

## Список літератури

1. Логистика: Интегрированная цепь поставок / Бауэрсокс Д. Дж., Олимп-Бизнес, 2001.
2. Гаджинский А. М. Логистика: Учебник для студентов высших учебных заведений. - М.: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К°", 2004.
3. Основы логистики: Учеб. пособие / Под ред. Л.Б. Миротина и В.И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М., 1999.
4. Основы логистики: Учеб. пособие/ Под ред. Л. Б. Миротина и В. И. Сергеева. - М.: ИНФРА-М., 2000.

**Mykola Moroz**

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*

### **Ways of passenger transportations improvement by transport of general usage**

The purpose of clause to prove the methodical and practical recommendations to improvement of urban Kremenchug passenger transportations.

The analysis of transport technology models of the passengers transportations is carried spent and is developed measures on improvement and development of a transport network of Kremenchug. The development of urban passenger transportations consists in wide introduction of means logistic of passenger transportations, which provide the purposeful decision of scientific-applied tasks and provide efficiency and quality of final results of activity of transport of general usage.

Proceeding from materials of the carried spent research on a transport Kremenchug network, and also technical condition of a main road network of city is designed the passengers capacity and quantity of vehicles on each route. From study of population demand on trolleybus routes the tendency of preservation passengers capacity is observed, that allows on the nearest prospect to save an existing network without adjustment changes of a transit and functioning of trolleybus routes.

### **transport network, passenger transportations, efficiency, transport of general usage**

Одержано 31.10.14

**УДК 62-752, 62-755**

**Ю.А. Невдаха, доц., канд. техн. наук, В.О. Дубовик, доц. канд. техн. наук, А.Ю. Невдаха, канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, uanevdaha@ukr.net*

## Теоретичне дослідження методів вдосконалення редукторів

В статті проведений теоретичний аналіз методів дослідження вдосконалення редукторів. Розглянуті технологічні та конструкторські рішення модернізації редукторів. Розглянута необхідність модернізації редукторів, внаслідок підвищення вимог до навантажувальної здатності. Запропоновано використання сучасних матеріалів при виготовленні редукторів.

### **редуктор, корпус редуктора, вал, зубчасте колесо, зубчасті передачі**

**Ю.А. Невдаха, доц. канд. техн. наук, В.А. Дубовик, доц. канд. техн. наук, А.Ю. Невдаха, канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет*

### **Теоретическое исследование методов усовершенствования редукторов**

© Ю.А. Невдаха, В.О. Дубовик, А.Ю. Невдаха, 2015

В статті проведено теоретичний аналіз методів дослідження удосконалення редукторів. Розглянуті технологічні та конструкторські рішення модернізації редукторів. Розглянута необхідність модернізації редукторів, в зв'язку з збільшення вимог по навантажувальній спроможності. Предложено використання сучасних матеріалів при виготовленні редукторів.

**редуктор, корпус редуктора, вал, зубчасте колесо, зубчаті передачі**

**Вступ.** В багатьох галузях народного господарства, а саме в металургійній, нафтодобувній, сільськогосподарській та інших, в приводах машин та агрегатах використовуються зубчаті передачі (редуктори) [1]. Експлуатаційна практика свідчить, що слабким місцем в цих машинах та їх агрегатах є редуктор.

До підвищення надійності і довговічності роботи редукторів, весь час зростають вимогами. А саме до зносостійкості, втомної та контактної міцності, жорсткості, антикорозійних властивостей і опору ударним навантаженням. У зв'язку з цим виникає необхідність модернізації та вдосконалення технології виготовлення окремих деталей редукторів. Особливу увагу при виготовленні деталей необхідно звертати на забезпечення точності розмірів і форми, а також надання поверхневому шару необхідних фізико-механічних властивостей.

### **1. Технологічні та конструкторські рішення модернізації редукторів**

У модернізації стандартних редукторів одним з основних є принцип конструктивної спадкоємності [1]. Це означає, що конструкції модернізованих редукторів побудовані на базі колишніх, які раніше застосовувалися у виробі або передбачають збереження всіх приєднувальних розмірів, що дозволяє споживачам без будь-яких додаткових витрат перейти до використання удосконалених конструкцій замість типових.

Модернізація редукторів - ідея не нова, вона може здійснюватися рядом технологічних та конструкторських рішень [1-4]:

а) підвищення твердості робочих поверхонь зубців для високонавантажених зубчастих коліс (використання зміцнюючої термічної або хіміко-термічної обробки таких як об'ємне гартування, цементация, азотування та інші);

б) точність виготовлення зубчастих коліс методом остаточної обробки зубців шліфуванням на спеціальних зубошліфувальних верстатах;

в) модернізації зубчастих коліс та передач за рахунок підвищення кінематичної точності, плавності роботи, контакту зубців та бічного зазору;

г) виготовлення зубчастих коліс з застосуванням більш якісних матеріалів.

