

УДК 004

ВИЗУАЛІЗАЦІЯ В ПАКЕТІ AUTODESK INVENTOR ЕСКІЗНОЇ ГЕОМЕТРІЇ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ЗАСОБІВ ТЕОРІЇ R-ФУНКЦІЙ

**Є.М. Іванов, доц., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
З.О. Іванова, доц., к.т.н., Інститут проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України,
А.С. Бей, студ., Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

Анотація. Розглянуто можливість автоматизації та контролю обчислювального процесу при застосуванні засобів теорії R-функцій та основ машинної графіки, яка дозволяє рівняння граничної поверхні та області кінцевого криволінійного зуба і з'єднувального диска в цілому подавати в аналітичній формі з можливою візуалізацією в пакеті Autodesk Inventor.

Ключові слова: зуб, шестерня, засоби теорії R-функцій, пакет Autodesk Inventor.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ В ПАКЕТЕ AUTODESK INVENTOR ЭСКИЗНОЙ ГЕОМЕТРИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СРЕДСТВ ТЕОРИИ R-ФУНКЦИЙ

Е.М. Иванов, доц., к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, З.А. Иванова, доц., к.т.н., Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного Национальной академии наук Украины, А.С. Бей, студ., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Рассмотрена возможность автоматизации и контроля вычислительного процесса при применении средств теории R-функций и основ машинной графики, которая позволяет уравнение граничной поверхности и области конического криволинейного зуба и соединительного диска в целом представлять в аналитической форме с возможной визуализацией в пакете Autodesk Inventor.

Ключевые слова: зуб, шестерня, средства теории R-функций, пакет Autodesk Inventor.

VISUALIZATION IN THE PACKAGE AUTODESK INVENTOR SKETCH GEOMETRY WHEN USING TOOLS IN THE THEORY OF R-FUNCTIONS

**E. Ivanov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
Kharkov National Automobile and Highway University,
Z. Ivanova, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), A.N. Podgorny Institute for Mechanical
Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine,
A. Bey, St., Kharkov National Automobile and Highway University**

Abstract. The paper deals with possibility of automation and control of the computational process when using the tools in the theory of R-functions possessing the properties of logic algebra, while not going beyond the elementary functions, make it possible to build the equations of geometric objects with an almost arbitrary shape. And the use of computer graphics makes it possible to represent the equation of the boundar surface and the conical region of the curved tooth coupling and the whole disk in on analytical form with possible visualization in the Autodesk Inventor package.

Key words: tooth, gear, tools of the theory of R-functions, the package Autodesk Inventor.

Вступ

Безперервно зростаючі вимоги до надійності і довговічності деталей машин і механізмів із зубчастими передачами потребують комплексного вирішення ряду завдань, пов'язаних з оптимізацією конструкції, технології їх виготовлення, вдосконаленням контролю і складання.

Як правило, у процесі проектування зубчастих передач, їх основні геометричні параметри визначаються з умов, заданих у проектному завданні, і з розрахунків на жорсткість, міцність, динамічний стан і ряд інших. На превеликий жаль, існуючі методики розрахунку таких передач мають досить умовний характер.

Тому проблема підвищення безвідмовної роботи та зменшення металомісткості сучасних машин і механізмів викликає необхідність розвитку методів і засобів дослідження міцності зубчастих передач і, зокрема, зубчастих коліс евольвентного зачеплення.

Аналіз публікацій

Однією з головних труднощів у процесі проектування зубчастих передач є подання геометричної інформації пружною областю в аналітичному вигляді $\Phi(x, y, z) = 0$, оскільки сучасна теорія зачеплень передбачає завдання рівняння поверхні конічних криволінійних зубів тільки в параметричному вигляді [6] і окремо для різних ділянок зубів (активна зона, жолобник і т. д.).

Використання засобів теорії R -функцій [7–9] дозволяє рівняння граничної поверхні конічного криволінійного зуба і з'єднувального диска в цілому подавати в аналітичній формі, оскільки цей метод, не виходячи за рамки елементарних функцій і володіючи рядом властивостей функцій алгебри логіки [9], буде рівняння геометричних об'єктів у неявному вигляді практично довільної форми і на цій основі включає геометричну інформацію, що міститься в постановці різних типів завдань у послідовні алгоритми, що особливо важливо при автоматизації обчислювального процесу на ЕОМ. Крім того, за допомогою методу R -функцій можна охопити єдиним методом з одними і тими самими допущеннями відомі методи визначення напружено-деформованого стану криволінійних зубців конічних коліс при їх спрощеній апроксимації [1] і на цій основі здійснювати співставлення та аналіз результатів з урахуванням впливу геометричних параметрів апроксимуючих моделей і реальних зубців.

