

А.Ф. КИРИЧЕНКО, д-р. техн. наук, НТУ "ХПИ"

В.А. БЕРЕЖНОЙ, асс., НТУ "ХПИ"

Д.В. ВОРОНЦОВА, асс., НТУ "ХПИ"

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДИФИКАЦИИ ЗУБЬЕВ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПРЯМОЗУБЫХ КОЛЁС

Вивчаються експериментальні та теоретичні дослідження параметрів модифікації зубців. Розглядається експериментальний стенд дослідження моделей з оргстекла. Досліджується пружно-деформований стану прямозубих коліс експериментальним та теоретичним методом. Оцінюється адекватність експериментальної та математичної моделі модифікованих коліс.

Experimental and basic researches of modification parameters of tooth are studied. Experimental stand of study of models from org-glass are studied. Springy-deformed conditions of tooth by experimental and theoretical method are researched. It Is Valued adequacy experimental and mathematical model of modified tooth.

Введение. Повышение эффективности работы эвольвентных прямозубых передач за счёт применения колёс с различными видами модификации зубьев является наиболее перспективным направлением в данное время. В работе [1] сделана первая попытка достоверно оценить влияние различных параметров модификации на напряжённо-деформированное состояние и податливость зубьев прямозубых колёс при их строгой взаимосвязи. Решить эту задачу в наиболее общей постановке для случая объёмного напряжённого состояния зубьев позволила методика, основанная на теории метода конечных элементов.

Однако даже строгие теоретические решения нуждаются в тщательной экспериментальной проверке. Поэтому необходимость ряда экспериментальных исследований явилась органической потребностью настоящей работы.

Постановка задачи. Цель работы – на основе теоретических и экспериментальных исследований параметров модификации зубьев эвольвентных прямозубых колёс оценить достоверность расчётов разработанной методики выбора рациональных параметров модификации зубьев [1].

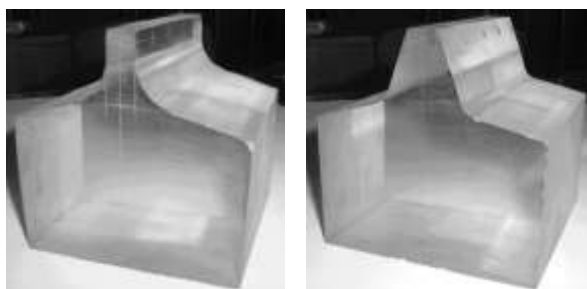
Метод решения задачи. Для экспериментального исследования величин упруго-деформированного состояния модифицированных зубьев, а также с целью сопоставления результатов аналитических и экспериментальных исследований в соответствии с разработанной методикой [1] были созданы ряд опытных моделей, разработаны специальные стенды и приспособления.

В качестве основного экспериментального метода исследования был принят метод тензометрирования.

Опытные образцы исследования приняты в виде моделей зубообразных выступов прямоугольного и трапециевидного сечения (Рис.1). Все модели изготовлены из одного блока оргстекла ТУ-1783-67, имеющего нормальную величину коэффициента Пуассона, относительно высокий предел пропорциональности и близкие к кристаллическим телам физико-механические свойства. Кроме этого, низкий модуль упругости оргстекла позволяет при небольших нагрузках получить достаточные по величине деформации зубьев для их измерения, а также понизить требования к жёсткости экспериментальных установок [2].

Размеры и геометрия одиночных выступов упрощённой формы выбраны из соображений аппроксимации реальных зубьев их аналогами различной степени приближения, и приведены в таблице 1.

В экспериментах нагружение моделей производилось усилием, полученным расчётным путём по методике [3]. В основу расчётов были положены соображения о том, что нагружение стенда осуществлено по принципу замкнутого потока мощности, что число циклов нагружения моделей не следует учитывать, так как скоростной режим соответствует статике. Поэтому все эксперименты выполнены при температуре окружающей среды $20^0 \pm 1^0$ С, скорость деформации составляла 40 мм/с, а время нахождения моделей под нагрузкой не превышало 6-8 сек. Эти параметры и оценка некоторых свойств оргстекла определены экспериментально и взяты с работы [4].



YA3-2

YA3-5

Рис.1 Экспериментальные модели упрощённых аналогов зубьев (YA3)

Таблица 1.

