© С.Л. Иванов, А.С. Фокин, А.Ю. Маркора, 2014

УДК 62-233.3/.9

С.Л. Иванов, А.С. Фокин, А.Ю. Маркора

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ОБЛАСТИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ПРЯМОЗУБОГО ЭВОЛЬВЕНТНОГО ВНУТРЕННЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С ЗАДАННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПЕРЕКРЫТИЯ

Проектирование зубчатых передач с комбинированным (радиальным и тангенциальным) смещением при заданном коэффициенте перекрытия позволяет значительно расширить область существования зубчатого зацепления и при неизменных модуле и числе зубьев вписать передачу в заданное межосевое расстояние не ухудшая качественных показателей зацепления. При этом использование трехмерных областей существования передач позволяет обоснованно выбирать параметры зацепления, а применение оригинального алгоритма расчета передач на ЭВМ способствует резкому сокращению затрат времени на их расчет и проектирование.

Ключевые слова: зубчатое зацепление, блокирующий контур, комбинированное смещение.

Известны трудности в проектировании зубчатых передач внутреннего зацепления для установленного межосевого расстояния, что особенно важно при модернизации уже имеющегося парка горных машин.

Наряду с радиальным смещением, выполняется изменение толщин зубьев нарезаемого цилиндрического колеса тангенциальным смещением инструмента (стандартного инструмента) с последующим односторонним проходом по одной стороне зуба. Передачи, составленные из таких зубчатых колес, отличаются размерами и основными качественными характеристиками от стандартных при большей свободе в проектировании, что открывает ранее неиспользованные резервы зубчатых передач. В общем случае инструмент (производяший реечный контур — ПРК, долбяк, фреза) может быть с неравноделенным шагом, то есть с коэффициентом изменения толщины зуба, равным $\pm x_{\tau o}$.

Реализация отрицательного тангенциального смещения инструментом со стандартным исходными параметрами осуществима любым из следующих способов:

- смещением червячной фрезы вдоль ее оси на величину $|x_\tau m|$, где m — модуль зубьев, с последующим проходом по одной любой стороне нарезаемых зубьев без перенастройки станка;
- автономным поворотом червячной фрезы или долбяка вокруг своей оси или также автономным поворотом стола с заготовкой на соответствующий смещению угол с последующим проходом по одной стороне зубьев.

Параметров, способных влиять на качественные характеристики зацепления, не считая возможностей модификации зацепления предоставляемых применением нестандартного инструмента, может быть до семи. К ним можно отнести коэффициенты радиальных смещений $x_{1,2}$, коэффициенты тангенциаль-

ного смещения $x_{\tau 1,2}$, величины радиальных зазоров в зацеплении $C_{P1,2}$ и коэффициент перекрытия.

При проектировании зубчатой передачи мало провести расчет по заданным параметрам, первоначально необходимо убедиться в выполнении условий существования зацепления и его работоспособности. Запроектированное зацепление не должно быть в опасной близости к границе заострения, опасного подрезания зуба или интерференции.

Получить более полную информацию о зубчатом зацеплении, определить тенденции изменения параметров зацепления позволяет использование блокирующих контуров. Стандартные блокирующие контуры не позволяют проектировать зацепление с нестандартным радиальным зазором и учитывать тангенциальное смещение.

Основой для расчета трехмерной области существования внутреннего эвольвентного зубчатого зацепления служит стандартный расчет геометрических параметров, в который внесены дополнения учитывающие влияние тангенциального смещения и изменения высоты зуба, связанного с изменением радиального зазора в зацеплении.

Основное уравнение эвольвентного зацепления с комбинированным смещением для внутреннего зацепления имеет вид:

$$inv\alpha_{tw} = inv\alpha + (2x_2 tg\alpha - x_{\tau 2})/(z_2 - z_1) - (2x_1 tg\alpha + x_{\tau 1})/(z_2 - z_1),$$

где α — угол главного профиля инструмента; $x_{1,2}$ — радиальное смещение колеса и шестерни; $x_{\tau 1,2}$ — тангенциальное смещение колеса и шестерни; $z_{1,2}$ — число зубьев колеса и шестерни;

Алгоритм формирования 3D областей существования эвольвентного зацепления рассмотрим на примере внутреннего прямозубого зацепления. Математическое выражение для оценки диаметра вершин зубьев колеса и шестерни приобретает следующий вид:

$$d_{a1} = d_1 + 2m\,(h_a + x_1 + \Delta y - \Delta y_{02} + \Delta h);$$

$$d_{a2} = d_2 - 2m\,(h_a - x_2 + \Delta y - k_2 - \Delta h);$$

где h_a — часть высоты зуба, относящейся к головке зуба; Δy — коэффициент уравнительного смещения; Δy_{02} — коэффициент уравнительного смещения в станочном зацеплении колеса с долбяком; k_2 — вспомогательная величина; Δh — изменение высоты зуба.

