

2. Гайворонский И. В. Структурное состояние поверхностных слоев алюминия после лазерного легирования смесью порошков меди и железа / И. В. Гайворонский, В. В. Гирзон, А. В. Смоляков // МФиНТ. — 2012. — Т. 34. — № 5. — С. 1001-1008.
3. Майоров В. С. Проявление термоконцентрационной неустойчивости при взаимодействии лазерного излучения с веществом / В. С. Майоров // Сборник трудов ИПЛИТ РАН. — 2005. — С. 236-248.

REFERENCES

1. Girzhon, V.V., Smolyakov, O.V. and Tantsyura, I.V. (2008), "Structural state of surface layers of aluminum after laser alloying using a mixture of copper and iron powders", *Fizika metallov i metallovedenie*, vol. 106, no 5, pp. 398-403.
2. Biswas, K., Galun, R. and Mordike, B. L. [et al.] (2005), "Laser cladding of quasi-crystal-forming Al-Cu-Fe-Bi on an Al-Si alloy substrate", *Metallurgical and materials transactions*, vol. 36A, pp. 1947-1964.
3. Gayvoronsky I.V., Girzhon, V.V. and Smolyakov, O.V. (2012), "Thermal stability of aluminium surface-layers structure after laser alloying with copper and iron metals from the mixture", *Metallofizika i noveyshiye tekhnologii*, vol. 34, no 5, pp. 697-704.

УДК 004.421: 519.87: 514.752.4

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМИ OPENFLIPPER ДО АПРОКСИМАЦІЇ ТРИВИМІРНИХ ПОВЕРХОНЬ

Гоменюк С. І., д. т. н., професор, Тітова О. О., к. т. н., доцент, Морозов Ю. В., студент

*Запорізький національний університет,
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна*

gserega71@gmail.com, toa7676@gmail.com, yuliy_samiy@mail.ru

Розглядається проблема побудови моделей складних тривимірних поверхонь і наближення їх до реальних із застосуванням комп'ютерного моделювання. Для побудови і дослідження цих моделей проаналізовано складність у представленні певних тіл за допомогою елементарних поверхонь (примітивів). Про ефективність побудови геометричних поверхонь складної форми за допомогою комп'ютерної програми OpenFlipper у порівнянні з іншими програмами свідчать наведені приклади розроблених 3D моделей.

Ключові слова: геометричне тіло, тривимірна поверхня, оболонка, 3D модель, примітив, комп'ютерна програма OpenFlipper.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ OPENFLIPPER ДЛЯ АПРОКСИМАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Гоменюк С. И. д. т. н., профессор, Титова О. А., к. т. н., доцент, Морозов Ю. В., студент

*Запорожский национальный университет,
ул. Жуковского, 66, г. Запорожье, 69600, Украина*

gserega71@gmail.com, toa7676@gmail.com, yuliy_samiy@mail.ru

Рассматривается проблема построения моделей сложных трехмерных поверхностей и приближение их к реальным с использованием компьютерного моделирования. Для построения и исследования этих моделей проанализировано сложность в представлении некоторых тел с помощью элементарных поверхностей (примитивов). Об эффективности построения геометрических поверхностей сложной формы, с помощью компьютерной программы OpenFlipper в сравнении с другими программами свидетельствуют проиллюстрированные примеры готовых 3D моделей.

Ключевые слова: геометрическое тело, трехмерная поверхность, оболочка, 3D модель, примитив, компьютерная программа OpenFlipper.

APPLICATION OF OPENFLIPPER PROGRAM FOR APPROXIMATION OF THREE-DIMENSIONAL SURFACES

Gomenyuk S.I. doc., professor, Titova O.A., Candidate of Tech., associate professor,
Morozov Yu.V., student

Zaporizhzhya national university, Zhukovsky str., 66, Zaporizhzhya, Ukraine

gserega71@gmail.com, toa7676@gmail.com, yuliy_samiy@mail.ru

The problem of constructing models of the complex three-dimensional surfaces and bringing them closer to reality with application of the computer model, is considered.

The geometric simulation studies the methods of symbolic models structure which describes the geometric properties of surrounding things. It is based on mathematical analysis, analytical and differential geometry, numerical mathematics, variational calculus and creates its own methods of mathematic modeling. In contrast to drawing, a model has a one-valued representation of geometry and numerical compositions in different imaginations. The article observes the form of surrounding things, their size and relative positions, not taking the details about their physical. The article investigates geometric models of these objects in geometry. These models are needed to make decision, researching, production of material values, etc. The geometric modeling also means the creation of the image in computer graphics from geometrical primitives like cube, cylinder, heap, orb, etc., which can be described with the geometry terms.

