

Д. В. Вавилов, А. А. Иптышев, А. П. Смирнов, Д. В. Елисеев, М. М. Колегова

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ПРОФИЛЯ НАКАТНОГО МЕЛКОМОДУЛЬНОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО МИКРОСКОПА

Представлена методика сравнительного анализа профилей накатных мелко модульных зубчатых колес, приводов специального назначения, полученных в результате имитационного моделирования и натурального эксперимента.

Ключевые слова: имитационное моделирование, накатные мелко модульные зубчатые колеса, цифровой микроскоп.

В настоящее время компьютерное моделирование является одним из эффективных инструментов исследования сложных процессов и явлений за счет минимизации дорогостоящих натуральных экспериментов [1]. В условиях глобализации экономики эффективность разработки инновационного продукта существенным образом зависит от «скорости» продвижения товара до потребителя и возникает необходимость оценки качественных показателей изделия на этапе проектирования. В связи с вышеизложенным можно сделать вывод, что адекватность применяемых в проектировании моделей описания инновационного продукта (процесса) является одним из определяющих факторов его конкурентоспособности.

Одной из перспективных технологий изготовления передаточных механизмов с использованием зубчатых передач, в частности мелко модульных, является профилирование накатыванием (накатка). Данная технология позволяет минимизировать материалоемкость изделия до 20 % и повысить прочность поверхности рабочего профиля до 30–40 % [2]. Формообразование эвольвентного зубчатого профиля пластическим деформированием является сложным физико-механическим процессом. В отечественной практике проектирования отсутствует универсальная методика проектирования накатных мелко модульных зубчатых передач с использованием современных вычислительных средств. В работе [3] предлагается комплексная методика проектирования накатных мелко модульных зубчатых передач из условия обеспечения заданных показателей качества. Для апробации адекватности используемых математических моделей описания профилей накатных зубчатых колес и профилей, полученных экспериментально, необходимо создание аппаратно-программных средств для считывания и обработки данных с использованием ЭВМ.

Одним из возможных средств для решения данной задачи для мелко модульных зубчатых пар является использование цифрового микроскопа, к преимуществам которого можно отнести большое увеличение; вывод изображения непосредственно в персональный компьютер; наличие измерительной шкалы; возможность масштабирования изображения в координатную систему численной модели.

В данной работе предлагается к рассмотрению методика анализа профиля накатного мелко модульного зубчатого колеса с помощью цифрового микроскопа.

Для апробации методики рассмотрим несколько численных и натуральных моделей накатных зубчатых колес с различными параметрами формообразования и геометрией накатного инструмента. В моделях использовался профиль колеса, накатанного при одноступенчатом внедрении в соответствии с натурным экспериментом с параметрами накатника $z_n = 198$; $m = 0,3$ мм; $x = 0$; накатываемого колеса $z_k = 76$; $m = 0,3$; $x = 0$.

Геометрия накатного зубчатого колеса зависит от технологических параметров [2]. Современные САЕ-среды позволяют осуществить имитационное моделирование процессов формообразования накатыванием с использованием метода конечных элементов (рис. 1). Так, например, при численном моделировании в среде MSC.Marc одноступенчатого внедрения накатника (за один проход), образуется асимметрия боковых поверхностей зуба (рис. 1, а). При непрерывном или многоступенчатом внедрении накатника геометрия накатанного колеса симметрична (рис. 1, б), по аналогии с ранее проведенными исследованиями [3].

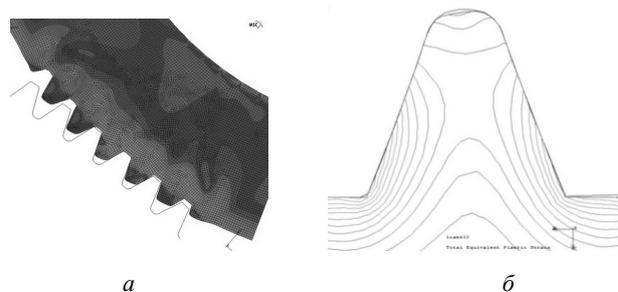


Рис. 1. Геометрия колеса, полученная в результате моделирования накатки:
а – при одноступенчатом внедрении; б – при многоступенчатом внедрении

