



ECONOMIC
AND TECHNICAL
ENGINEERING

Scientific and practical journal "Economics and technical engineering"

Vol. 1 No. 1 (2023)

Available since: 2023

Published: 2 times a year

Founders: State University of Economics and Technology

ISSN: 3041-1246

E-mail: etc@duet.edu.ua Journal homepage: <https://etc.org.ua>

JEL: L86

DOI: 10.62911/etc.2023.01.01.07

Construction surface using desktop and mobile applications

Citation:


Zelensky, O. (2023). Construction surface using desktop and mobile applications. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering", 1(1), 87–102.

<https://doi.org/10.62911/etc.2023.01.01.07>

Oleksandr Zelensky

Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: zelensky@duet.edu.ua

 *ORCID iD: 0000-0001-8780-587X*

Abstract: The purpose of the work is the construction of surfaces when using desktop and mobile applications both in the educational process and in the mining industry. The integrated Microsoft Visual Studio 2019 environment is used for desktop programs using C++ and C# programming languages. Android Studio, Java language is used for mobile applications. The information base for the programs being developed is the relational DBMS ACCESS and SQL SERVER, as well as the cloud DBMS of the NoSQL class Firebase Realtime Database, which allows application developers to store data and synchronize it between several clients. The following methods of constructing surfaces (3d models) are considered in the article: Interpolation (grid and frame), polynomial, B-spline (NURBS surface), nearest areas (polygons). These methods are used in the creation of an automated system of HMZ in the planning and management of mining operations in the pit. This system has been tested by many years of positive experience of industrial application and can be used for non-ferrous ore and iron ore deposits. Theoretical material and real software are provided for the educational process. This allows you to improve your knowledge in the field of mathematics and programming, having the source texts of the programs. Modern programming languages for desktop and mobile applications using DBMS and cloud technologies are used here. Mathematical support for the construction of surfaces is given. At the same time, the NURBS surface and the method of nearest regions are implemented for the first time. The efficiency of the implementation of models is significantly increased due to the use of shaders. The B-spline in the form of a surface is used for modeling the day surface of a quarry, complete counting of reserves, accounting for ore extraction, contouring of ore bodies. Polygons are mainly used in the operational calculation of reserves in given contours of mining operations. The interpolation method of grids is used in profiles for complete calculation of reserves, contouring of ore bodies, construction of isolines.

Received: 10/09/2023

Accepted: 25/10/2023



Keywords: OpenGL ES, B-spline, NURBS-surface, RealTime DataBase, DBMS.


JEL: L86

Construction surface using desktop and mobile applications

Oleksandr Zelensky

Prof. DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: zelensky@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-8780-587X

Abstract: The purpose of the work is the construction of surfaces when using desktop and mobile applications both in the educational process and in the mining industry. The integrated Microsoft Visual Studio 2019 environment is used for desktop programs using C++ and C# programming languages. Android Studio, Java language is used for mobile applications. The information base for the programs being developed is the relational DBMS ACCESS and SQL SERVER, as well as the cloud DBMS of the NoSQL class Firebase Realtime Database, which allows application developers to store data and synchronize it between several clients. The following methods of constructing surfaces (3d models) are considered in the article: Interpolation (grid and frame), polynomial, B-spline (NURBS surface), nearest areas (polygons). These methods are used in the creation of an automated system of HMZ in the planning and management of mining operations in the pit. This system has been tested by many years of positive experience of industrial application and can be used for non-ferrous ore and iron ore deposits. Theoretical material and real software are provided for the educational process. This allows you to improve your knowledge in the field of mathematics and programming, having the source texts of the programs. Modern programming languages for desktop and mobile applications using DBMS and cloud technologies are used here. Mathematical support for the construction of surfaces is given. At the same time, the NURBS surface and the method of nearest regions are implemented for the first time. The efficiency of the implementation of models is significantly increased due to the use of shaders. The B-spline in the form of a surface is used for modeling the day surface of a quarry, complete counting of reserves, accounting for ore extraction, contouring of ore bodies. Polygons are mainly used in the operational calculation of reserves in given contours of mining operations. The interpolation method of grids is used in profiles for complete calculation of reserves, contouring of ore bodies, construction of isolines.


Keywords: OpenGL ES, B-spline, NURBS-surface, RealTime DataBase, DBMS.

Побудова поверхонь при використанні десктопних та мобільних додатків

Олександр Зеленський

д. т.н, професор, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: zelensky@duet.edu.ua

 ORCID iD: 0000-0001-8780-587X

Анотація: Метою роботи є побудова поверхонь при використанні десктопних та мобільних додатків як в навчальному процесі, так і у гірничорудній промисловості. Для десктопних програм використовується інтегроване середовище Microsoft Visual Studio 2019 з використанням мов програмування C++ і C#. Для мобільних програм використовується Android Studio, мова Java. Інформаційною основою для програм, що розробляються, є реляційні СУБД ACCESS і SQL SERVER, а також хмарна СУБД класу NoSQL Firebase Realtime Database, що дозволяє розробникам додатків зберігати дані та синхронізувати їх між кількома клієнтами. У статті розглядаються наступні методи побудови поверхонь (3d моделей): інтерполяційний (сіток і каркасний), поліноміальний, B – сплайн (NURBS-поверхня), найближчих районів (багатокутників). Ці методи використовуються при створенні

автоматизованої системи ГМЗ при плануванні та управлінні гірничими роботами у кар'єрі. Ця система апробована багаторічним позитивним досвідом промислового застосування і може бути використана для кольорових рудних та залізородних родовищ. Для навчального процесу дано теоретичний матеріал та реальне програмне забезпечення. Це дозволяє підвищити свої знання в галузі математики та програмування, маючи вихідні тексти програм. Тут використовуються сучасні мови програмування для десктопних та мобільних додатків з використанням СУБД та хмарних технологій. Подано математичне забезпечення побудови поверхонь. При цьому NURBS поверхню та метод найближчих районів реалізовано вперше. Оперативність реалізації моделей значно збільшується за рахунок використання шейдерів.

Ключові слова: OpenGL ES, B-сплайн, NURBS-поверхня, RealTime DataBase, СУБД.

