

ОБ'ЄМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОСТУПІНЧАСТОГО КОСОЗУБОГО РЕДУКТОРА В AUTOCAD

У статті проведено аналіз конструктивних особливостей редукторів, виконано розрахунки геометричних параметрів елементів, що складають одноступінчастий косозубий редуктор, які є вихідними даними для геометричного моделювання об'ємного зображення редуктора. Показано прийоми та методи створення моделей окремих елементів редуктора, які виконано в середовищі графічної системи AutoCAD. Наведено методику збірки складових елементів та подано змодельоване наочне зображення одноступінчастого косозубого редуктора.

Ключові слова: об'ємне моделювання, одноступінчастий косозубий редуктор, габаритні розміри, геометричні моделі елементів

Конструювання об'ємних геометричних моделей технічних деталей, вузлів та механізмів є негайною потребою сьогодення. Враховуючи широке коло практичного використання тих або інших різновидів редукторів у різноманітних технічних напрямках виникла необхідність створення геометричних моделей редукторів. У теперішній час, коли всі проектні організації, конструкторські бюро та інші суб'єкти, які пов'язані з проектуванням машин і механізмів, відмовилися від ручного креслення на користь комп'ютерної графіки, питання моделювання тривимірних зображень є вкрай важливим і актуальним. Крім того, актуальність теми роботи з аналізу особливостей формування 3-D моделі редуктора обумовлюється широким спектром практичного застосування механізму.

Інструментом геометричного моделювання обрано графічну систему AutoCAD, яка є найбільш розповсюдженою для практичного використання у всьому світі. Завдяки останнім досягненням у галузі комп'ютерної інженерії стало можливим створювати об'ємні моделі складних технічних об'єктів. Саме такий складний технічний об'єкт – циліндричний одноступінчастий косозубий редуктор, призначений для приводу стрічкового транспортера, обрано в роботі для моделювання.

Редуктор – це механізм, конструкція якого включає зубчасті або черв'ячні передачі, що розміщені у відособленому закритому корпусі та функціонують в масляній ванні [4, 125–132; 5, 258–283]. Найпростіший редуктор циліндричний одноступінчастий являє собою два зубчасті колеса з різною кількістю зубців, встановлених на двох різних валах. Ведучий вал обертається приводом, обертання через зубчасте зачеплення коліс передається на ведений вал, який, у свою чергу, віддає крутний момент навантаженню.

Широке застосування редукторів в різних галузях техніки стало можливо завдяки зміні передаточного числа у великому діапазоні. Практично всі крани, кран-балки, транспортувальні лінії, ескалатори, ліфти, конвеєри мають у своєму складі редуктор. Сучасний список подібних механічних агрегатів вкрай широкий та включає в себе такі складні види, як варіатори, мультиплікатори, турборедуктори.

За особливостями конструкції вузла механічної передачі обертання ці механізми можуть підрозділятися на циліндричні, планетарні, черв'ячні та ланцюгові. Вибір певного типу передачі залежить від особливостей та умов функціонування механізму. Крім вказаних вище типів передач в промисловості використовуються циліндрична та конічна зубчасті передачі; гіпоїдна (спіроїдна) передача, ланцюгова, ремінна, гвинтова та хвильова передачі. Широкий спектр різноманітних передач дає можливість вибору необхідного проектного рішення в залежності від призначення механізму та його функцій.

Практичне промислове проектування циліндричних редукторів передбачає виконання багатьох видів розрахунків: кінематичних, габаритних та розрахунків на міцність всіх елементів редуктора: приводу, зубчастих коліс та валів. У даній роботі приведемо тільки розрахунки, які стосуються геометричних параметрів складових елементів редуктора для можливості проведення їх геометричного моделювання та 3-D представлення.

3 кінематичного розрахунку редуктора стають відомими дані (табл. 1), що є необхідними для виконання подальших геометричних розрахунків.