Радиальный зазор рассчитывается по формулам:

$$C_{p1} = \frac{d_{a2} - d_{f1}}{2} - a_w$$

$$C_{p2} = \frac{d_{f2} - d_{a1}}{2} - a_w$$

Толщина зуба на диаметре вершин рассчитывается:

$$s_{a1} = d_{a1}\left(\frac{0,5\pi + 2x_1 tg\alpha + x_{\tau 1}}{z_1} + inv\alpha_t - inv\alpha_{a1}\right)\cos\beta_{a1}$$

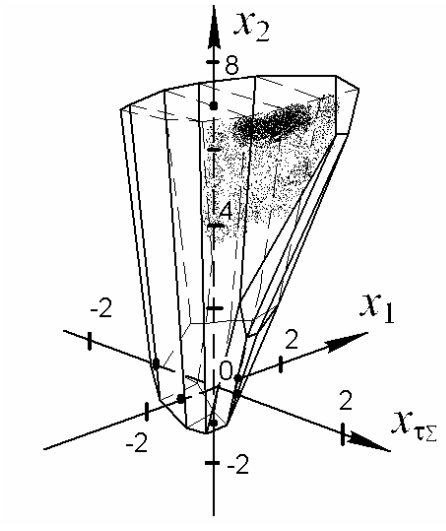
$$s_{a2} = d_{a2}(\frac{0,5\pi - 2x_2 tg\alpha + x_{\tau 2}}{z_2} - inv\alpha_t + inv\alpha_{a2})\cos\beta_{a2}$$

Расчет трехмерной области существования внутреннего зацепления начинается с задания исходных данных, стандартных для геометрического расчета, таких как: модуль, угол наклона зубьев, угла главного профиля, числа зубьев колеса и шестерни, параметров инструмента (производящего реечного контура и (или) долбяка).

Например, для передачи z_1/z_2 = 20/63 m = 30 был выполнен расчет для 217 500 000 точек блокирующего контура. Алгоритм оптимизирован так, что каждая переменная рассчитывается исключительно перед ее использованием, это отличается от последовательности предложенной в справочниках, но позволяет сократить в несколько раз время расчета. В процессе расчета производится проверки таких качественных показателей зубчатого зацепления как:

1. Подрезание зубьев шестерни;
2. Срезание вершин зубьев шестерни переходной поверхностью инструмента;
3. Срезание вершин зубьев колеса переходной поверхностью инструмента;
4. Интерференция кромки зуба одного колеса с переходной поверхностью сопряженного;
5. Интерференция продольной кромки внешнего зуба с главной поверхностью внутреннего;
6. Срезание вершин внутренних зубьев при радиальной подаче долбяка;
7. Заострения вершин зубьев колеса и шестерни;
8. Коэффициент перекрытия больше или равный 1.0.

В результате формируется таблица результатов расчета, в нашем случае, состоящая из 760 322 записей. В дальнейшем эти данные используются для построения блокирующих контуров в осях x_1, x_2 и $\sum x_\tau$ с определенными качественными показателями, например на рисунке показан 3D блокирующий контур область существования зацепления с коэффициентом перекрытия равным 1.0, z_1/z_2 = 20/63 m = 30.



3D область существования передач z_1/z_2 = 20/63 m = 30 и ε_α = 1.0

Нельзя не отметить, что при изменении величин тангенциальных смещений в пределах -1.7 < $x_{\tau 1,2}$ < 2.0, изменения высоты зуба $\Delta h_{1,2}$ от -0.8 до 0.2, а так же коэффициента радиального смещения x_1 ±2.0 и x_2 от -2.0 до 7.0 существенно расширяет возможности проектирования работоспособного зацепления. При этом 3D область существования достаточно информативна.

Показанные примеры о возможной информативности блокирующих контуров пока осложняются лишь трудоемкостью расчетов. В остальном же подобные области для проектирования и анализа зубчатых передач вполне полезны.

Изменение радиального зазора в зацеплении от стандартного в совокупности с комбинированным смещением расширяет область существования зацепления и переводит ее из плоскости в объемную фигуру, совокупность точек которой определяет параметры работоспособного эвольвентного зацепления цилиндрических передач горных машин внутреннего зацепления. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Иванов Сергей Леонидович – доктор технических наук, профессор, *e*-mail: slivanov@spmi.ru,
Фокин Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, начальник отдела метрологии и паспортизации, *e*-mail: fokin@spmi.ru,
Маркора Александра Юрьевна – магистр, *e*-mail: kgmitm@mail.ru
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

UDC 62-233.3/.9

DETERMINATION OF THREE-DIMENSIONAL DOMAIN OF EXISTENCE OF SPUR INVOLUTE INTERNAL GEARWITH A SPECIFIED OVERLAP RATIO

Ivanov S.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, *e*-mail: slivanov@spmi.ru,
Fokin A.S., Candidate of Engineering Sciences, *e*-mail: fokin@spmi.ru,
Markora A.Yu., Magistr, e-mail: kgmitm@mail.ru
National Mineral Resource University "University of Mines", *e*-mail: rectorat@spmi.ru

Design of gears with a combined (radial and tangential) offset for a given ratio of the overlap can significantly extend the range of existence of the gear and at constant module and the number of teeth to enter the transfer in a given center distance without sacrificing quality indicators of entanglement. The use of three-dimensional domains the existence of transfers can reasonably choose the parameters of engagement and the use of the original algorithm for calculating the transmission of computer contributing to a sharp reduction in time spent in their calculation and design.

Off-standard deviation of radial clearance in gearing, together with the combined offsetting expands the domain of existence of the gearing and transforms it from a planer figure into a solid; the aggregate of points of the solid governs parameters of operational involute gear in cylindrical transmission of mining machines with internal gear.

Key words: *contact, block contour, combined offset.*

Изданиями «Горной книги» можно гордиться.