Geometric objects serve as the main elements of the mathematical model of the geometry of the real or imaginary objects. Construct their construction in the three-dimensional space, considering that they are constant over time.

Objects that called solids or bodies are used for geometrical modelling for things with finite volume in mathematics. The way of their description is distinguished from the description of curves and surfaces. Many units can be modeled using only planes.

To make models of objects surfaces are used in Constructive Solid Geometry. Constructive Solid Geometry manipulates with the primitives. We can perform various operations (primarily Boolean operations) with them and objects which are received from primitives. About the efficiency application of the geometrical surfaces of the complex shapes, using a computer program OpenFlipper, compared with others programs, are shown examples of designed 3D models.

Key words: geometry object, three-dimensional surface, shell, 3D model, primitive, computer program OpenFlipper.

Геометричне моделювання вивчає методи побудови математичної моделі, яка описує геометричні властивості предметів навколишнього світу. Воно базується на математичному аналізі, аналітичній та диференціальній геометрії, обчислювальній математиці, варіаційному численні, топології і розробляє власні математичні методи моделювання [2]. На відміну від креслення, модель є однозначним представленням геометрії та кількісного складу об'єкта при деяких припущеннях. Будемо цікавитися формою оточуючих предметів, їх розмірами і взаємним розташуванням, не вдаючись у подробиці фізичних властивостей. Іншими словами, будемо вивчати і моделювати геометричні властивості реальних чи уявних об'єктів. Нашою кінцевою метою буде побудова математичних моделей геометрії цих об'єктів. Ці моделі потрібні для прийняття рішень, проведення досліджень, виробництва матеріальних цінностей тощо. Також під геометричним моделюванням ми будемо розуміти створення зображення в комп'ютерній графіці із сукупності геометричних примітивів, таких, як куб, циліндр, піраміда, сфера та ін., які можна описати математичними виразами, що відображено в роботі [3].

Над тілами, як і над іншими геометричними об'єктами, можна виконувати операції – сукупність дій над одним або кількома тілами, які призводять до народження нового тіла. Одними з основних операцій для двох тіл є булеві операції. Булевими операціями називають операції об'єднання, перетину і віднімання тіл. Властивості таких операцій наведено в роботах [3, 6].

Тіла можна описати набором поверхонь, що не використовують ні грані, ні ребра, ні вершини. У реальних деталей ці поверхні можуть мати дуже складну форму, як у сенсі кривизни, так і в сенсі меж. Одним зі зручних способів побудови поверхонь, що описують тіло, є спосіб одночасної побудови всіх необхідних поверхонь за допомогою операцій над тілами. Для цього береться одне з простих тіл, і далі в певних місцях до нього додається або від нього віднімається об'єм. Наприклад, для того, щоб просвердлити отвір в деякому тілі, виконується булева операція віднімання з цього тіла циліндричного тіла, що відіграє роль свердла. Аналогічно проектуються пази і вирізи. Для того, щоб зварити моделі двох деталей,

виконується булева операція об'єднання тіл. Використання топологічних об'єктів необхідно для коректного виконання цих операцій. Побудові моделей топологічних об'єктів присвячено деякі глави підручників [3, 8].

При проектуванні доводиться розглядати декілька варіантів деталей і збірних одиниць. Різні варіанти однієї і тієї ж деталі можна отримати шляхом зміни необхідних параметрів її початкового варіанту. Для цього в математичній моделі деталі необхідно мати інформацію про шляхи і способи її побудови. Отже, геометрична модель деталі повинна бути доповнена ще деякою інформацією про послідовність її побудови. Деякі приклади вирішення таких проблем наведено в роботі [3].

Найбільш загальний підхід до описання тіл полягає в представленні тіла за допомогою сукупності обмежувальних його об'єм оболонок, граней і ребер, які задані параметрично. Кожну оболонку будуємо з набору поєднаних одна з одною поверхонь довільної форми, що містять повну інформацію про свої границі і зв'язки з сусідніми поверхнями. Таке описання тіл називають поданням за допомогою границь (Bounded representation або B-rep) [2]. Таке описання дає можливість виконати над тілом безліч операцій, зберігаючи при цьому єдиний спосіб його «внутрішнього устрою». Подання тіл за допомогою границь дозволяє моделювати об'єкти довільної форми і складності. У всіх підходах з описання тіл будемо використовувати топологічні об'єкти, враховувати зв'язності, орієнтування і замкненість. Ми будемо розглядати подання тіл за допомогою границь, спираючись на такі топологічні об'єкти, як вершина, ребро, грань і оболонка. Оболонки тіла повинні бути однорідними, тобто використовувати при описанні єдині правила. Оболонки складаються з набору граней. Кожна грань базується на деякій поверхні. Грань відрізняється від поверхні тим, що окрім поверхні вона в структурі своїх даних несе інформацію про зв'язки з сусідніми гранями, про орієнтацію в просторі і про внутрішній об'єм тіла [3].

