

*Третьяк Т. Є., Шелковой А. Н., Гуцаленко Ю. Г.,
Мироненко А. Л., Мироненко С. А.*

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Одной из современных тенденций является исследование зубчатых передач со сложным неэвольвентным профилем боковых поверхностей зубьев. Это связано с тем, что эвольвентные передачи имеют целый ряд недостатков, связанных с их качественными показателями: большие удельные давления на боковых поверхностях зубьев из-за малых радиусов их кривизны и отсюда недостаточная способность по контактной прочности, малый коэффициент перекрытия колес и отсюда недостаточная плавность зацепления.

Нарезание зубьев зубчатых колес можно производить методом копирования или методом огибания (обкатки). При нарезании зубчатых колес более кинематически точным методом обкатки в качестве инструмента может выступать как инструментальная рейка, так и инструментальное зубчатое колесо. Для получения сопрягаемых поверхностей зубьев двух неэвольвентных зубчатых колес требуется два разных инструмента. Так, например, если инструментами являются две инструментальные рейки, то профили боковых поверхностей зубьев реек должны быть обратными по отношению друг к другу, т.е. профиль зуба одной из пары сопрягаемых реек должен совпадать с профилем впадины второй рейки. На основании этого разработана методика получения сопрягаемых поверхностей зубьев неэвольвентных зубчатых колес как огибающих заданных поверхностей зубьев инструмента.

На первом этапе формообразования пары зубчатых колес в качестве инструментов могут рассматриваться инструментальные рейки с обратными по отношению друг к другу нелинейными профилями боковых поверхностей зубьев. С помощью этих реек моделируется процесс изготовления двух неэвольвентных зубчатых колес с заданными количествами зубьев. Эти колеса могут в дальнейшем считаться инструментальными, с помощью которых на следующем этапе формообразования моделируется процесс нарезания других зубчатых колес с другими количествами зубьев. Эта последовательность повторяется до тех пор, пока не будут формообразованы зубчатые колеса, из которых составляется зубчатое зацепление. Кроме того, на первом этапе формообразования каждого из колес зубчатой пары инструментом может быть одна и та же инструментальная рейка. Сопрягаемые боковые поверхности зубьев будут иметь зубчатые колеса, изготовленные в одной последовательности формообразования, в том случае, если количество формообразований для одного колеса будет нечетным, а для другого колеса – четным. Методика получения сопрягаемых поверхностей зубьев неэвольвентных зубчатых колес как огибающих заданных поверхностей

зубьев инструментов в соответствии с предложенной схемой формообразования пар зубчатых колес предполагает следующую последовательность действий:

1. Задается количество этапов формообразования для каждого из обоих колес неэвольвентного зацепления.

2. В репере, связанном с инструментальной рейкой на первом этапе формообразования (или инструментальным зубчатым колесом на последующих этапах формообразования), задается набор координат и геометрических характеристик точек исходного профиля инструмента, так же задаются параметры обрабатываемого зубчатого колеса.

3. На основе алгоритма расчета профиля огибающих поверхностей выполняется расчет координат и геометрических характеристик точек профиля обрабатываемого зубчатого колеса в репере, связанном с зубчатым колесом.

Пункты 2 и 3 выполняются в цикле для заданного количества этапов формообразования каждого из зубчатых колес зацепления. В качестве нелинейного профиля боковой поверхности зуба рейки может быть рассмотрен некоторый участок одной из плоских кинематических кривых, характеризующих работу данного или произвольного зацепления [1].

В данном исследовании рассматриваемыми показателями качества приняты: коэффициент удельного давления ϑ (отношение модуля к приведенному радиусу кривизны; фактор риска – смятие зубьев колес нагруженного зацепления по боковым поверхностям рабочего контакта) и коэффициент перекрытия зубчатого зацепления ψ (фактор риска – непрерывность и плавность осуществления зацепления в его работе). Задача исследования – поиск неэвольвентных формообразующих решений колес–звеньев зубчатого механизма с заданным передаточным отношением, обеспечивающих снижение ϑ и повышение ψ по сравнению со стандартным эвольвентным зацеплением.

