



УДК 004.9:621.83

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-28

МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ

Дереза О. О., к.т.н.

ORCID: 0000-0001-8933-782X

Дереза С. В.

ORCID: 0000-0001-9797-0967

*Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.*

e-mail dereza.elena@ukr.net

e-mail: derezasv2017@gmail.com

Постановка проблеми. На сьогодні створено велику кількість програмно-методичних комплексів комп'ютерного моделювання з різним ступенем спеціалізації і прикладної орієнтації. Комп'ютерне моделювання є невід'ємною частиною при проектуванні різних машин і механізмів, зокрема в агропромисловому комплексі [1]. В результаті комп'ютерне моделювання стало необхідною складовою підготовки фахівців різних спеціальностей. Інженер, який не володіє знаннями і не вміє працювати з програмами комп'ютерного моделювання, не може вважатися повноцінним фахівцем. Успіхи, досягнуті в останні роки у сфері використання обчислювальної техніки, математичного моделювання і методів оптимізації, відкриває нові можливості для здійснення високоефективної автоматизації проектно-конструкторських робіт і прискорення на цій основі науково-технічного прогресу в різних галузях науки і техніки [2-5].

Разом зі зростанням можливостей комп'ютерів для виконання наукових та інженерних досліджень зростають і проблеми, пов'язані з їх створенням та застосуванням. Одне із завдань математичного моделювання – дослідити в комп'ютерному середовищі властивості машинної задачі, побудувати алгоритм отримання наближеного розв'язку та дати оцінку його точності. Викладачі технічних дисциплін зобов'язані враховувати у своїй діяльності всі науково-технічні досягнення в цій галузі з метою забезпечення належного рівня знань і навичок студентів, адекватного потребам сфери матеріального виробництва і комерційного ринку [6-8].

Аналіз останніх досліджень. Питання використання 3D-технологій у різних галузях людської діяльності вивчаються багатьма науковцями (М. В. Чугунов, С. Онищенко, В. О. Бережний, К. В. Бережна, С. В. Андрієнко, А. В. Устиненко, О. В. Струтинська та ін.). Аналізуючи наукові роботи в галузі комп'ютерної графіки, було виявлено, що більшість досліджень, у яких розглядається побудова



об'ємних зображень, висвітлюють послідовність їх створення за допомогою певного програмного забезпечення, але причину вибору графічного пакету та його переваги над програмних забезпеченням, за допомогою якого можна виконувати схожі побудови, практично не розглядаються [9-14].

Формулювання цілей статті. Аналітичні розрахунки використовуються в основному для попереднього проектування приводів. Однак, в даний час все більше уваги приділяється оптимізації таких систем. Чисельне моделювання якраз дозволяє врахувати безліч зовнішніх чинників в сукупності з нелінійностями в реальних системах. Наприклад: гнучкість валів, жорсткість підшипників, жорсткість зубів в зачепленні, окружний зазор, погрішність зубчастого зачеплення, тертя та інші.

Метою статті є аналіз функціональних можливостей інженерних комп'ютерно-графічних систем, а також систем тривимірного проектування та обґрунтування вибору оптимального програмного пакету навчання для створення об'ємного комп'ютерного проекту в процесі підготовки майбутніх інженерів.

Основна частина. Зубчасті колеса є одними з найбільш поширених деталей різних машин і механізмів. Вони являють собою невід'ємні компоненти зубчастих передач, і від того, наскільки якісно будуть розроблені, багато в чому залежить довговічність і надійність функціонування пристроїв, що випускаються. 3Д моделювання набагато ефективніше традиційних креслень і двомірних зображень проєктованих виробів, адже дозволяє в деталях оцінити характеристики об'єкта на початкових етапах роботи [15,16].

Застосування твердих методів моделювання дозволяє автоматизувати кілька складних інженерних розрахунків, які проводяться як частина процесу проектування. Крім традиційного виробництва, тверді методи моделювання є основою для швидкого прототипування цифрових архівних даних і зворотного проектування за допомогою відновлення твердих частинок з вибірковок точок на фізичних об'єктах, з використанням механічного аналізу кінцевих елементів, кінематичний і динамічний аналіз механізмів, і так далі.