Пара-	Ra,	Rf,	Rkl,	t,	α^0 ,	r3,	θ^0 ,	r6,
-------	-----	-----	------	----	--------------	-----	--------------	-----

метры	мм	мм	мм	мм	градус	мм	град	мм
УАЗ-2	171.1	141.17	171.1	12	0	161.17	9.17	20
УАЗ-5	171.1	141.17	171.1	12	20	151.17	9.29	10

Экспериментальные исследования упруго-деформированного состояния зубообразных выступов упрощённой формы выполнено на специальном стенде, общий вид которого представлен на рис.2.

Основными частями стенда являются: I – стенд для исследования податливости упрощённых аналогов зубьев из оргстекла; II – усилительная станция Топаз-2 844, III – блок питания для тензостанции Гранат 347; IV – тестер UNI-T M830BUZ.

Общий вид стенда I представлен на рис.3. Основными деталями и узлами, которого являются: рама 2, нагрузочный механизм 4, смонтированный на базе суппорта 1 от настоящего токарного станка, специальная вилка 7, в которой осуществляется правильный монтаж и закрепление экспериментальной модели 6, опоры 10, на которые опирается ось 8, несущая на себе вилку с моделью. Грибковая опора 14, выполненная в виде винтовой пары, предназначена для создания крутящего момента на вилке 7, сразу же под сферической головкой опоры выполнен шестигранник под гаечный ключ, с помощью которого путём вывинчивания или завинчивания опоры осуществляется необходимый поворот вилки 7. В результате этого в точке контакта нагрузочного механизма 4 с зубом модели возникает усилие соответствующего уровня. Нагрузочный механизм представляет собой консольную балку, у корня которой с двух сторон наклеены тензорезисторы. Их калибровка осуществляется на специальном приспособлении усилием, приложенным в точке контакта с зубом модели [2].

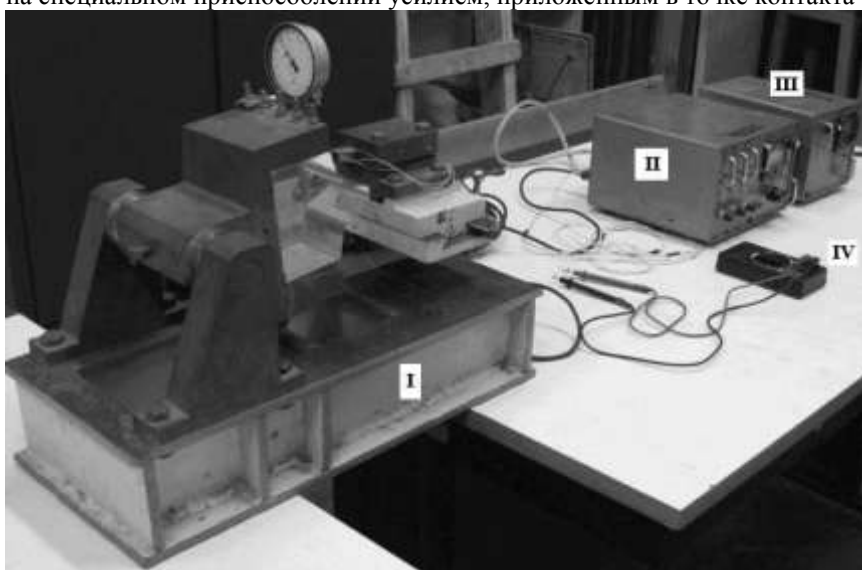


Рис.2 Общий вид экспериментального стенда.