Вступ (Introduction)

Використання поверхонь широко використовується в науці та практиці. У виробництві необхідно отримувати поверхні для створення складних виробів у вигляді математичних моделей з метою багаторазового відтворення деталей за допомогою штампування, лиття та інших технологічних операцій із заданою точністю. Можна навести численні приклади використання побудови поверхонь у гірничорудній промисловості. При цьому ефективність розробки інформаційної системи управління кар'єром насамперед визначається наочністю, точністю побудови поверхонь, які використовуються при вирішенні таких завдань, як підрахунок запасів (оперативний та повний), облік видобутку руд, формування інформаційного базису для планування та управління гірничими роботами, моделювання родовища та кар'єра, оконтурювання рудних тіл тощо. Побудова математичних моделей, зазвичай, здійснюється у різних тривимірних CAD-пакетах. Однак такі пакети розробляються автономно, складне їх використання як складова частина всередині великих пакетів, при автоматизованому формуванні вихідних даних і використанні побудови поверхні для подальших розрахунків. При цьому не наводиться оцінка точності побудови поверхонь. В основному такі моделі не динамічні – малокеровані, тобто при різкій зміні даних контрольних точок поверхня поводить себе неадекватно. Тут необхідно змінювати "ваги" контрольних точок, які можуть формуватися під час вирішення завдань. Зрештою, ми повинні мати свої вітчизняні розробки. Для програмування комп'ютерної тривимірної графіки на сьогоднішній день здебільшого використовуються дві апаратно-прискорювані бібліотеки: OpenGL ES та DirectX (Direct3D). Перевагою бібліотеки OpenGL ES є її незалежність від операційної системи. Так, за допомогою цієї бібліотеки можна розробляти програми для операційних систем Windows, MacOS, IOS, Android і т.д., в той час як DirectX працює тільки для Windows.

Матеріали та методи (Materials and Methods)

Для навчального процесу та реальних об'єктів використовується бібліотека OpenGL ES для операційних систем Windows та Android, тобто. відповідно для десктопних та мобільних додатків. Для десктопних програм використовується інтегроване середовище Microsoft Visual Studio 2019 з використанням мов програмування C++ і C#. Для мобільних програм використовується Android Studio, мова Java.

У навчальному процесі студенти зі спеціальності «Інженерія програмного забезпечення» вивчають розроблений авторами пакет "Graf", що складається з 70 модулів. 15 з них призначені для побудови поверхонь різними способами. Студенти знайомляться з постановкою задач, їх математичним та програмним забезпеченням. Крім того, для навчальних цілей розроблено пакет мобільних додатків "Graf_M", деякі з них реалізують побудову поверхонь.

Авторами багато років розроблялась, удосконалювалась та впроваджувалась десктопна багатомодульна автоматизована система геолого-маркшейдерського забезпечення (ГМЗ) (Zelenskyi, Baran, Lysenko і in, 2012). Це повною мірою використовується в оновленому модулі побудови поверхонь. У першому варіанті модуль було впроваджено на підприємстві

"Ерденет" (Монголія), що розробляє мідно-молібденове родовище. Новий варіант розроблено для умов залізородних родовищ. Він наводиться на прикладі Південного гірничо-збагачувального комбінату (Півд. ГЗК). Модуль значно змінено як у галузі програмування, так і математичного забезпечення.

Результати (Results)

У статті розглядається побудова поверхонь мінливості показника за вихідними точками з координатами X , Y , Z , де Z – значення показника. У пакеті "Graf" та "Graf_M" координати вихідних контрольних точок формуються випадковим чином. В автоматизованій системі ГМЗ використовується цифрова модель родовища (ЦМР), що містить по горизонтах кар'єру дані випробування (Z) та координати (X , Y) усть по свердловинах.

Інформаційною основою для програм, що розробляються, є реляційні СУБД ACCESS і SQL SERVER, а також хмарна СУБД класу NoSQL Firebase Realtime Database, що дозволяє розробникам додатків зберігати дані та синхронізувати їх між кількома клієнтами. У роботах розглядаються такі методи побудови поверхонь (3d моделей):

- Інтерполяційний (сіток і каркасний);
- Поліноміальний;
- В – сплайн (NURBS поверхня);
- Найближчих районів (багатокутників).

При цьому наводяться приклади з навчальних пакетів та автоматизованої системи ГМЗ.

1. Інтерполяційна 3d модель

Розглянемо приклад десктопного додатку в автоматизованій системі ГМЗ. Вхідними даними є дані по опробування по свердловинам, які зберігаються у хмарній СУБД класу Firebase Realtime Database (рис. 1).

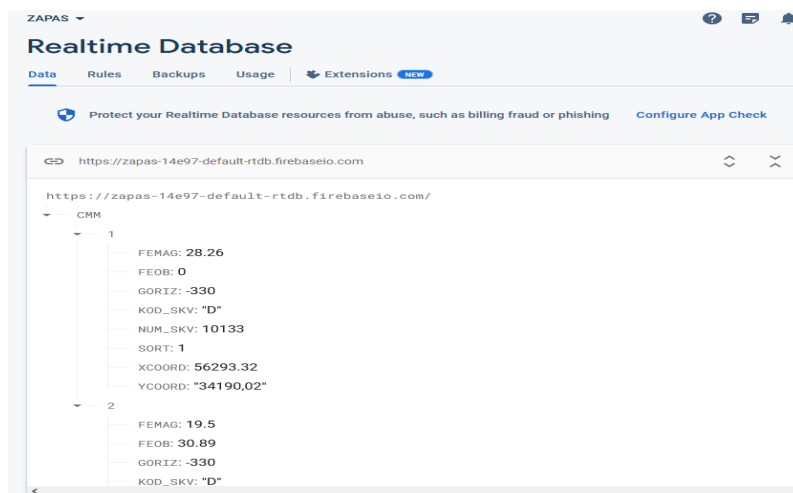


Рисунок 1. Інформація по свердловинам хмарної СУБД Firebase Realtime Database
З рисунку видно, що інформація по свердловинам має наступну структуру:

1. GORIZ – номер горизонту.
2. KOD_SKV – код свердловини (детальна «D» або експлуатаційна «E» розвідка).
3. NUM_SKV – номер свердловини.
4. XCOORD, YCOORD – координати розташування свердловини по осям Ox , Oy .
5. FEOB – дані опробування за показником $F_{e_{заг}}$.
6. FEMAG – дані опробування за показником $F_{e_{маг}}$.
7. SORT – сорт свердловини.

Спочатку формується прямокутна область, у межах якої будується поверхня. На рис. 2. показаний такий контур щодо нульового горизонту родовища ПівдГЗК. Тут по свердловинах

показані значення даних випробування по магнетитовому залізу Fe_{mag} . Потім контур покривається правильною регулярною сіткою із заданим кроком (рис. 2). Інтерпольовані значення у вузлах сітки визначаються методом зворотних відстаней. Якщо при заданій дистанції пошуку (на рис. 3. жовте велике коло) відносно вузла сітки, що розглядається, немає свердловин, тоді автоматично радіус цього кола збільшується до позитивного результату.