Побудова предикатного рівняння

Поверхня конічного криволінійного зуба розглядається як результат рівномірного руху його торцевого перерізу вздовж осі обертання Oz конічного зубчастого колеса з одночасним рівномірним обертанням навколо цієї осі.

Отже, будь-яка точка, що лежить на контурі перерізу, описує в просторі гвинтову лінію, яку можна побудувати у пакеті Autodesk Inventor [10] за наявності її параметрів (рис. 1, 2).

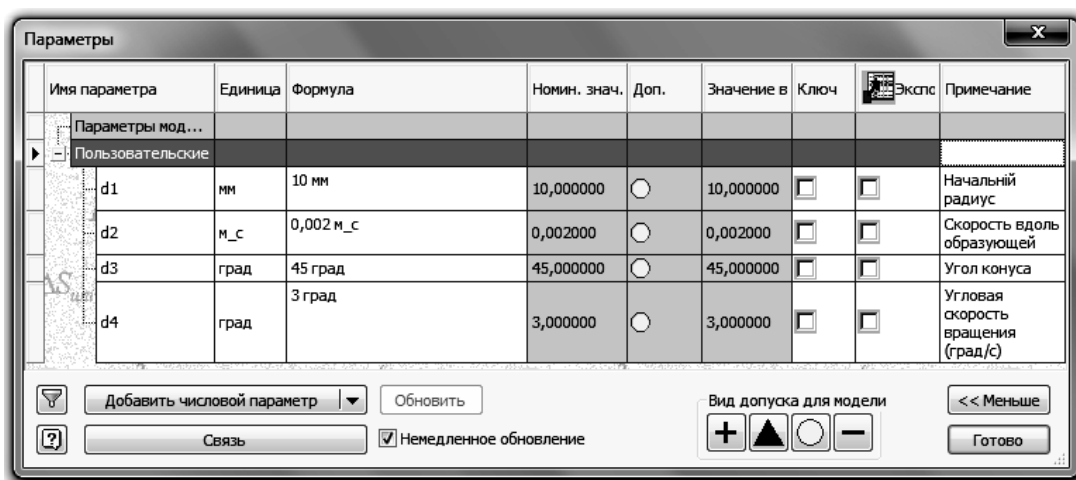


Рис. 1. Параметризація конічної гвинтової лінії у пакеті Autodesk Inventor

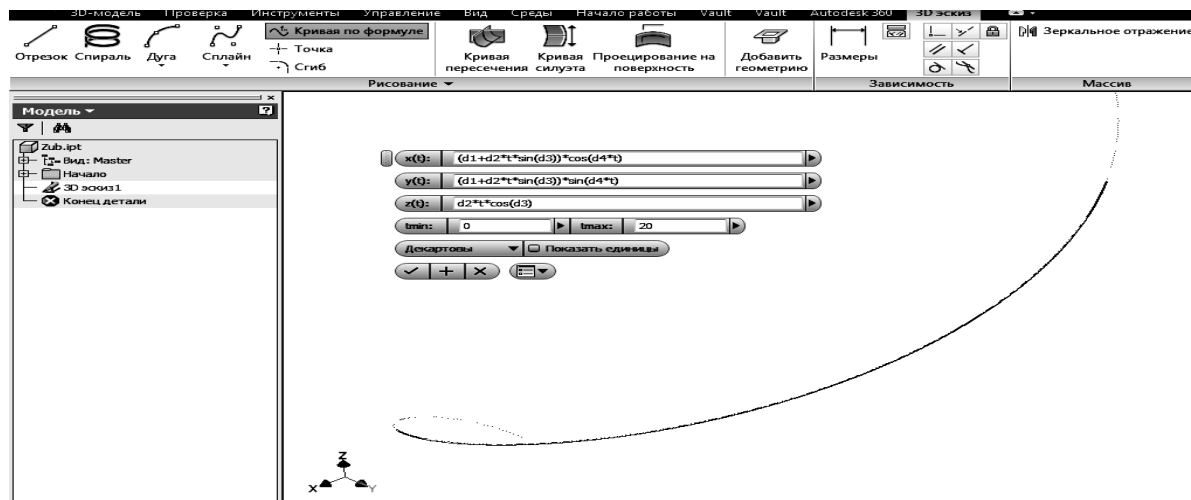


Рис. 2. Побудова конічної гвинтової лінії у пакеті Autodesk Inventor

Нехай z_n проходить від 0 до ∞ , тоді, позначивши рівняння нескінченного по осі O_z конічного криволінійного зуба через $\Phi_0(x, y, z) = 0$, а рівняння, що обмежує тіло зуба до кінцевих розмірів, через $\Delta\Phi_1(x, y, z) = 0$ остаточно отримаємо рівняння для граничної поверхні області конічного зуба криволінійної форми в неявному вигляді неперервної функції від неперервного аргументу