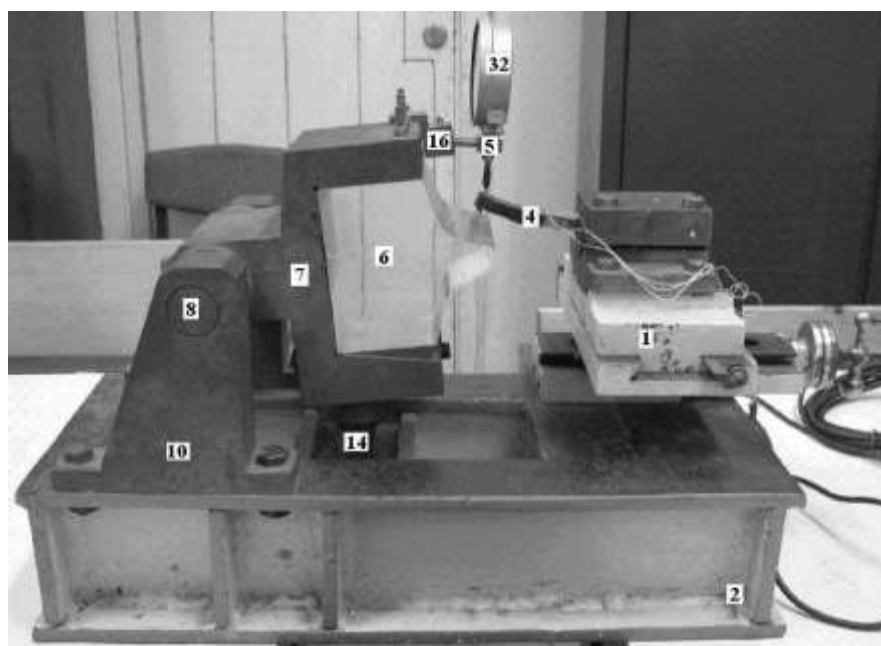


Рис.3 Стенд для исследования податливости упрощённых аналогов зубьев из оргстекла.

Контакт нагрузочного механизма с зубом модели осуществлён через специально винченный в нагрузочный механизм стальной закалённый винт M5, головка которого имеет сферическую форму и соприкасается с моделью из

оргстекла. Измерение деформации зуба по длине в пяти точках, строго соответствующих их теоретическому положению, осуществлялось микронным индикатором 32, закреплённым на вилке 7 с помощью рычагов 5 и 16. В этих же точках осуществлялось последовательно и приложение нагрузки.

Экспериментальные и теоретические исследования. Для проведения экспериментальных исследований на моделях из оргстекла установлен следующий порядок испытаний: 1-й этап – тарировка нагрузителя с тензорезисторами нагрузкой; 2-й этап – определение податливости моделей УАЗ без модификации; 3-й этап – определение податливости моделей УАЗ с модификацией;

Способ тарировки осуществлён нагрузкой для установления связи между деформацией, величиной нагрузки, вызвавшей эту деформацию, и показаниями тензорезисторов, наклеенных непосредственно на нагрузитель. Для этого на нагрузителе с двух сторон (сторон сжатия и растяжения) с помощью клея Глобус были наклеены два тензорезистора типа ПКБ-10-200.

Применение проволочных тензорезисторов для измерения деформации зубьев автоматически повлекло за собой использование соответствующей аппаратуры. Поскольку перемещение балочки имеет малую величину, возникла необходимость в усилении сигнала моста, а также в источнике его питания. Поэтому в качестве усилителя использована универсальная тензометрическая установка типа Топаз-2 844. Станция выполнена в виде 3-канального устройства, работающего от блока питания Гранат 347. Для записи численных значений сопротивления применён тестер UNI-T M830BUZ, имеющий погрешность не более 0.8%.

Тарировка нагрузителя осуществлялась с помощью специально спроектированных приспособлений из стали: «ключа», тарелки, троса и 80 кг грузов. Описанный способ тарировки нагрузкой позволил установить однозначное соответствие между нагрузкой, показаниями тензорезисторов на нагрузителе и показаниями тестера (Рис.4).

Обработка экспериментальных данных была произведена следующим способом. Результат определялся как среднеарифметическое между пяти проведёнными измерениями. Следует отметить, что расхождение абсолютных размеров не превышало 6%.

При экспериментальном определении упруго-деформированного состояния зубьев упрощённых моделей был использован метод измерения деформации с помощью микронного индикатора стрелочного типа. При этом ножка индикатора упиралась в точку на поверхности нагрузителя, заранее предусмотренную для этой цели. В этой же точке определяются упругие перемещения расчётным путём. Таким образом, обеспечена полная сопоставимость теоретических и экспериментальных данных.