Якщо взяти будь-яку деталь, то можна помітити, що обмежуючі її поверхні ділять простір на дві частини: одну частину простору займає деталь і вона знаходиться всередині обмежуючих оболонок, а інша частина простору лежить поза межами деталі. Перейти з однієї частини простору в іншу, щоб не перетнути обмежуючі оболонки, не можна. Отже, обмежуючі оболонки ізолюють одну частину простору від іншої. Тіло може мати одну або декілька оболонок. Якщо тіло має пустоти, то його об'єм обмежений декількома оболонками. Одна з цих оболонок є зовнішньою, а решта оболонок – внутрішніми. Внутрішні оболонки обмежують порожнечі і повністю лежать всередині зовнішньої оболонки. Моделювання оточуючих нас предметів вимагає залучення більш складних геометричних об'ємів [3, 8].

Існує велика кількість комп'ютерних програм для побудови геометричних поверхонь різної складності. Зокрема, для побудови геометричної поверхні у програмах Maple і MatLAB необхідно застосовувати певні команди, які розраховані для середовищ цих програм побудови моделей. Деякі можливості цих програм наведено в підручниках [1, 7]. З математичної точки зору, це дуже зручно, але для отримання певної простої моделі за короткий проміжок часу, раціональність у використанні цих програм залишається під великим питанням.

SolidWorks і 3Ds max, на відміну від вище згаданих програм, дають більш швидкі результати при побудові геометричних поверхонь. Інструкції щодо роботи цих програм свідчать про те, що SolidWorks і 3Ds max потребують великої кількості ресурсів оперативної пам'яті і відеокарти комп'ютера для оптимальної роботи. Аналогічні комп'ютерні програми теж вимагають великих умов щодо роботи сучасного комп'ютерного забезпечення.

Геометричному моделюванню присвячено роботи С.І. Гоменюка [4, 5], у яких відображено певні підходи до математичного моделювання за допомогою комп'ютерних програм.

У цій роботі для побудови складних геометричних моделей ми будемо використовувати прикладну комп'ютерну програму OpenFlipper, що є оптимальною з точки зору моделювання, математичного підходу і взагалі не має великих системних вимог. У середовищі цієї програми вже задані геометричні примітиви, якими можемо легко оперувати у 3D просторі програми, зокрема, такі, як куб, циліндр, піраміда, тетраедр та ін. (рис. 1).