Однако верификация численных моделей проектирования накатных мелко модульных зубчатых передач из условия обеспечения заданных показателей качества требует апробации на экспериментальном образце мелко модульного колеса. Для проведения натуральных экспериментов авторским коллективом разработана экспериментальная лабораторная установка для накатывания мелко модульных колес. Установка представляет собой станочное приспособление, устанавливаемое вместо резцедержателя на станок 16К20 (рис. 2). В процессе накатывания прутковая заготовка закреп-

ляется в патроне, входит в зацепление с накатниками, установленными в приспособлении. При этом накатники смещены вдоль оси вращения, следовательно, в начальный момент времени заготовка вступает в зацепление с одним накатником, затем со вторым, что обеспечивает правильное деление заготовки.



Рис. 2. Станочное приспособление для накатывания мелкозубчатых колес

Для анализа геометрии накатного колеса, полученного в результате натурного эксперимента, с помощью цифрового микроскопа с размерной шкалой фотографировался торец колеса. В нашем случае для сравнения результатов численного и натурного экспериментов использовался цифровой микроскоп Webbers G50. Затем фотоснимок импортировался в САД-пакет, масштабировался согласно измерительной шкале, после чего производились замеры. Инструментальная погрешность измерений при таком подходе составляет $\pm 3,5$ мкм. Для сравнения геометрии накатанных зубчатых профилей с математической моделью измеряемая область профиля разбивалась на равные промежутки и определялось расстояние (радиус-вектор) от центра колеса до пересечения поверхности зуба и измерительной прямой (рис. 3).



Рис. 3. Измерение геометрии зуба накатного колеса

Для автоматизации достаточно трудоемкого процесса измерения профиля зуба колеса, полученного при помощи натурного эксперимента, был разработан авторский программный модуль для импорта геометрии из САЕ-пакета в САД-среду SolidWorks [4]. Затем в САД-среде были произведены измерения численной модели зуба аналогично (рис. 4) профилю зуба, полученному в ходе натурного эксперимента.

Для минимизации погрешности измерений были произведены измерения 20 натуральных образцов и

20 образцов (рис. 5), полученных в результате компьютерного моделирования, так как выборочные значения числовых характеристик являются надежными количественными оценками значений генеральных характеристик лишь при большом объеме выборки [5].

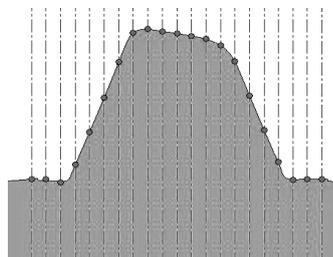


Рис. 4. Измерение геометрии зуба колеса, полученного в ходе численного эксперимента

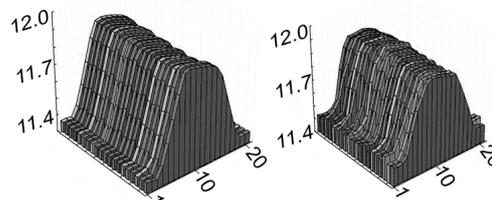


Рис. 5. Координаты численного и натурального профилей

Обработка экспериментальных данных проводилась в пакете Statistica 8.0 (рис. 6). Сравнение результатов натурального и имитационного эксперимента проведено по распределению выборочных среднего (рис. 6, а), медианы (рис. 6, б) и дисперсии измерений (рис. 6, в) точек профиля 20 зубьев.

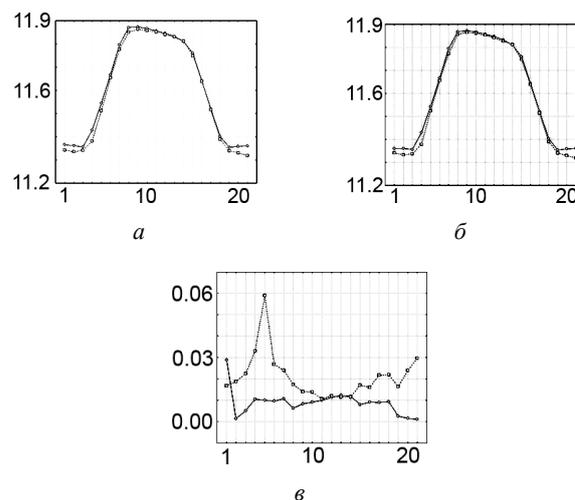


Рис. 6. Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований:
а – средние значения радиус-вектора; б – значения медиан радиус-вектора; в – значения дисперсий радиус-вектора