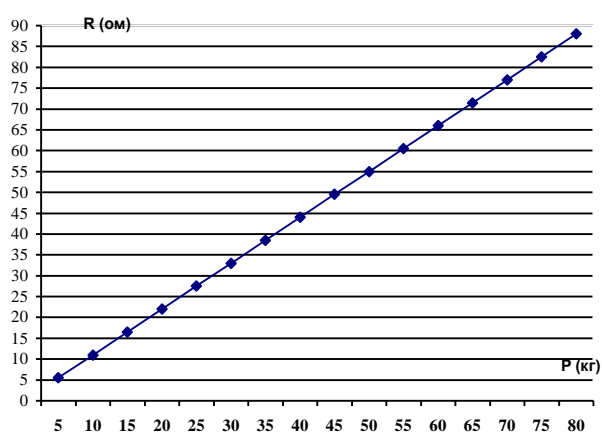


Рис.4. График сопротивления нагрузителя от нагрузки.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны следующие исходные данные: модуль упругости оргстекла – $E=2.6 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$, коэффициент Пуассона – $\mu=0.35$, толщина УАЗ – $b=100 \text{ мм}$. Исследования были проведены в статическом режиме при одинаковой сосредоточенной нагрузке $F_n=80 \text{ кг}$, приложенной нормально к боковой поверхности зуба. Нагрузка последовательно прикладывалась в пяти точках по длине зуба в его вершине. В этих же точках определялись упругие перемещения вдоль нормали к поверхности зуба.

Для обеспечения полной сопоставимости теоретических данных экспериментальным на основе разработанной методики [1] были созданы и проведены математические исследования конечно-элементных моделей (КЕМ) полностью соответствующих упрощённым аналогам зубьев (УАЗ).

На рис.5 представлены зависимости упругих перемещений по длине прямых зубообразных выступов от фазы приложения нагрузки. На графиках сплошными линиями показаны результаты, полученные на основе экспериментальных исследований. Тонкими линиями показаны аналогичные расчётные зависимости, полученные на основе методики выбора рациональных параметров модификации зубьев [1]. Сравнивая полученные кривые, приходим к выводу об их достаточно хорошем совпадении, расхождение этих результатов не превышает 8-12%.

С помощью дисковой фрезы на фрезерном станке модели УАЗ последовательно были подвергнуты модификации проточкой вдоль вершины зуба [5, 6] с различными параметрами модификации. Так 1-ая

модификация выполнялась с параметрами: $S_{ГПР}=1$ мм (ширина проточки), $R_{ГПР}=5$ мм (глубина проточки); 2-ая с параметрами: $S_{ГПР}=1.5$ мм, $R_{ГПР}=5$ мм; 3-ья с параметрами: $S_{ГПР}=1.5$ мм, $R_{ГПР}=7.5$ мм; 4-ая с параметрами: $S_{ГПР}=2$ мм, $R_{ГПР}=7.5$ мм.

Результаты исследований по каждой модели представлены на рис.6–7.
Рис.5. Кривые упругих перемещений УАЗ и КЭМ без модификации

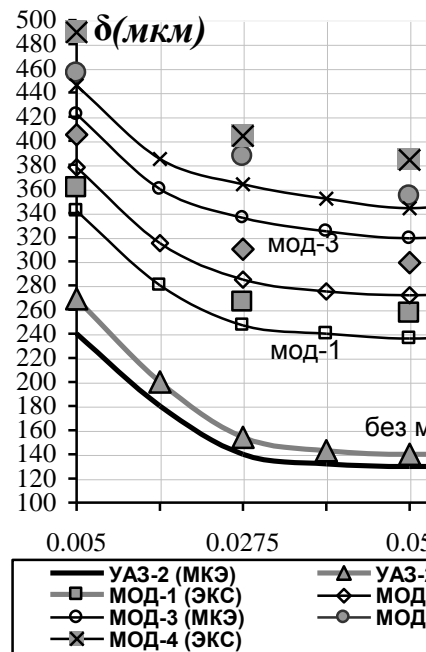
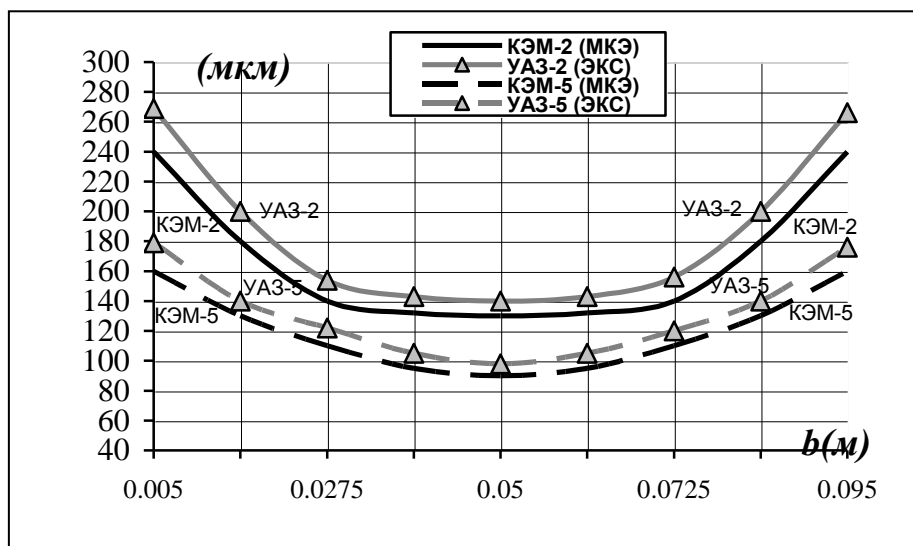