При виготовленні зубчастих коліс з високою твердістю 50...60 HRC створюються деякі труднощі. При високій твердості заготовки, нарізування зубців дуже утруднене або зовсім неможливе, тому термообробку здійснюють після нарізування зубців [1]. Модернізація редукторів залежить від впровадження в виробничий процес нових методів хіміко-термічної та механічної обробки, що надає можливість підвищити несучу здатність зубчастих зацеплень, їх стійкості зносу та надійності зубчастих коліс.

Одним із удосконалених методів хіміко-термічної обробки зубчастих коліс є впровадження в виробництво процесу азотування, іонної цементации і нітроцементации, що забезпечують високі механічні властивості поверхневого шару зубів при зниженні рівня внутрішніх напружень і викривленні деталей.

Відомо, що зубці зубчастих коліс, які мають якісний поверхневий шар мають вищий рівень надійності та довговічності. Якість поверхневого шару повинна бути високою, а саме такою щоб при дії контактних напружень, температур і сил тертя робочі поверхні зубців могли протистояти втомному руйнуванню та пошкодженню робочих поверхонь. Тому в якості фінішної операції залишається операція зубошліфування, оскільки вона не має аналогів при забезпеченні точності виконання

всіх елементів зачеплення. Покращення та удосконалення процесу зубошліфування зумовлено використанням високотемпературних і високопористих шліфувальних кругів, а також з підбором режимів шліфування і оптимального складу мастильно-охолоджуючої рідини. Для покращення експлуатаційних властивостей після хіміко-термічної обробки виконують також притирання зубців коліс. Правильно виконаний процес притирання забезпечує високу якість поверхонь пар і знижує шумові характеристики передачі. Найбільш досконалим процесом притирання зубчастих пар на сьогодні є "турбо-притирання" (розроблено фірмою GLEASON).

Крім того працездатність зубчастих коліс в значній мірі залежить від правильного вибору геометрії зачеплення (форми і величини модифікації робочих поверхонь зубців), точності виготовлення і якості поверхневого шару зубців [2-4]. Тому від стандартних, модернізовані редуктори повинні відрізнятися конструктивними особливостями зубців передач і технологіями їх виготовлення. Наприклад числом заходів черв'яка і числом зубців колеса, розміром і розташуванням початкової плями контакту, твердістю зубців коліс і т.д.

В результаті довговічність модернізованих редукторів при однакових навантаженнях збільшиться в 1,6 - 3 рази [2]. Такі редуктори здатні сприймати підвищені в 1,4 - 2 рази навантаження при одночасному підвищеному опорі зносу і ККД. Здатність сприймати підвищені навантаження запобігає виникненню аварійних ситуацій, пов'язаних з поломками редукторів. А підвищений ресурс експлуатації дає економію, яка у кілька разів може перевищувати вартість самого редуктора.

Раніше в конструкціях типових черв'ячних редукторів згідно з принципом максимальної економії черв'ячних фрез і простоти збирання редукторів було передбачено модифіковане черв'ячне зачеплення, в якому початкова пляма контакту розташовувалась в середній частині зуба колеса. Ця конструктивна особливість була основною причиною зародження задирів на поверхні зубців, інтенсивного виділення тепла, зниженого ККД редуктора і невеликої довговічності черв'ячної передачі. Тепер в модернізованих редукторах використовується рекомендоване вченими оптимальне розташування початкової плями контакту біля торця зуба на виході. Тільки за рахунок цього нововведення ККД підвищується на 5 - 8%, зменшився знос зубців і їх нагрівання, а ресурс редуктора виріс в 1,2 - 1,4 рази [3].

В даний час одним із шляхів модернізації черв'ячних редукторів є застосування черв'ячних передач тороїдного зачеплення (з черв'яком увігнутого профілю). У порівнянні зі стандартними цей вид зачеплення забезпечує ряд переваг. Наприклад, при одному й тому ж навантаженні збільшується термін служби редуктора у 1,5 - 2 рази і передана ним потужність у 1,3 - 1,4 рази, підвищується ККД передачі на 10 - 30% та її міцність [4]. Крім того, така конструкція забезпечує покращені умови змащення в зоні контакту.