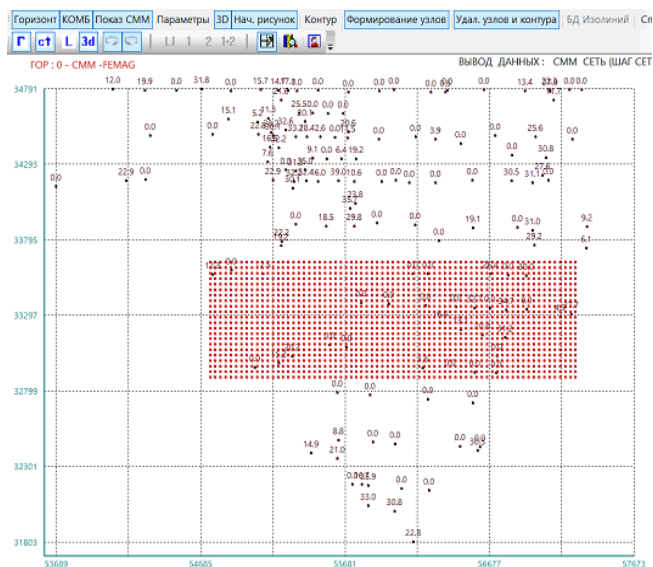


Рисунок 2. Інтерпольовані значення у вузлах сітки.

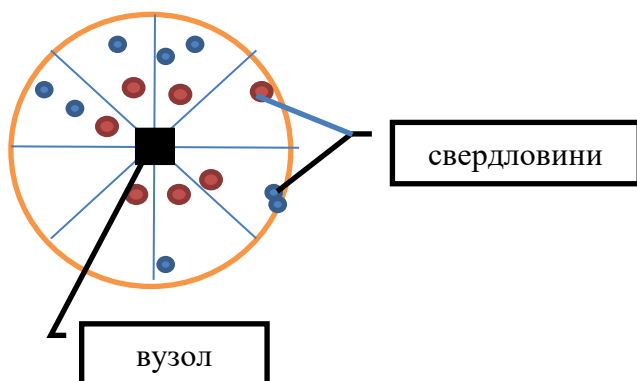


Рисунок 3. Пошук свердловин для інтерполяції у вузлі сітки.

Для виключення скупчення свердловин в одному напрямку та обліку просторового розташування свердловин, коло дистанції пошуку поділяється на 8 секторів і при інтерполяції враховуються тільки найближчі свердловини в кожному секторі. На рис. 3. червоним кольором позначені свердловини, що використовуються при інтерполяції.

Значення показника у вузлі сітки A визначається як середньозважене значення:

$$C_A = \frac{\sum_{i=1}^N C_i d_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-\alpha}}, \quad (1)$$

де C_A – інтерпольоване значення показника у вузлі A ; N – кількість найближчих свердловин (дистанція пошуку свердловин); α – показник ступеню; d_i – відстань між найближчими свердловинами та вузлом інтерполювання; C_i – значення показника у свердловині, найближчої до вузла інтерполювання.

Відносно кожного вузла сітки будуються дотичні прямокутні призми, основою яких є квадрат. Вузол знаходиться у центрі квадрата. Сторона квадрата дорівнює кроку інтерполяційної сітки. Висота призми дорівнює значенню показника у вузлі сітки. На рис. 4 показано інтерполяційну модель. Така 3d модель є сітковою. Ця поверхня показує мінливість змісту заліза магнетитового (Fe_{Mag}) на одному з горизонтів залізородного родовища.

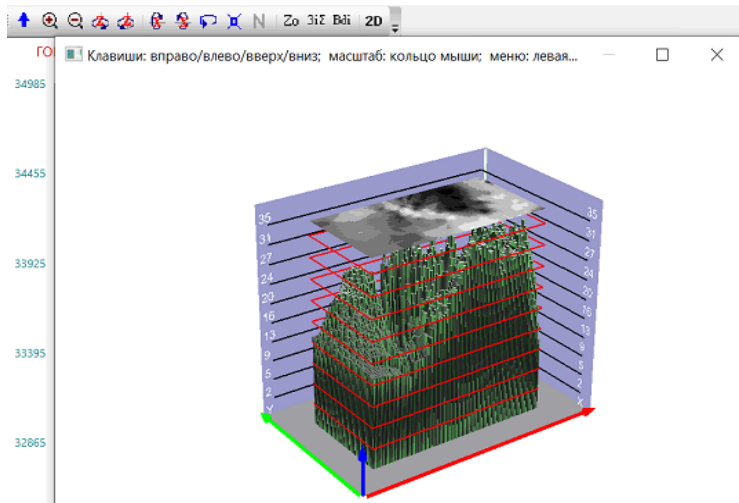


Рисунок 4. Інтерполяційна модель та ізолінії

Для побудови ізоліній достатньо побудувати перерізи, як показано на рис. 4. Користувач встановлює крок перерізу, тобто значення показника між перерізами. Кожен переріз перетинається із призмами. Чим вище переріз, тим області перетину стають світлішими. Їх сукупність і являє собою ізолінії. Як видно із рис. 4, на невеликій відстані від поверхні показана площина, на якій продемонстровані ізолінії по Fe_{Mag} . Вони виділені різним кольором: від чорного до білого.

Каркасна модель є різновидом інтерполяційної моделі. Тут проводяться ламані лінії (відрізки) між сусідніми горизонтальними вузлами сітки, потім між сусідніми вертикальними вузлами. Реалізація моделі наведена на рис. 5.

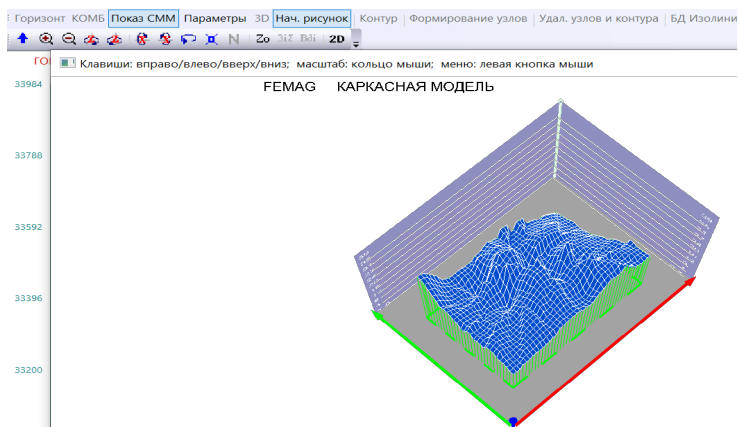


Рисунок 5. Каркасна модель

Результат побудови сіткової моделі на смартфоні при використанні Android Studio показаний на рис. 6. Тут вихідними даними є координати заданого контуру та контрольних точок.