Рис.6 Кривые упругих перемещений УАЗ-2 и КЭМ-2 с различными параметрами модификации.

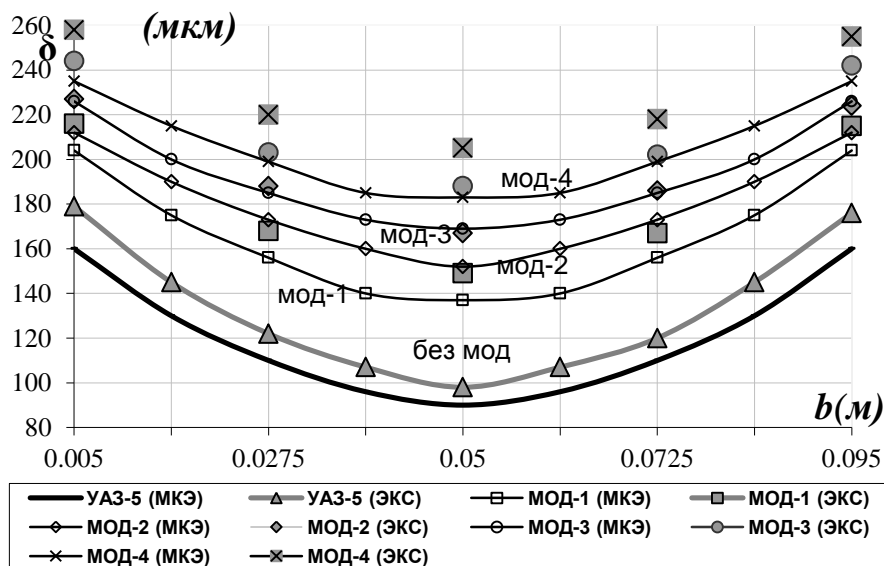


Рис.7 Кривые упругих перемещений УАЗ-2 и КЭМ-2 с различными параметрами модификации.

Таким образом, приведённые выше данные, полученные для упрощённых аналогов зубьев экспериментально и теоретически, достаточно убедительно свидетельствуют о хорошей сходимости результатов и высокой достоверности расчёта методики выбора рациональных параметров модификации зубьев [1].

Список литературы: 1.Кириченко А.Ф., Бережной В.А., Воронцова Д.В. Метод определения вида и параметров модификации прямозубых цилиндрических зубчатых колёс на стадии проектирования. Вісник Національного технічного університету «Харківський

політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – Вип.22.- С.28-36. 2.Кириченко А.Ф. Теория, расчёт и анализ объёмного напряжённо-деформированного состояния зубьев цилиндрических колёс при изгибе: Диссертация ... д.т.н. -Харьков., -1991 -498 с. 3.Кудрявцев В.Н. Упрощённые расчёты зубчатых передач. Л.: Машиностроение, 1967, 113с. 4.Заблонский К.И. Новая методика экспериментальных исследования жёсткости зубьев зубчатых колёс. Научные записки/ ОПИ, 1960, т.15, с.13-21. 5.Сухоруков Ю.Н. Модификация эвольвентных цилиндрических зубчатых колёс. Издательство «Техника», Киев, 1992, с.200. 6.Берестнев О.В., Жук И.В., Неделькин А.Н. Зубчатые передачи с повышенной податливостью зубьев. –Минск.: Наука и техника, 1993. -184 с.

Поступила в редакцию 31.05.07