У циліндрично-тороїдному зачепленні реалізуються більш високі в порівнянні з відомими видами черв'ячних передач коефіцієнти перекриття, а саме в зачепленні знаходиться більша кількість зубців - до 7 одночасно. А розташування контактних ліній колеса забезпечує кращі умови для створення несучого гідродинамічного масляного шару між робочими поверхнями. Знижується радіальна сила в зачепленні. Відсутнє осьове зусилля на тихохідному валу.

Застосування нітроцементованої зубчастої передачі Новікова зі спеціальним профілем зубців коліс дозволяє відмовитися від таких фінішних операцій, як зубошліфування, зубохонінгування і зубошліфування, які збільшують трудові витрати і, як наслідок, вартість редуктора. Здатність навантаження зубчастої передачі Новікова 1,3 - 1,5 разів вища в порівнянні з евольвентним аналогом [2-4]. Допустиме

радіальне консольне навантаження, прикладене в середині посадочної частини в даному випадку менше ніж при евольвентному зачепленні. Тому модернізовані редуктори із передачами Новікова перевершують за технічними характеристиками редуктори з евольвентним зачепленням.

Також, одним із методів підвищення якості при виготовленні зубчастих передач є забезпечення необхідного контролю якості. Складність геометричної форми поверхонь зубців і вимога високої точності її забезпечення у виробництві визначає складність методів вимірювання параметрів зубчастих коліс. Вузькоспеціалізовані прилади поступилися місцем високоточним багатокординатним вимірювальним машинам (спеціалізованим і універсальним). Із спеціалізованих вимірювальних машин слід в першу чергу відзначити вимірювальні центри фірми KLINGELNBERG. За допомогою таких вимірювальних центрів, використовуючи відповідне програмне забезпечення, можна контролювати: циліндричні зубчасті колеса зовнішнього і внутрішнього зачеплення з прямими і косими зубцями; конічні зубчасті колеса з прямою та круговою формою зубців; черв'ячні фрези, шевери та зубонарізні долбляки; черв'яки і черв'ячні колеса. Таким чином, дотримання всіх умов технологічного процесу виробництва і багаторівневий контроль є однією з умов підвищення якості продукції.

У вітчизняному редукторобудуванні за узагальнений показник технічного рівня редукторів приймається питома матеріаломісткість, що дорівнює відношенню маси редуктора до допустимому обертовому моменту на тихохідному валу, регламентована ГОСТ 16162-78. Тому підвищення навантажувальної здатності, зниження питомої витрати матеріалів - основні шляхи вдосконалення і модернізації редукторів поряд з підвищенням якості, зниженням трудомісткості виготовлення, забезпеченням оптимальної надійності.

## **2. Підвищення вимог до навантажувальної здатності редукторів, та методика вибору їх габаритних розмірів**

В даний час збільшення навантажувальної здатності редукторів йде головним чином за рахунок виготовлення коліс з матеріалів з високими механічними характеристиками, застосування різних видів термічної і хіміко-термічної обробки зубчастих пар, що забезпечують необхідну твердість поверхонь зубців, підвищення їх точності, застосування раціональних конструкцій підшипникових вузлів, а також за рахунок використання в циліндричних редукторах зачеплення Новікова. Все це висуває певні вимоги до корпусів редукторів, а отже також є резервом при модернізації і вдосконаленні редукторів.

Зниження матеріаломісткості редукторів в чималому ступені залежить від зменшення ваги самих корпусних деталей, так як вони складають значну частину ваги редуктора. Корпуси редукторів є базовими несучими конструктивними елементами і являють собою складні просторові конструкції, призначені для забезпечення правильного взаємного розташування деталей відносно один одного, для захисту передач від зовнішнього середовища і створення ефективного змащення. Основним критерієм працездатності корпусів у зв'язку з їх призначенням є жорсткість, міцність, вібростійкість, герметичність.

Жорсткість корпусу впливає на якість зачеплення зубчастих коліс і працездатність підшипників [2]. Пружні деформації корпусних деталей призводять до відхилень від паралельності і перекосів зубчастих коліс, і як наслідок, до великої нерівномірності розподілу навантаження по ширині зубчастого вінця, внаслідок чого фактична довговічність зубчастих коліс виявляється меншою ніж розрахункова. При недостатній жорсткості корпусу прогин стінок від зусиль в зачепленні може призвести

до неприпустимо великих зазорів в підшипниках і як наслідок непаралельність осей і валів може в кілька разів перевищити кут перекосу від прогину валів, що приймається в розрахунок при визначенні коефіцієнту концентрації навантаження в підшипниках.

