



ВЕСТНИК МАШИНОСТРОЕНИЯ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

9
2011



СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

- Плеханов Ф. И., Овсянников А. В. — Исследование нагрузочной способности планетарной передачи с внутренним зацеплением колес 3
- Медведев Ю. А., Кузнецов В. П. — Новые управляющие и исполнительные устройства многодвигательных электрогидравлических приводов 6
- Короткин В. И., Газзаев Д. А. — Влияние технологических отклонений осей зубчатых колес на напряженное состояние в галтели зуба эвольвентных зубчатых передач 12
- Воробьев И. А. — Повышение ресурса железнодорожных рельсов 16
- Афонин С. М. — Решение матричных уравнений в задачах электроупругости для многослойных двигателей нано- и микроперемещений 20
- Фасхиев Х. А. — Повышение долговечности резьбового соединения 25
- Бровман Т. В. — Утилизация изношенных транспортных средств 30
- Бондарева Г. И. — Обоснование перераспределения остаточных напряжений в плазменно-напыленных покрытиях 32
- Клименков Ю. С., Легаев В. П., Мойсеянчик М. И. — Математическое моделирование системы автоматического управления газостатической шпиндельной опорой 35
- Цумарев Ю. А., Игнатова Е. В. — Несущая способность паяных соединений с накладками 41
- Ефремов И. М., Лобанов Д. В., Лиханов А. А., Ивасин Д. М., Фигура К. Н. — Определение реологических показателей бетонных смесей по их критериальной значимости 44

Цикл статей

«Проблемы трибологии — трения, изнашивания и смазки»

- Дроздов Ю. Н., Осипова Е. П., Назарова Т. И., Макаров В. В., Абрамов В. В., Афанасьев А. В., Пучков М. В. — Исследование трения образцов оболочек твэлов и ячеек дистанционирующих решеток тепловыделяющей сборки реактора ВВЭР 49

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

- Фатыхин Д. С. — Ультразвуковая очистка, неповреждающая поверхности изделий 53
- Кошин А. А., Чаплыгин Б. А., Исаков Д. В. — Современный подход к проектированию операций абразивной обработки 57
- Кремень З. И., Лебедев А. И. — Крупнопористые круги из кубического нитрида бора для бездефектного шлифования 61
- Максимовский Д. Е. — Автоматизация проектирования технологических процессов на основе конструкторско-технологической параметризации 63
- Гончаров С. В. — Исследование процессов смешивания и гомогенизации компонентов при изготовлении антифрикционных материалов 66
- Макаренко К. В. — Компьютерное моделирование и оптимизация структуры высокопрочного чугуна с шаровидным графитом 69

Серия статей

«Проблемы теории и практики резания материалов»

- Воронцов А. Л., Султан-заде Н. М., Албагачиев А. Ю., Савкин А. И. — Разработка новой теории тепловых процессов резания. 8. Определение режимов резания, оптимальных по стойкости инструмента 74

Обработка материала без снятия стружки

- Зинин М. А., Гаврилов С. А., Щедрин А. В., Гаркунов Д. Н. — Влияние металл-плакирующей присадки Валена на показатели комбинированной обработки 77

ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА

- Ганина Г. Э. — Концептуальные основы управления производственно-технологической устойчивостью предприятия 81

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

- Мамити Г. И., Плиев С. Х., Тедеев В. Б. — Устойчивость двухосного автомобиля в повороте 85
- 12-й Международный форум "Высокие технологии XXI века" 87

CONTENTS

DESIGN, CALCULATION, TESTS AND RELIABILITY OF MACHINES

- Plekhonov F. I., Ovsyannikov A. V. — Load-carrying capacity of the planetary gear with internal toothing 3
- Medvedev Yu. A., Kuznetsov V. P. — New control and execution units for multi-motor electrohydraulic drives 6
- Korotkin V. I., Gazzaev D. A. — Influence of technological deviations of the tooth-wheels axes on the stress state in the tooth fillet of involute gears 12
- Vorob'ev I. A. — Enhancement of the railway resource 16
- Afonin S. M. — Solution of matrix equations in the electro-elasticity problems for multilayered engines of nano- and micro-displacements 20
- Faskhiev Kh. A. — The longevity enhancement of the threaded connection 25
- Brovman T. V. — Utilization of the worn-out transport facilities 30
- Bondareva G. I. — Justification of the residual stresses redistribution in the melted plasma-sprayed coatings 32
- Klimenkov Yu. S., Legaev V. P., Moiseyanchik M. I. — Mathematical modeling of the automatic control system for the gas-static spindle support 35
- Tsumarev Yu. A., Ignatova E. V. — Carrying capacity of soldered joints with cover plates 41
- Efremov I. M., Lobanov D. V., Likhanov A. A., Ivasiiv D. M., Figura K. N. — Determination of rheological parameters of concrete mixtures regarding their criterion significance 44