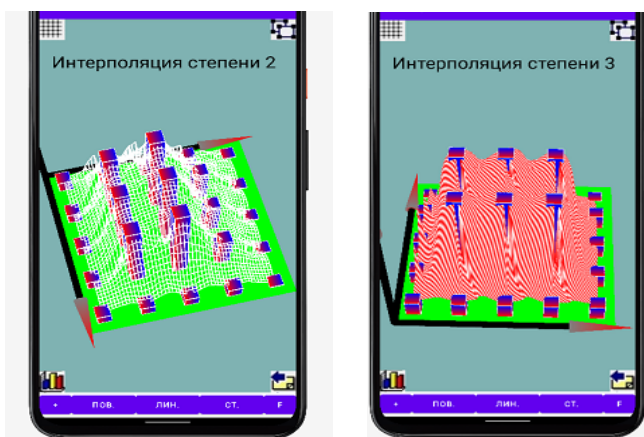


Рисунок 6. Каркасні моделі в Android Studio

Кількість точок та їх координати можуть генеруватися випадковим чином. Для простоти представлення матеріалу розглянуто приклад симетричного розташування (X, Y) на площині. На рис. 6 кожна точка представлена призмою ("стовпчиком"), висота якої визначається позначкою Z . При цьому надається можливість керування моделлю 3d за допомогою меню та "кнопок", показаних на малюнку. Тут можна обертати фігуру, змінювати її розташування та розміри, генерувати кількість та параметри вихідних призм, змінювати ступінь та крок при інтерполяції, товщину та колір ліній з'єднання, накладати текстури. На рис. 6 "ліворуч" показана поверхня при інтерполяції показником ступеня $\alpha = 2$. На рис. 6 "праворуч" використовується $\alpha = 3$ та поверхня покривається текстурою.

2. Поліноміальна 3d модель

Для визначення залежності поліному у тривимірному просторі $z = f(x, y)$ використовується алгоритм, наведений у праці (Zelenskyi, Baran, Lysenko i in, 2012).

Для полінома 5-го ступеня дану залежність можна подати у вигляді:

$$z = A_0 + A_1x + A_2y + A_3x^2 + A_4xy + A_5y^2 + A_6x^3 + A_7x^2y + A_8xy^2 + A_9y^3 + A_{10}x^4 + A_{11}x^3y + A_{12}x^2y^2 + A_{13}xy^3 + A_{14}y^4 + A_{15}x^5 + A_{16}x^4y + A_{17}x^3y^2 + A_{18}x^2y^3 + A_{19}xy^4 + A_{20}y^5, \quad (2)$$

де A_0, A_1, \dots, A_{20} – коефіцієнти поліному, які треба визначити.

Кількість коефіцієнтів при невідомих (лінійних рівнянь) в залежності від ступені поліному α визначається за формулою:

$$K = \frac{(\alpha + 1)(\alpha + 2)}{2}, \quad (3).$$

Для полінома 5-го ступеня $K = 21$.

При визначенні z полінома t -го ступеня у вищенаведеній формулі використовується t перших складових. Так для полінома 3-го ступеня кількість складових дорівнює 10.

$$z = A_0 + A_1x + A_2y + A_3x^2 + A_4xy + A_5y^2 + A_6x^3 + A_7x^2y + A_8xy^2 + A_9y^3 + A_{10}x^4, \quad (4)$$

Для визначення коефіцієнтів A_i поліному 5-ї ступені вирішується система з 21 лінійного рівняння.

ES використовується мова GLSL. Вони створюються в окремих файлах, або у кодї. Шейдери працюють у парї: вершинні шейдери та фрагментні. Вершинні - це маленькі програми, які виконуються для кожної вершини об'єкта. Фрагментний шейдер обробляє кожну видиму частину кінцевого зображення. В інтернеті достатньо багато матеріалу по роботі з шейдерами.

3. В – сплайн (NURBS поверхня)

Наведемо приклад розрахунку В-сплайн кривої на базі 8 контрольних точок, використовуючи при цьому кубічні ($m = 4$) сплайни. Реалізація В-сплайну наведена у літературі (Zelenskyi, Varan, Lysenko і in, 2012), (Khil, 2002).

При цьому стандартний вузловий вектор буде мати наступний вигляд:

$$T = (0, 0, 0, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 5, 5, 5)$$

Вісім стикувальних функцій $N_{0,4}(t)$, ..., $N_{7,4}(t)$ визначаються в цих вузлах та продемонстровані на рис. 8.

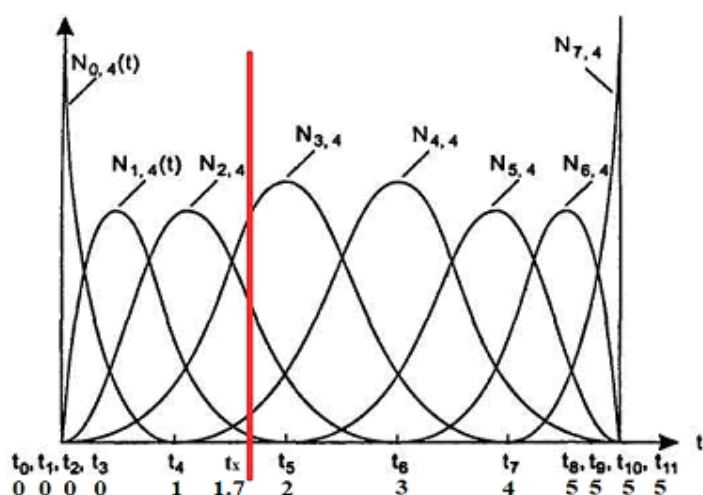


Рисунок 8. Вісім кубічних стикувальних функцій В-сплайн

Автором Френсісом Хїлом (Khil, 2002) запропоновано обчислювати координати вузлів В-сплайн кривої наступним чином:

$$P(t) = \frac{\sum_{k=0}^L P_k w_k N_{k,m}(t)}{\sum_{k=0}^L w_k N_{k,m}(t)}, \quad (8)$$

де $(L + 1)$ – кількість контрольних точок (нумерація точок від 0 до L); $P_k = (x_k, y_k)$ – координати контрольних точок; w_k – вагові коефіцієнти контрольних точок; $N_{k,m}(t)$ – стикувальні В-сплайн функції; m – порядок стикувальних В-сплайн функцій $N_{k,m}(t)$; $t \in 0, \dots, t_{max}$ (t_{max} – максимальне значення у вузловому векторі t , рівне $L - m + 2$, тобто від 0 до 5 для нашого випадку).

Дана формула має два наступні недолїки:

1. При невеликій кількості вузлів не досягається гладкість кривої. Для нашого випадку кількість вузлів дорівнює 6. При цьому параметр t змінюється від 0 до 5 з кроком 1 (0, 1, 2, 3, 4, 5) та В-сплайн крива постає як звичайна ламана лінія, яка складається з 5 відрізків (рис. 9).

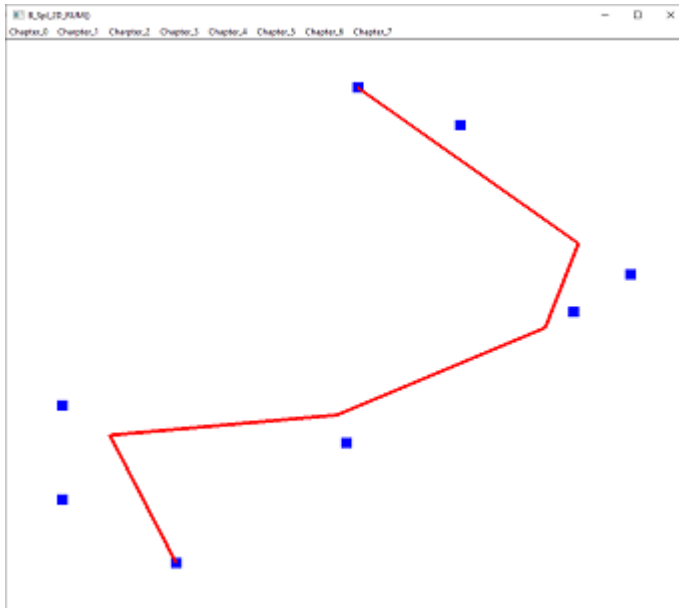


Рисунок 9. В-сплайн крива, побудована строго по 6 вузлам вузлового вектору з кроком 1.

2. При обчисленні координат вузла беруть участь всі стикувальні функції, кількість яких дорівнює кількості контрольних точок.

Зеленським О.С. вперше змінено відповідну формулу, де усунуто зазначені два недоліки. *З цією метою запропоновано:*

1. Використовувати довільний крок при зміні координат вузлового вектору в заданому діапазоні від 0 до t_{max} (для нашого випадку від 0 до 5). До прикладу, оберемо крок 0,1. При даному кроці результуючий набір буде складатися з 51 вузла ($5/0,1 + 1$), що забезпечить достатню гладкість кривої (рис. 10).

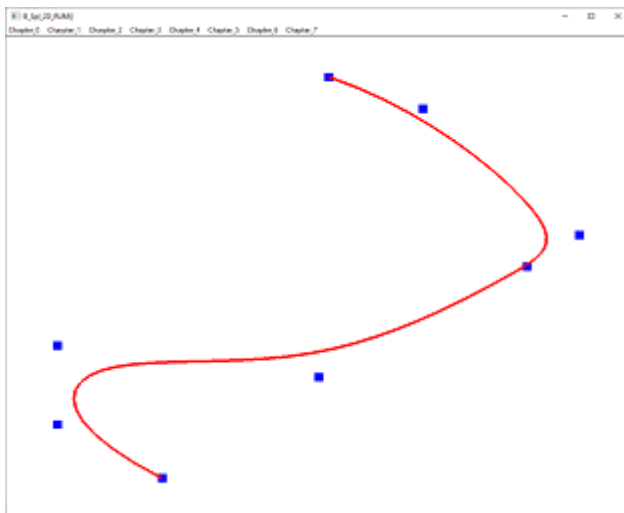


Рисунок 10. В-сплайн крива, побудована по 51 вузлу вузлового вектору з кроком 0,1

2. При обчисленні координат вузлів $P(t)$, при довільному значенні t в середині діапазону від 0 до t_{max} , використовується тільки певна кількість стикувальних функцій, яка дорівнює порядку поліному m . Так, на рис. 8. у якості t обрано значення 1,7. З рисунку видно, що вертикальна пряма перетинає тільки 4 стикувальні функції, а саме $N_{1,4}(t)$, $N_{2,4}(t)$, $N_{3,4}(t)$, $N_{4,4}(t)$. Тобто на визначення $P(t)$ впливає тільки кількість стикувальних функцій, яка дорівнює порядку поліному ($m = 4$) та відповідна кількість контрольних точок.

Таким чином, Зеленський О.С. отримав нову залежність (9) при обчисленні координат вузлів $P(t)$ для довільного параметру t в середині діапазону від 0 до t_{max} . При цьому на визначення координат вузлів впливають не всі контрольні точки, а лише 4 ($m = 4$):

$$P(t) = \frac{\sum_{k=\text{int}(t)}^{\text{int}(t)+m} P_k w_k N_{k,m}(t)}{\sum_{k=\text{int}(t)}^{\text{int}(t)+m} w_k N_{k,m}(t)}, \quad (9)$$

Так, для параметру $t = 1.7$ обираємо стикувальні функції та координати контрольних точок з індексами $k = 1, 2, 3, 4$, тобто для початкового індексу стикувальної функції треба взяти цілу частину від t :

$$\text{int}(t) = \text{int}(1.7) = 1$$

Отже, змінена формула (9) дозволяє отримати достатню гладкість кривої за рахунок обрання довільного кроку зміни параметру t , а також підвищити оперативність розрахунків за рахунок використання не всіх стикувальних функцій для обчислення $P(t)$, а тільки m ($m = 4$).

При побудові поверхонь Френсісом Хілом була запропонована формула: (Khil, OpenGL, 2015)

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{k=0}^L w_{i,k} P_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)}{\sum_{i=0}^M \sum_{k=0}^L w_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)}, \quad (10)$$

де $(M + 1)$ – кількість контрольних точок по осі OX (нумерація точок від 0 до M); $(L + 1)$ – кількість контрольних точок по осі OY (нумерація точок від 0 до L); $P_{i,k} = (x_{i,k}, y_{i,k}, z_{i,k})$ – координати контрольних точок; $w_{i,k}$ – вагові коефіцієнти контрольних точок; $N_{i,m}(u)$ і $N_{k,n}(v)$ – відповідно стикувальні B-сплайн функції у напрямку осей OX та OY ; m і n – порядок стикувальних B-сплайн функцій $N_{i,m}(u)$ та $N_{k,n}(v)$; $u \in 0, \dots, u_{max}$ (u_{max} – максимальне значення у вузловому векторі u у напрямку осі OX , рівне $M - m + 2$); $v \in 0, \dots, v_{max}$ (v_{max} – максимальне значення у вузловому векторі v у напрямку осі OY , рівне $L - n + 2$).

Таким же чином, як і при побудові B-сплайн кривої, замість вузлового вектора t використовуються два вектори u і v , які також змінюються з довільним кроком у визначених межах, відповідно від 0 до u_{max} та від 0 до v_{max} .

Отже, змінена формула (10) має вигляд наступним чином:

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=\text{int}(u)}^{\text{int}(u)+m} \sum_{k=\text{int}(v)}^{\text{int}(v)+n} w_{i,k} P_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)}{\sum_{i=\text{int}(u)}^{\text{int}(u)+m} \sum_{k=\text{int}(v)}^{\text{int}(v)+n} w_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)}, \quad (11)$$

Таким чином, запропоновані формули забезпечують гладкість B-сплайн кривих та поверхонь при невеликій кількості контрольних точок. Оперативність обчислення B-сплайнів значно підвищується, особливо при великій кількості контрольних точок.

Побудова NURBS-поверхонь на основі B-сплайнів за допомогою стандартних функцій OpenGL не дозволяє гнучко керувати поверхнею. Крім того, при побудові NURBS-поверхні

стандартними засобами OpenGL немає можливості отримати координати вузлів поверхні для виконання перерізів. У зв'язку з цим були розроблені власні функції для побудови NURBS-поверхні на основі B-сплайнів.

Як і в попередніх прикладах побудови поверхонь формується правильна регулярна сітка зі значенням показників у її вузлах. Масив інтерпольованих значень надалі використовується для візуалізації просторової мінливості показників у тривимірному просторі та є вихідним для побудови NURBS-поверхні.

На рис. 11 показано відображення мінливості заліза загального ($Fe_{заг}$) на одному з горизонтів залізородного родовища за допомогою NURBS –поверхні.

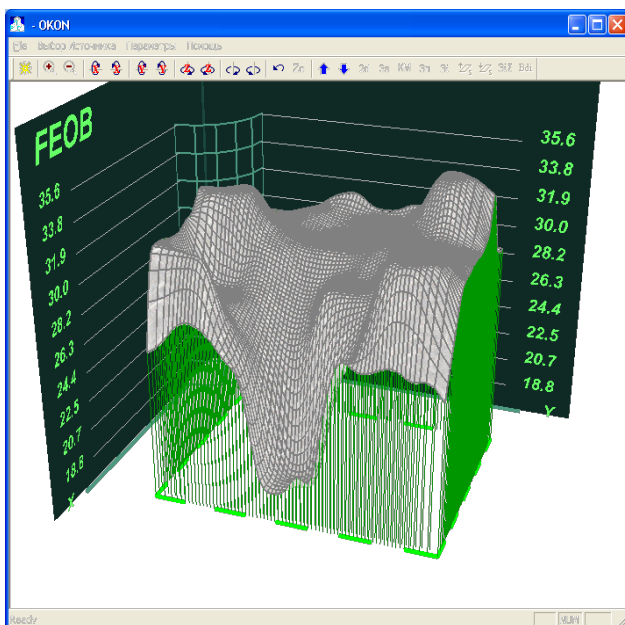


Рисунок 11. NURBS-поверхня мінливості $Fe_{заг}$

Сплайн виконує згладжування поверхні. При коригуванні вихідних даних змінюється лише найближча до цих даних область поверхні. NURBS-поверхня є керованою, можна змінити характер проходження поверхні щодо контрольних точок. На рис. 12 показані дві поверхні, побудовані по восьми контрольних точках. На рис. 12 "зліва" контрольні точки мають однакову "вагу" впливу. На рис. 12 "праворуч", одна з верхніх точок значно перевищує вплив інших точок. Це дозволяє моделювати різкі переходи під час побудови поверхонь. В автоматизованій ГМЗ така можливість дозволила будувати поверхні уступів у кар'єрі та власне кар'єр. Це показано на рис. 13 та рис. 14.