Головною проблемою у всіх цих додатків є здатність ефективно представляти та маніпулювати тривимірну геометрію таким чином, що узгоджується з фізичною поведінкою реальних артефактів. Дослідження і розробка моделювання твердих тіл ефективно вирішило багато з цих питань, і продовжує залишатися в центрі уваги комп'ютерного проектування. Комп'ютерні технології є запорукою створення конкурентоспроможної продукції в усіх галузях народного господарства. Застосування новітніх інформаційних технологій визначає рівень науково-технічного розвитку держави [17,18].

Сучасні технології розробки машин і механізмів передбачають обов'язкове тривимірне моделювання їх деталей. Це дозволяє не тільки провести візуалізацію, але також швидко і з високим ступенем точності визначити самі різні параметри і характеристики виробів. На основі тривимірних моделей створюються різні види креслень, так необхідних у виробництві.

Для того щоб передаточне відношення було постійним, необхідно вибрати такий профіль зубів, щоб при зачепленні пари зубів в будь-якому положенні полюс зачеплення зберігав своє становище на лінії центрів. Цій умові задовольняють профілі зубів, окреслені евольвентами кіл.

Евольвентою кола називається крива, яку описує будь-яка точка прямої, що перекочується по колу без ковзання. Пряму, що перекочується, називають твірною або відтворюючою прямою, вона являє собою рухому центроїду, а коло, відповідно, є нерухомою центроїдою (рис. 1).

В теорії зачеплення коло, на якому лежать центри кривини евольвенти кола, називають основним або еволютою, оскільки воно служить основою для побудови евольвенти. Профіль зуба побудовано саме по евольвенті. Зуби з евольвентним профілем визначають параметри, які характеризують положення будь-якої точки евольвенти.



Рис. 1. Побудова евольвенти кола

Рівняння евольвенти в параметричному виді [2]

$$r_y = \frac{r_b}{\cos \alpha_y}, \quad (1)$$

де r_y – радіус-вектор;

α_y – кут профілю.

Формула для визначення евольвентного кута отримується за умовами перекочування твірної по основному колу без ковзання

$$\theta = \operatorname{tg} \alpha_y - \alpha_y = \operatorname{inv} \alpha_y, \quad (2)$$

де $\operatorname{inv} \alpha_y$ – тригонометрична функція, яка називається інволютою кута α_y .

Побудувати модель зубчастого колеса в КОМПАС таким способом досить складно та потребує значного часу. Для спрощення побудови зубчастого колеса та отримання тривимірної моделі можна скористатися бібліотекою КОМПАС-SHAFT 2D та КОМПАС-3D. Створюючи циліндричне зубчасте колесо, задають параметри і запускають розрахунок. Після розрахунку отримуємо креслення циліндричного зубчастого колеса і при необхідності можна згенерувати тривимірну модель колеса [12, 18, 19].

Для побудови моделі зубчастого колеса в КОМПАС-3D створюється ескіз колеса, потім створюється тіло обертання. Моделювання зуба отримується спрощеною побудовою зображення. За допомогою масиву створюється зубчастий вінець. Тобто, побудова моделі зубчастого колеса безпосередньо в КОМПАС-3D набагато складніша, ніж генерація твердотільної моделі в КОМПАС- Shaft 2D.

Першою САПР, що підтримує твердотільне моделювання для платформи Windows, стала система SolidWorks. SolidWorks призначено для кінематичного і геометричного проектування зубчастих зачеплень. Контури зубів описуються сплайном або сукупністю кіл, що імітують евольвентний профіль.

Аналогом КОМПАС-Shaft 3D для SolidWorks можна вважати додаток GearTeq. Цей додаток, як і КОМПАС-SHAFT 2D, дозволяє заощадити час, що важливо для виробництва і виключає можливі помилки неуважності.

Створення 3D-моделі в цих програмах (КОМПАС-Shaft3D та SolidWorks) реалізується автоматично відповідно до набору заданих параметрів. Для аналізу міцності і жорсткості елементів механічних передач використовуються стрижневі кінцевоелементні моделі, максимально адаптовані до розрахункових схем даного типу [11, 17].