Таблиця 1

Дані кінематичного розрахунку одноступінчастого косозубого редуктора

Найменування	Позначення	Величина	Розмірність
ККД	η	0,96	%
Передаточне число,	U	4,9	
Крутний момент на вихідному валу,	T_2	430	Н·м
Потужність на вихідному валу	P_2	13	кВт
Частота обертання на вихідному валу	n_2	300	об/хв

Габаритний розрахунок зубчастих коліс редуктора [4, 187;5, 264] передбачає визначення відстані між осями, кількості зубців шестерні та колеса, розрахунок валів і вибір підшипників кочення.

Міжосьова відстань обчислюється за формулою:

$$a_w = K_a \cdot (U + 1) \cdot \sqrt{\frac{T_2 \cdot K_{H\beta}}{[\sigma_H]^2 \cdot U^2 \cdot \psi_{H\alpha}}} = 49 \cdot (4,9 - 1) \cdot \sqrt{\frac{430 \cdot 10^3 \cdot 1,25}{410^2 \cdot 4,9^2 \cdot 0,4}} = 176.$$

Оскільки $a_w = 176$ мм, то приймаємо по ГОСТ 2185-66 $a_w = 180$ мм. Модуль зачеплення із ГОСТ 9563-60 $m_n = 4$ мм, кут нахилу зубів $\beta = 11$.

Кількість зубців шестерні і колеса $z_1 = \frac{2 \cdot a_w \cdot \cos \beta}{(U + 1) \cdot m_n} = \frac{2 \cdot 180 \cdot 0,981}{(4,9 + 1) \cdot 4} = 15$; $z_2 = z_1 \cdot U = 15 \cdot 4,9 = 73,3$. Приймаємо: $z_1 = 15$; $z_2 = 73$.

Основні розміри шестерні і колеса:

а) ділильні діаметри для шестерні $d_1 = \frac{m_n \cdot z_1}{\cos \beta} = \frac{4 \cdot 15}{0,981} = 60$ мм; для колеса $d_2 = \frac{m_n \cdot z_2}{\cos \beta} = \frac{4 \cdot 73}{0,981} = 300$ мм.

Діаметри виступів для шестерні $d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_n = 60 + 2 \cdot 4 = 70$ мм; для колеса $d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_n = 300 + 2 \cdot 4 = 308$ мм.

Діаметр западин: для шестерні $d_{f1} = d_1 - 2,5 \cdot m_n = 60 + 2,5 \cdot 4 = 52$ мм; для колеса $d_{f2} = d_2 - 2,5 \cdot m_n = 300 + 2,5 \cdot 4 = 288$ мм.

Ширина колеса $b_2 = \psi_{ba} \cdot a_w = 0,4 \cdot 180 = 172$ мм, ширина шестерні $b_1 = b_2 + 5 = 172 + 5 = 177$ мм.

Для розрахунку валів і вибору підшипників кочення розглянемо спочатку ведучий вал. Діаметр вихідного кінця валу $d_{v1} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_1}{\pi \cdot [\tau_K]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 98,2 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 20}} = 28$ мм. Приймаємо $d_{v1} = 30$ мм. Діаметр валу під підшипниками $d_{п1} = 40$ мм.

Вибираємо підшипники кочення для ведучого валу 308 – $d = 40$ мм; $D = 90$ мм; $B = 23$ мм. Приймаємо шпонку під муфтою $8 \times 7 \times 4$.

Ведений вал розраховуємо аналогічно. Діаметр вихідного кінця валу

$$d_{v2} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_2}{\pi \cdot [\tau_K]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 430 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 20}} = 48 \text{ мм. Приймаємо } d_{v2} = 50 \text{ мм.}$$

Діаметр валу під підшипниками $d_{п2} = 55$ мм; Діаметр валу під шестернею $d_{к2} = 60$ мм.

Вибираємо підшипники кочення для ведучого валу 111 – $d = 55$ мм; $D = 90$ мм; $B = 18$ мм.

