

2. Пыхалов А. А., Милов А. Е. Контактная задача статического и динамического анализа сборных роторов турбомашин // ИргТУ. Иркутск, 2007.

3. Пыхалов А. А., Высотский А. В. Расчет сборных роторов турбомашин с применением неголономных контактных связей и метода конечных элементов // Компрессорная техника и пневматика. 2003. № 8. С. 25–33.

4. Пыхалов А. А., Кудрявцев А. А. Анализ контактной теплонапряженности сборных конструкций. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2010. № 1 (15). С.37–43.

5. Пыхалов А. А., Милов А. Е. Математическое моделирование динамического поведения сборных роторов турбомашин // Компрессорная техника и пневматика. 2006. № 3. С. 16–23.

*A. A. Pyhalov*

Irkutsk State Transport University, Russia, Irkutsk

### **APPLICATION OF FINITE ELEMENT METHOD IN CONTACT PROBLEM ANALYSIS DYNAMICS, STRENGTH AND THERMAL CONDUCTIVITY PREFABRICATED STRUCTURES TURBOMACHINERY**

*In this work the solution of the contact problem solid mechanics based on the finite element method (FEM). The object of research the rotor aero-tional gas turbine engine (GTE).*

© Пыхалов А. А., 2012

УДК 621.833.16

*А. П. Смирнов*

Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРЯМОЗУБЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ВНУТРЕННЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С МАЛОЙ РАЗНОСТЬЮ ЧИСЕЛ ЗУБЬЕВ**

*Разработана инновационная методика проектирования цилиндрических прямозубых зубчатых передач внутреннего зацепления с малой разностью чисел зубьев с применением математической модели описания профиля зубчатого колеса, основанной на теории огибающих кривых. Представлен программный инструмент для реализации данной методики с применением объектно-ориентированного подхода.*

В данной работе сделана попытка применения объектно-ориентированного подхода при проектировании деталей машин, в частности цилиндрических зубчатых передач внешнего и внутреннего зацепления. По результатам проведенных исследований был сделан вывод, что применение объектно-ориентированного подхода к разработке зубчатых передач, в частности цилиндрических прямозубых, является актуальной задачей, направленной на снижение временных и интеллектуальных затрат.

Исследования различных типов зубчатых передач показали, что каждая из передач имеет свои собственные недостатки, причем чем компактнее передача при заданном уровне передаваемой нагрузки, тем она менее технологична и стоимость ее изготовления значительно выше.

Если рассмотреть такой критерий, как снижение массово-габаритных параметров передачи, то исследования показывают, что повышение требований компактности передачи приводит к использованию передач с внутренним зацеплением.

В ходе анализа технологий изготовления зубчатых колес с внутренними зубьями, было установлено, что применение протягивания для изготовления таких зубчатых колес является оптимальным как по длительности операции, так и по стоимости изготовления. Анализ стоимости протяжек показал, что протяжки со стандартным шлицевым профилем являются наиболее доступными ввиду широкого применения и стандартизации шлицевых соединений. Исходя из этого, было решено использовать при проектировании зубчатых колес с внутренними зубьями исходный контур как у шлицевых втулок. При таком подходе ключевой становится проблема синтеза передачи с внутренними зубьями, изготавливаемой со шлицевым профилем, и шестерни с внешними зубьями, изготавливаемой стандартным инструментом для нарезания зубчатых колес. Сложность заключается в применении разных исходных контуров получаемых зубчатых колес, в частности различаются углы наклона зуба: 20° у стандартного зубчатого профиля и 30° у шлицевого. В ходе информационного поиска по проблемам

тике сопряжения зубчатых колес выявлена новизна предлагаемого подхода.

Исходя из сказанного выше, целью данной работы стала разработка методик, алгоритмов и программного инструментария для реализации объектно-ориентированного подхода к проектированию цилиндрических прямозубых зубчатых передач внутреннего зацепления с возможностью синтеза передач с разными исходными профилями в паре зубчатых колес.