При недостатній жорсткості фланців за рахунок деформацій корпусу може відбутися розкриття стику, що веде до зниження працездатності різбових деталей, підшипників і зубчастих передач, а також до витoku масла по стику корпусних деталей.

Недостатня міцність корпусу призводить до того, що відколюються консольно-розташовані лапи, фланці, відбувається поломка корпусу найчастіше в області підшипникових вузлів. Зниження ваги корпусу можна отримати, проектуючи більш досконалі конструкції корпусів, що мають достатню жорсткість і міцність за рахунок раціонального, теоретично обґрунтованого вибору форми, розмірів і розташування конструктивних елементів, а також за рахунок використання нових матеріалів. Традиційним матеріалом для корпусів редукторів є сірий чавун, але останнім часом почали широко застосовуватися більш легкі алюмінієві сплави, що мають відносно низький модуль пружності, високий коефіцієнт лінійного розширення, тобто володіють невисокою твердістю, зносостійкістю, великим температурним видовженням. Це викликає необхідність дослідження жорсткості і міцності конструкцій корпусів з алюмінієвих сплавів.

Корпуси редукторів проектуються відповідно до вимог технологічності, зручності обробки поверхонь, монтажу передач, оглядів та ремонту при експлуатації [1]. Основні розміри і конструктивна форма корпусних деталей на практиці вибираються на підставі вивчення працездатності аналогічних конструкцій, використовуючи емпіричні залежності, що зв'язують розміри корпусу з параметрами редуктора. Зокрема, товщина стінок корпусу визначається забезпеченням необхідної жорсткості і технологічними можливостями отримання виливки. Існуючі методи розрахунку корпусів редукторів на жорсткість і міцність дуже наближено враховують реальні конструктивні форми, розміри, умови навантаження корпусів і забезпечення працездатності зубчастих передач і підшипників. Тому підвищення жорсткості і міцності корпусних деталей редукторів дозволить збільшити навантажувальну здатність передачі і як наслідок ресурс всього редуктора.

Редуктори працюють в різних умовах і режимах експлуатації. Методика вибору оптимальних габаритних розмірів редукторів, що запобігає багатьом поломкам і аваріям полягає в наступному:

У визначенні розрахунково-експлуатаційне значення крутного моменту  $T_{ВИХ}$  на вихідному валу за виразом:

$$T_{ВИХ} = T_{РОЗР} \cdot K_E ,$$

де  $K_E$  - експлуатаційний коефіцієнт, що враховує фактичні умови експлуатації та режим роботи редуктора

$$K_E = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 .$$

Значення коефіцієнтів  $K_1 - K_7$  вибираються відповідно до даних наведених у таблицях 1-7, [5] стор. 18 виходячи з фактичних умов та режимів експлуатації редукторів.

За таблицями технічних характеристик, відповідно обраному типу редуктора порівнюється розрахункове значення передаточного відношення з табличним і знаходиться їх найближче менше  $U_M$  і найближче більше значення  $U_B$ .

Для знайдених передаточних відношень  $U_M$  і  $U_B$ :



а) порівнюються табличні значення частот обертання валів редуктора  $n_1$  і  $n_2$  з їх вихідними (необхідними) значеннями; порівнюються також табличні значення передаваних моментів  $T$  і коефіцієнта корисної дії  $\eta$ ;

б) з двох значень  $U_M$  і  $U_B$  вибирається передаточне відношення  $U$  редуктора залежно від найбільш впливових конструкторсько-експлуатаційних факторів, таких як:

- мінімум відхилення від необхідного значення параметра  $n_2$ ;
- максимум ккд;
- максимум переданого моменту.

в) для вибраного значення  $U$  порівнюються табличні значення моментів на вихідних валах  $T_2$  з розрахунковим значенням  $T_{ВИХ}$  і знаходяться:

- найменші значення крутного моменту  $T_{2M}$ ;
- найбільші значення крутного моменту  $T_{2B}$ .

Потім визначається:

- типорозмір редуктора, який відповідає найближчому меншому значенню моменту  $T_{2M}$ ;

- типорозмір редуктора, який відповідає найближчому більшому значенням моменту  $T_{2B}$ .

Порівнюються техніко-експлуатаційні показники, габарити і маса редукторів і виконується конструктивно-експлуатаційний аналіз з метою визначення можливості вибору редуктора найближчого меншого типорозміру. Для цього переглядається конструкція машини (умови і режими її експлуатації) з метою зменшення значення експлуатаційного коефіцієнта  $K_E$  і, відповідно, зменшення розрахунково-експлуатаційного моменту  $T_{ВИХ}$  до значення  $T_{ВИХ} \leq T_{2M}$ .

