры исходного контура.

Примем в рассмотрение геометрические параметры и качественные показатели:

- коэффициент перекрытия  $\epsilon_\alpha$  больше 1 ( $\epsilon_\alpha > 1$ );
- отсутствие интерференции зубьев;
- отсутствие заострения вершин зубьев ( $s_a^* \geq 0,3m$ );
- сохранение радиального зазора больше предельного значения  $c = c^* \cdot m \geq 0,2m$ ;
- уменьшение области двояковыпуклого контакта (ДВК) в околополюсной зоне  $h_{ДВК} = h_{ДВК}^* \cdot m$ .

Предельным значениям каждого из этих факторов в системе координат  $k$  и  $\alpha$  соответствует определенная линия, отделяющая зону допустимых значений  $k$  и  $\alpha$  от зоны недопустимых. Форма и расположение этих линий зависят от основных параметров, определяющих геометрию зубчатой передачи.

Таблица 1 – Коэффициенты уравнений исходных контуров эволютной передачи

$\alpha_n/k$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
15/2	0,259779	0,0134558	-0,0218818
15/3	0,184264	0,0129465	-0,0288067
15/4	0,141111	0,0101687	-0,0220939
15/5	0,114641	0,008447	-0,0179301
16/2	0,266753	0,0136584	-0,0222346
16/3	0,188454	0,0131191	-0,029323
16/4	0,144017	0,0102959	-0,0223966
16/5	0,116836	0,0085443	-0,0181617
18/2	0,281274	0,0140689	-0,0229508
18/3	0,197135	0,0134873	-0,030111
18/4	0,150039	0,0105609	-0,0230285
18/5	0,121391	0,0087487	-0,0186493
20/2	0,296802	0,0144931	-0,0236933
20/3	0,206366	0,0138768	-0,031043
20/4	0,156443	0,0108450	-0,0237076
20/5	0,126246	0,0089702	-0,0191787

Таблица 2 – Коэффициент перекрытия  $\epsilon_\alpha$

$\alpha_n/k$	2	3	4	5
15	0,97	1,14	1,24	1,33
16	0,85	0,89	0,99	1,07
18	0,85	0,89	0,97	1,04
20	0,86	0,89	0,95	1,02

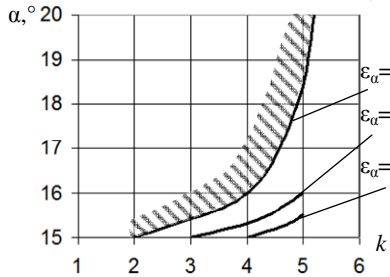


Рисунок 1 – Блокирующий контур по коэффициенту перекрытия  $\epsilon_\alpha$

Таблица 3 – Коэффициент радиального зазора  $c^*$

$\alpha_n/k$	2	3	4	5
15	0,113	0,184	0,222	0,248
16	0,1	0,168	0,205	0,231
18	0,074	0,137	0,173	0,197
20	0,05	0,109	0,142	0,165

Далее основные линии, ограничивающие выбор параметров исходного контура  $k$  и  $\alpha$  по вышеуказанным характеристикам.

Уравнение исходного контура в общем виде имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &\in (-1, 1); \\ y_0(x_0) &= C_1 x_0 + C_2 x_0^2 + C_3 x_0^3 + \dots + C_n x_0^n. \end{aligned} \right\} (2)$$

Параметры исследуемых исходных контуров приведены в таблице 1 [2].

Дальнейшие расчеты выполнены для зубчатой пары с параметрами: числа зубьев шестерни и колеса  $z_1=40, z_2=80$ ; модуль  $m=10$ мм.

**Линия, ограничивающая зону с коэффициентом перекрытия  $\epsilon_\alpha > 1$ .** Коэффициент перекрытия зубчатой передачи определим как отношение угла поворота шестерни  $\psi_\epsilon$  к шагу зацепления  $P=2\pi/z_1$  [5],

$$\epsilon_\alpha = \psi_\epsilon / P, \quad (3)$$

где  $\psi_\epsilon$  состоит из суммы углов по фазам зацепления,  $\psi_\epsilon = \psi_z + \psi_a + \psi_p$ .

В таблице 2 приведены значения коэффициента перекрытия для рассматриваемых исходных контуров, а на рисунке 1 построен график, ограничивающий выбор параметров исходного контура эволютной передачи по коэффициенту перекрытия.