В Компас 3D та SolidWorks є один незаперечний плюс, навіть у порівнянні з більш потужними 3D додатками – все просто і швидко будується і збирається. У графічній області до компонентів застосовуються різні кольори, вибір яких залежить від значення

властивості, за яким виконується сортування, вибирається фон зображення (рис. 2).

Візуалізація – це останній, а значить, найвідповідальніший етап створення тривимірного проекту. Застосування різних кольорів допомагає наочно уявити значення властивості кожного компонента. Але більш реалістичне зображення отримати не можна. Для якісного рендерингу необхідно додаткові 3D-редактори, такі як KeyShot, PhotoWorks або RealView тощо.

Полігональне або твердотільне моделювання дуже популярно і використовується практично у всіх програмах. Це універсальне уявлення, за допомогою якого створюються 3D моделі будь-якого призначення. Зараз майже кожен додаток для моделювання дозволяє виробляти також маніпуляції з кольором, освітленням і текстурою 3D моделі. Після всіх налаштувань виконується рендеринг, або візуалізації, завдяки якому зовнішній вигляд моделі можна оцінити наочно.

Для максимально реалістичного зображення об'ємного графічного об'єкту підходить найбільш професійний продукт – 3ds-max. Реалістичне зображення при візуалізації моделі, включаючи освітлення і текстурування, можна отримати використовуючи такі інструменти, як V-Ray або Corona. Це поширений метод моделювання, який використовується для створення складних і низькополігональних моделей.

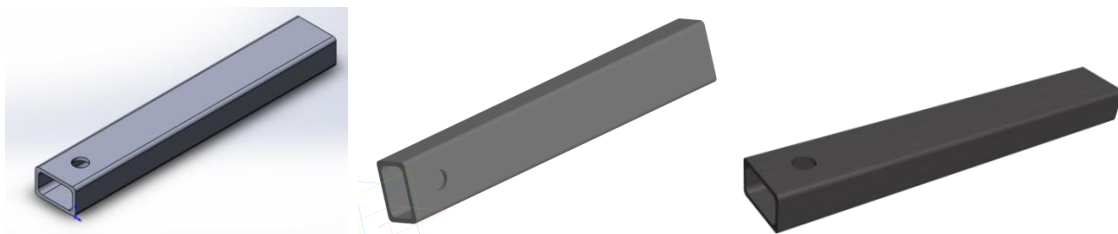


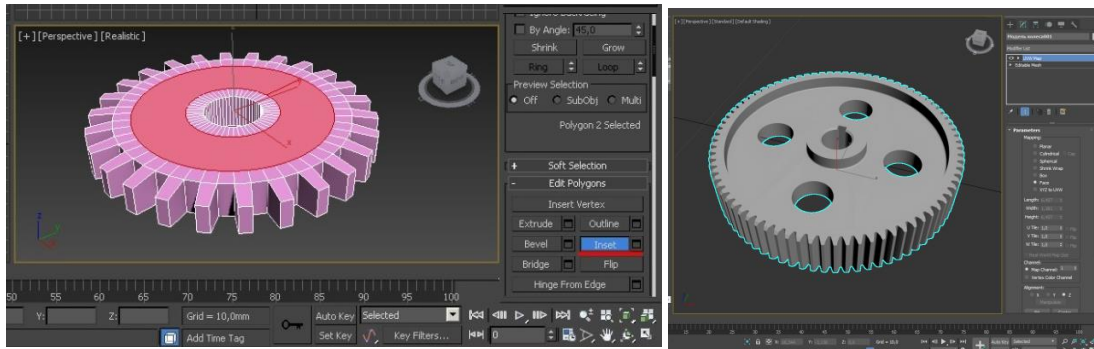
Рис. 2. Вибір кольорів до моделей в КОМПАС, SolidWorks та 3ds-max

Створити зубчасті колеса можна безпосередньо в 3ds-max. Але це також робиться «вручну», тобто поетапно будуються окремі поверхні. Цей спосіб не найкращий – він складний і неточний [12].