$$\Phi(x, y, z) = \Phi_0(x, y, z) \Lambda_\alpha \Delta\Phi_1(x, y, z), \quad (1)$$

де Λ_α – R -операції [7].

Графоаналітична апроксимація впливає з необхідності отримання геометричної інфо-

рмації вище описаною методикою для побудови опорних областей і далі, на їх основі, всієї граничної поверхні у вигляді неявної неперервної функції неперервного аргументу.

На рис. 3 подано торцевий переріз криволінійного зуба на початковій довжині твірної $z = z_n$, а також етапи побудови конічного криволінійного зуба у пакеті Autodesk Inventor.

Гранична поверхня конічного зубчастого колеса і його область можуть бути подані у вигляді перетворень із використанням засобів теорії R -функцій

$$F = F_0(f_1, f_2, \dots, f_9, S_1, \dots, S_7) \geq 0, \quad (2)$$

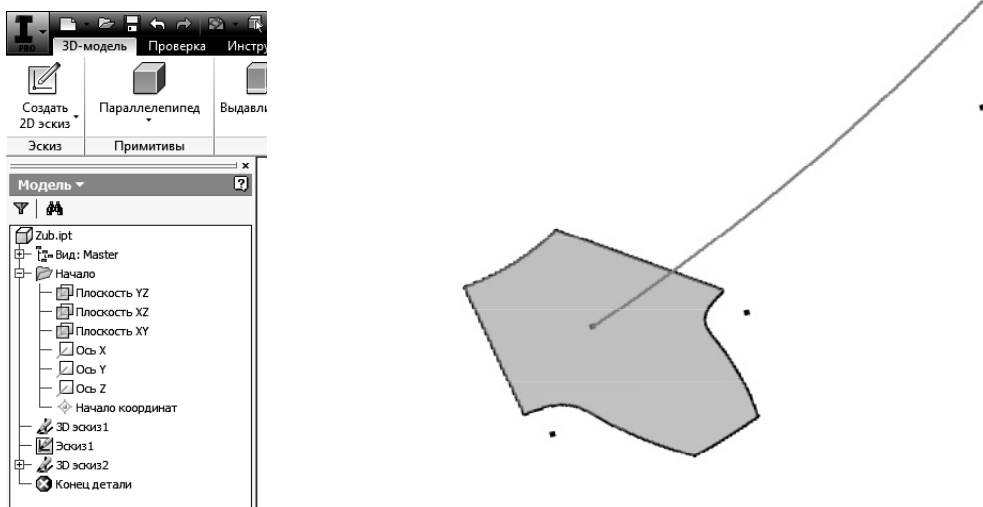


Рис. 3. Формування торцевого перерізу зуба з частиною тіла зубчастого вінця у пакеті Autodesk Inventor

де $f_1, f_2, \dots, f_9, S_1, \dots, S_7$ – елементарні функції окремих ділянок криволінійного зуба (f_i) та з'єднувального диска (S_j).