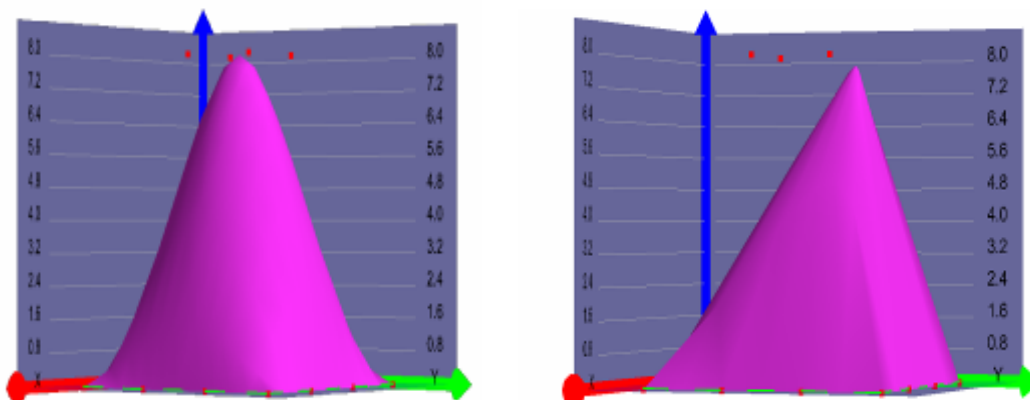


Рисунок 12. До побудови NURBS-поверхні

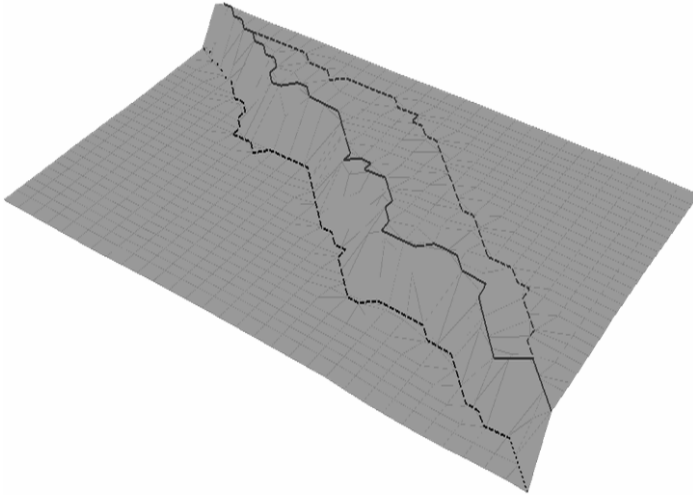


Рисунок 13. Побудова уступу кар'єру

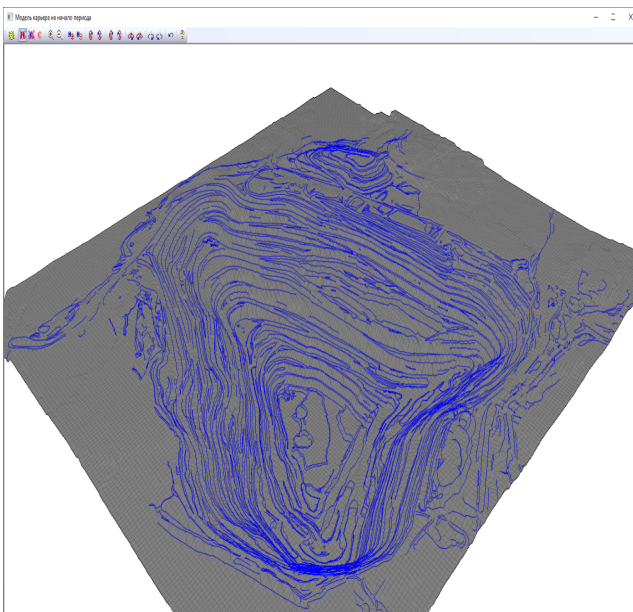


Рисунок 14. Побудова поверхні кар'єру

4. Метод найближчих районів (багатокутників)

Цей метод реалізований вперше Зеленським О.С. (Zelenskyi, Baran, Lysenko i in, 2012) і надалі використаний авторами при 2d та 3d моделюванні. Головна ідея полягає в тому, що навколо кожної контрольної точки будується багатокутник і всі точки всередині багатокутника найбільш близькі до контрольної точки. Модель будується всередині заданого контуру та зона впливу (площа або об'єм) кожної контрольної точки визначається перетином заданого контуру з контуром багатокутника.

У пакеті "Graf" наводяться 2d та 3d моделі на основі багатокутників (див. рис. 15). Ці моделі використовуються для візуалізації поверхні та визначення середніх показників у заданому контурі за площами (об'ємами) впливу даних по контрольних точках. На рис. 15 "ліворуч" площі впливу 9 точок показані різними кольорами. Для 3d моделей наводяться не лише координати X, Y багатокутників, а й значення показників (Z) в контрольних точках. 3d моделі наведено на рис. 15 "праворуч".

В автоматизованому ГМЗ метод багатокутників використовується для підрахунку запасів. Багатокутники будуються навколо свердловин усередині блоку та у найближчій до

нього зоні. Вплив свердловини визначається площею, утвореною перетином її багатокутника із заданим контуром.

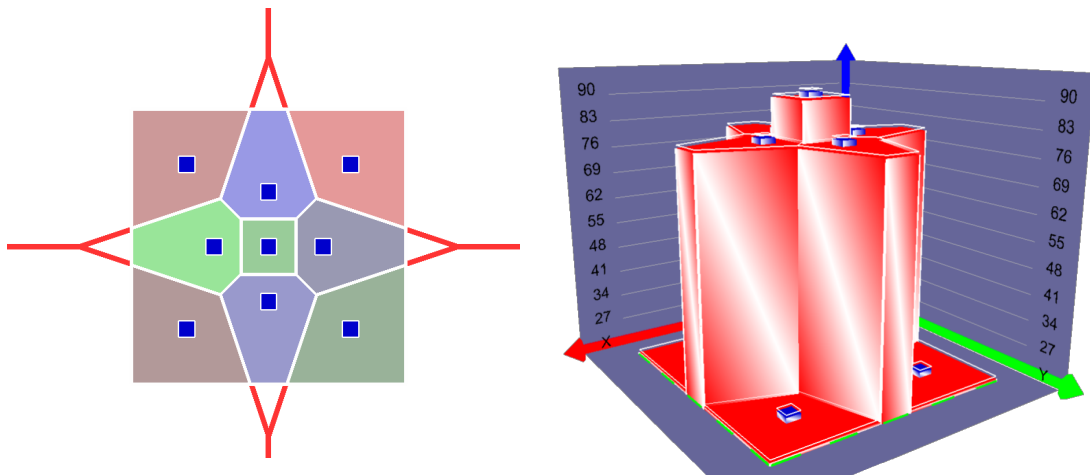


Рисунок 15. До побудови методу багатокутників

Як видно із спрощеного прикладу на рис. 16 виділені області є площами впливу свердловини.

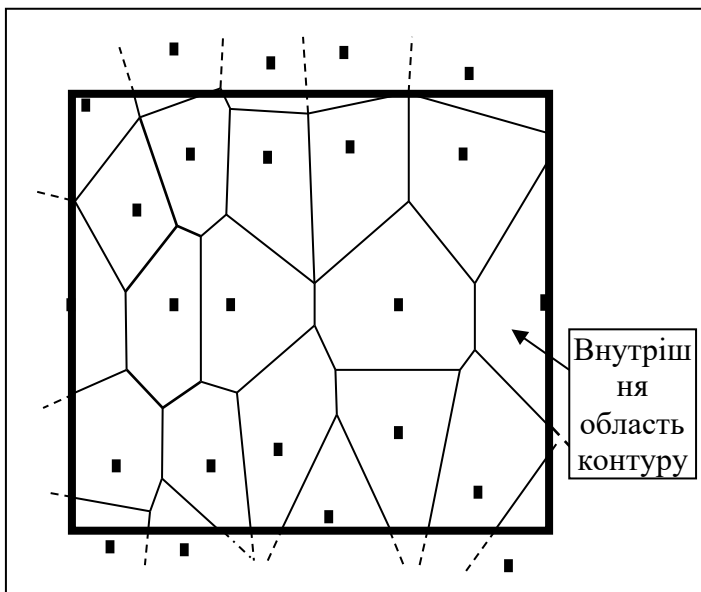


Рисунок 16. До оперативного підрахунку запасів методом багатокутників

Середньозважені показники потужності та вмісту в заданих блоках дорівнюють:

$$h_{\text{мн}} = \frac{\sum h_i S_i}{\sum S_i}, \text{ м} \quad (12)$$

$$C_{\text{мн}} = \frac{\sum C_i h_i S_i}{\sum S_i h_i} = \frac{\sum C_i V_i}{\sum V_i}, \% \quad (13)$$

де h_i , C_i , S_i , V_i – відповідно потужність, вміст, площа та об'єм впливу i -ї свердловини.