**Линия, ограничивающая зону с коэффициентом радиального зазора  $c^* \geq 0,2$ .** Определим связь между параметрами эволютного исходного контура и величиной радиального зазора. Рабочая часть профиля зуба рейки и прямая вершин сопрягаются радиусом  $\rho_f = m \cdot c^* / (1 - \sin \alpha_n)$ , где  $\alpha_n$  – угол, образуемый касательной к рабочему профилю рейки, проведенной из крайней нижней точки профиля  $N$ , имеющей координаты  $N(x_0 = -1, y_0 |_{x_0=-1})$ . При этом каждому эволютному профилю будет соответствовать свой угол  $\alpha_n$ , который определяется по формуле [6]

$$\alpha_n = (\arctg(C_1 + 2C_2 \cdot (-1) + 3C_3 \cdot (-1)^2 + \dots + nC_n \cdot (-1)^{n-1}) \cdot 180 / \pi. \quad (4)$$

Максимальный радиус полностью скругленной впадины определим по формуле

$$\rho_{f \max} = x_1 |_{x_0=-1} / \cos \alpha_n. \quad (5)$$

В таблице 3 приведены значения коэффициента радиального зазора для рассматриваемых исходных контуров, а на рисунке 2 построен график, ограничивающий выбор параметров исходного контура эволютной передачи по коэффициенту радиального зазора  $c^*$ .

**Линия, ограничивающая зону с областью ДВК  $h_{ДВК}$ .** Для определения кривизны профиля зуба использовалась известная формула дифференциальной геометрии (случай параметрического задания кривой) [7],

$$\chi(x_0) = \frac{y_2''(x_0) \cdot x_2'(x_0) - x_2''(x_0) \cdot y_2'(x_0)}{(x_2'^2(x_0) + y_2'^2(x_0))^{3/2}}. \quad (7)$$

Как известно [1, 7], в районе полюса имеет место зона ДВК с низкой контактной прочностью. В таблице 4 приведены значения коэффициента высоты этой зоны для рассматриваемых исходных контуров, а на рисунке 3 построен график, ограничивающий выбор параметров исходного контура эволютной передачи по коэффициенту высоты зоны ДВК  $h_{ДВК}^*$ .

**Блокирующий контур для эволютной передачи.** Собрив воедино рассмотренные выше ограничения и тенденции к изменениям свойств эволютного зацепления в зависимости от  $k$  и  $\alpha$ , построим блокирующий контур,  $\alpha_n$  который будет отражать область рационального существования эволютного зацепления для конкретных значений чисел зубьев  $z_1$  и  $z_2$ .

На рисунке 4 представлен график зависимости между начальными условиями для синтеза исходного контура ( $k$  и  $\alpha$ ) и коэффициентами: перекрытия  $\epsilon_\alpha$ , радиального зазора

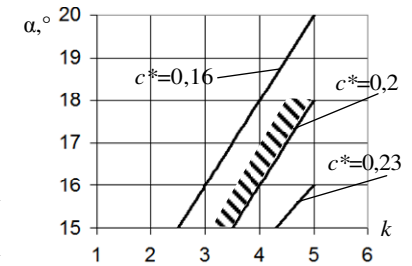


Рисунок 2 – Блокирующий контур по коэффициенту радиального зазора  $c^*$

Таблица 4 – Коэффициент высоты зоны ДВК  $h_{ДВК}^*$

$\alpha_n/k$	2	3	4	5
15	0,19	0,26	0,33	0,4
16	0,18	0,25	0,31	0,38
18	0,17	0,23	0,29	0,35
20	0,15	0,21	0,26	0,32

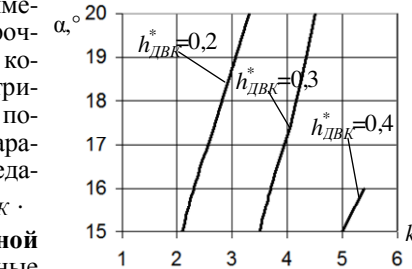


Рисунок 3 – Блокирующий контур по коэффициенту высоты зоны ДВК  $h_{ДВК}^*$

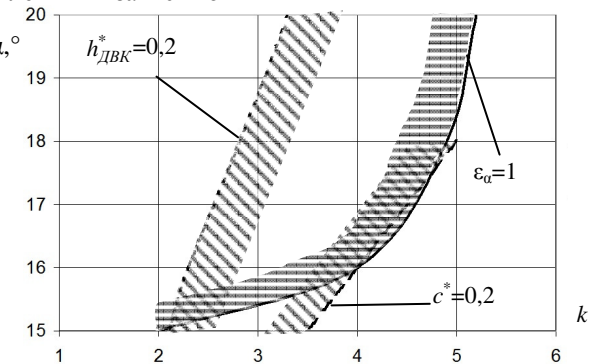


Рисунок 4 – Область рационального существования эволютной передачи с параметрами  $z_1=40, z_2=80, m=10$ мм

$c^*$ , величины зоны ДВК  $h_{ДВК}^*$ . На графике отсутствуют линии, ограничивающие выбор  $k$  и  $\alpha$  по условиям отсутствия интерференции зубьев, так как на данном этапе этот вопрос находится в стадии изучения. Что касается заострения зубьев, то соответствующая линия для рассмотренных исходных контуров лежит вне области рационального существования.

#### **Выводы:**

1. Для имеющихся исходных контуров эволютного зацепления определены основные качественные показатели: коэффициенты перекрытия  $\varepsilon_\alpha$ , радиального зазора  $c^*$  и высоты зоны ДВК  $h_{ДВК}^*$  на примере одной зубчатой пары.

2. В результате расчетов были выявлены исходные контуры с недопустимыми качественными показателями.

3. По полученным данным были построены графики блокирующих контуров в системе координат  $k$  и  $\alpha$ , отображающие область допустимых параметров эволютной передачи, а также характер изменения качественных показателей.

4. Анализ блокирующего контура позволяет как выбирать из существующих профилей работоспособный, так и очерчивать тенденции к назначению параметров исходного контура при синтезе новых рациональных эволютных передач.

**Список литературы:** 1. Павлов А.И. Современная теория зубчатых зацеплений. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – 100с. 2. Павлов А.И. Эволютное зацепление и его характеристики // Вестник НТУ "ХПИ": Сб. науч. трудов. – Харьков, 2003. – Вып.5. – С.103-106. 3. Протасов Р.В., Устиненко А.В., Кротенко Г.А. Моделирование геометрии эволютных зацеплений, исследование их некоторых качественных показателей и контактных напряжений // Вестник НТУ "ХПИ": Сб. науч. трудов. Тем. вып. "Машиноведение и САПР". – Харьков, 2012. – №22. – С.106-116. 4. Болотовская Т.П., Болотовский И.А., Смирнов В.Э. Справочник по корригированию зубчатых колес. – М.: Машгиз, 1962. – 215с. 5. Протасов Р.В., Устиненко А.В., Сериков В.И. Исследование коэффициента перекрытия эволютных передач // Вестник НТУ "ХПИ". Тем. вып.: Проблемы механического привода. – 2011. – №29. – С.154-164. 6. Протасов Р.В., Устиненко А.В. Построение переходной кривой зубьев эволютных передач // Вестник НТУ "ХПИ": Сб. науч. трудов. Тем. вып. "Проблемы механического привода". – Харьков, 2010. – №27. – С.148-153. 7. Протасов Р.В. Исследование приведенного радиуса кривизны зубьев эволютных передач // Механіка та машинобудування. – 2010. – №1. – С.37-43.

*Поступила в редколлегию 03.05.2013*

УДК 621.833

**Исследование области рационального существования эволютного зацепления / Р.В. Протасов, А.В. Устиненко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного привоу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №41(1014). – С.120-124. – Бібліогр.: 7 назв.**

Розглянуто залежність між параметрами вихідного контуру еволютного зацеплення ( $k$ ,  $\alpha$ ) та основними якісними показниками. Побудовано області, які обмежують вибір  $k$  і  $\alpha$  для передач з певними числами зубів. Визначено зони з низькими якісними показниками і межі (існування) працездатних передач. Аналіз загального отриманих результатів дозволяє визначити тенденції до призначення параметрів вихідного контуру для синтезу нових раціональних еволютних передач.

**Ключові слова:** еволютне зацеплення, якісні показники, блокуючий контур.

The dependence between the parameters of the initial contour for evolute gear ( $k$ ,  $\alpha$ ) and key quality indicators was considered. The area, restricting the choice of  $k$  and  $\alpha$  for gearings with certain numbers of teeth was built. The zones of low quality parameters and boundaries of workable gears were defined. Analysis of results to determine the trend in the value of the initial contour parameters for the synthesis of new rational evolute gears.

**Keywords:** evolute gearing, quality indicators, blocking contour.