A series of articles

«Problems of tribology — friction, wearing away and lubrication»

- Drozov Yu. N., Osipova E. P., Nazarova T. I., Makarov V. V., Abramov V. V., Afanas'ev A. V., Puchkov M. V. — Study of friction of the cladding samples of fuel elements and cells of spacing grids of the water-moderated reactor fuel assemblies 49

MANUFACTURING ENGINEERING

- Fatyukhin D. S. — Ultrasonic cleaning without damage of the detail's surface 53
- Koshin A. A., Chaplygin B. A., Isakov D. V. — Modern approach to the design of abrasive machining operations 57
- Kremen Z. I., Lebedev A. I. — The coarse-pored grinding wheels of boron nitride for the defect-free grinding 61
- Maksimovskiy D. E. — Automation of the manufacturing processes design based on the engineering and design parameterization 63
- Goncharov S. V. — Study of the mixing and homogenization processes of components in the production of antifricition materials 66
- Makarenko K. V. — Computer simulation and optimization structure of high-strength cast iron with ball-shape graphite 69

A series of articles

«Problems of theory and practice of materials cutting»

- Vorontsov A. L., Sultan-zade N. M., Albagachiev A. Yu., Savkin A. I. — Development of a new theory of thermal cutting processes. 8. Determination of optimal cutting conditions regarding the tool life 74

Chipless materials working

- Zinin M. A., Gavrilov S. A., Shchedrin A. V., Garkunov D. N. — Effect of the metal-cladding additive Valena on the combined treatment performance 77

ORGANIZATION AND ECONOMICS OF PRODUCTION

- Ganina G. E. — Conceptual framework for management of industrial and technological stability of the enterprise 81

TECHNICAL INFORMATION

- Mamiti G. I., Pliev S. Kh., Tedeev V. B. — Stability of a biaxial vehicle in a turn 85
- 12-th International Forum "Hi-Tech of XXI century" 87

Художественный редактор Т. Н. Галицына
Технический редактор Т. А. Шацкая
Корректор Е. В. Комиссарова

Сдано в набор 02.07.2011. Подписано в печать 16.08.2011.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 10,78. Уч.-изд. л. 11,93. Заказ 627.

Перепечатка материалов из журнала "Вестник машиностроения" возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 621.833.6

Ф. И. ПЛЕХАНОВ, д-р техн. наук, А. В. ОВСЯННИКОВ (Глазовский инженерно-экономический институт),
e-mail: gfi@gfi.edu.ru

Исследование нагрузочной способности планетарной передачи с внутренним зацеплением колес

Предложен аналитический метод определения нагрузочной способности планетарной передачи с внутренним зацеплением колес, основанный на решении уравнений совместности перемещений сопрягаемых зубьев.

Ключевые слова: планетарная передача, внутреннее зацепление, нормальная погонная нагрузка, изгибная прочность, нагрузочная способность.

An analytical method for determination the load capacity of a planetary gear with internal toothing, based on the solution of equations of the displacements compatibility of the conjugated teeth is proposed.

Keywords: planetary gear, internal toothing, the normal load per unit length, bending resistance, load-carrying capacity.

Планетарные передачи с ведущим эксцентриковым водилом и малой разницей чисел зубьев колес (Δz) обладают высокой нагрузочной способностью, большим передаточным отношением i в одной ступени, сравнительно малыми потерями мощности на трение. По классификации проф. В. Н. Кудрявцева [1] к таким передачам относятся передачи типов 2К-Н и К-Н-V. Последние наиболее эффективны из-за возможности выполнения их с двумя-тремя параллельно расположенными сателлитами. Одна из таких конструкций приведена на рис. 1 [2]. Передача содержит эксцентриковое водило 1, два одинаковых сателлита 2 с внешними зубьями, неподвижное центральное колесо 3 с внутренними зубьями и механизм передачи момента от сателлитов к ведомому валу, состоящий из жестко связанных с выходным валом дисков 4–6 и роликов 7, расположенных в отверстиях сателлитов и дисков. В процессе работы планетарного механизма ролики перекатываются по цилиндрическим поверхностям сопрягаемых с ними деталей, чем обеспечивается высокий КПД.