Основою деталі, як правило, є циліндр з отвором, тобто туба. Після конвертації деталі в Editable Poly праця йде з полігонами і модифікаторами. Наприкінці отримаємо спрощену модель зубчастого колеса, зубці якої побудовані не по евольвенті (рис. 3, а).

Для точної побудови колеса простіше створити модель в КОМПАС-3D або в SolidWorks, зберегти у відповідному форматі (STEP) та імпортувати в 3ds-max (рис. 3, б). Також у 3ds-max як і

КОМПАС-3D або в SolidWorks можна створити збірку механічної передачі точно по координатах (рис. 4). Надалі за необхідністю робиться анімація роботи передачі, візуалізація і збереження анімації у відео форматі.



а)

б)

Рис. 3. Модель зубчастого колеса в 3ds-max
а) побудованого; б) імпортованого

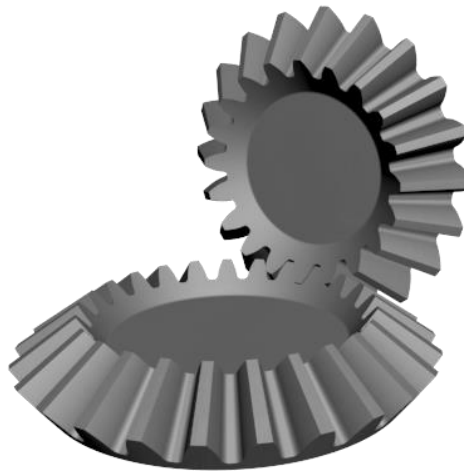


Рис. 4. Візуалізація (рендеринг) імпортованої конічної передачі в 3ds-max

В галузі промислового виробництва для проектування нової продукції завжди необхідно створювати моделі – прототипи майбутньої продукції. Виготовлення дослідного зразка – це досить дорогий та трудомісткий етап виробництва.

Сучасні системи САПР надають можливості не тільки проектування виробів, а й створення відеоряду, що дозволяє показати ці вироби у всій їх «3D-красі», наприклад, в рекламних цілях. Модулі, що виконують ці функції мають широкий набір можливостей, зокрема, дозволяють побачити роботу пристроїв в динаміці.

Використовуючи 3D-принтери, можна значно прискорити весь процес. Особливо це актуально для машинобудування та багатьох інших галузей виробництва. Аналіз створеного за допомогою 3D-



друкування макету допомагає знайти недоліки в конструкції ще на етапі розробки [15].

Для того, щоб провести незалежний аналіз кількох програм, потрібно мати досвід роботи у кожній із них. Це неможливо через те, що на вивчення програмних пакетів тривимірної графіки потрібно витратити місяці або й роки. Також потрібно зважати на індивідуальний фактор, адже одним зручно працювати з одним програмним забезпеченням, а іншим з другим [10].

Висновки. Широке застосування 3D-моделювання знаходить в такій галузі промисловості, як машинобудування. Інженери з допомогою спеціалізованих пакетів комп'ютерних програм створюють тривимірні моделі тих деталей, які вони розробляють для того, щоб візуально їх оцінити і згодом використовувати отримані зображення для оформлення різної технічної документації.

Більшість програм тривимірного моделювання забезпечує підтримку самих популярних форматів 3D-моделей (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF), що дозволяє організовувати ефективний обмін даними між різними організаціями і замовниками, які використовують будь-які системи CAD/CAM/ CAE в роботі.

Таким чином, за допомогою такої сучасної технології, як тривимірне моделювання, розробники можуть отримувати максимально реалістичні зображення тих деталей і вузлів, які вони проектують. 3D-моделювання дозволяє успішно проводити візуалізацію тих об'єктів, які ще не існують, а знаходяться поки на стадії конструювання.