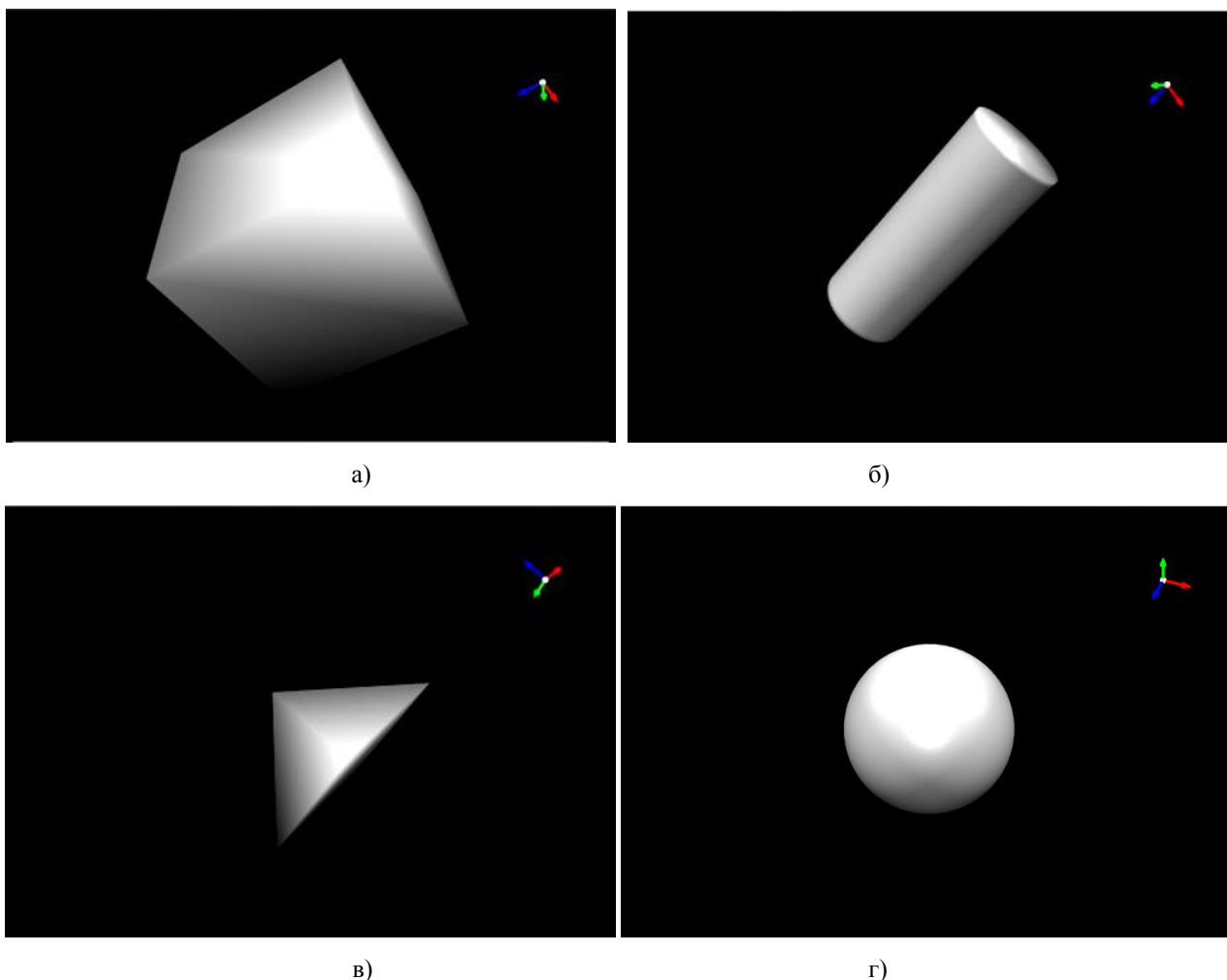


Рис.1. Приклади примітивів у середовищі програми OpenFlipper: а) куб, б) циліндр, в) піраміда, г) сфера

Якщо заглибитись у деталі, то для побудови складних геометричних фігур просто примітивів замало, адже, наприклад, щоб отримати правильну модель крила літака, треба вміти перетворювати вже дані геометричні фігури. Прикладом побудови складної геометричної моделі буде болт. Для побудови цієї моделі треба зрозуміти, з яких більш простих частин він складається. Різьбова частина і головка болта. Головка болта є більш складною геометричною фігурою на відміну від різьбової частини і її можна розкласти на прості частини. Її побудова відбувається за допомогою поєднання певної множини кубів у просторі програми, під певним кутом. Головою болта є правильний шестикутник, внутрішні кути якого дорівнюють 120° . Якщо переміститися на площину, то стане зрозуміло, що потрібно утворити шестикутник правильної форми з поєднання квадратів. Основне питання яке виникає, як все ж досягти правильного поєднання? Для досягнення поставленої мети примітиви розглядаються на координатній площині Oxy , не беручи до уваги вісь z . Призначаючи кожному кубу окрему систему координат для паралельного переносу або повороту геометричного тіла на певний кут, переносимо перший примітив у початок координат $(0,0,0)$. Для правильного розташування другого кубу призначаємо систему координат і координати ті ж самі, що і в попереднього. У цьому разі потрібно здійснити поворот другого примітива на 30° по осі Oz (рис. 2).