Підбираємо шпонку під колесом $18 \times 11 \times 7$.

Виконаємо габаритний розрахунок маточини. Діаметр маточини $d_{мт} = 1,6 \cdot d_{к2} = 1,6 \cdot 60 = 96$ мм; довжина маточини $l_{мт} = 1,5 \cdot d_{к2} = 1,5 \cdot 96 = 90$ мм; товщина обода $\delta_0 = 3 \cdot m_n = 3 \cdot 4 = 12$ мм; товщина диска $C = 0,3 \cdot b_2 = 0,3 \cdot 72 = 22$ мм.

Габаритний розрахунок корпусу редуктора поділяється на декілька частин. Товщина стінок корпусу і кришки $\delta = 0,025 \cdot a_w + 1 = 0,025 \cdot 180 + 1 = 5,5$ мм. Приймаємо $\delta = 8$ мм.

Товщина фланців корпусу і кришки : верхнього поясу корпусу і кришки $b = 1,5 \cdot \delta = 1,5 \cdot 8 = 12$ мм; нижнього поясу корпусу $p = 2,35 \cdot \delta = 2,35 \cdot 8 = 18,8$ мм. Приймаємо $p = 20$ мм.

Зазор між торцем шестерні і корпусом $A_1 = 1,2 \cdot \delta = 1,2 \cdot 8 = 9,6 \text{ мм}$.

Зазор між вершинами зубців колеса і стінки корпусу $A = \delta = 8 \text{ мм}$.

Ширина розпірного кільця $y = 10 \text{ мм}$.

Діаметри фундаментних болтів $d_1 = 0,031 \cdot a_w + 12 = 0,031 \cdot 180 + 12 = 17,40 \text{ мм}$. Приймаємо $d_1 = \text{M20 мм}$.

Діаметри болтів біля підшипників $d_2 = 0,7 \cdot d_1 = 0,7 \cdot 20 = 14 \text{ мм}$. Приймаємо $d_2 = \text{M14 мм}$.

Діаметри болтів для з'єднання кришки з корпусом $d_3 = 0,7 \cdot d_1 = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ мм}$. Приймаємо $d_3 = \text{M10 мм}$.

Описаної вище інформації достатньо для виконання об'ємного моделювання елементів редуктора. Приведемо методику конструювання геометричних моделей елементів в середовищі проектування AutoCAD 2014 російськомовна версія.

Для створення геометричних образів використовуються команди креслення графічних примітивів ЛІНІЯ, ПОЛІЛІНІЯ, ДУГА, ОТРЕЗОК, ОКРУЖНОСТЬ, МНОГОУГОЛЬНИК, ПРЯМОУГОЛЬНИК, які скомпоновані в каталозі РИСОВАНИЕ. Формування двовимірних контурів необхідної форми здійснюється командами редагування графічних примітивів ПЕРЕНОС, 2D І 3D ПОВОРОТ, КОПИРОВАНИЕ, ОБРЕЗАТЬ, ПРОДЛИТЬ, СОПРЯЖЕНИЕ, МАССИВ, ПОДОБИЕ, СПИРАЛЬ, РАСЧЛЕНИТЬ, ОТОБРАЗИТЬ ЗЕРКАЛЬНО, СОЕДИНИТЬ [1, 15–36].

Для конструювання твердотільних моделей елементів редуктора використовуються такі стандартні команди створення як ЯЩИК, ЦИЛИНДР, СФЕРА [2, 89–105],. Способами формування тривимірних об'єктів ВИДАВИТЬ, ВРАЩАТЬ, СДВИГ, ВИТЯНУТЬ [3, 63–77] тощо, які містяться у каталозі 3-D МОДЕЛИРОВАНИЕ, створюються отвори в кришках, профілі різьби та інші елементи. Крім цього при геометричному моделюванні елементів редуктора використовуються операції Булевої алгебри ОБЪЕДИНЕНИЕ, ВЫЧИТАНИЕ, ПЕРЕСЕЧЕНИЕ [3, 78–82].