Список використаних джерел

1. Boltyanska N. Ways to Improve Structures Gear Pelleting Presses. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin-Rzeszow, 2018. Vol. 18, No 2. P. 23-29.
2. Rogovskii I. Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. *MOTROL. Lublin*. 2016. Vol. 18, No 3. 155-164.
3. Boltyansky O. V. Analysis of the main areas of resource conservation in animal husbandry. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*. 2016. Vol. 18, No 13. P. 49-54.
4. Boltyansky O. Analysis of major errors in the design of pumping stations and manure storage on pig farms. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.16, No 2. P. 49-54.
5. Zabolotko O.O., Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference "Kramar Readings" 2017*. P. 155-158



6. Boltyansky O. V. The development of the pig industry and the competitiveness of its products. *MOTROL: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*, 2012. Vol. 14, No 3b. P. 164-175.

6. Rogovskii I. Analytical provision of regular preventive maintenance of agricultural machinery and system implementation. *MOTROL. Lublin*. 2017. Vol. 19, No 3. P. 185-191.

7. Boltyanskaya N. I. Indicators of an estimation of efficiency of application of resources but Gauci technologies in animal husbandry. *Bulletin of Sumy national agrarian University. A series of "Mechanization and automation of production processes"*. Amount. 2016. Vol. 10/3 (31). P. 118-121.

8. Rogovskii I. Choice of model class and method of modeling the resilience of agricultural machinery. *ТЕКА. Lublin–Rzeszów*. 2017. Vol. 17, No 3. P. 101-114.

9. Boltyanska N. Justification of Choice of Heating System for Pigsty. *ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 18, No 1. P. 57–62.

10. Ожга М. М. Методика навчання систем 3D проектування майбутніх інженерів-педагогів комп'ютерного профілю: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. Харків, 2015. 284 с.

11. Евольвента кола, її властивості та рівняння. Studfiles. URL: <https://studfile.net/preview/7122243/page:42/> (дата звернення 20.02.2019).

12. Дереза О. О., Коломієць С. М. Проектування привода транспортера в САПР КОМПАС. Курсове проектування з інженерної механіки (деталей машин): навч. посіб. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2019. 197с.

13. Чугунов М. В. Моделирование и анализ элементов механических передач в среде SolidWorks на базе API. *Вестник Мордовского университета*. 2014. № 1. С. 148–153.

14. Создаем и анимируем зубчатые колеса в 3ds max. URL: <https://repetitor3d.ru/3dsmax/modelirovanie-zubchatogo-kolesa-v-3ds-max> (дата звернення: 13.04.2020)

15. Струтинська О. В. Сучасний стан і перспективи розвитку технологій тривимірного моделювання та друкування. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 2 : Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання*. Київ, 2018. Вип. 20 (27). С. 88-94.

16. Кравцов Е. М., Кравцова Е. М., Карпюк Л. В. Застосування методів комп'ютерної графіки в курсовому проектуванні з дисципліни "Деталі машин". URL: http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/vsunu/2010_7_2/kravcova.pdf (дата звернення: 18.03.2020).



17. Chugunov M. V. Multi-disciplinary integration of engineering courses based on API-programming for CAD/CAE. *2013 International Conference on Interactive Collaborative Learning*. Kazan, 2013.

№ 6644556. P. 138-139. DOI: 10.1109/ICL.2013.6644556

18. Дереза О. О., Коломієць С. М. Лабораторний практикум з інженерної механіки (деталей машин): навч. посібник. Мелітополь: Х-Terra, 2019. 159 с.

19. Проців В. В., Зіборов К. А., Твердохліб О. М. Проектування редукторів з використанням САПР КОМПАС : навч. посібник. Дніпропетровськ.: Національний гірничий університет, 2011. 178 с.

20. Бережний В. О., Матюшенко М. В., Федченко Г. В. Побудова 3D-моделі зубчастих коліс у додатку GEARTEQ. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ"*. Сер.: *Машинознавство та САПР*. 2018. № 25 (1301). С. 22-25.

МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПЕРЕДАЧ

Дереза О. О., Дереза С. В.

Анотація.

У статті проаналізовано основні програмні продукти комп'ютерного моделювання з використанням 3D-технологій при розрахунках і проектуванні механічних передач. 3D моделювання набагато ефективніше традиційних креслень і двовірних зображень проєктованих виробів, оскільки дозволяє в деталях оцінити характеристики об'єкта на початкових етапах роботи.