Работа, выполненная в ходе проведения информационного обзора, позволила прийти к выводам о возможности применения теории огибающих кривых при синтезе геометрии зубчатых передач. В работах Ф. Л. Литвина, В. И. Усакова и других авторов установлено, что геометрия зацепления, синтезируемая на основе эвольвентных описаний профилей, не гарантирует обеспечения требуемых качественных характеристик передач на этапе проектирования. Исходя из этого, в данной работе взяты за основу для синтеза геометрии зубчатых колес математическая модель, описывающая профиль зубчатых колес, представленная в работе Н. А. Колбасиной.

Одним из недостатков применения теории огибающих кривых при проектировании зубчатых передач на практике является сложная математическая модель и вычисление граничных условий для функций, входящих в состав математической модели описания зубчатого профиля. Для реализации данных математических моделей в виде программного инструмента были разработаны численные методы определения граничных значений функций, методы определения минимального расстояния между профилями пар зубьев зубчатых колес, а также метод и алгоритм для определения точек контакта зубчатых профилей, на основе которых производится моделирование взаимодействия цилиндрических прямозубых зубчатых передач внешнего и внутреннего зацепления. Использование объектно-ориентированного подхода позволило скрыть внутри объектов использование сложного математического аппарата и свести проектирование передач к конструированию из объектов.

Для проектирования цилиндрических зубчатых передач внутреннего зацепления с малой разностью чисел зубьев разработан алгоритм синтеза геометрических параметров из условия обеспечения отсутствия интерференции, собираемости передачи и обеспечения радиального зазора между зубьями. В основу

алгоритмов заложен поиск целевой функции, зависящей от таких параметров, как межосевое расстояние, коэффициент смещения, коэффициент высоты головки зуба. Влияние данных параметров на показатели качества передачи рассмотрено А. А. Иптышева.

Далее была выполнена реализация программного инструментария, включающего в себя разработанные алгоритмы [1]. В данной части работы произведена объектно-ориентированная декомпозиция процесса синтеза зубчатых передач внутреннего зацепления с малой разностью чисел зубьев. После декомпозиции была создана объектно-ориентированная модель программного комплекса [2]. Кроме этого, в программном комплексе был разработан модуль для экспорта геометрии спроектированных зубчатых передач в CAD-среду SolidWorks.

Таким образом, выполнена работа, позволившая синтезировать программный продукт для проектирования цилиндрических прямозубых зубчатых передач внешнего и внутреннего зацепления с малой разностью чисел зубьев.

При этом были применены методы современного программирования и разработанные в ходе исследования методики проектирования зубчатых передач, доказавшие свою работоспособность и адекватность при проведении численных и натуральных экспериментов [3].

#### Библиографические ссылки

1. Программный комплекс синтеза геометрии и взаимодействия разномодульных зубчатых пар внешнего и внутреннего зацепления GearAnalysis : программа для ЭВМ / Смирнов А. П., Вавилов Д. В., Иптышев А. А., Шигина А. В. // Свидетельство об официальной регистрации № 2012612189.
2. Разработка объектно-ориентированной модели программного комплекса для проектирования и моделирования взаимодействия разномодульных зубчатых пар внешнего и внутреннего зацепления / А. П. Смирнов, А. А. Иптышев, Д. В. Вавилов и др. // Вестник СибГАУ. 2011. Вып. 7 (40). С.42–47.
3. Проектирование зубчатой передачи внутреннего зацепления с малой разностью чисел зубьев. Объектно-ориентированный подход / А. П. Смирнов, А. А. Иптышев, Д. В. Вавилов, А. В. Шигина // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 1 (41). С.147–153.

A. P. Smirnov

Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

#### DESIGN METHODS IMPROVEMENT OF INTERNAL SPUR GEARS WITH SMALL DIFFERENCE BETWEEN THE NUMBERS OF TEETH

*The innovative design methodology of internal spur gears with small difference between the numbers of teeth with applying of gear profile description mathematical model based on the envelope curves theory was developed. Software tools for this methodology realization with applying of object-oriented approach were developed.*

© Смирнов А. П., 2012