### 3. Використання сучасних матеріалів при виготовленні редукторів

Вдосконалення редукторів неможливе без застосування якісних і нових матеріалів. Для покращення якості металічних матеріалів використовують порошкову металургію. Вона включає процеси виробництва металічних порошків і спікання з них виробів. Сучасна порошкова металургія займається, по-перше, створенням матеріалів і виробів з такими характеристиками (склад, структура, властивості), яких досі неможливо досягти відомими методами плавки; по-друге, виготовленням традиційних матеріалів і виробів, але за вигідніших техніко-економічних показників виробництва.

Серед неметалічних матеріалів, які починають застосовувати в сучасному редукторобудуванні, важливого значення набули полімери на основі фенолформальдегідних смол, полівінілхлориду, поліетилену і фторопластів. Ці матеріали, на відміну від металічних, мають високу стійкість до агресивних середовищ, низьку густину, високий опір стиранню, добрі діелектричні і теплоізоляційні властивості. Окрім цього, важливе значення мають каучуки та різні матеріали на їх основі - бутилкаучук, фторкаучук, силіконові каучуки тощо.

**Висновки.** Розробка нових, вдосконалених і модернізованих існуючих конструкцій редукторів ґрунтується на застосуванні методик розрахунку і оптимізації, нормативно-технічна база яких для розрахунків на втомну міцність базується на дослідженнях 20 - 30 річної давності [1-4]. На основі них створені галузеві стандарти та документи, які практично без змін увійшли і введені в дію керівні нормативні документи Міністерства машинобудівної промисловості України (наприклад, КД 12.10.040-99 і КД 12.10.041-99). Сьогодні в машинобудуванні застосовуються методи

розрахунку на втомну міцність засновані на використанні коефіцієнтів запасу міцності, які визначаються як відношення граничних амплітуд напружень до робочих. При визначенні робочих амплітуд напружень приймається режим роботи машини, відповідний сталого моменту електродвигуна, а також враховується випадковий характер робочих навантажень, який оцінюється коефіцієнтом варіації крутного моменту в трансмісії. Зазначений коефіцієнт визначається розрахунковим шляхом за відповідними методиками, враховує змінність навантаження на виконавчих органах, змінність показників роботи і динамічні властивості машини. Коефіцієнти запасу міцності порівнюються з нормативними значеннями, отриманими на основі досвіду експлуатації машин. Основним недоліком зазначених методів розрахунку є те, що вони не дозволяють отримати показники довговічності редуктора (наприклад, гамма-процентний ресурс) для заданих технічних умов експлуатації машини і не враховують впливу на втомну міцність фактичних режимів роботи машин і максимальних пікових навантажень. Недосконалість існуючого методу особливо наочно проявляється при розрахунку валів і осей на витривалість. Наприклад, число циклів зміни напружень кручення приймається таким же, як і число циклів зміни напружень згину, які в свою чергу визначаються частотою обертання валу. Насправді, процес зміни напружень згину та кручення валів редуктора має складний, неоднаковий характер, причому напруження кручення на всіх валах редуктора змінюються однаково, а напруження згину суттєво по різному. Тому крім конструктивних і технологічних методів вдосконалення редукторів необхідно приділити увагу розробці і впровадженню нових методів розрахунку редукторів.

## Список літератури

1. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник.– К. : Вища шк., 1993.- 556 с.
2. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. - М. : Машиностроение, 1975. - 488 с.
3. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В.П. Когаев, Н.А. Махутов, А.П. Гусенков. - М. : Машиностроение, 1985. - 224 с.
4. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. - М. : Машиностроение, 1993. - 364 с.
5. В.И.Парубец, А.Е.Кузьмин. Методика підбора червячних редукторів, предотвращающая множество поломок и аварий. Редукторы и приводы. №1 (03) 2007.

**Yriy Nevdaha, Vsktor Dubovik, Andrew Nevdaha**

*Kirovograd national technical university*

### **Theoretical research of methods of improvement of reducers**

In article the theoretical analysis of methods of research of improvement of reducers is carried out.

Considered such technological and design solutions reducers modernization as increased hardness of working surfaces of the teeth, making precision gears, gears modernization and transfers by increasing the kinematic precision manufacturing gears using higher quality materials.

The necessity modernization of reducers, due to increased load capacity requirements.

The use of modern materials made with gears.

**reducer, reducer case, shaft, cogwheel, tooth gearings**

Одержано 30.04.15