

Олексієва Л. А, Іленко Є. Ю.

МЕТОД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКУ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ РЕДУКТОРІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Анотація. Проведені дослідження щодо алгоритму комплексного розрахунку циліндричних зубчастих косозубих передач з метою визначення найбільш раціональної методики розрахунку за умови забезпечення контактної міцності робочих поверхонь зубців і умови їх міцності на згин.

Отримані рекомендації дозволяють здійснити більш раціональний підхід до розрахунку циліндричних зубчастих косозубих передач і зменшити термін, який необхідний для ремонту передачі. Це може дати можливість покращити продуктивність всього виробничого комплексу.

Ключові слова: зубчасті циліндричні передачі, зубчасті колеса, розрахунок на міцність, зубці, геометричні параметри.

Abstract. Research conducted to develop an algorithm for the comprehensive calculation of cylindrical helical gears with the aim of determining the most rational calculation method, taking into account the contact strength of the working surfaces of the teeth and their bending strength, ensures strength over the entire service life.

The recommendations obtained allow for a more rational approach to the calculation of cylindrical helical gears and reduce the time required for the repair of aviation equipment. This can improve the productivity of the entire production complex.

Keywords: cylindrical gear transmissions, gear wheels, strength calculation, teeth, geometric parameters.

Вступ. Військові інженери, які експлуатують об'єкти озброєння та військову техніку в умовах війни, повинні добре знати основні види механізмів. Ці знання необхідні для ясного розуміння принципів роботи окремих механізмів та їх взаємодії в машині, що є визначальним при проведенні ремонту в екстремальних бойових ситуаціях.

Сучасні військові фахівці повинні досконало володіти методами конструювання та експлуатації приладів, високопродуктивних машин, редукторів, машин-автоматів, автоматичних ліній, які задовольняють високим вимогам надійності й точності відтворення переміщень робочого органу і т. ін.

Для передачі механічного руху від двигуна до виконавчого органа машини або приладу використовують різні передаточні механізми. Їх застосування обумовлено необхідністю узгодженості великої швидкості руху вихідної ланки двигуна і малої швидкості руху виконавчого органа машини або приладу, а також регулювання швидкості руху виконавчого органа, зважаючи на те, що швидкість вихідної ланки двигуна – практично стала величина.

Найпоширенішими у сучасному машинобудуванні та приладобудуванні серед механічних передач є зубчасті передачі. В авіаційній техніці та наземному обладнанні аеродромів найчастіше застосовуються зубчасті передачі, оскільки вони мають незначну масу, габарити та високу надійність.

Багатоваріантний характер інженерних рішень у процесі конструювання машини вимагає достатньої детальної розробки як методів розрахунку, так і методів прийняття обґрунтованих рішень щодо подальшої експлуатації зношених деталей.

Основний матеріал. Широке використання зубчастих передач пояснюється їх перевагами перед іншими видами. На працездатність зубчастих коліс впливає велика кількість конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів, що не дає можливості проаналізувати вплив кожного з них окремо. Особливо актуальним це питання стоїть в авіації.

При ремонті авіаційної техніки, яка має зубчасті колеса, необхідно мати чітке уявлення, як замінити відпрацьовані колеса і при цьому не завдавши шкоди чіткій роботі техніки і не

порушити геометричні і кінематичні параметри всієї конструкції даного комплексу, та зробити все з мінімальною витратою часу.

Зубчасті колеса зі зламаним зубцем або таким, який викришився не можна залишати в механізмі, це може призвести до поломки зубців сполучених коліс та до аварії складальної одиниці. При пошкодженні зубців шестірні ремонтують в окремих випадках, тому що неможливо гарантувати 100 % цілісність і працездатність конструкції. Знос зубців зубчастих коліс не повинен перевищувати 10-20% товщини зубця по дузі початкового кола. У маловідповідальних передачах знос зубців допускається до 30% товщини зубця, у передачах відповідальних механізмів значно нижче (знос не повинен перевищувати 15 % товщини зубця).

Зубчасті колеса зі зношеними зубцями, як правило, не відновлюють, а замінюють новими, придатними. Однак на невеликих ремонтних базах, що мають необхідне обладнання, використовуються деякі способи ремонту, які рекомендуються тільки для зубчастих коліс великого діаметру. У менш відповідальних передачах зубці великих коліс з ушкодженнями економічно доцільно відновлювати. Ремонт зношених зубців роблять наплавленням, а для поламаних зубців використовують зубчасті вкладиші, що закріплюють зварюванням або гвинтами. Однак такий ремонт застосовують як тимчасовий захід.