В соответствии с описанной выше методикой получения сопрягаемых поверхностей зубьев разработана программа на языке Pascal, результатом реализации которой является расчет координат и геометрических характеристик точек формообразуемых профилей зубчатых колес, составляющих зубчатую пару (в том числе радиусов кривизны в точках профилей зубьев); вывод на экран компьютера изображения профилей боковых поверхностей зубьев, их движений в процессе обкатки с выделением точек, в которых в рассматриваемый момент времени выполнилось условие касания профилей (их совокупность представляет собой линию зацепления). Программа также позволяет проверить правильность сопряжения боковых поверхностей зубьев в зубчатом зацеплении и определить активные участки их профилей; вычислить длину активных участков профилей зубьев, углы перекрытия зубчатых колес и коэффициент перекрытия зубчатого зацепления; вычислить приведенные радиусы кривизны и коэффициент давления в точках касания профилей зубьев.

Были проведены серии численных экспериментов для анализа качественных показателей зубчатых зацеплений, образованных инструментальными рейками с различными профилями боковых поверхностей зубьев: прямолинейными, выпуклыми и вогнутыми, а также выпукло-вогнутыми. В первом случае

профили зубьев зубчатых колес эвольвентные. Как показывают результаты численных экспериментов, неэвольвентные зубчатые зацепления могут иметь большие приведенные радиусы кривизны (и, вследствие этого, меньшие коэффициенты давления) в точках касания профилей по сравнению с эвольвентными зацеплениями при незначительном увеличении или уменьшении коэффициента перекрытия зубчатого зацепления.

В неэвольвентных зубчатых зацеплениях, образованных инструментальными рейками с выпуклым и вогнутым профилями зубьев, а также инструментальными рейками с выпукло-вогнутыми профилями зубьев, коэффициент давления в точках касания профилей меньше в среднем в 1,6 и в 1,9 раза, чем в эвольвентном зацеплении, образованном рейкой с прямолинейными профилями зубьев. При этом коэффициент перекрытия в неэвольвентном зубчатом зацеплении составляет, например, 1,73, тогда как для эвольвентного зацепления с тем же передаточным отношением он равен 1,57. Наиболее предпочтительным представляется вариант реек с выпуклым и вогнутым профилями зубьев, обеспечивающий лучшие значения обоих качественных показателей зацепления – и коэффициента давления, и коэффициента перекрытия.

Представленная разработка может интегрироваться с другими моделями, алгоритмами, программными продуктами, выполненными по компьютерной анимации, конструктивному развитию и исследованию зубчатых передач, формообразованию обкаточных инструментов нарезания зубьев и зубчатых колес по заданному инструменту. Так, в работе [2], выполненной без рассмотрения специфики неэвольвентных зубчатых передач, в основу компьютерного моделирования формообразования зубчатого колеса в САД-системах (MathCAD и Maple) также положен контур инструментальной рейки, анонсируются соответствующие алгоритмы и их реализация в виде программ, написанных на языке AutoLISP в среде САПР AutoCAD, с вводом исходных данных через диалоговые окна на языке DCL (Dialog Control Language). С позиций развития представленной здесь разработки, интеграционная привлекательность работы [2] связана с реализацией в ней твердотельного моделирования и, на этой основе, наряду с профилированием зубчатого режущего инструмента, продемонстрированным исследованием нарезания им зубьев, с получением качественных и количественных характеристик процесса, соответственно с возможностью выхода на оптимальные расчетно-прогностические решения, перспектива чего особенно интересна применительно к множеству конструкторско-технологических решений неэвольвентных зубчатых зацеплений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tretyak, T. Structural approach to the mathematical description and computer visualization of plane kinematic curves for the display of gears / T. Tretyak, A. Mironenko, Yu. Gutsalenko et al. // *Fiability & Durability*. – No.1(2018): 7-11.
2. Ляшков, А. А. Моделирование формообразования зубчатых колес методом центроидного огибания / А. А. Ляшков // *Известия Транссиба*. – 2012. – № 2(10). – С. 109–116.