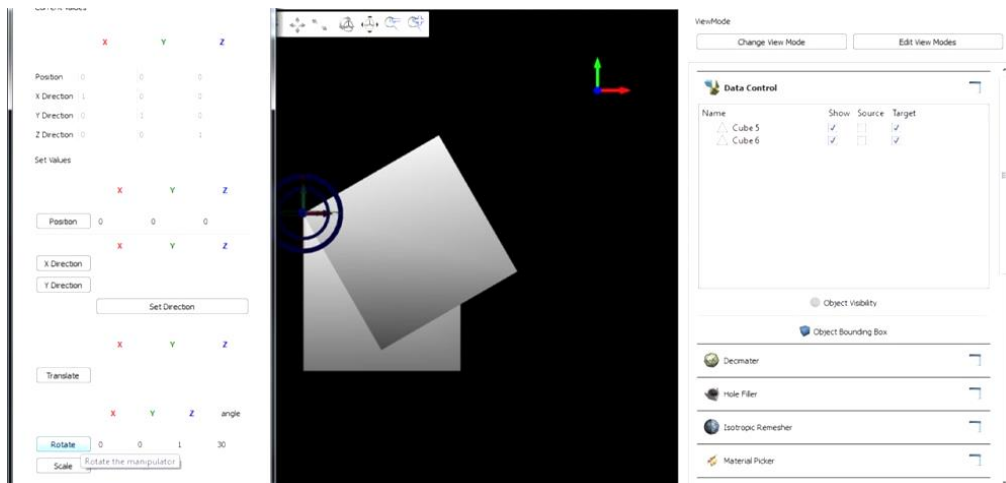


Рис. 2. Розташування кубів за допомогою власних систем координат

Загальним кутом обох кубів буде кут, що є початком власних систем координат. Так само продовжуємо поєднання кубів у складну тривимірну геометричну фігуру, яка є головкою болта (рис. 3).

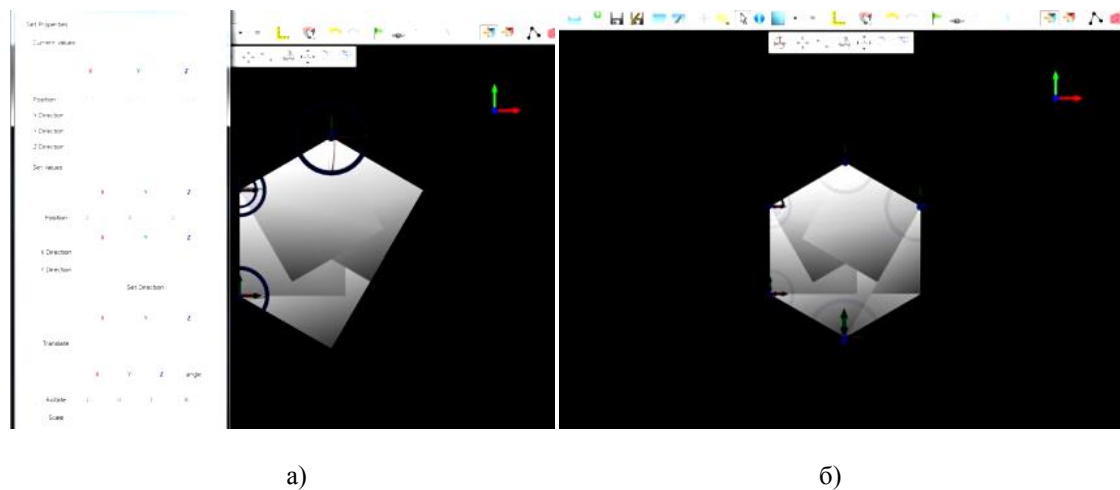


Рис. 3. Процес поєднання примітивів у складну тривимірну модель: а) чотири куби, б) шість кубів – верхня частина болта

Отримавши правильне тривимірне геометричне тіло, так звану головку болта, доповнимо її різьбовою частиною у вигляді циліндра, що займає місце в центрі правильного шестикутника (рис. 4).