Звичайно, іноді умільці застосовують досить складні методики гарячого наплавлення для відновлення зубців, що можна застосувати в рамках великих підприємств. Відновлення методом наплавлення – технологія, що передбачає використання електродів, які забезпечують високу міцність та рівномірність шару після термічної обробки. Важливо пам'ятати, що це складна технологія, яка не завжди дає позитивний результат. Застосовують метод наплавлення в окремих випадках, якщо потрібно підправити зношені торці. Після наплавлення колеса дають повільно охолонути.

Деформовані або відламані зубці шестірні можна відновити за допомогою електродугового або газового зварювання. Технологію завжди вибирає майстер з урахуванням характеру пошкоджень та складності ремонтних робіт.

Поверхня зубця може бути відремонтована гарячим куванням. Порівняно з методом наплавлення поверхні зубця, цей метод простий у експлуатації. Кращий стан плавлення металу і якість легко забезпечити, але метод потребує процесу гарячого кування та відповідної складної підтримки обладнання, а також має високу вартість.

Метод вставки зубця використовується для відновлення зламаного зубця. Доцільно застосовувати для окремих зламаних зубців, якщо інші зубці шестерні неушкоджені (особливо слід звернути увагу на сусідні зубці до зламаних). У той же час, якщо точність зубчастого колеса не дуже висока і робоча швидкість низька, його можна відремонтувати методом вставки.

Поверхневі (або підповерхневі) зубчасті тріщини, які все ще стабільно ростуть, можна усунути шляхом шліфування або напилювання, щоб продовжити термін служби. При видаленні тріщин необхідно також видалити деформаційний шар на вершині тріщини.

Отже, існує багато способів відновлення зубчастих коліс. Нажаль не завжди цим можна скористатись. У відповідальних та швидкохідних агрегатах таке відновлення зубчастих коліс не допускається. Необхідно колеса замінювати.

Для виконання цієї задачі потрібно, перш за все, розрахувати конкретну зубчасту передачу, що потребує заміни (рис. 1). Розрахунок зубчастих циліндричних передач доволі складний і звичайно виконується в декілька етапів.

Це розрахунок робочих поверхонь зубчастих передач на контактну міцність, розрахунок зубців на міцність при згині, перевірочні розрахунки на контактні напруження та додаткові розрахунки – перевірочний розрахунок на контактну міцність при дії максимального навантаження і перевірочний розрахунок на міцність при згині максимальним навантаженням. Крім того, не дивлячись на те, що розрахунки зубчастих передач регламентовані державним стандартом, в підручниках і навчальних посібниках пропонуються багато методик, які відрізняються, наприклад, вибором основного проектного геометричного параметру (міжосьова відстань або дільний діаметр) або визначенням розрахункових коефіцієнтів. Це викликає певні непорозуміння і труднощі.

Для виявлення найбільш працездатної та раціональної конструкції для кожного механізму, що передбачає експлуатацію зубчастих коліс, ми рекомендуємо з початку об'єктивно оцінити якість і ефективність різних заходів, що спрямовані на економічність при

виборі конкретної методики розрахунку та підбору найбільш дешевих матеріалів коліс, а також, технологічність їх виготовлення, не знижуючи при цьому міцності та терміну працездатності.

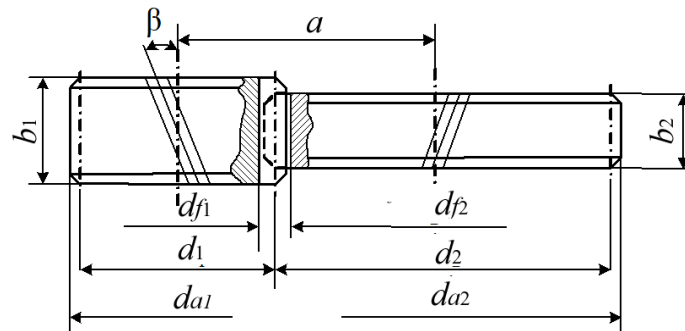


Рис. 1. Геометричні параметри зубчастої передачі

d – дільний діаметр, d_f – діаметр кола западин, d_a – діаметр кола вершин,
 a – міжосьова відстань, β – кут нахилу зубців, b – ширина вінця зубчастого колеса

Відомо, що геометричні розміри зубчастих передач певною мірою зв'язані між собою. Наприклад, міжосьова відстань, дільний діаметр і модуль зацеплення. Причому, при проектуванні зубчастої передачі незагального призначення основним геометричним параметром є модуль зацеплення, величина якого є стандартизованою.