Розглянемо методику побудови об'ємних моделей елементів редуктора. Принцип створення деталей типу тіла обертання полягає у тому, що спочатку командами двовимірного моделювання будуватиметься плоский контур, потім він перетворюється в область і обертається навколо визначеної осі.

Розглянемо побудову на прикладі глухої кришки підшипника. За визначеними розмірами будемо замкнений контур для обертання, наступним кроком використовуючи команду ОБЛАСТЬ перетворимо всі побудовані лінії в єдину область (рис. 1).

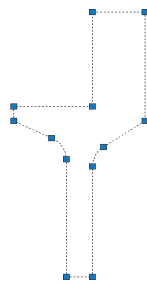


Рис. 1. Замкнений контур

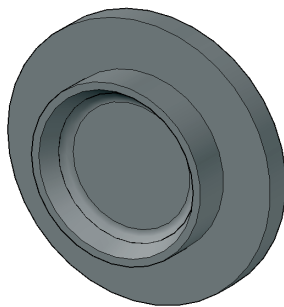


Рис. 2. Кришка підшипника глуха

Далі командою Обертати отримуємо об'ємну модель, яку для наочності розташуємо в одному із аксонометричних зображень (наприклад у південно-західній ізометрії із каталогу ВИД / Виды) та розфарбуємо командою ВИД / Стили візуалізації / Концептуальний. Остаточний отриманий вигляд сформованої кришки підшипника глухої показано на рис. 2.

За аналогічною методикою будемо глуху кришку підшипника веденого валу, мазеутворюючи кільця, жезловий масло покажчик, розпірні кільця тощо.

Для створення отворів в кришках підкріпильні болти використовуємо команду Круговий масив. Щоб в подальшому була можливість ці отвори витягнути вибираємо команду Розчленувати і застосуємо її до масиву. Для наочного представлення кришки вибираємо команду Вид / ЮВ ізометрия, потім командою ВИТЯНУТЬ формуємо всі отвори. За таким алгоритмом створюються чотири кришки підшипників ведучого і веденого валів (рис. 3).

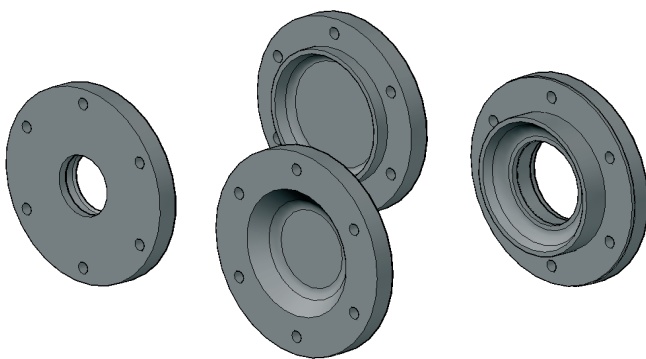


Рис. 3 Кришки підшипників

Алгоритм формування *геометричних моделей підшипників валів* схожий на описаний вище: створюємо контур для обертання (рис. 4), а потім круговим масивом копіюємо сфери. Наочне зображення підшипника кочення подано на рис. 5.