Гранична поверхня криволінійного зуба (рис. 4) утворюється при переміщенні контуру торцевого перерізу, апроксимованого дугами кіл, по конічній гвинтовій лінії, заданій у параметричному вигляді (рис. 1, 2, 3)

$$\begin{aligned} x &= (R_0 + v_0 t \sin \delta) \cos(w_0 t) \\ y &= (R_0 + v_0 t \sin \delta) \sin(w_0 t) \\ z &= v_0 t \cos \delta, \end{aligned} \quad (3)$$

де (рис. 1) R_0 – початковий радіус на початку довжини твірної; v_0 – швидкість подачі вздовж твірної; w_0 – кутова швидкість обертання; t – час.

У процесі апроксимації торцевого перерізу дугами кіл неявна неперервна функція несе інформацію про величину торцевого модуля m_{SK} для кожного нового положення торцевого перерізу при переміщенні по конічній гвинтовій лінії для забезпечення безперервності неявної функції (рис. 5), а використання пакета Autodesk Inventor дозволяє це контролювати

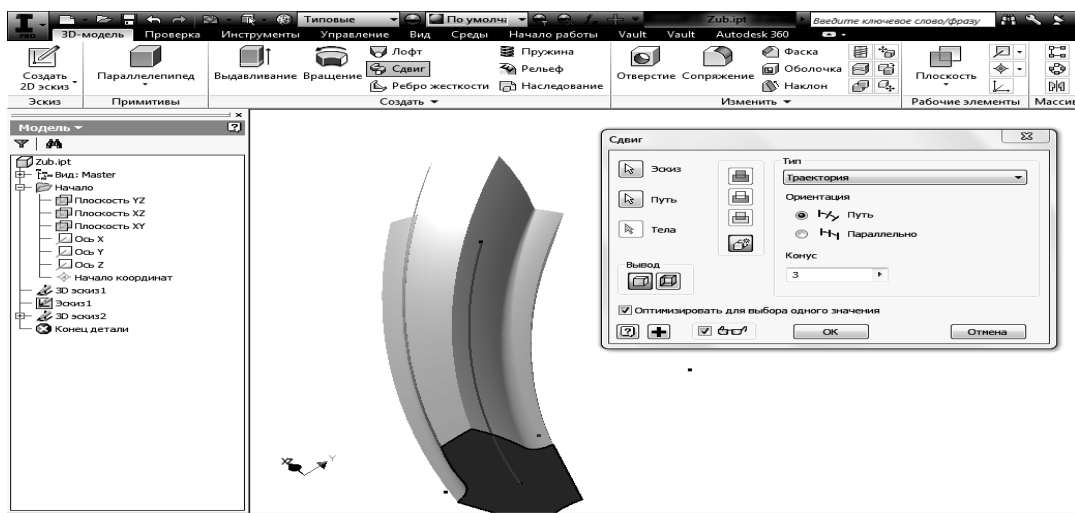


Рис. 4. Гранична поверхня та область криволінійного гвинтового зуба у пакеті Autodesk Inventor

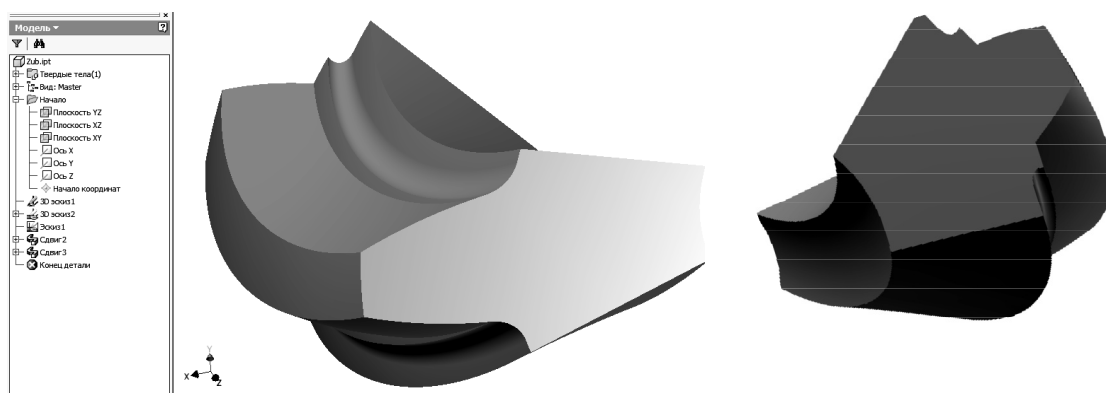


Рис. 5. Апроксимуючі величини умов безперервності неявної функції з візуалізацією у пакеті Autodesk Inventor

За допомогою відповідних логічних операцій над елементарними функціями S_j [3] у пакеті Autodesk Inventor побудовано область (рис. 6), що являє собою з'єднувальний диск загального виду з отвором під вал, а пакет Autodesk Inventor дозволяє контролювати побудову візуально.

