

## Висновки:

1. Розглянута актуальність поставленої задачі та доведена необхідність розробки підходу до проектування редукторів з раціональними.

2. Записана цільова функція критерію та обмеження на мінімі проектування. Структура цільової функції дає змогу зменшити суму міжосьових відстаней усіх зачеплень, а при наявності умови їх рівності між собою зберегти їхнє конструктивне розташування.

3. Розроблено методики та алгоритми двох підходів проектування редукторів, що базується на використанні ЛПТ-пошуку, що дають змогу якісно та з мінімальними витратами часу проводити розв'язання задачі.

4. Результати розрахунків на прикладі співвісного редуктора підтверджують коректність приведених підходу: знайдене менше значення міжосьової відстані відносно прототипу при виконанні умов навантажувальної здатності зачеплень.

**Список літератури:** 1. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 107с. 2. Бондаренко О.В. Оптимізації співвісних ступінчастих приводів машин по масогабаритними характеристиками на прикладі тривальних коробок передач / Олександр Бондаренко, Олександр Устиченко // Вісник Національного Політехнічного Інституту "Харківський Політехнічний Інститут": збірник наукових праць: тематичний випуск "Проблеми механічного приводу". – Харків: НТУ "ХПІ", 2012. – №22. – С.16-27. 3. Бондаренко О.В. Суміщення методів ЛПТ-пошуку та звуження околів при оптимізації тривальних коробок передач / Олександр Бондаренко // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ "ХПІ", 2010. – №1. – С.78-84.

Надійшла (received) 28.02.2014

УДК 621.833

**В.В. ГОЛОВАНОВ**, начальник отдела авиационных приводов ФГУП

ЦИАМ им. П.И. Баранова, Москва, Россия;

**В.Л. ДОРОФЕЕВ**, д.т.н., главный научный сотрудник ФГУП ЦИАМ

им. П.И. Баранова;

**Д.В. ДОРОФЕЕВ**, к.т.н., программист ФГУП ЦИАМ;

**В.С. НОВИКОВ**, к.т.н., начальник лаборатории зубчатых передач ФГУП НПП газотурбостроения "Салют", Москва, Россия;

**Ю.М. ПАВЛЕНКО**, ведущий технолог ФГУП НПП газотурбостроения "Салют"

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ С КРУГОВЫМИ ЗУБЬЯМИ ОТ СТЕПЕНИ ЛОКАЛИЗАЦИИ КОНТАКТА

Рассмотрено влияние степени локализации контакта зубьев, выраженное глубиной "отводов" от номинальной сферической эвольвенты, на контактные напряжения в конической зубчатой передаче с круговыми зубьями. Показано, что контактные напряжения увеличиваются пропорционально величине отвода реальной поверхности от номинальной.

**Ключевые слова:** конические зубчатые передачи, локализация контакта, контактные напряжения.

**Введение. Актуальность задачи.** Известно [1], что неправильно назначенная степень локализации контакта зубьев конических колес может быть причиной разрушения не только зубчатых колес, но и всего авиационного двигателя.

**Постановка задачи.** Современные станки для шлифования конических зубчатых колес с круговыми зубьями позволяют в широких пределах изменять степень локализации контакта зубьев в зацеплении путем изменения, на-

© В.В. Голованов, В.Л. Дорофеев, Д.В. Дорофеев, В.С. Новиков, Ю.М. Павленко, 2014

пример, формы боковой поверхности зубьев. Поэтому требуется технология назначения оптимальной локализации.

Но прежде нужно исследовать зависимость контактных напряжений от степени локализации контакта. Решению именно этой задачи посвящена настоящая работа.

**Метод решения задачи.** В качестве параметров локализации удобно пользоваться понятием "отвода". Отводом называется заданная функция, определяющая отклонение от поверхности зубьев. Координаты функции отвода отсчитываются в направлении нормали к номинальной поверхности. Номинальной поверхностью профиля зубьев конического зубчатого колеса является эвольвентно-сферическая поверхность. Изменяя глубину отвода, будем получать зависимость контактных напряжений от степени локализации контакта.

Часто применяется симметричный отвод по направлению зубьев и отвод по высоте зубьев. В таком случае требуется всего два параметра, при этом предполагается, что в центре зуба отвод равен нулю.