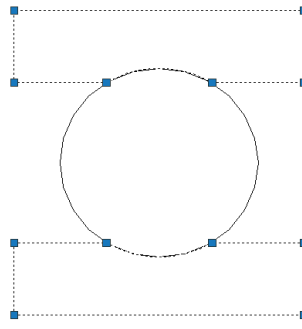


Рис. 4. Контур обертання підшипника

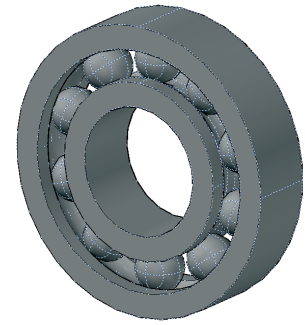


Рис. 5 Підшипник кочення

Створення геометричних *об'ємних моделей валів* можна виконати двома способами – обертання або витягування. Для способу обертання викреслюється плоский контур з урахуванням фаски та обертається навколо горизонтальної осі. Спосіб витягування передбачає створення кіл необхідних діаметрів, формування відповідних областей та витягування на потрібні відстані. Фаски виконуються командою ФАСКА. Далі моделюються пази під шпонку: креслимо контур шпонки в потрібному місці, потім видавлюємо на певну глибину, після чого вилучаємо змодельовану фігуру з валу. На валу-шестерні виконуємо профілі зубців (методика їх побудови показана нижче). В результаті отримуємо готові до компонування редуктора моделі валів (рис. 6).

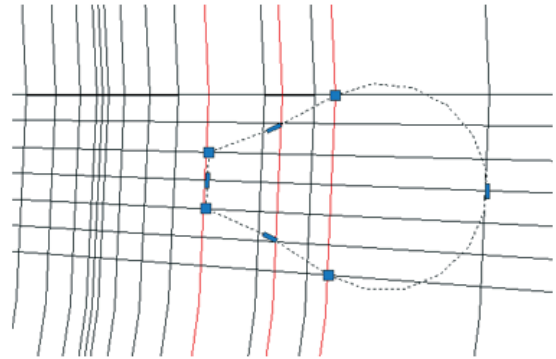


Рис. 6 Область профілю між зубцями

Найбільш цікавим з точки зору зображення елементом редуктора і таким, що здійснює передачу крутного моменту з одного валу на інший, є *косозубе зубчасте колесо*. Розглянемо поетапно методику геометричного моделювання колеса, габаритні розміри якого наведені вище в розрахунку.

Побудова зображення колеса аналогічна описаним вище моделям. Створюємо контур перетину колеса, робимо його областю та обертаємо навколо осі. Формуємо 8 отворів діаметром 25 мм в диску колеса. Після цього зробимо паз для шпонки та побудуємо профілі зубців.

Моделювання контуру евольвентного профілю зуба показано на рис. 6. З центру колеса на виді зліва командою Відрізок проведемо 4 відрізка довжиною 164 мм, а кут між ними $1,44^\circ$. Після цього проведемо бісектриси отриманих кутів, далі створюємо коло радіусом довжини відрізка. Також проводимо кола діаметром рівним діаметрам западин і ділильної окружності зубців, які вказані в розрахунках. Після цього будуємо профіль між зубцями командою Дуга за трьома точкам. З'єднуємо точки перетину прямих і бісектрис з колами западин. Командою РЕДАКТИРОВАТЬ ПОЛІЛІНІЮ з усіх дуг створюємо одну полілінію (див. рис. 9), яка відображає профіль між зубцями.

Створення *косозубого 3D профілю між зубцями* здійснюється таким чином. За формулою $t = \pi \cdot d \cdot \tan(90^\circ - \beta)$ обчислюємо висоту спіралі $t = 3.14 \cdot 306 \cdot \tan(90^\circ - 11^\circ) = 4200$. Потім вибираємо команду СПИРАЛЬ, вказуємо початок спіралі. В кінцевій частині маточини радіуси витків дорівнюють радіусу виступів зубців, вводимо кількість витків 0,06 і висоту 4200. За отриманою траєкторією командою СДВИГ створюємо 3D профіль між зубцями (рис. 7).

Моделювання *косозубих зубців колеса* здійснюється командою Круговий масив, якою робимо потрібну кількість западин, що залежить від кількості зубців. Після чого командою РАСЧЛЕНИТЬ розбиваємо масив, віднімаємо западини з колеса і видаляємо допоміжні лінії. В результаті отримуємо косозубе колесо. Для отримання моделі косозубого зачеплення потрібно дзеркально відобразити траєкторію зсуву профілю зуба та виконати щойно описані операції для моделювання валу-шестерні. У результаті отримуємо вал-шестерню і косозубе колесо (рис. 8).

