

М.Ю. Узлова, А.О. Журба, В.М. Журавлев

РОЗРОБКА ПАРАМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ В СИСТЕМІ OPENSCAD

Анотація. Сучасний світ знаходиться в постійному русі і розвитку. Змінам піддається все, починаючи від проектування дизайну звичайних телефонів і закінчуючи методами будівництва космічних станцій. І те, і інше вимагає деяких навичок, способів і знань в області побудови зображень і читання креслень. Старі 2D-методи поступово відходять у минуле, на зміну їм приходять 3D побудови моделей в спеціальних програмах.

Проектуючи в 3D, можна створювати моделі будь-яких предметів: дрібних деталей, меблів, предметів, об'єднувати їх в дизайн квартир і офісів, автомобілів і вагонів метро, величезних торгових центрів, вулиць, кварталів, і навіть цілих міст. Або зробити віртуальну модель реальної, роздрукувавши на 3D принтері, відбудувавши будинок за власним проектом.

На етапі дослідження були розглянуті питання, присвячені огляду програм для 3D-моделювання. Розглянуто основні відомості про OpenSCAD – можливості, переваги, недоліки.

При виконанні практичної частини було проведено 3D-моделювання будівлі Інституту промислових та бізнес технологій, яке включає в себе наступні етапи:

- побудова геометричної 3d-моделі об'єкта;
- рендеринг;
- по закінченню моделювання - виведення роботи на 3D-принтер.

Ключові слова: 3D-моделювання, твердотільне моделювання, параметричне моделювання, OpenSCAD, примітивні фігури, 2D фігури, рендеринг, STL формат, 3D-принтер, 3D-модель.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Сучасний світ знаходиться в постійному русі і розвитку. Змінам піддається все, починаючи від проектування дизайну звичайних телефонів і закінчуючи методами будівництва космічних станцій. І те, і інше вимагає деяких навичок, способів і знань в області побудови зображень і читання креслень. Старі 2D-методи поступово відходять у минуле, на зміну їм приходять 3D побудови моделей в спеціальних програмах.

Поняття 3D, яке так міцно влаштувалися в нашому житті, є скороченням від англійського 3-dimensional (в трьох вимірах).

Перевагами 3D-моделювання є:

- більш наочне уявлення виробу, ніж при двовимірних методах;
- відсутність потреби в додатковому побудуванні фізичної моделі;
- відносно швидке отримання креслень і макетів виробів;
- функціональність;
- можливість автоматизованого розрахунку різних властивостей виробів;
- гнучкість зміни моделі [1].

Ще не так давно виробництво майстер-моделі та виготовлення прототипів було складним і важким процесом, прототипи виготовляли вручну на базі складних напрацювань і креслень. Тепер, з появою 3D-технологій, дані процеси значно спростилися і стали набагато більш оперативними.

3D-моделювання - це безмежні можливості. Тривимірні моделі, анімація, візуалізація - узагальнений, але далеко не повний список можливостей. Проектуючи в 3D, можна створювати моделі будь-яких предметів: дрібних деталей, меблів, предметів, об'єднувати їх в дизайн квартир і офісів, автомобілів і вагонів метро, величезних торгових центрів, вулиць, кварталів, і навіть цілих міст. Результат можна не тільки «покрутити» (предмет, персонаж) або «погуляти» по ньому (приміщення, міста), але і створити відео для демонстрації клієнтові, власний анімаційний мультфільм. Або зробити віртуальну модель реальної, роздрукувавши на 3D принтері, відбудувавши будинок за власним проектом [2].

Для виконання роботи було обрано ПЗ OpenSCAD. При невеликому розмірі редактора, він володіє вражаючою функціональністю, дозволяє проектувальнику моделювати досить складні та точні 3D-моделі і параметричні конструкції, які можна легко регулювати, змінюючи параметри.

Редактор OpenSCAD відноситься до класу так званих скриптових редакторів. У ньому відсутні звичні для інших 3D-редакторів кнопки, тулбари, іконки. Замість цього при запуску з'являються три панелі - пусте вікно для введення тексту, вікно візуалізації і консоль. Решта кнопок відіграють допоміжну роль і у моделюванні не беруть участь. У OpenSCAD доступний весь інструментарій програміста: цикли, розгалуження, виклик функцій, розбиття коду на модулі, створення бібліотек; можна використовувати математичні функції для розрахунку необхідних параметрів моделей і досить швидко прототипувати дуже складні речі, збираючи їх з простих елементів [3].

Метою цієї роботи є розробка параметричної моделі будівлі навчального закладу Інституту промислових та бізнес технологій Українського державного університету науки і технологій (УДУНТ) в системі OpenSCAD.

Викладення основного матеріалу дослідження. 3D-моделювання – комп'ютерна графіка, що поєднує в собі прийоми і інструменти, необхідні для створення об'ємних об'єктів в тривимірному просторі. Тривимірна графіка незамінна у презентації майбутнього виробу. Для того, щоб розпочати виробництво необхідно намалювати, а потім створити 3D-модель об'єкту. А вже на основі 3D-моделі, за допомогою технологій швидкого створення прототипів (3D-друк, фрезерування, лиття силіконових форм і т.д.), складається реалістичний прототип майбутнього виробу. За допомогою тривимірної графіки досягається максимально реалістичне моделювання міської архітектури і ландшафтів з мінімальними витратами. Візуалізація архітектури будівель і ландшафтного оформлення дає можливість інвесторам і архітекторам відчувати ефект присутності в спроектованому просторі. Це дозволяє об'єктивно оцінити переваги проекту та усунути недоліки.

В ході виконання 3D-моделі слідують за таким планом:

- моделювання (створення математичної бази);
- текстурування (введення властивостей об'єктів);
- візуалізація (проекційна побудова);
- компонування (завершальний етап, на якому отримана модель коригується) [4-5].

У межах теми роботи при написанні скрипта моделі використовувалися параметричні конструкції в середовищі тривимірного моделювання OpenSCAD.

Для побудови моделі архітектурного комплексу будівель УДУНТ було використано матеріали: план креслення УДУНТ, фотографії, додаток «Google Maps» у режимі «Супутник» - для отримання інформації про пропорції і розміри (вид зверху).

Етапи побудови

Розробка головного корпусу

Для побудови стін корпусу було використано найпростіший геометричний примітив – прямокутна призма (команда cube). Для розміщення об'єктів в певних місцях використовується операція трансформації(команда translate). Для забарвлення моделі і її частин застосовується функція color (команда color). Результат наведено на рис. 1.

```
color("yellow") cube([3, 165, 65]);  
color("yellow") translate([-34, 0, 0]) cube([34, 2, 65]);  
color("yellow") translate([-34, 163, 0]) cube([34, 2, 65]);
```



Рисунок 1 - Побудова стін головного корпусу

Додаткові елементи стін

Використання параметричного підходу в моделюванні 3D-об'єктів значно скорочує процес їх побудови і дозволяє легко модифікувати, а також багато разів повторно використовувати наявні напрацювання.

При моделюванні додаткових елементів стін використовуються повторювані (циклічні) компоненти для зручності і стислості кодування, тому що в іншому випадку довелося б для кожного елемента прописувати окремо команди (команда for).

```
color("white") {  
  translate([2, 0, 10]) cube([3, 165, 3]);  
  translate([2, 14, 11]) for(i=[0:17]){  
    translate( [0, i*8, 0] ) cube([3, 2.5, 42]);    }  
}
```

Моделювання цоколю та карнизу

```
color("white") {  
  translate([1, 0, 60]) cube([3, 165, 3]);  
  translate([2.2, 0, 60]) cube([3, 165, 2]); }  
color("yellow") translate([-2, 2, 65]) cube([3, 161, 2]);  
color("white") translate([-37.5, -2, 60]) cube([42.7, 3, 2]);  
color("white") translate([-34.8, 164, 60]) cube([40, 3, 2]);
```

Результат наведено на рис. 2.

Віконні прорізи

У моделі є повторювані фрагменти, тому, замість того, щоб копіювати / вставляти текст скрипта кожного фрагмента, зручніше ці фрагменти уявити один раз у вигляді модуля і при необхідності багаторазово використовувати.

Модулі дозволяють розбивати складні завдання на більш дрібні і прості (команда `module name`).

При моделюванні вікон також використовуються повторювані компоненти (команда `for`). Потім за допомогою булевої операції вирізаються віконні прорізи (команда `difference`). Результат наведено на рис. 2.

```
difference() {
    stena_gl();
    translate([-1, 8.8, 15]) for (y=[0:18],z=[0:4]) {
    translate([0, y*8, z*8]) cube(5);      }    }
    difference() {
    color("yellow") translate([-34, 0, 0]) cube([34, 2, 65]);
    translate([-31, -1, 16]) for (a=[0:4],b=[0:4]) {
    translate([a*7, 0, b*8]) cube([3.5, 5, 5]);    }    }
    difference() {
    color("yellow") translate([-34, 163, 0]) cube([34, 2, 65]);
    translate([-29.7, 161, 15]) for (a=[0:4],b=[0:4]) {
    translate([a*6, 0, b*8]) cube([3.5, 5, 5]);    }    }
```

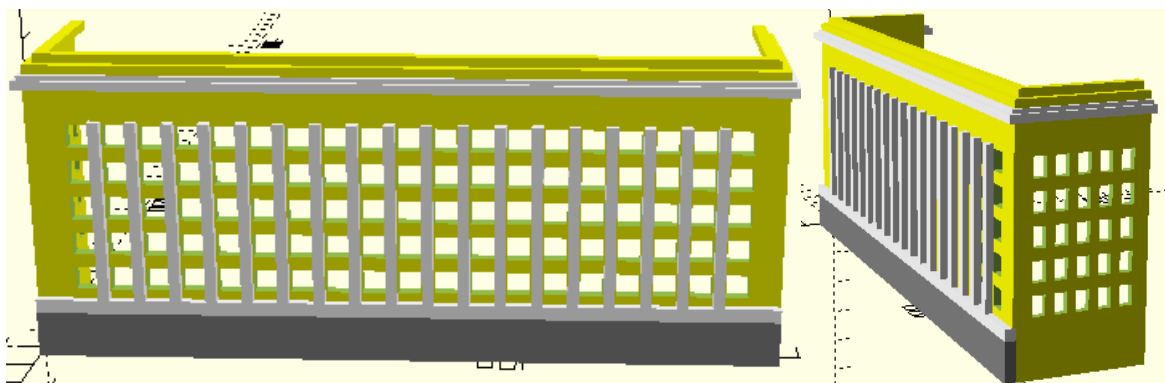


Рисунок 2 - Стіни головного корпусу з віконними прорізами

Розробка тилової частини головного корпусу

Для побудови ділянки сходових прольотів для тилової частини будівлі було використано циліндр з параметром $\$fn$ (команда `cylinder`).

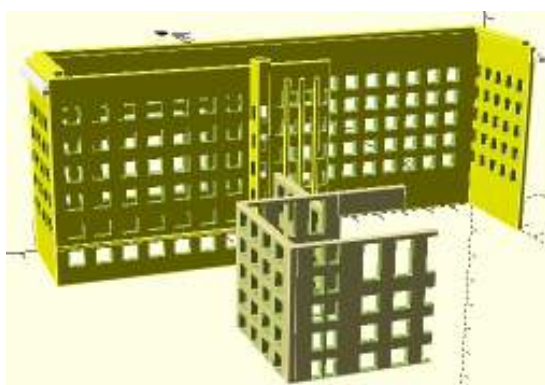
Змодельовану ліву частину цієї ділянки будівлі разом зі сходовими прольотами було розміщено у модулі для подальшого використання (команда `module name`). Результат наведено на рис. 3 (а).

```
module mirror_z() { difference() {
    union() { difference() {
    color("yellow") translate([-34.8, 75, 0]) cube([2,90, 65]);
    translate([-35, 105, 6]) for (a=[0:6],b=[0:5]) {
    translate([0, a*8.5, b*9]) cube(5);    }
```

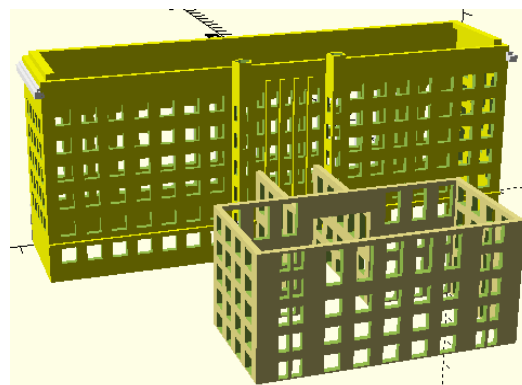
```

translate([-36, 76, 6]) for (a=[0:3],b=[0:5]) {
  translate([0, a*5, b*9]) cube([5, 2.8, 5]);      } }
color("yellow") translate([-36, 79.2, 6]) for(i=[0:2]){
  translate([0, i*5, 0]) cube([3, 1.5, 54]);      }
color("yellow")translate([-36, 75, 12]) cube([2, 90, 1]);
difference() {
  color("yellow") translate([-36, 99, 0]) cylinder($fn = 5, h
= 67, r = 3.5);
  translate([-39.5, 98, 3]) windows_for_cylinder();
  translate([-37.5, 100, 3]) rotate([0, 0, 18]) win-
dows_for_cylinder();}}
translate([-35, 96, 0]) cube([3, 6, 65]);
translate([-36, 99, -1]) cylinder($fn = 5,h =69, r = 2.5);}
module windows_for_cylinder() {
  for(a=[0:5]) { translate([0, 0, a*9]) cube([2, 2, 5]);  }}
  difference() { color("khaki") {
    translate([-121, 121, 0]) cube([39,2,37]);
    translate([-121, 82, 0]) cube([2,41,37]);
    translate([-83, 72, 30]) cube([2,21,7]);      }
    translate([-80, 90, 0.5]) for(x=[0:4],z=[0:1]){
      translate([9*x, 0, 17]) cube([5, 5, 10]);
      translate([9*x, 0 ,8*z]) cube(5);          }
    translate([-85, 97, 0.5]) for(y=[0:2],z=[0:2]){
      translate([0, 9*y, 25]) cube([5, 5, 10]);
      translate([0, 9*y ,8*z]) cube(5);          }
    translate([-116.5, 119, 0.5]) for(x=[0:3],z=[0:4]){
      translate([9*x, 0 ,7.5*z]) cube(5);          }      }      }
  mirror_z();

```



a



b

Рисунок 3 - Тилова частина головного корпусу:

a - змодельована ліва ділянка, b – стіни (результат операції трансформації)

З метою спрощення роботи, для однакових симетричних фрагментів була використана операція трансформації - відображення, тобто, ліва ділянка тильної частини будівлі відображена дзеркально (команда `mirror`). Результат наведено на рис. 3 (b).

```
mirror([0,1,0]){ translate([0, -165, 0]) mirror_z(); }
```

Дахи будівель головного корпусу

Для побудови дахів корпусу було використано найпростіший геометричний примітив – прямокутна призма (команда `cube`).

Для розміщення об'єктів в певних місцях використовується операція трансформації (команди `translate`). Результат наведено на рис. 4.

```
color("yellow") {  
  translate([-36, 99, 67]) cylinder($fn = 5, h = 2, r1 = 4.5,  
r2 = 0);  
  translate([-18, 110, 67.5]) cube([2]);  
  translate([-33, 2, 65]) cube([3, 161, 2]); }  
color("khaki") {  
  translate([-120, 43, 37]) cube([38,79,2]);  
  translate([-83, 72, 28]) cube([48,20,2]); }  
color("white"){  
  translate([-37.5, 0, 60]) cube([3, 167, 2]);  
  translate([-36, 0, 62]) cube([3, 166, 1]); }
```

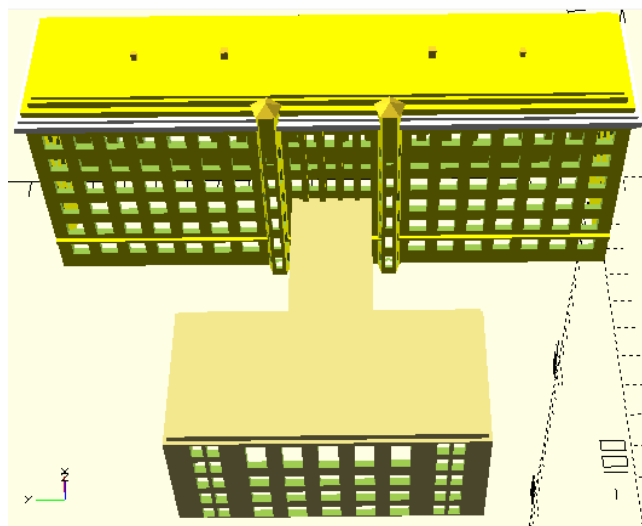


Рисунок 4 - Дахи будівель головного корпусу

Побудова ганку

При моделюванні сходів використовуються повторювані (циклічні) компоненти в осях x, z з відхилом 1 мм (команда `for`).

Текстову назву навчального закладу над ганком реалізовує функція text (команда text). Результат наведено на рис. 5.

```
color("white") {  
  translate([-0.2, 60, 20]) cube([20, 46.5, 2]);  
  translate([-0.2, 63, 0]) cube([12, 1.3, 20]);  
  translate([-0.3, 102, 0]) cube([12, 1.3, 20]);}  
difference(){  
  color("white") translate([11, 63, 5]) cube([1.3,40.5, 15]);  
  translate([10, 64.8, 0]) for (a=[0:4]) {  
    translate([0, a*8, 0]) cube([3, 5, 18]);      }  }  
  color("white") {  
    translate([0, 60, 0]) cube([25, 4, 7]);  
    translate([0, 102.5, 0]) cube([25, 4, 7]);  
    translate([23.5, 62, 0]) for(l=[0:4]) {  
      translate([- (1*1), 0, 1*1]) cube([1, 41,1]);      }  
      translate([10.5, 62, 5]) cube([9, 41,1]); }  
    color("blue") translate([19.8, 60.6, 20.3]) rotate([90, 0,  
90]) text (text="НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ",  
language ="ua", font ="Timer New Roman", size= 1.3);
```



Рисунок 5 - Ганок головного корпусу

Розробка корпусу приймальної комісії та корпусу А

Побудова стін, віконних і дверних отворів аналогічні подібним операціям при виконанні моделі головного корпусу з урахуванням параметрів будівлі.

```
difference(){ color("yellow") {  
  translate([-12, -18, 0]) cube([1.5, 18, 41]);  
  translate([-26, -18, 0]) cube([2, 18, 41]);  
  translate([-26, -18, 41]) cube([15.5, 18, 1.5]);  
  translate([-26, -18.5, 42]) cube([18, 2, 2]);}  
  translate([-27, -14, 10]) for (x=[0:1],y=[0:1],z=[0:2]) {  
    translate([x*13, y*7, z*10]) cube(5);      } }
```



```
difference() { union() {
color("yellow") translate([-12,-18.5,0])cube([93, 2, 44]);}
for(x=[0:10],z=[0:1]){
translate([-2,-19,5]) translate(7*x,0,18.2*z))
cube([4,4,7]);
    translate([-2, -19, 15]) translate( [7*x, 0, 17*z] )
cube(4); }
    translate([47, -19, 0]) for(i=[0:2]){
    translate( [7*i, 0, 1] ) cube([4, 4, 7]);          }      }
    difference() { color("yellow") {
    translate([79, -222, 0]) cube([2, 205, 44]);
    translate([44, -222, 0]) cube([2, 163, 44]);}
    translate([42, -220,5]) for(x=[0:1],y=[0:28],z=[0:3]){
    translate([x*36, y*7, z*10]) cube(5);      }}
    difference() { color("yellow") translate([44, -222, 0])
cube([36, 2, 44]);
    translate([46, -224, 5]) for(x=[0:4],z=[0:3]){
    translate([x*7, 0, z*10]) cube(5);          }      }
    difference() { color("yellow") translate([-34, -59, 0])
cube([79.5,2 , 44]);
    translate([-32.5, -61, 5]) for(x=[0:10],z=[0:3]){
    translate([x*7, 0, z*10]) cube(5);          }      }
    difference() { color("yellow") translate([-34, -59, 0])
cube([2, 41, 44]);
    translate([-36, -57, 5]) for(y=[0:5],z=[0:3]){
    translate([0, y*6.4, z*10]) cube(5);          }      }
    color("yellow") translate([-34, -18.5, 0]) cube([9.5,
2,44]);

//Копієс А
difference() { color("silver") {
translate([30, -215, 21]) cube([15, 1.8, 12]);
translate([30, -215, 21]) cube([15, 8, 1.8]);}
translate([31, -217, 25]) for(x=[0:1],y=[0:1]){
translate([7*x, 7*y, 0]) cube(5);          }      }
difference() { color("silver") {
translate([-70, -222, 0]) cube([100, 2,62]);
translate([28, -222, 0]) cube([2, 22,62]);
translate([-70, -222, 0]) cube([2, 22,62]);
translate([-70, -200, 0]) cube([100, 2,62]); }
translate([-72, -225, 25]) for(x=[0:3],y=[0:1],z=[0:3]){
translate([27*x, 20*y,8*z]) cube([26, 10, 5]);
translate([27*x, 20*y, -19]) cube([26, 10, 16]);          }
```

```
color("silver") {translate([-70,-222,60.5])
cube([100,22,1.5]);
translate([-70, -222, 0]) for(x=[0:1],y=[0:1]){
translate([99*x, 23*y,0]) cube([1, 1, 62]);      }      }
```

Результат наведено на рис. 6 (а).

Додаткові елементи стін

При моделюванні колон і елементів оформлення дверних прорізів використовуються повторювані (циклічні) компоненти (команда for).

Для реалізації колон використовується циліндр (команда cylinder), підстави колон оформлено торами, які отримали шляхом обертання кола (команди circle, rotate_extrude). Верхівки колон виконано за допомогою циліндра, а щоб отримати грані на них, застосовано параметр \$fn.

```
color("white") for(i=[0:2]) { translate( [7*i, 0, 0] ) {
  translate([46, -17, 1]) cube([1, 1, 12]);
  translate([51, -17, 1]) cube([1, 1, 12]);
  translate([46, -17, 12]) cube([6, 1, 1]);      }      }
color("white") {
  translate([-12, -17.2, 21.4]) cube([93, 1, 1]);
  translate([-12, -17, 31]) cube([93, 1, 0.8]);
  translate([-12, -17, 30.4]) cube([93, 0.7, 0.7]);      }
color("grey")translate([36, -17, 0]) cube([40,10,1]);
color("yellow") translate([36, -17, 37]) cube([40,10,7]);
color("white") {
  translate([-12, -17, 39]) cube([93, 1, 1]);
  translate([-12, -16.5, 40]) cube([93, 1.5, 1.5]);
  translate([35.5, -16.5, 39]) cube([1,10,1]);
  translate([35, -16.5, 40]) cube([1.5,10,1.5]);
  translate([35.5, -7.5, 39]) cube([41,1,1]);
  translate([35, -7.5, 40]) cube([42,1.5,1.5]);
  translate([75.5, -16.5, 39]) cube([1,10,1]);
  translate([75.5, -16.5, 40]) cube([1.5,10,1.5]);      }
module kolonna() {
  color("grey") translate([36, -12, 1]) cube([5,5,1]);
  color("grey") translate([38.5, -9.5, 2.2])
rotate_extrude(convexity=10,$fn=200) translate([2,0])
circle(0.5);
  color("grey") translate([38.5, -9.5, 2.9])
rotate_extrude(convexity=10, $fn=200) translate([1.9, 0])
circle(0.3);
  color("white") translate([38.5, -9.5, 2]) cylinder($fn =
200, h = 33, r = 1.7);
```

```
color("orange") translate([38.5, -9.5, 34])
rotate_extrude(convexity=10,$fn=200) translate([1.9,0])
circle(0.3);
color("orange") translate([38.5, -9.5, 34]) cylinder($fn =
10, h = 3, r1 = 1.8, r2 = 2.5); }
for(i=[0:5]) { translate([7*i, 0, 0]) kolonna();}
```

Результат наведено на рисунку 3.6 (b).

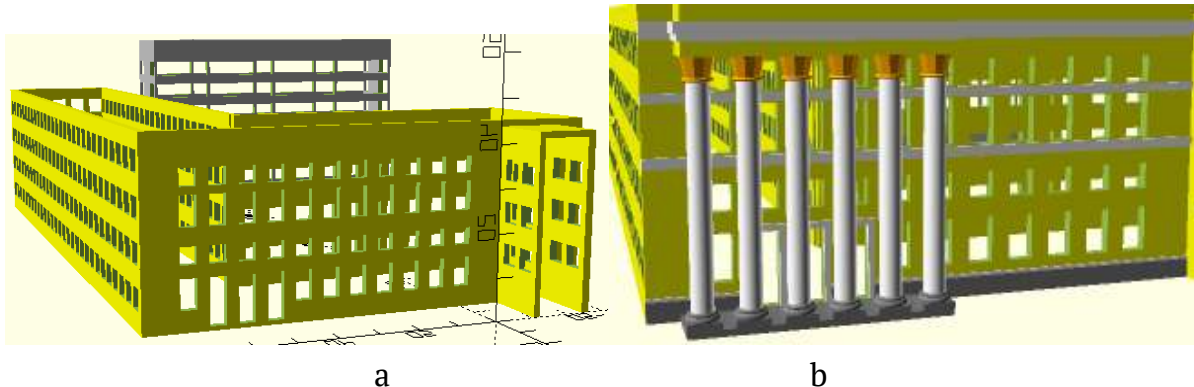


Рисунок 6 - Моделювання корпусу приймальної комісії:

a - стіни з віконними і дверними отворами, b - додаткові елементи

Дах

Дах має нестандартний вигляд, тому логічніше вдатися до можливостей багатокутника. В дану фігуру входять неправильні форми як з увігнутими, так і з опуклими краями, крім того, можна розмістити отвори всередині цієї форми (команда polygon). Результат наведено на рис. 7.

```
color("yellow") translate([0, 0, 42]) linear_extrude
(height = 2) { polygon(points=[[-34,-16.5],[36, -16.5],[36, -
7],[76, -7],[76,-16.5],[81,-16.5],[81,-222],[44,-222],[44,-
59],[-34, 59],[42,-25],[69,-25],[69,-45],[42,-45]] ,
paths=[[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9],[10,11,12,13]]);}
```

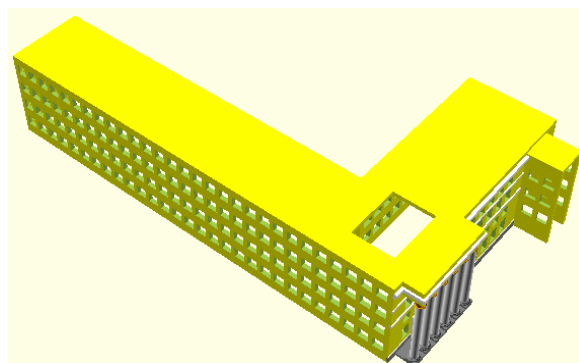


Рисунок 7 - Дах

Розробка корпусу магістратури та корпусу Б

Моделювання стін та віконних, дверних отворів аналогічне з попередніми будівлями з урахуванням параметрів корпусу магістратури та корпусу Б. Результат наведено на рис. 8.

```
difference() {
  color("yellow") translate([-48, 183, 0]) cube([100, 2,40]);
  color("grey") translate([-48, 182, 0]) cube([100, 2,12]);
  translate([-45.5, 181, 2]) for (x=[0:13],z=[0:3]) {
    translate([x*7, 0, z*10]) cube([3.5, 6, 6]);    }}
  difference() { union() {
    color("grey") translate([72, 182, 0]) cube([3, 16,12]);
    color("yellow") translate([72, 183, 0]) cube([2, 15,50]); }
    translate([54, 181, 2]) for (x=[0:2],z=[0:4]) {
      translate([x*7, 0, z*10]) cube([3.5, 6, 6]);    }
    translate([70, 185, 2]) for (y=[0:1],z=[0:4]) {
      translate([0, y*7, z*10]) cube([6, 3.5, 6]);    } }
    color("yellow") for (z=[0:2]) {
      translate([0,0,z*10]) {
        translate([72, 180, 9]) cube([5, 19,3.5]);
        translate([65, 180, 9]) cube([7, 5,3.5]); } }
      difference() { color("yellow") {
        translate([72, 198, 0]) cube([5, 2,40]);
        translate([75, 272, 0]) cube([2, 53,30]);}
        translate([73, 200, 2]) for (y=[0:20],z=[0:3]) {
          translate([0, y*6, z*10]) cube([6, 3.5, 6]);    }
          translate([73, 235.4, 0]) for (y=[0:2]) {
            translate([0, y*6, 0]) cube([6, 5, 10]);    }
            translate([73, 295.3, -1]) cube([6, 5, 9]);
            translate([73, 295, 20]) cube([6, 5.5, 9]); }
          color("yellow") translate([76.5, 234, 10]) cube([2, 20,2]);
          color("white") translate([75, 234.5, 0]) for (y=[0:3]) {
            translate([0, y*6, 0]) cube([3, 1,10.5]);    }
            color("grey") translate([76.5, 234, 0]) cube([3.5, 20,1]);
            difference() { color("peru") {
              translate([-13, 311.2, 0]) cube([2, 9.8,30]);
              translate([-48, 184, 0]) cube([2, 48,40]);
              translate([-34, 232, 20]) cube([2, 83,10]);}
              translate([-16, 314, 2]) for (z=[0:2]) {
                translate([0, 0, z*10]) cube([6, 4, 6]);    }
                translate([-50, 235, 10]) for (y=[0:7]) {
                  translate([0, y*8, 0]) cube([5, 3, 5]);    }
                  translate([-37, 234, 5]) for (y=[0:5],z=[0:1]) {
                    translate([0, y*14.4, z*16]) cube(6);    } }
                    }
```

```
color("peru") {  
  translate([-13, 319, 0]) cube([2, 7,15]);  
  translate([-48, 232, 20]) cube([14, 2,20]);}
```

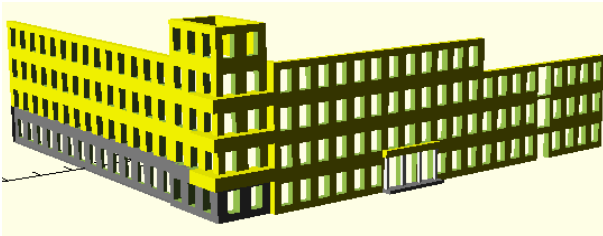


Рисунок 8 - Стіни з отворами

Для створення закруглення з правої сторони фасаду корпусу магістратури використано циліндри (команда `cylinder`). Внутрішній циліндр розтягнуто (команда `resize`), а потім застосовано булеву операцію віднімання (команда `difference`). В подальшому відібраний фрагмент розміщено у модулі (команда `module name`) та відображено дзеркально (команда `mirror`).

```
module cylinder_st() { difference() {  
  color("yellow") translate([75, 334, 0]) cylinder($fn =  
200, h =30, r = 10);  
  translate([71, 334, -1]) resize([25,20]) cylinder($fn =  
100, h =35, r = 8);  
  translate([80, 325, 2]) rotate([0,0,35]) for (z=[0:2]) {  
    translate([0, 0, z*10]) cube([3.5, 3.5, 6]);  
  }  
  translate([84, 341, 2]) rotate([0,0,202]) for (z=[0:2]) {  
    translate([0, 0, z*10]) cube([3.5, 3.5, 6]);  
  }  
  translate([76, 341, 2]) rotate([0,0,-10]) for (z=[0:2]) {  
    translate([0, 0, z*10]) cube([3.5, 3.5, 6]);  
  } }  
  cylinder_st();  
  mirror([1,0,0]){ translate([-120, 0, 0]) cylinder_st();}
```

Результат наведено на рис. 9 (a).

Бібліотека

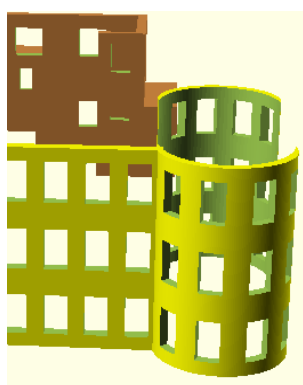
Результат наведено на рис. 9 (b).

```
module wind_library() { for (x=[0:1],z=[0:1]) {  
  translate([x*3.5, 0, z*3.5]) cube(2.5);  
} }  
difference() { translate([-12, 311.2, 0]) {  
  color("white") cube([55, 1.8,40]);  
  color("sienna") cube([55, 2,6.5]);  
  color("blue") { translate([-6, 311, -2.5]) for  
(x=[0:1],z=[0:4]) {
```

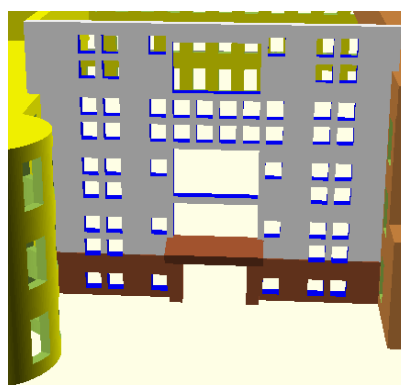
```

        translate([x*35, 0, z*8.7]) wind_library();      }
    translate([4.5, 311, 23.5]) for (x=[0:2]) {
        translate([x*7, 0, 0]) wind_library();          }
    translate([4.5, 311, 1]) for (x=[0:1],z=[0:4]) {
        translate([x*17.5, 0, z*8.7]) cube(2.5);        }
    translate([8, 311, -0.5]) for (z=[0:2]) {
        translate([0, 0, z*8]) cube([13,3,7]);          }
    translate([8, 311, 30.5]) cube([13,3,7]);          } }
color("sienna") { translate([7.5, 313, 0]) cube([2,2,7]);
translate([19.5, 313, 0]) cube([2,2,7]);
translate([7, 312, 8]) rotate([-15,0,0]) cube([15,5,1.5]);}

```



a



b

Рисунок 9 - Моделювання деталей на фасаді корпусу магістратури:

a - закруглення на фасаді корпусу магістратури, b – бібліотека

Дах

Дах має вигляд багатокутника. В дану фігуру входять неправильні форми як з увігнутими, так і з опуклими краями, крім того, можна розмістити отвори всередині цієї форми (команда `polygon`). Результат наведено на рис. 10 (a).

```

    translate([0, 0, 39]) linear_extrude(height = 1.5) {
        polygon(points=[[-
48,183],[52,183],[52,198],[77,198],[77,272], [43,272],
[43,313],    [-12,313],[-12,234],
[48,234],[23,311.2],[6,311.2],[6,240],[23,240]],
        paths=[[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9],[10,11,12,13]]);}

```

Двосхилий дах бібліотеки побудовано за допомогою циклу (команда `for`), при цьому попередньо застосовано операції трансформації для досягнення потрібного положення об'єкта (команди `translate`, `rotate`).

```

    color("white") for (y=[0:10]) {translate([0,y*7.15, 0]) {
        translate([13.7,240, 49]) rotate([0,45,0]) cube([15,
1.5,1.5]);

```

```
translate([14.5,240, 50.33]) rotate([0,135,0])
cube([15,1.5,1.5]);
translate([8.5,240, 44]) rotate([0,45,0]) cube([7,
1.5,1.5]);} }
color("white") translate([13.4,240, 39.5]) rotate([0,45,0])
cube([1.5, 73,1.5]);
```

Результат наведено на рис. 10 (b).

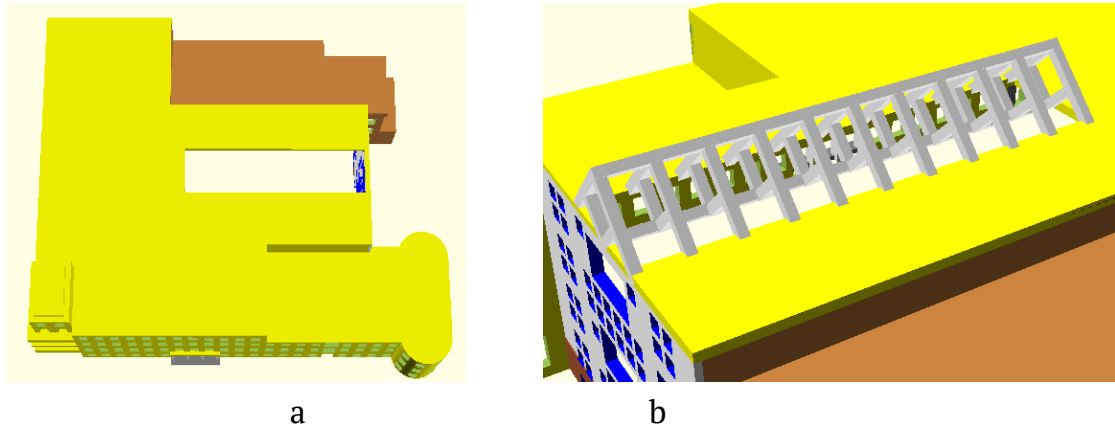


Рисунок 10 -Дахи: а – дах корпусу магістратури , b – дах бібліотеки

Головний корпус наведено на рис. 11.

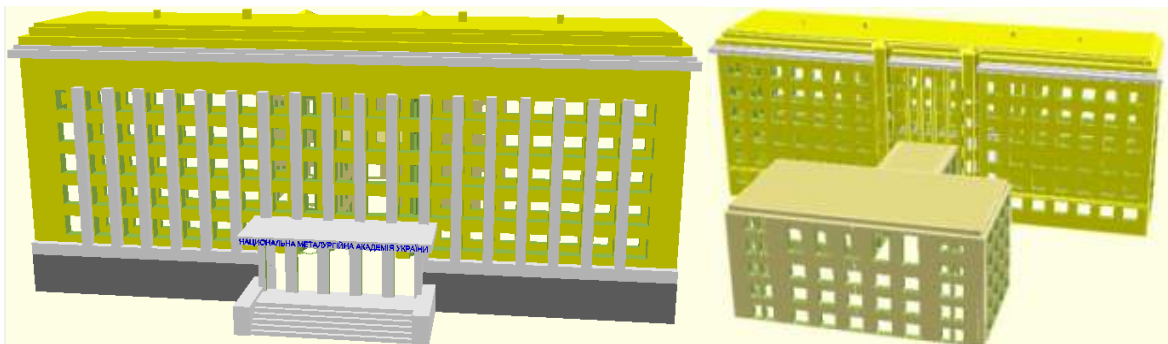


Рисунок 11 -Фасад, торцеві і тиллові частини головного корпусу

Корпус приймальної комісії наведено на рис. 12.

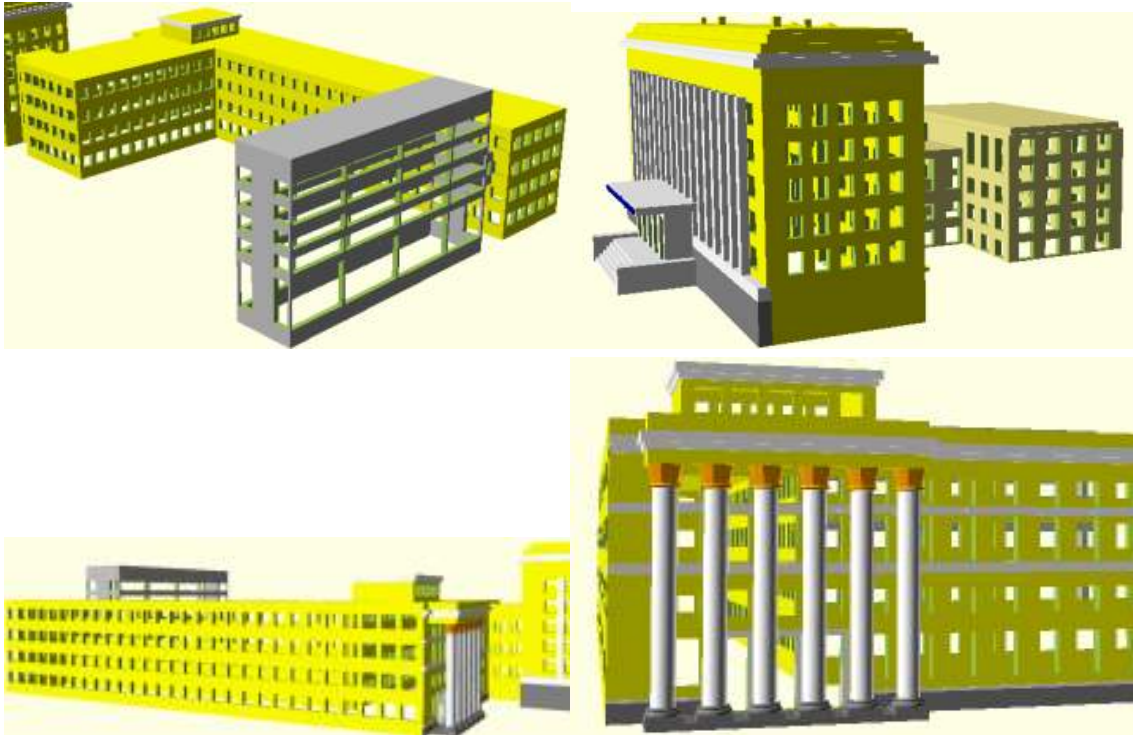


Рисунок 12 - Фасад і торцеві частини корпусу приймальної комісії та корпус А
Корпус магістратури наведено на рис. 13.

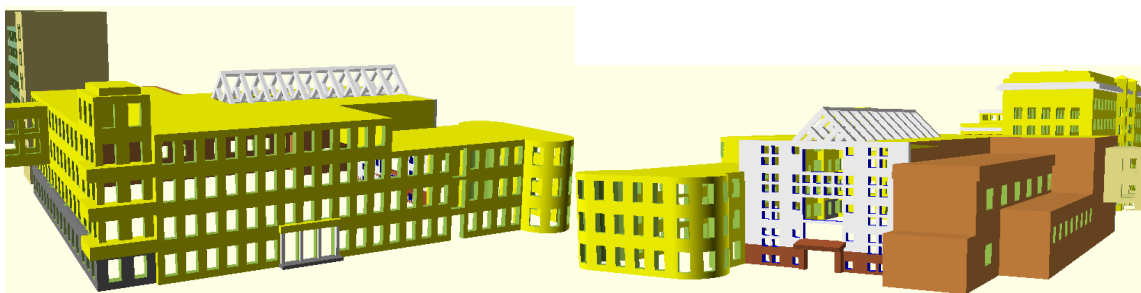


Рисунок 13 - Фасад і торцеві частини корпусу магістратури

Корпус Б наведено на рис. 14.

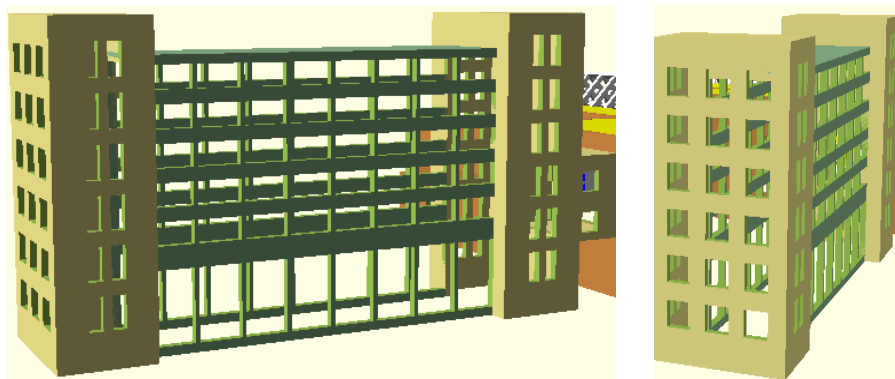


Рисунок 14 - Корпус Б

На рис. 15 наведено модель комплексу навчального закладу УДУНТ.