В указанной передаче профили зубьев колес имеют большой приведенный радиус кривизны, что гарантирует высокую контактную прочность зацеплений. Поэтому при проектировании привода следует прежде всего рассчитывать зубья сателлитов на изгибную прочность (в указанных передачах угол зацепления превышает 20° , а следовательно, коэффициент смещения исходного контура сателлита меньше аналогичного коэффициента центрального колеса, что отрицательно сказывается на прочности сателлита).

Из общеизвестной формулы расчета эвольвентного зуба колеса на изгибную прочность определим нормальную допустимую погонную нагрузку на зуб сателлита:

$$\omega_0 = \frac{\sigma_{F \lim b}^0 m K_{FL} K_{FC} K_y}{S_F Y_F K_F \cos \alpha}, \quad (1)$$

где $\sigma_{F \lim b}^0$ — предел изгибной выносливости; S_F — коэффициент запаса прочности; K_{FL} — коэффициент долговечности; Y_F — коэффициент формы зуба; α — угол профиля исходного контура; K_F — коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку, неравномерность распределения нагрузки по сателлитам и длине зуба; m — модуль зацепления; K_{FC} — коэффициент, учитывающий двустороннее приложение нагрузки; K_y — коэффициент, учитывающий механическую и термическую обработку зубьев, модуль и размеры колеса.

В зацеплении колес с малым значением Δz зазоры между зубьями небольшие, при приложении момента зубья деформируются, зазоры выбирают, и нагрузку несут одновременно несколько пар зубьев. Выражение (1) относится к наиболее нагруженной паре. В связи с этим для определения