Максимальное расхождение наблюдалось у медиан точек профилей (рис. 6, б) и составляло 46 мкм на точке 4. Проведенные исследования доказывают со-

стоятельность выбранных моделей численного моделирования при проектировании накатных мелко-модульных зубчатых передач из условия обеспечения заданных показателей качества.

В результате проделанной работы была подтверждена адекватность проведенных экспериментов и имитационного моделирования процесса накатки мелко-модульных зубчатых колес, а также разработана методика измерения геометрии мелко-модульных зубчатых колес на основе использования цифрового оптического микроскопа и обработки изображения на ЭВМ.

Библиографические ссылки

1. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб. : БХВ-Петербург, 2005.

2. Барбарич М. В., Хоруженко М. В. Накатывание цилиндрических зубчатых колес. М. : Машиностроение, 1970.

3. Вавилов Д. В., Иптышев А. А., Усаков В. И. Моделирование накатывания мелко-модульных цилиндрических зубчатых передач с заданными показателями качества // Вестник СибГАУ. Вып. 4(21). 2008. С. 67–70.

4. Автоматизированный программный модуль для экспорта геометрии зубчатых колес в САД-среду SolidWorks : программа для ЭВМ : свидетельство о гос. регистрации № 2009613284 / А. П. Смирнов, Д. В. Вавилов, А. А. Иптышев, Д. Б. Елисеев. № 2009612213 ; заявл. 13.05.2009.

5. Степнов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. М. : Машиностроение, 1985.

D. V. Vavilov, A. A. Iptyshev, A. P. Smirnov, D. V. Eliseev, M. M. Kolegova

METHOD OF ROLLED FINE PITCH SPUR GEAR ANALYSIS BY DIGITAL MICROSCOPE

In the article the authors present a method of comparative analysis of rolled fine pitch spur gear, special needs drives, made by numeric simulation and natural experiment.

Keywords: simulation modeling, rolled fine pitch spur gear, digital microscope.

© Вавилов Д. В., Иптышев А. А., Смирнов А. П., Елисеев Д. В., Колегова М. М., 2011

УДК 621.31:51

П. В. Валь

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОФАКТОРНЫХ МЕТОДОВ

Проведен анализ качества краткосрочного прогнозирования электропотребления предприятия горной промышленности с использованием популярных однофакторных методов прогнозирования (сезонной модели АРПСС, метода Хольта–Винтерса, а также наивного метода).

Ключевые слова: электропотребление, прогнозирование, модель АРПСС, метод Хольта–Винтерса, наивный метод.

Устойчивое развитие горной промышленности в значительной мере зависит от повышения ее конкурентоспособности за счет снижения издержек производства. В настоящее время для предприятий отрасли характерен опережающий рост уровня электропотребления по сравнению с ростом выпуска продукции. Это связано с изменением условий добычи и переработки полезных ископаемых, внедрением природоохранных программ и т. д. В последние годы также наблюдается устойчивый рост цен на электроэнергию. Таким образом, особую актуальность приобретает снижение затрат на электроэнергию, которая составляет значительную часть себестоимости продукции предприятий горной промышленности.

Для решения поставленной задачи можно выделить два основных направления:

- снижение электропотребления за счет повышения эффективности использования энергоресурсов;
- снижение удельной стоимости потребленной электроэнергии.

Одним из возможных путей снижения удельной стоимости потребленной электроэнергии является ее покупка на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ). Однако правила функционирования ОРЭМ предусматривают жесткие требования к его участникам по прогнозированию планового почасового электропотребления. Так, участники ОРЭМ в сутки, предшествующие операционным, должны подавать администратору торговой системы почасовую заявку на электропотребление для каждого часа операционных суток. Неправильная подача заявок на электроэнергию может привести, во-первых, к значи-