При виділенні сортів руд або порожньої породи в заданому блоці враховуються їх багатокутники.

На рис. 17 продемонстровано метод багатокутників на прикладі кар'єру «ПівдГЗК».

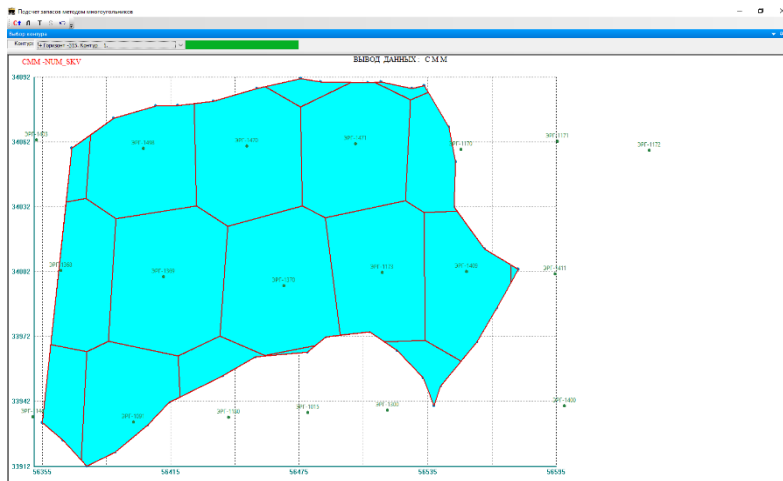


Рисунок. 17. До оперативного підрахунку запасів методом багатокутників на прикладі кар'єру «ПівдГЗК»

Висновки (Conclusions)

У статті наводяться різні моделі побудови поверхонь. Вони використовуються при створенні автоматизованої системи ГМЗ при плануванні та управлінні гірничими роботами у кар'єрі. Ця система апробована багаторічним позитивним досвідом промислового застосування і може бути використана для кольорових рудних та залізрудних родовищ. Для навчального процесу представлено теоретичний матеріал та реальне програмне забезпечення. Це дозволяє підвищити свої знання в галузі математики та програмування, маючи вихідні тексти програм. Для цього використовуються сучасні мови програмування для десктопних та мобільних додатків з використанням СУБД та хмарних технологій. Подано математичне забезпечення побудови поверхонь. При цьому NURBS поверхню та метод найближчих районів реалізовано вперше. Оперативність реалізації моделей значно збільшується за рахунок використання шейдерів.

Вибір способу побудови залежить від різних чинників. Насправді (при використанні автоматизованого ГМЗ) всі методи побудови поверхонь можуть бути використані для оцінки мінливості досліджуваного показника, скажімо $Fe_{заг}$. У цьому випадку вибір моделі виконується в такий спосіб: в якості контрольних точок використовуються дані випробування вибухових свердловин в заданому контурі на одному з горизонтів кар'єру. Мережа випробування 7x7 м. Будується поверхня. Вона прийнята як "істинна". Потім у різний спосіб будуються поверхні з більш розрідженою мережею випробування, скажімо, 28x28 м. Вибирається та поверхня, яка найменшим чином відрізняється від "істинної".

В-сплайн у вигляді поверхні використовується для моделювання денної поверхні кар'єру, повного підрахунку запасів, обліку видобутку руд, оконтурювання рудних тіл. Багатокутники переважно використовуються при оперативному підрахунку запасів у заданих контурах гірничих робіт. Інтерполяційний метод сіток використовується у профілях при повному підрахунку запасів, оконтурюванні рудних тіл, побудові ізоліній.

Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування (Funding)

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Внесок авторів (Authors contribution)

Автор прочитав та погодився з опублікованою версією рукопису.

Література (References)

- Cheng, F. (2017). Build Mobile Apps with Ionic 2 and Firebase. Hybird Mobile App Development. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2737-4>
- Donald Khern, & M. Paulin Beiker (2005). Kompiuterna hrafika i standart OpenGL. 3-te vydannia 1168 s.
- Filips Bil, Stiuart Kris, Marsikano Kristin, & Hardner Braian (2021). Android. Prohramuvannia dlia profesionaliv. 4-te vydannia 704 s.
- Hrifits Devid, Hrifits Don, Head First. (2018). Prohramuvannia dlia Android. Druhe vydannia 912 s.
- Khil, F. (2002). OpenGL. Prohramuvannia kompiuternoї hrafiky. Dlia profesionaliv. 1088 s.
- Purnomo, B & Hinzburh, D. (2015). OpenGL ES 3.0. Kerivnytstvo rozrobnyka. https://books.google.com.ua/books?id=93BvDwAAQBAJ&pg=PA2&hl=uk&source=gb_s_selecte_d_pages&cad=1#v=onepage&q&f=false
- Richard S., Rait, ml., & Bendzhamin Lipchak (2006). OpenGL. Superknyha, tretie vydannia. 1040 s.
- Rodzhers D., & Adams Dzh. (2001). Matematychni osnovy mashynnoi hrafiky. https://itslearningakarmazyan.files.wordpress.com/2015/08/rodzhers_adams.pdf
- Volf D. OpenGL 4. Mova sheideriv. (2015). Knyha retseptiv. [https://sd.blackball.lv/library/OpenGL_4_Jazyk_shejderov_Kniga_receptov_\(2013\).pdf](https://sd.blackball.lv/library/OpenGL_4_Jazyk_shejderov_Kniga_receptov_(2013).pdf)
- Zelenskyi, O.S., Baran, S.V., Lysenko V.S. i in. (2012). Avtomatyzatsiia heoloho-marksheiderskoho zabezpechennia v informatsiinii systemi upravlinnia rudnym karierom: monohrafiia. Kryvyi Rih Vydavnychiy tsentr DVNZ «KNU». <http://irbis-nbuv.gov.ua/publ/REF-0000377811>