Останнім етапом створення геометричної моделі є формування 3D креслення редуктора. Для цього змодельуємо зображення корпусу та кришки, розміри яких було розраховано вище. Під час моделювання застосовуються операції ПЕРЕМЕЩЕНИЕ, ОБЪЕДИНЕНИЕ, ВЫЧИТАНИЕ, ЗЕРКАЛЬНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ, ВЫДАВЛИВАНИЕ, ВЫТЯГИВАНИЕ [2, 130–138], а також використовуються команди побудови графічних примітивів.

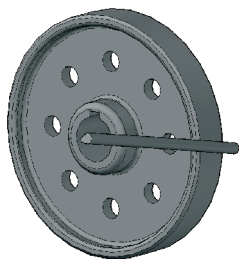


Рис. 7. 3 D профіль між звбцями

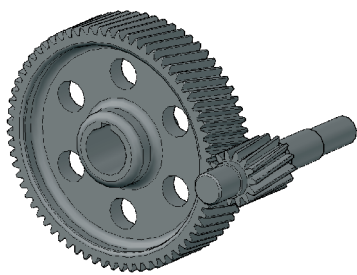


Рис. 8. Косозубе зачеплення колеса та валу шестерні

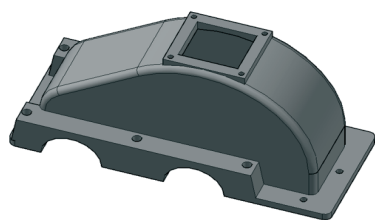
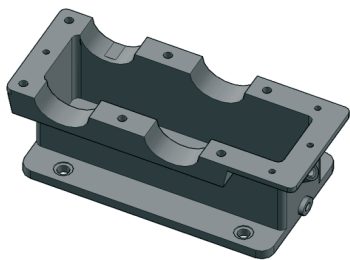


Рис. 9. Корпус редуктора та кришка корпусу

На відміну від описаних вище побудов для деталей типу тіла обертання, геометричне моделювання корпусу та кришки виконувалось за таким алгоритмом. Створюємо половину нижнього поясу кришки з отворами під фундаментні болти; зверху на поясі креслимо контури боковини корпусу та витягуємо зображення на певну висоту, робимо отвори під масляну пробку та жезловий масло-показчик. Потім моделюємо верхній пояс з відливами під кріплення кришок підшипника та робимо отвори під болти, що скріплюють корпус та кришку. Формуємо місця посадки під підшипники. Віддзеркалюємо половину корпусу та об'єднуємо ці дві половини.

При моделюванні кришки робимо пояс та відливи під кріплення з місцями посадки під підшипники; віддзеркалюємо половину кришки та об'єднуємо ці

дві половини в єдине ціле. Оформлюємо отвір для оглядового вікна. Отримані об'ємні моделі корпусу та кришки приведено на рис. 9.

Після створення зображень всіх складових елементів редуктора, розташовуємо їх на різних шарах одного креслення, змінюючи їх колір і встановивши стиль (рис. 10). У результаті компонування складових елементів (рис. 11) отримуємо об'ємну геометричну модель циліндричного одноступінчастого косозубого редуктора (кришку не відображено).

Таким чином, процес об'ємного геометричного моделювання циліндричного одноступінчастого косозубого редуктора є комплексним дослідженням, яке містить у собі рішення різнопланових задач. В першу чергу, це задачі геометричного моделювання всіх елементів редуктора, розгляд способів і методів їх реалізації, а також формулювання деяких рекомендації щодо доцільності використання того або іншого методу. Для розв'язання цих задач у даній роботі виконано габаритні розрахунки елементів, що складають циліндричний одноступінчастий косозубий редуктор, за даними цих розрахунків побудовано геометричні моделі елементів, що складають редуктор. Для геометричного моделювання використано графічне середовище AutoCAD 2014, яке є найбільш розповсюдженим для розв'язання задач геометричного моделювання. Отримані геометричні моделі складено у збірку для наочного зображення редуктора, яке представлено у роботі.

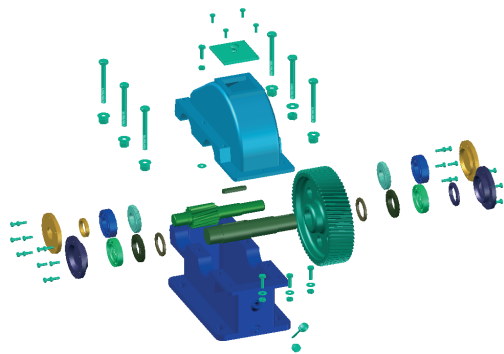


Рис. 10. Складові елементи редуктора

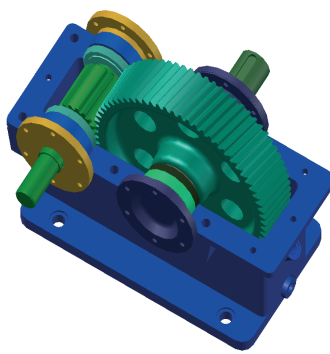


Рис. 11. Об'ємна геометрична модель циліндричного одноступінчастого косозубого редуктора

Список використаних джерел

1. Бідніченко О. Г. Команди редагування двовимірних графічних примітивів в системі AutoCAD : навчальний посібник / О. Г. Бідніченко. — Миколаїв : НУК, 2006. — 64 с.
2. Борисенко В. Д. Основи об'ємних зображень у середовищі проектування AutoCAD : навчальний посібник / В. Д. Борисенко, О. Г. Бідніченко, Д. В. Котляр. — Миколаїв : НУК, 2012. — 336 с.
3. Борисенко В. Д. Об'ємне моделювання в AutoCAD : навчальний посібник / В. Д. Борисенко, О. Г. Бідніченко, І. В. Устенко. — Миколаїв : ФОП Швець В. Д., 2014. — 224 с.
4. Иванов М. Н. Детали машин: учебник для студентов высш. техн. учеб. заведений : изд.5-е, переработанное. — М. : Высшая школа, 1991. — 383 с.
5. Иванов М. Н. Детали машин. Курсовое проектирование / М. Н. Иванов, В. Н. Иванов. — М. : Высшая школа, 1975. — 551 с.

Elena BIDNICHENKO, Yuri EVSTIGNEEV
Mykolaiv

SOLID MODELING OF A SINGLE-STAGE HELICAL GEARBOX IN AUTOCAD

The article analyzes the structural features of the gearboxes; it contains the calculations of the geometrical parameters of elements of a single-stage helical gearbox, which are the initial data for geometric modeling of volumetric gear image. Showing techniques and methods of creating models of individual elements of the gearbox, carried out in the graphics system AutoCAD. Method of assembly of components is considered, and the resulting visual representation of a single-stage helical gearbox is shown.

Key words: solid modeling, single-stage helical gearbox, dimensions, geometric model of elements.

Елена БИДНИЧЕНКО, Юрий ЕВСТИГНЕЕВ
г. Николаев

ОБЪЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО КОСОЗУБОГО РЕДУКТОРА В AUTOCAD

В статье проведен анализ конструктивных особенностей редукторов, выполнены расчеты геометрических параметров элементов одноступенчатого косозубого редуктора, которые являются исходными данными для геометрического моделирования объемного изображения редуктора. Показаны приемы и методы создания моделей отдельных элементов редуктора, выполненных в графической системе AutoCAD. Приведена методика сборки составных элементов и показано полученное наглядное изображение одноступенчатого косозубого редуктора.

Ключевые слова: объемное моделирование, одноступенчатый косозубый редуктор, габаритные размеры, геометрические модели элементов.

Стаття надійшла до редколегії 19.02.2016