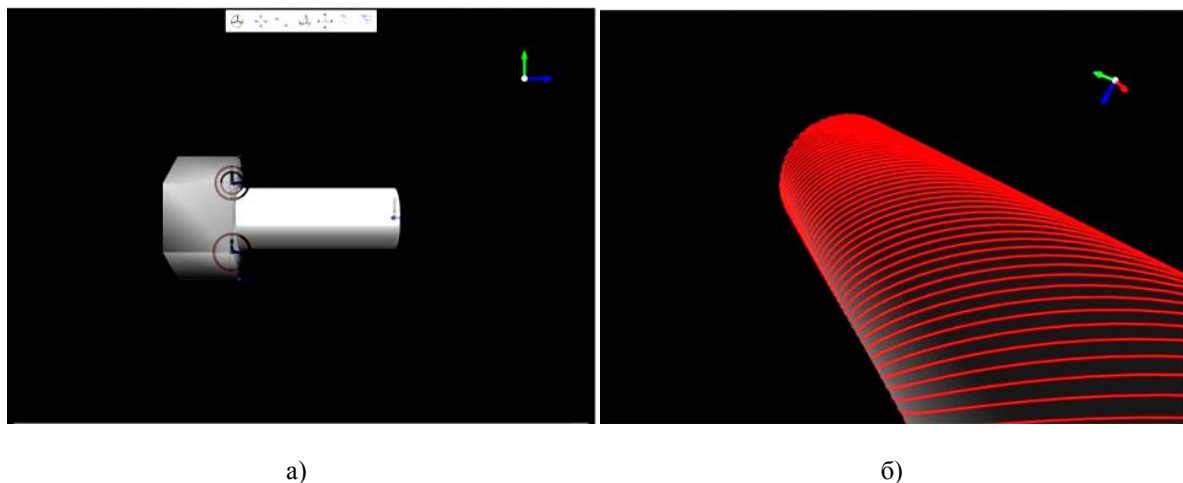


Рис. 4. Модель болта, різьбова частина: а) модель болта, вид збоку, б) модель різьбової частини болта

У програмі досить просто виконуються операції над геометричними тілами, адже окрім присвоєння координат певній множині геометричних примітивів, їх можна пересувати відносно будь-яких з осей, розтягувати, робити з них площини, позбавившись одного з параметрів координат і обертати на певний кут, не задаючи його конкретно. Ці функції дають можливість робити наближені моделі тих чи інших предметів. Зауважимо, що з точки зору геометрії, ми проводимо ряд складних поетапних перетворень над примітивами, що мають складний характер і несуть велику кількість обчислень і обробки даних. Отже, отримуємо моделі, апроксимовані до реальних.

На рис. 5 показано ділення поверхні циліндра на полігони шляхом задання кута. Як результат, отримуємо сітку на поверхні циліндра.

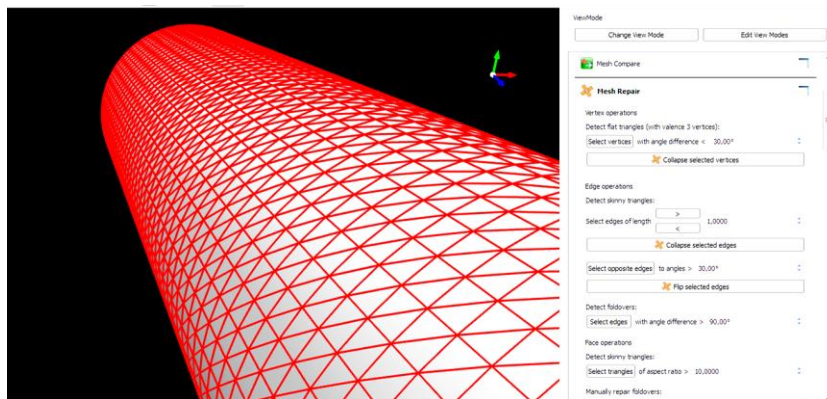


Рис. 5. Ділення поверхні циліндра на полігони

Так само можна розробити модель складної форми. За приклад було взято літак моделі G650. Завдяки нескладним операціям і поєднанню примітивів отримуємо готову модель. Для її розробки використовувалися циліндри (крило літака, хвостова частина і двигуни) і сфери (двигуни і салон літака) (рис. 6).