Для исследования выбрана ортогональная коническая зубчатая передача с параметрами:  $z_1=29$ ,  $z_2=45$ ,  $m_n=3,4402$ ,  $b=25$ мм,  $\beta=25^\circ$ ,  $d_0=200$ мм,  $I=1,95$ . Крутящий момент  $T=400$ Н·м на ведущем

валу. Форма зубьев конических колес, построенная с помощью программы AEROFLANK, показана на рисунке 1.

Параметры наладки зубошлифовального станка определялись с помощью программы KIMOS. Форма линий отвода назначалась в средней части профиля зубьев (рисунок 2).

Параметры глубины и формы линии отвода, в виде погрешности профиля и погрешности направления зубьев см. рисунок 3 и рисунок 4.

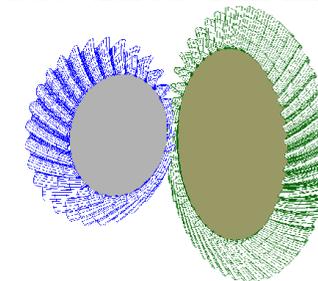


Рисунок 1 – Форма зубьев и венцов конических колес

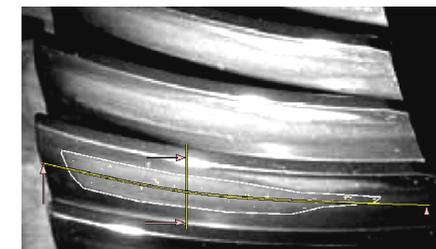


Рисунок 2 – Расположение линий с назначенными "отводами"

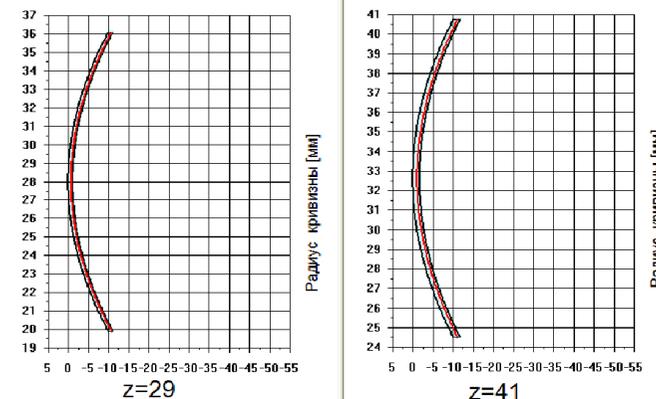


Рисунок 3 – Эвольвентограммы, как исходные данные, обеспечивающие суммарный отвод профилей в крайних точках линии зацепления – 20 мкм

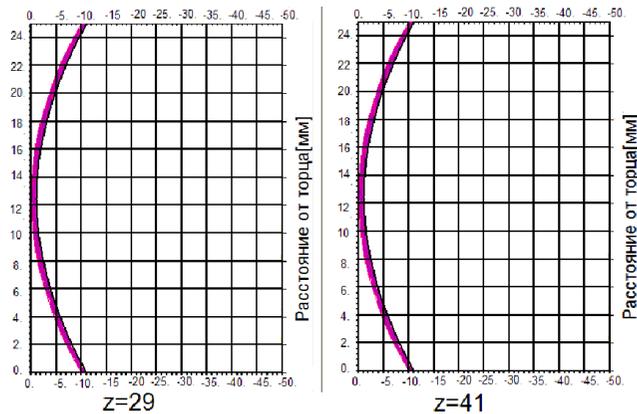


Рисунок 4 – Диаграммы направления линии зубьев, обеспечивающие суммарный отвод профилей в крайних точках продольной линии контакта зубьев – 20 мкм

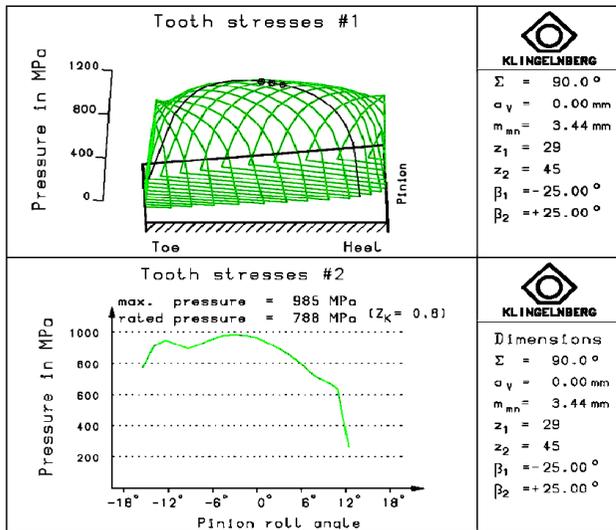


Рисунок 5 – Вид результатов расчета контактных напряжений по программе Kimos/Becal