Встановлено, що найбільш точні моделі механічних передач можна отримати в більш популярних додатках для КОМПАС-3D - SolidWorks. У цих програмах є один незаперечний плюс, навіть у порівнянні з більш потужними 3D додатками - все просто і швидко будується і збирається, створені 3D-моделі реалізується автоматично відповідно до набору заданих параметрів. Для аналізу міцності і жорсткості елементів механічних передач використовуються стрижневі кінцевоелементні моделі, максимально адаптовані до розрахункових схем даного типу.

Для максимально реалістичного зображення об'ємного графічного об'єкта підходить самий професійний продукт - 3ds-max. Для точного побудови колеса простіше створити модель в КОМПАС-3D або в SolidWorks, зберегти з відповідним розширенням і імпортувати в 3ds-max.

Ключові слова: механічні передачі, евольвентний профіль, 3D-моделювання, КОМПАС, SolidWorks, 3D-технології, 3ds-max, графічний об'єкт, твердотельное моделювання, рендеринг.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Дереза Е. А., Дереза С. В.

Аннотация.

В статье проанализированы основные программные продукты компьютерного моделирования с использованием 3D-технологий при расчетах и проектировании механических передач. 3D моделирование намного эффективнее традиционных чертежей и двухмерных изображений проектируемых изделий,



поскольку позволяет в деталях оценить характеристики объекта на начальных этапах работы.

Установлено, что наиболее точные модели механических передач можно получить в более популярных приложениях для КОМПАС-3D, SolidWorks. В этих программах есть один неоспоримый плюс, даже по сравнению с более мощными 3D приложениями - все просто и быстро строится и собирается, созданные 3D-модели реализуются автоматически в соответствии с набором заданных параметров. Для анализа прочности и жесткости элементов механических передач используются стержневые конечноэлементные модели, максимально адаптированные к расчетным схемам данного типа.

Для максимально реалистичного изображения объемного графического объекта подходит самый профессиональный продукт - 3ds-max. Для точного построения колеса проще создать модель в КОМПАС-3D или в SolidWorks, сохранить с соответствующим расширением и импортировать в 3ds-max.

Ключевые слова: механические передачи, эвольвентный профиль, 3D-моделирование, КОМПАС, SolidWorks, 3D-технологии, 3ds-max, графический объект, твердотельное моделирование, рендеринг.

MECHANICAL TRANSMISSION MODELING

O. Dereza, S. Dereza

Summary

Computer modeling has become a necessary part of training specialists in various specialties. An engineer who does not have the knowledge and skills of computer simulation programs cannot be considered a full-fledged specialist. The successes achieved in recent years in the field of the use of computer engineering, mathematical modeling and optimization methods, opens up new opportunities for the implementation of highly efficient automation of design works and accelerate on this basis scientific and technological progress in various fields of science and technology.

Gears are one of the most common parts of various machines and mechanisms. They are integral components of gears, and the quality and reliability of the devices manufactured depend on how well they will be developed.

The basic computer simulation software using 3D technologies in the calculation and design of mechanical gears is analyzed. 3D modeling is much more effective than traditional drawings and two-dimensional images of designed products, because it allows you to evaluate in detail the characteristics of the object in the initial stages of operation.

It has been found that the most accurate mechanical gear models are available in the more popular applications for COMPASS-3D, SolidWorks. In these programs there is one clear plus, even compared to more powerful 3D applications - everything is simple and quickly built and assembled, creation of a 3D model is realized automatically according to a set of set parameters. For the analysis of the strength and rigidity of the elements of mechanical transmissions rod finite element models are used, which are maximally adapted to the calculation schemes of this type.

For the most realistic image of a 3D graphic object is the most professional product - 3ds-max. For accurate wheel construction, it's easier to build a model in COMPASS-3D or SolidWorks, save with the appropriate extension, and import into 3ds-max.

Key words: mechanical gears, involutes profile, 3D modeling, КОМПАС-3D, SolidWorks, 3D technologies, 3ds-max, graphic object, solid state modeling, rendering.