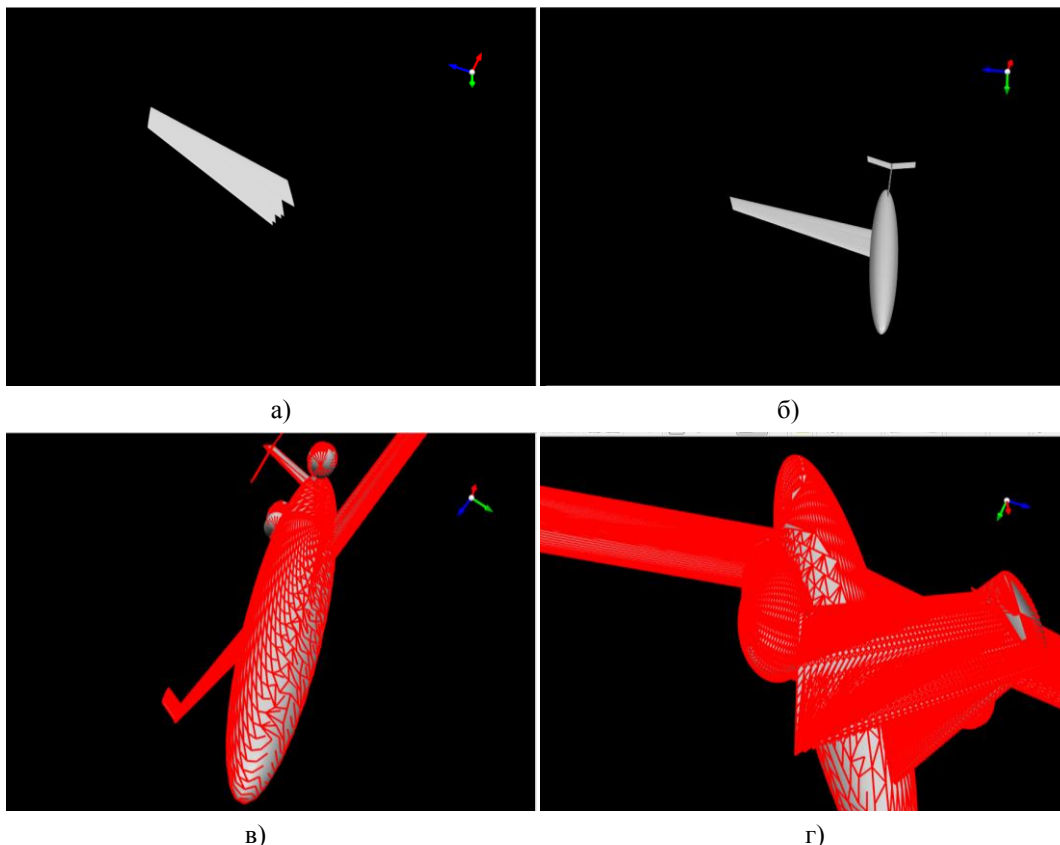


Рис. 6. Етапи створення моделі літака: а) крило, б) салон, крило і хвостова частина, в) модель літака покрита сіткою (вид спереду), г) модель літака покрита сіткою (вид сзаду)

Отримані в такий спосіб результати у вигляді ілюстрацій спроектованих 3D моделей у середовищі програми, свідчать і переконують про корисність можливостей розробки тривимірних поверхонь за допомогою комп'ютерної програми.

На рис. 4 і рис. 6 зображені ілюстрації отриманих результатів, основних перетворень примітивів за допомогою простих команд програми. Усі отримані геометричні поверхні задані одним матеріалом, про що свідчить колір і цілісність моделей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аладьев В. З. Основы программирования в Maple / В. З. Аладьев. — Таллин, 2006. — 67 с.
2. Васильков Д. М. Геометрическое моделирование и компьютерная графика: алгоритмические основы : курс лекций / Д. М. Васильков. — Минск : БГУ, 2011. — 41 с.
3. Голованов Н. Н. Геометрическое моделирование / Н. Н. Голованов. — М. : Издательство физико-математической литературы, 2002. — С. 276-281.
4. Гоменюк С. И. Геометрическое моделирование объектов сложной формы с использованием R-функций / С. И. Гоменюк, А. А. Лисняк, С. В. Чопоров // Труды Первой международной конференции «Трехмерная визуализация научной, технической и социальной реальности» (4-6 февраля 2009, Ижевск, Удмуртская республика, Россия). — Ижевск : Удмуртский государственный университет, 2009. — С. 132-136.
5. Гоменюк С. И. Использование R-функций для геометрического моделирования зубчатых колес / С. И. Гоменюк, С. В. Чопоров // Труды Второй международной конференции «Трехмерная визуализация научной, технической и социальной реальности. Технологии высокополигонального моделирования» (24 ноября 2010, Ижевск, Россия). — Ижевск : Удмуртский государственный университет, 2010. — Т. 2. — С. 36-38.
6. Дубровин В. А. Современная геометрия / В. А. Дубровин, С. П. Новиков, А. Т. Фоменко. — М. : Наука, 1986. — 127 с.
7. Лазарев Ю. Ф. Начала программирования в среде MatLAB : Учебное пособие / Ю. Ф. Лазарев. — К. : НТУУ «КПИ», 2003. — 424 с.
8. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин / А. Розенфельд. — М. : Мир, 1972. — 49 с.