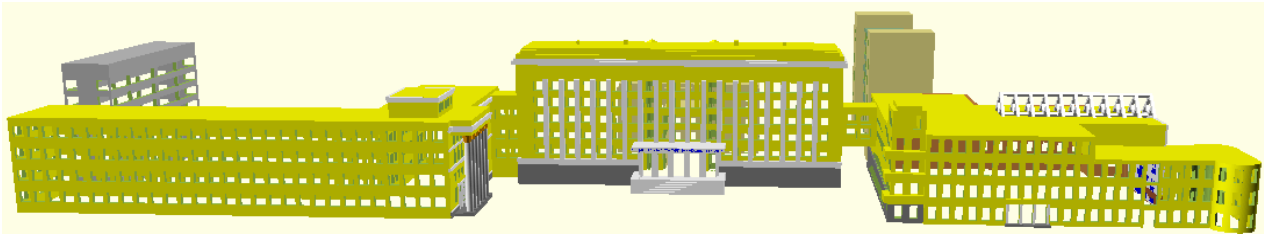


Рисунок 15 - Комплекс будівель УДУНТ

В підсумку проведено рендеринг для подальшого збереження результату в STL форматі [3].

Надрукований макет УДУНТ наведено на рис. 16.



Рисунок 16 - Надрукований макет

Висновки. Результат виконання роботи на тему «Розробка параметричної моделі будівлі навчального закладу в системі OpenSCAD» полягає у розробці параметричної моделі будівлі УДУНТ за допомогою системи OpenSCAD.

При виконанні практичної частини було проведено 3D-моделювання будівлі УДУНТ, яке включає в себе наступні етапи:

- побудова геометричної 3д-моделі об'єкта;
- рендеринг;
- по закінченню моделювання - виведення роботи на 3D-принтер і отримання макету будівель УДУНТ.

Цей макет може бути використаний у якості експоната на виставках, у музеях, презентаціях задля наочності; для підвищення ефективності отримання інформації, планування та проектування будівельних робіт і реконструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Веселовська, Г.В. Основи комп'ютерної графіки: Навч. посібник / Г.В.Веселовська, В.М. Веселовський, В.Є. Ходаков. – К.: Київ, 2004. – 390с.
2. Моргунов Ю.А. Цифровое сердце 3D-индустрии / Ю.А.Моргунов, Б.П.Саушкин // Аддитивные технологии. – 2016. – № 1. – С. 6-15.

3. Башкатов, А.М. Моделирование в OpenSCAD: на примерах: Уч. пособие / А.М. Башкатов. – Москва: Издательство «Инфа-М», 2020. – 333 с.
4. Землянов, Г. С. 3D-моделирование / Г. С. Землянов, В. В. Ермолаева// Молодой ученый. – 2015. – № 11 (91). – С. 163-189.
5. Копосов, Д. Г. 3D-моделирование и прототипирование: Уч. пособие / Д.Г. Копосов. –Москва: Издательство «Бином.Лаборатория знаний», 2016. – 241 с.

REFERENCES

1. Veselovskaya, G.V. Fundamentals of computer graphics: Textbook. manual / G.V. Veselovskaya, V.M. Veselovsky, V.Y. Khodakov. - Kyiv: Kyiv, 2004. – 390p.
2. Morgunov, Y. A. The digital heart of the 3D industry / Y.A. Morgunov, B.P. Saushkin // Additive technologies. – 2016. – № 1. – P. 6-15.
3. Bashkatov, A.M. Modeling in OpenSCAD: on examples: Ed. allowance / A.M. Bashkatov. - Moscow: Infa-M Publishing House, 2020. – 333 p.
4. Zemlyanov, G.S. 3D-modeling / G.S. Zemlyanov, V.V. Ermolaeva // Young Scientist. - 2015. - № 11 (91). - P. 163-189.
5. Koposov, D.G. 3D modeling and prototyping: Ed. manual / D.G. Koposov. - Moscow: Binom Publishing House. Laboratory of Knowledge, 2016. – 241 p.

Received 30.03.2022.

Accepted 02.04.2022.

Development of a parametric model of a building of the educational institution in the OpenSCAD system

Not so long ago, the production of master models and prototyping was a complex and difficult process, prototypes were made by hand on the basis of complex developments and drawings. Now, with the advent of 3D technology, these processes have become much simpler and much more efficient.

3D modeling plays an important role in the life of modern society. 3D graphics are widely used in marketing, architecture, design and many other areas.

3D modeling is a limitless possibility. Three-dimensional models, animation, visualization - a generalized, but far from complete list of possibilities. 3D modeling allows you to create a prototype of a future building, a commercial product in three-dimensional format, printed on a 3D printer. The use of three-dimensional models of real objects is an unusual and interesting means of transmitting information, which can significantly increase the effectiveness of the presentation.

OpenSCAD software was selected to perform the work. This open 3D modeling program allows the designer to model quite complex and accurate 3D models and parametric structures that can be easily adjusted by changing the parameters, the simulation itself is based on a program written in OpenSCAD.

Therefore, the topic of the work "Development of a parametric model of a building of the educational institution in the OpenSCAD system" is relevant. The purpose of this work is to develop a parametric model of the building of the Ukrainian State University of Science and Technology using the OpenSCAD system.

Узлова Марія Юріївна – студентка групи KN01-17M, Український державний університет науки та технологій.

Журба Анна Олексіївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій і систем, Український державний університет науки та технологій.

Журавлев Володимир Миколайович - д.т.н., доцент, Національний університет «Запорізька політехніка».

Uzlova Maria Yuriyivna - student of KN01-17M group, Ukrainian state university of science and technology.

Zhurba Anna - candidate of technical science, assistant professor, assistant professor Department of information technology and systems, Ukrainian state university of science and technology.

Zhuravlev Volodymyr Mykolayovych - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Zaporizhzhya Polytechnic National University.