

УДК 62—233.3/9

С.Л. Иванов, А.С. Фокин, И.Е. Звонарев

**ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
КРУПНОМОДУЛЬНОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ
ВНЕШНЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРИВОДА
ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ЭКСКАВАТОРА ЭШ-10/60**

Снижение интенсивности износа возможно за счет оптимизации геометрических параметров зацепления при проектировании и создании рациональных условий смазки в период эксплуатации. Рассмотрен пример увеличения изгибной прочности зубьев и минимизации удельных скольжений в зацеплении путем включения в геометрический расчет тангенциального смещения и изменения высоты зуба.

Ключевые слова: удельное скольжение, блокирующие контуры, комбинированное смещение, зубчатое зацепление.

При оценке зубчатого зацепления на износостойкость зубьев важную роль играют удельные скольжения. Они пропорциональны удельной работе сил трения и поэтому характеризуют износостойкость сопряженных поверхностей. С уменьшением абсолютных значений удельных скольжений снижаются склонность к заеданию активных поверхностей, износ и потери на трение. Предпочтительно проектирование зацеплений с выровненными удельными скольжениями в нижних точках активных профилей зубьев шестерни и колеса.

При оценке вариантов расчетов прочности зубьев зубчатых пар удобно использовать соответствующие блокирующие контуры с областями уровней напряжений и удельных скольжений для быстрой и правильной оценки свойств проектируемой передачи.

3D области существования зубчатого зацепления, могут одновременно характеризовать уровень относитель-

ных напряжений в зубьях. Для этого необходимо при расчете 3D областей оценивать и коэффициент формы зуба Y_F и величины удельных скольжений в нижних активных точках профилей зубьев шестерни и колеса.

Рассмотрим 3D область существования прямозубой зубчатой передачи внешнего зацепления привода поворота платформы экскаватора ЭШ-10/60 с исходными параметрами $z_1/z_2=13/192$ и $m=36$ рис. 1.

Вся 3D область существования сосредоточена в положительной части оси x_1 , (на рис. 1 показаны точки пересечения поверхности 3D области с осью x_1). По оси x_2 она находится в пределах от -0.5 до 0.8 . Включение в расчет тангенциального смещения и изменение радиальных зазоров в зацеплении позволяет многократно расширить область существования зубчатого зацепления.

Значения удельных скольжений по абсолютной величине уменьшаются при движении вдоль оси x_1 в положительном направлении. Стремясь уменьшить

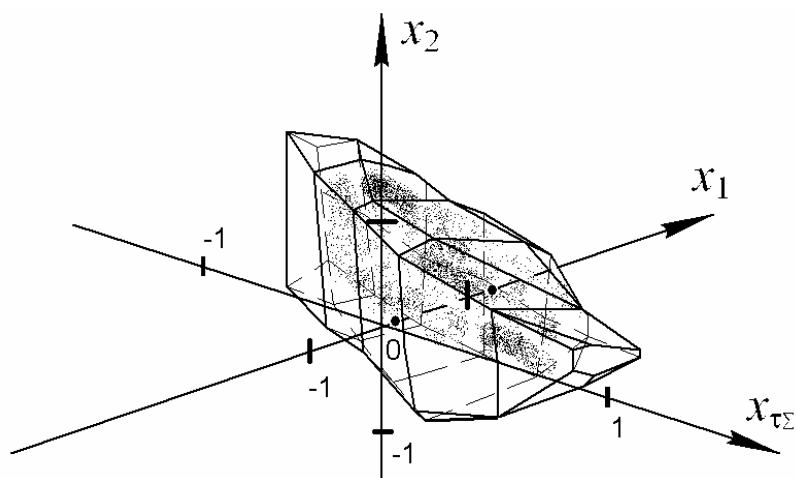


Рис. 1. 3D область существования открытой крупномодульной прямозубой зубчатой передачи внешнего зацепления $z_1/z_2=13/192$

Таблица 1

Сравнительная оценка геометрических параметров зубчатых передач

Параметр открытой зубчатой передачи	Привод поворота ЭШ 10/60	
	Базовый	Новый
Межосевое расстояние, мм	3700,0	
Угол зацепления, град.	20,41	20,44
Коэффициент торцового перекрытия	1,5600	1,1002
Передаточное число	14,77	
Число зубьев	13	
	192	
Модуль зубьев, мм	36	
Коэффициент радиального смещения исходного контура	0,2752	0,5859
	0,0	-0,0303
Коэффициент тангенциального смещения исходного контура	0,0	-0,1893
	0,0	0,0
Изменение высоты зуба от номинального	0,0	-0,35
	0,0	0,0
Диаметр вершин зубьев, мм	559	538
	6983	6963
Высота зуба, мм	80,90	58,93
	80,90	71,53
Нормальная толщина зуба на поверхности окружности вершин, мм	17,31	33,96
	29,73	37,01
Удельные скольжения в нижних точках активного профиля, по модулю	10,99	1,23
	1,29	1,01
Коэффициент учитывающий форму зуба	3,86	3,20
	3,54	3,54

износ и потери на трение выбираем геометрические параметры передачи с x_1 близкими к максимально возможным, на рисунке это соответствует затемненной части 3D области.

На рис. 1 затемненные области соответствуют модулям удельных скольжений менее 0.9.

Нельзя не отметить, что при изменении величин тангенциальных смещений в пределах $-2.0 < x_{\tau 1,2} < 2.0$, изменения высоты зуба $\Delta h_{1,2}$ от -0.8 до 0.2, а так же коэффициента радиального смещения x_1 и $x_2 \pm 2.0$ 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. В табл. 1 показан пример геометрических параметров с улучшенными качественными показателями зубчатого зацепления, в сравнении с базовым при неизменном межосевом расстоянии и модуле зуба.

Расчет зубчатой передачи проводился в условиях обязательного сохранения неизменным модуля зубьев и межосевого расстояния, что особенно важно в случае оптимизации уже существующих трансмиссий горных машин.

Улучшение параметров зубчатого зацепления проводилось изменением качественных показателей. Так коэф-

фициент торцового перекрытия должен быть не меньше единицы, по возможности ближе к значению 1.1, что приводит к уменьшению потерь на трение и износ. Нормальная толщина зуба увеличена для шестерни на 96 %, а для колеса 25 %. Высота зубьев уменьшена на 27 % и 11 % соответственно для шестерни и колеса, что приведет к увеличению изгибной прочности и снижению вероятности излома зуба. Удельные скольжения в нижних точках активного профиля по модулю должны быть минимальны и уравнены между шестерней и колесом, что позволит сократить износ и потери на трение. Что показано в таблице, где в новом варианте передачи снижены удельные скольжения в нижних точках активного профиля для шестерни в 9 раз. Коэффициент учитывающий форму зуба не должен превышать базовый, а по возможности быть минимизирован.

При комбинированном смещении профилей зубьев – сочетании радиального и тангенциального смещений, в том числе с использованием режущего инструмента со стандартным исходным контуром, прочность на изгиб зубьев цилиндрических зубчатых передач и износостойкость их активных поверхностей можно повысить в полтора-два раза. При этом существенно уменьшаются потери энергии в зубчатых зацеплениях и, следовательно, возрастает их долговечность. Такое увеличение прочности эквивалентно замене материала зубчатых колес. **ИВАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Фокин Андрей Сергеевич — кандидат технических наук, начальник отдела метрологии и паспортизации, fokin@spmi.ru,

Иванов Сергей Леонидович — доктор технических наук, профессор, slivanov@spmi.ru,

Звонарев Иван Евгеньевич — аспирант, ZVano@mail.ru,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».