Для цього пропонується після визначення розрахункового навантаження, вибору матеріалу і розмірів заготовки та допустимих контактних напружень і допустимих напружень на згин перейти до визначення основного геометричного параметру зубчастої передачі – модуля зацеплення за двох умов: за умови контактної міцності робочих поверхонь зубців і умови їх міцності на згин. Далі після порівняння величини цих модулів, більший з них округлюється в бік збільшення до стандартного. Це гарантовано забезпечує міцність зубчастої передачі як з точки зору контактних напружень, так і напружень на згин. Далі виконуються розрахунки геометричних і силових параметрів звичайним шляхом.

Як показують розрахунки, виконані за цією методикою і загально прийнятими рекомендаціями, їх результати суттєво не відрізняються, але дають певну економію часу. Крім того, запропонований алгоритм розрахунку дає можливість реалізувати його на ПЕОМ. Саме цим можна здійснити більш раціональний підхід до розрахунку зубчастих передач і зменшити термін, який необхідний для ремонту техніки.

Єдиної обґрунтованої системи розрахунку та проектування зубчастих коліс, незважаючи на існування стандарту, на даний час не існує. Отже, доцільним є проведення подальшої роботи в цьому напрямку та проведення додаткових порівняльних досліджень і утворення алгоритму комплексного розрахунку циліндричних зубчастих передач. Звичайно, що після цього необхідно звернути увагу на спрощення розрахунку не тільки циліндричних зубчастих косозубих передач, а й інших видів циліндричних та конічних передач.

Промислові підприємства та експлуатуючі організації повинні мати можливість визначення, які саме зубчасті колеса вони мають замовити і що потрібно зробити для здійснення надійності і довговічності діючої військової техніки. Маючи в своєму розпорядженні інформацію, яку систематично будуть отримувати підприємства, де виготовляють зубчасті колеса, можна не тільки постійно стежити за якістю та надійністю роботи своєї продукції у промислових умовах, а також забезпечувати випуск її з гарантованим підвищеним терміном служби. На підприємствах буде можливість визначити, які саме колеса необхідно замовити і що необхідно робити для збільшення їх надійності та довговічності.

Висновки. Досліджено вплив деяких факторів на працездатність зубчастих коліс, розглянуто питання їх заміни, ремонту та можливості визначення більш раціональної методики розрахунку циліндричних зубчастих косозубих передач. Запропонована методика повинна покращити продуктивність комплексу зубчастих коліс, що використовуються в авіаційній техніці.

Втілення цих рекомендацій та його результати допоможуть вирішувати задачі щодо підвищення надійності та довговічності зубчастих коліс, які використовуються під час ремонту агрегатів авіаційної техніки та скорочують процес виконання розрахунків та заміни зубчастих коліс в механізмах.

Список використаних джерел:

1. Олексієва Л.А. Зубчасті передачі. – Х.: ХУПС, 2009. – 62 с.
2. Олексієва Л. А., Іленко Є. Ю. Теорія механізмів та деталі машин. Курсове проєктування. – Х.: ХНУПС, 2022. – 148 с.
3. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. / В. Т. Павлице – Львів: Афіша, 2003. – 560 с.
4. Васильєва О.Е. Вплив зовнішніх динамічних навантажень на міцність зубчастих передач редукторів пожежного устаткування / О.Е. 268 Васильєва // Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми якості та довговічності зубчастих передач редукторів, їх деталей та вузлів». – Харків: НТУ «ХП», 2003. – Вип.№ 20.– С. 123-132.

Олексієва Людмила Андріївна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, e-mail: Lyudmyla682@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5830-2720> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

Іленко Євген Юрійович – канд. техн. наук, доцент, заступник начальника кафедри конструкції та міцності літальних апаратів та двигунів, e-mail: ijy280768@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9405-6598> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

Lyudmyla Oleksiyeva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Structure and Strength of Aircraft and Engines, e-mail: Lyudmyla682@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5830-2720> Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv

Yevhen Ilenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Department of Structure and Strength of Aircraft and Engines, e-mail: ijy280768@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9405-6598> Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv