

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕДАЧИ БОЛЬШОГО КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА В АВИАЦИОННЫХ ТУРБОВИНТОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

*Кузьминский Д.Л.<sup>1</sup>, Давыдов А.П.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*«ОКБ им. А. Люльки» – филиал ПАО «ОДК-УМПО», Москва;*

<sup>2</sup>*Региональное представительство «Топ Системы – Рязань», Рязань*

**Ключевые слова:** арочные зубчатые колеса, коэффициент перекрытия, эвольвентный профиль зубьев, станок с ЧПУ, компьютерное моделирование.

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы использования арочных зубчатых передач в авиастроении. Показаны преимущества такого вида передач для высоконагруженных силовых редукторов турбовинтовых двигателей. Представлена информация о том, что в России разработан и запатентован способ зубонарезания арочных зубчатых колес с высокой точностью и производительностью, по стоимости не превышающей традиционное зубонарезание.

## SOLVING THE PROBLEM OF HIGH TORQUE TRANSMISSION IN AIRCRAFT TURBOPROP ENGINES

*Kuzminskiy D.L.<sup>1</sup>, Davydov A.P.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*OKB im. A. Lyulki – UEC-UMPO branch, Moscow;*

<sup>2</sup>*Regional Representative Office of Top Systems – Ryazan, Ryazan*

**Keywords:** arched gears, overlap coefficient, involute tooth profile, CNC machine, computer modeling.

**Abstract.** The issues of using arched gears in the aircraft industry are considered. The advantages of this type of transmission for high-load power reducers of turboprop engines are shown. Information is provided that in Russia a method of tooth cutting of arched gears with high accuracy and performance has been developed and patented, at a cost not exceeding traditional tooth cutting.

В 2013 году первые серийные самолёты Airbus A400M начали поступать заказчикам. Новый широкофюзеляжный самолет Airbus A400M, главным образом, предназначен для замены устаревших самолетов С-130 и С-160 первых модификаций в странах Европы. Силовая установка самолета состоит из четырех турбовинтовых двигателей (ТВД) TP400-D6, обладающих мощностью 11 тысяч л.с. каждый. Двигатель создавался на базе газогенератора двухконтурного турбореактивного двигателя М88, который используется на современных французских тактических истребителях «Рафаль» [1].

ТВД TP400-D6, самый мощный из существующих зарубежных, создан консорциумом Europrop International (EIP) из четырех европейских двигателестроительных компаний: Rolls-Royce (Великобритания), Safran Aircraft Engines (Франция), ITP (Испания) и MTU Aero Engines (Германия). Стендовые испытания ТВД TP400-D6 начались более 12 лет назад – первое состоялось в марте 2006 г. Одной из важнейших проблем, проявивших себя при испытаниях, было образование трещин в корпусах редукторов (вследствие чрезмерной вибрации и высоких нагрузок), поставляемых компанией Avio Aero [2].

Несмотря на то, что поставки Airbus A400M уже осуществляются, проблема с трещинами в корпусах редукторов до сих пор не решена. Промежуточная доработка редуктора была сертифицирована консорциумом ЕРІ в июле 2016 года, и с начала 2017 года началась ее реализация на всех эксплуатируемых и выпускаемых новых двигателях.

ЕРІ планирует получить работоспособную, не разрушаемую конструкцию редуктора в 2018 году. Усовершенствования, в основном, направлены на снижение уровня вибраций, повышения долговечности и надежности.

Нами предлагается, в качестве возможного решения выше обозначенной проблемы использовать в редукторах ТВД цилиндрические арочные передачи.

Арочные зубчатые колеса (рис. 1) представляют разновидность эвольвентных цилиндрических зубчатых колес с криволинейными зубьями, симметричными относительно среднего сечения зубчатого венца. О возможности использования колес с криволинейными зубьями впервые упомянуто в американском патенте No. 5647, Rack and Pinion, A.C. Semple, June 27, 1848 г. [3].

Арка – наиболее жесткая и прочная форма зубьев, которая меньше других деформируется при передаваемых нагрузках. Основными преимуществами такого вида передач над прямозубыми и косозубыми передачами являются:

- 1) увеличенный коэффициент торцового перекрытия;
- 2) значительная суммарная протяженность линии зацепления;
- 3) повышенная жесткость зубьев;
- 4) отсутствие осевых нагрузок в опорах подшипниковых узлов.

На протяжении многих лет арочные колеса при всех их достоинствах оставались мало востребованными. Это объяснялось высокой стоимостью их изготовления при сравнительно низкой точности.