Апроксимацію граничної поверхні області конічного колеса з одним зубом криволінійної форми відповідної ширини зубчастого вінця b (рис. 7) наведено у роботах [2–5]. У цих роботах наведено рівняння, яке описує область та граничну поверхню конічного зубчастого колеса з одним зубом криволінійної форми у ви-

гляді неявної неперервної функції неперервного аргументу.

Сформувані граничну поверхню і область всього конічного зубчастого колеса із криволінійною формою зубців з візуалізацією в пакеті Autodesk Inventor дозволяє інструмент «круговий масив» Autodesk Inventor. Однак для дослідження розподілу поля згинальних напружень у галтелі зуба досить розглянути граничну поверхню і область конічного зуба криволінійної форми з частиною тіла зубчастого вінця. Таке допущення передбачене принципом локальності ефекту самозрівноважених навантажень або принципом Сен-Венана.

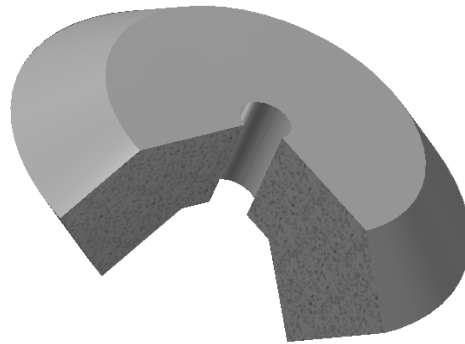
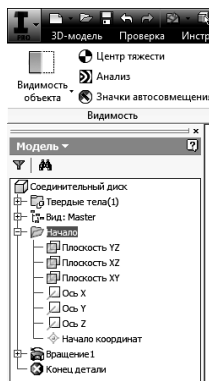


Рис. 6. Граничная поверхность і область з'єднувального диска з візуалізацією у пакеті Autodesk Inventor

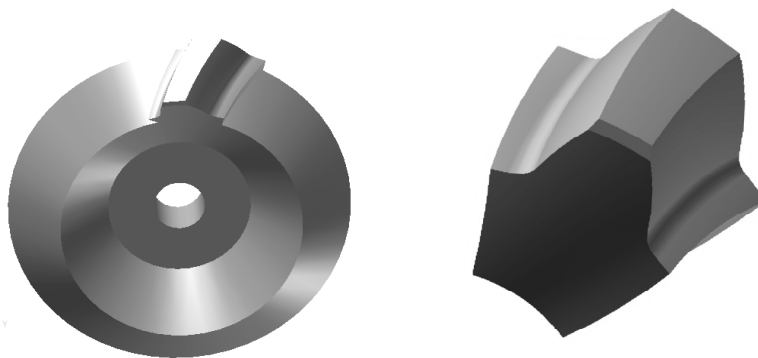


Рис. 7. Конічне колесо з одним зубом криволінійної форми, побудоване у пакеті Autodesk Inventor

Висновки

Варіація значень змінних, які формуються у виразі (2), дає можливість описати область і граничну поверхню області циліндричного зубчастого колеса із гвинтовою формою зубців [2]. Отримана модель за рівнянням, яке описує область і граничну поверхню конічного зубчастого колеса з одним зубом криво-

лінійної форми у вигляді неявної неперервної функції неперервного аргументу, дозволяє проводити дослідження на основі застосування методу R-функцій (RFM) напружено-деформованого стану методами класичної теорії пружності у варіаційній постановці для складних просторових областей з використанням пакета Autodesk Inventor.