### Выводы:

1. Контактные напряжения практически линейно зависят от глубины отвода, увеличиваясь на 50% при отводах, которые часто применяются на практике. Несущая способность при этом уменьшается в два раза.

2. Результаты расчета контактных напряжений с помощью программ KIMIS/BECAL и AEROFLANK для околополюсной зоны зацепления отличаются незначительно.

3. Программа AEROFLANK позволяет определить напряжения на краевых участках площадки контакта, а также с учетом динамики, т.е. отразить влияние частоты вращения колес.

### Замечания к расчетам.

1. Все расчеты выполнены для абсолютно жестких валов и опор.

2. Результаты расчетов, см. рисунок 6 выполнены при  $n=17500$  об/мин. Однако при отводе 11 мкм и  $n=17500$  об/мин имели место интенсивные вибрации с отрывом зубьев, что делало невозможным выполнить сопоставление результатов на этой скорости. По этой причине расчет выполнялся при  $n=500$  об/мин. На практике такое явление имеет место [1].

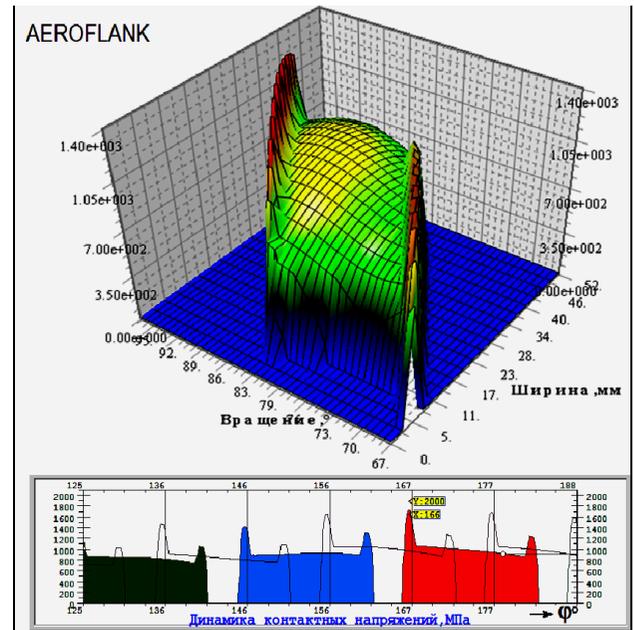


Рисунок 6 – Вид результатов расчета контактных напряжений по программе AEROFLANK

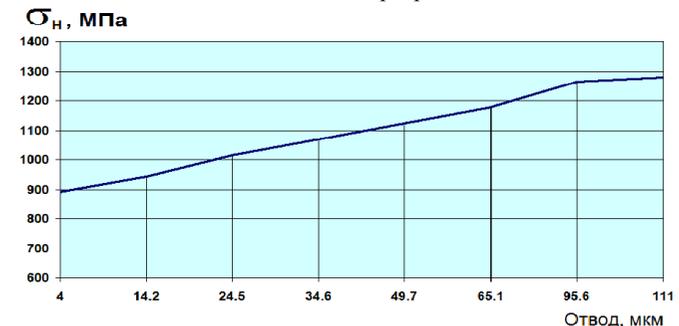


Рисунок 7 – График зависимости контактных напряжений от глубины отвода

3. При пользовании программой KIMIS/BECAL следует учитывать, что эта программа позволяет выполнять расчет только в статике, без учета динамических процессов, поэтому процессы с отрывами зубьев могут быть незамеченными.

**Список литературы:** 1. Елисеев Ю.С., Крымов В.В., Нежурич И.П., Новиков В.С. и др. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей: Произв.-практ. издание; Под ред. Ю.С. Елисеева. – М.: Высш. шк., 2001. – 493с.; ил.

Поступила (received) 10.03.2014