В России разработан и запатентован способ зубонарезания арочных зубчатых колес с высокой точностью и производительностью, по стоимости не превышающей традиционное зубонарезание [4]. Возможности этого способа позволили на четырехкоординатных станках с ЧПУ нарезать зубья колес с модулем в диапазоне от 2,5 до 10 мм (включая любые дробные), с числом зубьев от 6 до 95. Можно получить зубчатое колесо с любым главным углом профиля, даже равным нулю и с разными главными углами профиля на выпуклой и вогнутой сторонах зубьев (рис. 2). Например, это целесообразно для высоконагруженных нереверсивных передач.



Рис. 1. Арочная зубчатая передача

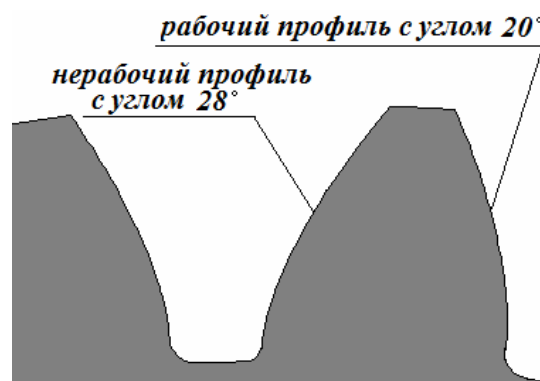


Рис. 2. Несимметричные эвольвентные профили зуба

Эвольвентная поверхность зубьев образуется согласованным движением по двум координатам интерполяцией рабочих органов станка с ЧПУ. Точность формообразования эвольвентной поверхности зубьев главным образом определяется точностью и настройкой станка с ЧПУ. Это позволяет создавать зубчатые передачи с отличными шумовыми и вибрационными характеристиками.

Современные режущие лезвийные инструменты, твердосплавные и композиты, позволяют обрабатывать материал твердостью до HRC 54...62. Нет необходимости в окончательном шлифовании зубьев. Правильно подобранные режимы резания позволяют получить зеркальную поверхность зубьев.

Применение арочных передач может быть реализовано, как на модернизируемых, так и во вновь проектируемых конструкциях машин и механизмов. При этом необходимо обеспечить:

- 1) взаимную осевую самоустановку парных колес зубчатой передачи;
- 2) возможность сборки передачи радиальным сближением или установкой заранее собранной передачи в корпус.

Примеры использования арочных передач в некоторых конструкциях машин приведены на рисунках 3-6.



Рис. 3. Редуктор станка-качалки нефтедобывающей промышленности



Рис. 4. Редуктор заднего моста большегрузной машины



Рис. 5. Трехшпиндельная сверлильная головка

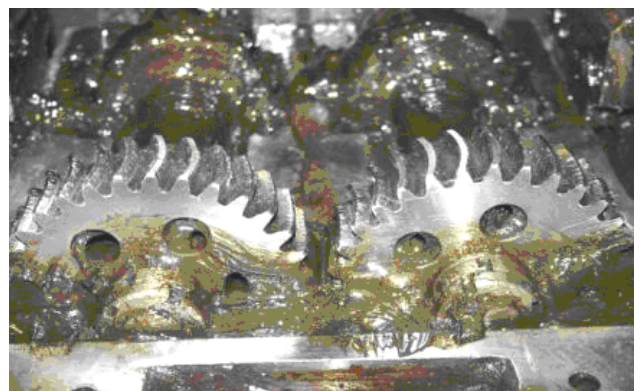


Рис. 6. Передача листоупаковочной машины

## **Выводы**

1. Применение арочных передач в редукторах с большим крутящим моментом является целесообразным, так как арка способна передавать значительные усилия без осевого воздействия на корпус.

2. Точный профиль зубьев, получаемый уникальным способом зубонарезания, хорошая плавность арочного зацепления обеспечивают минимальные вибрации при эксплуатации.

## **Список литературы**

1. Юферев С. Военно-транспортный самолёт Airbus A400M // Военное обозрение. 18.12.2013г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://topwar.ru/37461-voenno-transportnyy-samolet-airbus-a400m.html>.
2. Чикина К.Н. Консорциум EPI продолжает решать проблемы ТВД TP400-D6 // ЦИАМ. Серия: Авиационное двигателестроение, обозрение по материалам иностранных публикаций. –2018. – №4. – С. 3-5.
3. Patent No. 5,647 US. Rack and Pinion / A.C. Semple, OF Cincinnati, Ohio. – June 27, 1848.
4. Марголит Р.Б., Давыдов А.П., Карпов Ю.В. Особенности изготовления и использования арочных передач // Новшества в области технических наук. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Выпуск II. – Тюмень: Федеральный центр науки и образования "Эвенсис", 2017. – С. 5-12.

## **Сведения об авторах:**

*Кузьминский Дмитрий Леонидович* – к.т.н., главный специалист – начальник отдела технологического сопровождения проектов;

*Давыдов Анатолий Павлович* – к.т.н., доцент, академик РИА, руководитель регионального представительства.