Література

1. Громан М.Б. Конические передачи с круговыми зубьями / М.Б. Громан, М.А. Шлейфер. – М.: Машиностроение, 1964. – 176 с.
2. Кириченко А.Ф. Графо-аналитическая аппроксимация области зубчатого колеса / А.Ф. Кириченко // Известия ВУЗов. – 1976. – № 6. – С. 12–15.
3. Кириченко А.Ф. Применение теории R-функций в моделировании граничной поверхности области конических зубчатых колес / А.Ф. Кириченко, Е.М. Иванов // Теория механизмов и машин: сб. науч. тр. – 1990. – Вып. 49. – С. 42 – 47.
4. Кириченко А.Ф. К выводу уравнения в неявном виде граничной поверхности конического колеса с круговыми зубьями / А.Ф. Кириченко, Е.М. Иванов // Вісник СУДУ. – 2000. – №11(33). – С. 47–49.
5. Кириченко Л.Ф. Об учете геометрии и конструкции конических зубчатых колес при расчете напряженно-деформированного состояния их зубьев на ЭВМ / А.Ф. Кириченко, Е.М. Иванов // Обеспечение надежности и долговечности зубчатых передач на стадии проектирования и изготовления: Тез. докл. Респ. науч.-техн. конф. – Севастополь, 1989. – С. 37.
6. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин. – М.: Наука, 1968. – 584 с.
7. Рвачев В.Л. Геометрические приложения алгебры логики / В.Л. Рвачев. – К.: Техника, 1967. – 212 с.
8. Рвачев В.Л. Методы алгебры логики в математической физике / В.Л. Рвачев. – К.: Наукова думка, 1974. – 259 с.
9. Рвачев В.Л. Элементы дискретного анализа и теории R-функций: учебное пособие / В.Л. Рвачев. – Х.: ХПИ им. В.И. Ленина, 1972. – 169 с.
10. Autodesk Inventor 2010: no experience required / Thom Tremblay. – Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2009. – 528 p.
2. Kirichenko A.F. Grafo-analiticheskaya approksimatsiya oblasti zubchatogo kola. [Graphic-analytical approximation of the field gear]. *Izvestiya VUZov* [Izvestiya VUZov]. 1976. no. 6. pp. 12–15.
3. Kirichenko A.F., Ivanov E.M. [Application of the theory of R-functions in the modeling of the boundary surface area bevel gears]. *Sbornik Teoriya mekhanizmov i mashin* [Collection of Theory of mechanisms and machines]. 1990. n. 49. pp. 42–47.
4. Kirichenko A. F., Ivanov E. M. K vyvodu uravneniya v neyavnom vide granichnoi poverkhnosti konicheskogo kola s krugovymi zub'yami [The derivation of the equation in an implicit form of the boundary surface of the conical wheels with circular teeth]. *Visnik SUDU* [Visnik SUDU]. 2000. no. 11(33). pp. 47–49.
5. Kirichenko L.F., Ivanov E.M. [About accounting the geometry and design of bevel gears in the calculation of stress-the deformed condition of their teeth on the computer]. *Obespechenie nadezhnosti i dolgovechnosti zubchatykh peredach na stadii proektirovaniya i izgotovleniya. Tez. dokl. Resp. nauch.-tekhn. Konf.* [The theses Rep. scientific.-tech. Conf.]. Sevastopol'. 1989. p. 37.
6. Litvin F.L. *Teoriya zubchatykh zatseplenii* [Theory of gearing.]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 584 p.
7. Rvachev V.L. *Geometricheskie prilozheniya algebry logiki* [Geometric applications of the algebra of logic]. Kiev, Tekhnika Publ., 1967. 212 p.
8. Rvachev V.L. *Metody algebry logiki v matematicheskoi fizike* [Methods of logic algebra in mathematical physics]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1974. 259 p.
9. Rvachev V.L. *Elementy diskretnogo analiza i teorii R-funktsii. Uchebnoe posobie* [Elements of discrete analysis and the theory of R-functions. Tutorial]. Khar'kov, KhPI im. V.I. Lenina Publ., 1972. 169 p.
10. Thom Tremblay *Autodesk Inventor 2010: no experience required*. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc. 2009. 528 p.

References

1. Groman M.B., Shleifer M.A. *Konicheskie peredachi s krugovymi zub'yami* [Bevel gears with circular teeth]. Moskwa, Mashinostroenie Publ., 1964. 176 p.

Рецензент: В.М. Колодяжний, професор, д.ф.-м., н., ХНАДУ.

Статья надійшла до редакції 01 жовтня 2015 р.