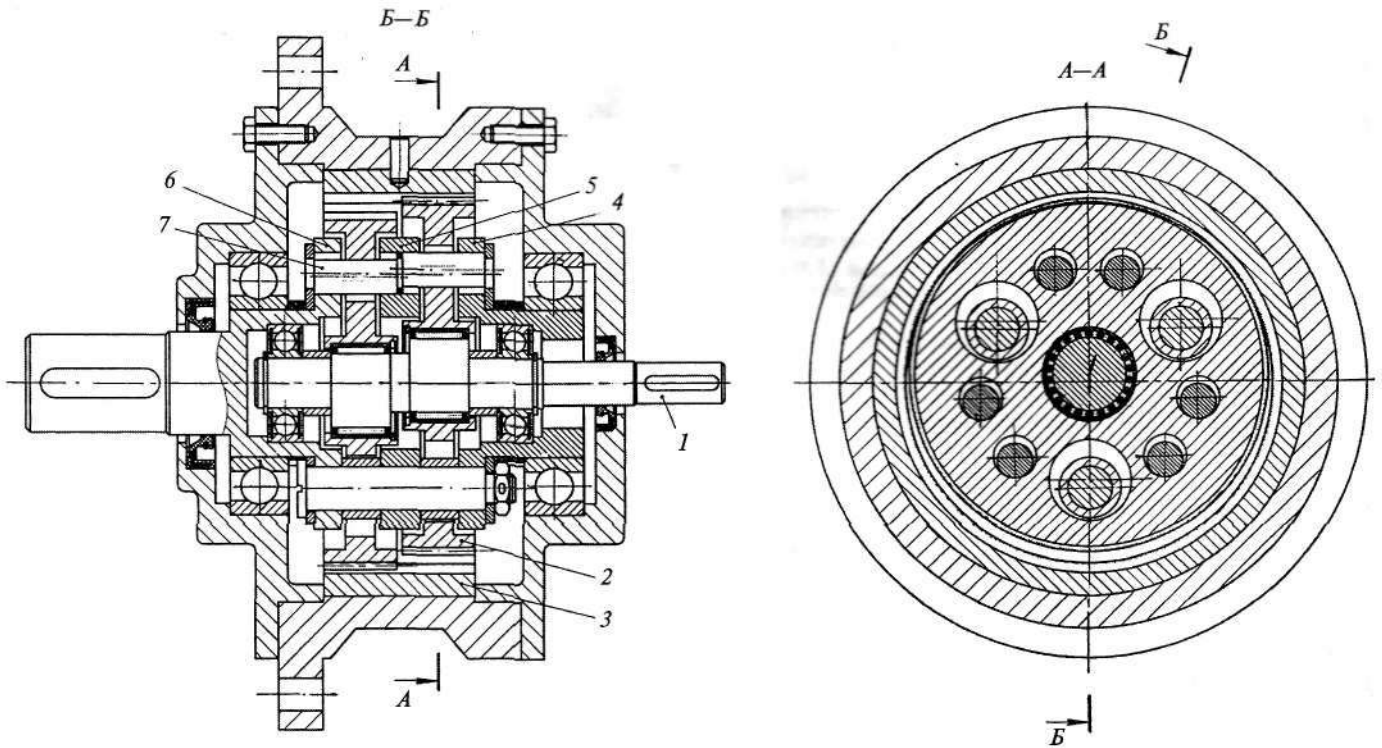


Рис. 1. Зубчато-роликковая планетарная передача с внутренним зацеплением колес и малой разницей чисел их зубьев

нагрузочной способности передачи следует найти число пар сопрягаемых зубьев и их нагрузку. Для этого используем уравнения совместности перемещений, учитывая, что $\omega_0 = c\delta$:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{i=1} &= \omega_0 - c\Delta_{i=1}; \\ \omega_{j=1} &= \omega_0 - c\Delta_{j=1}; \\ &\vdots \\ \omega_{i=n} &= \omega_0 - c\Delta_{i=n}; \\ \omega_{j=k} &= \omega_0 - c\Delta_{j=k}; \end{aligned} \right\} (2)$$

$$n_w \left(\omega_0 + \sum_{i=1}^n \omega_i + \sum_{j=1}^k \omega_j \right) = \frac{2T_g}{b_w d_{bg}}$$

Здесь Δ_i — зазор в i -й паре зубьев справа от пары контактирующих зубьев при отсутствии вращающего момента T_g на тихоходном валу; Δ_j — то же в j -й паре слева от контактирующих зубьев; δ — перемещение, обусловленное деформацией наиболее нагруженной пары; c — жесткость пары зацепляющихся зубьев ($c = 0,075E$ [3], где E — модуль упругости первого рода); ω_i и ω_j — нормальная погонная нагрузка в соответствующей паре зубьев при наличии момента на тихоходном валу; b_w — ширина венца одного сателлита; d_{bg} — диаметр основной окружности сателлита; n и k — число контактирующих пар зубьев соответственно справа и слева от наиболее нагруженной пары; n_w — число сателлитов.

Зазоры в зацеплении определяются в соответствии с рис. 2:

$$\Delta_i = (R_{ei} \sin v_{ei} - r_{ag} \sin v_{gi}) \cos(\alpha_{ag} - v_{gi});$$

$$\Delta_j = (R_{gj} \sin v_{gj} - r_{ae} \sin v_{ej}) \cos(\alpha_{ae} + v_{ej}),$$

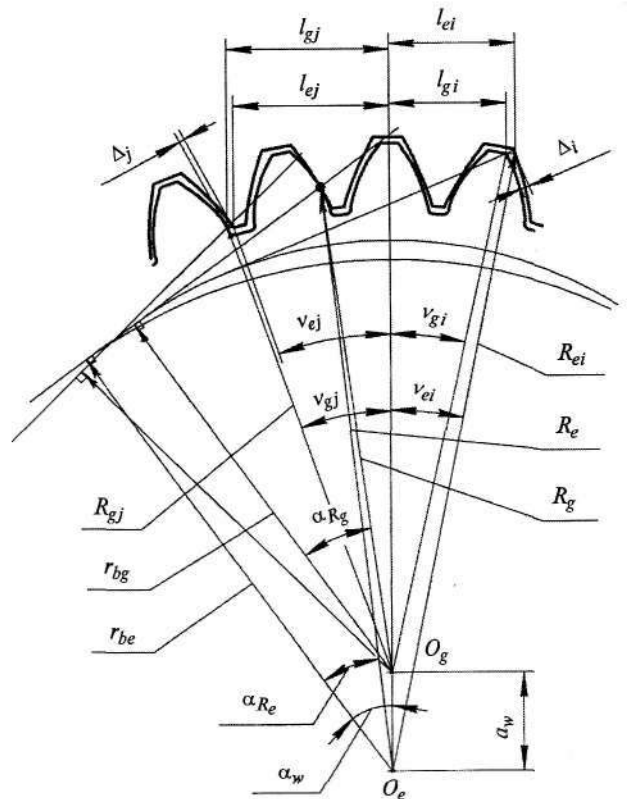


Рис. 2. Внутреннее эвольвентное зацепление колес