REFERENCE

1. Aladev, V.Z. (2006), *Osnovi programirovaniya v Maple* [Basics of programming in Maple], Tallinn, Estonia.
2. Vasilkov, D.M. (2011), *Geometricheskoe modelirovanie i compyuternaya grafika: algoritmicheskie osnovi: kurs leksiy* [Geometric modeling and computer graphics: algorithmic: lecture], BGU, Minsk, Belorussia.
3. Golovanov, N.N. (2002), *Geometricheskoe modelirovanie* [Geometric modeling], Fizmatlit, Moscow, Russia.
4. Gomenyuk, S.I., Lisnyak, A.A. and Choporov, S.V., (2009), “Geometric modeling of complex objects using R-functions”, *Trekhmernaya vizualizatsii nauchnoy, tekhnicheskoy i sotsialnoy realnosti. Trudy pervoy mezhdunarodnoy konferentsii*. [Three-dimensional visualization of scientific, technical and social reality. The work of the First International Conference], Izhevsk, Urdmurtsky University State, February 4-9, 2009, pp. 132-136.
5. Gomenyuk, S.I., Choporov, S.V. (2010), “Using R-functions for geometric modeling gears”, *Trekhmernaya vizualizatsii nauchnoy, tekhnicheskoy i sotsialnoy realnosti. Technologii visikopoligonalnogo modelirovania Trudy vtoroi mezhdunarodnoy konferentsii*. [Three-dimensional visualization of scientific, technical and social reality. Vysokopoligonalnye simulation technology The work of the Second International Conference], Izhevsk, Urdmurtsky University State, November 24, 2010, pp. 36-38.

6. Dubrovin, V.A., Novikov, S.P., and Fomenko, A.T. (1986), *Sovremennaya geometriya* [Modern Geometry], Nauka, Moscow, Russia.
7. Lazarev, Yu. Ph. (2003), *Nachala programirovaniya v srede MatLAB: uchebnoe posobie* [Start programming in MatLAB: Textbook], KPI, Kiev, Ukraine.
8. Rozenfeld, A. (1972), *Raspoznanie i obrabotka izobrazhenii s pomoshchu vychislitel'nykh mashin* [Recognition and image processing using computers], Mir, Moscow, Russia.

УДК 539.3

AN APPROXIMATE NONLINEAR DYNAMIC PROBLEM SOLUTION OF FUNCTIONALLY GRADED MATERIAL SHALLOW SHELL STRUCTURE WITH IN TIME THICKNESS VARIATION

Gristchak V. Z., D. of Technical Science, Professor, Fatieieva Yu., PhD student

*Zaporizhzhue National University,
Zhukovsky str., 66, Zaporizhzhya, 69600, Ukraine*

fateevajulia@gmail.com

This paper deals with an approximate analytical solution of nonlinear problem for dynamics of Functionally Graded Material (FGM) shallow shell on the basis of hybrid perturbation-WKB asymptotic approach. The motion of the structures is derived using classical shell theory. Special attention is paid to investigate the influence of material properties, which are graded in the thickness direction according to the power-law distribution in terms of volume fractions of the material, on dynamic behavior structures with given initial conditions. The non-linear strain-displacement relationships based upon the von Karman theory for moderately large normal deflections. By taking inertia forces into account and after some assumptions with respect to boundary conditions, discussed problem leads to a singular non-linear second order differential equation with variable in time coefficients. According to perturbation method with respect to parameter of nonlinearity, solution of initial differential equation is obtained in the form of two terms approximation. After the perturbation procedure the system of ordinary singular differential equations with variable in time coefficient is solved by two terms WKB – approximation as well. Final result is an approximate hybrid analytical solution of nonlinear problem on the basis of perturbation - WKB method. Solution of non-linear problem is presented in compact form, where first term corresponds to free vibration of system, second term – forced oscillation and third term – solution of nonlinear part of the problem. Analytical solution for some thickness functions in time of structure is compared with direct numerical integration of initial equation of the problem.

Key words: approximate analytical solution, nonlinear problem, dynamics, Functionally Graded Material, shallow shell, hybrid perturbation-WKB method.

ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ ПОЛОГОЙ ОБОЛОЧКИ ПЕРЕМЕННОЙ ВО ВРЕМЕНИ ТОЛЩИНЫ ИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНОГО МАТЕРИАЛА

Грищак В. З., д. т. н., профессор, Фатеева Ю. А., аспирант

*Запорожский национальный университет,
ул. Жуковского, 66, г. Запорожье, 69600, Украина*

fateevajulia@gmail.com

В статье рассматривается приближенное аналитическое решение нелинейной задачи динамики функционально-градиентных материалов (ФГМ) пологой оболочки на основе метода возмущений и ВКБ асимптотического подхода. Движение конструкций описывается с помощью классической теории оболочки. Особое внимание уделяется исследованию влияния свойств материалов, которые оцениваются по направлению толщины в соответствии с распределением по степенному закону с точки зрения объема материала, на динамические структуры поведения с заданными начальными условиями. Нелинейные зависимости деформации - смещения, основаны на теории Кармана для умеренно больших нормальных отклонений. Принимая силы инерции во внимание и некоторые граничные условия, обсуждаемая проблема приводит к особому нелинейному