

**Віталій Гусев<sup>1</sup>, Тетяна Нікіфорова<sup>2</sup>**<sup>1</sup>аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури (Дніпро, Україна)

**E-mail:** [husevitalii@gmail.com](mailto:husevitalii@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6813-9824><sup>2</sup>доктор технічних наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури (Дніпро, Україна)

**E-mail:** [nikiforova.tetiana@pdaba.edu.ua](mailto:nikiforova.tetiana@pdaba.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0688-2759>**АНАЛІЗ ФАЙЛІВ У ФОРМАТІ STL, ЯК ОСНОВА МОДЕЛЮВАННЯ  
ДЛЯ 3D-ДРУКУ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Це дослідження спрямоване на аналіз файлів у форматі STL у світлі збільшення адитивного виробництва та прогресу цифрових технологій у будівельній сфері. Метою роботи є надання всебічного огляду основної інформації, пов'язаної з використанням цього формату, що включає методи обчислення площі та об'єму сітки STL. Виявлення та аналіз типових помилок, які можуть виникати під час роботи з файлами цього формату, та визначення ключових критеріїв для оцінки геометричної якості сітки. Ці технології часто користуються форматом файлів STL для збереження геометрії об'єктів. Після визначення цього формату надається вичерпний опис важливої інформації, пов'язаної з його використанням. Далі розглянуто методи обчислення площі сітки STL та об'єму, що включений у нього. Окреслюються типові помилки та ключові критерії, які можна застосовувати для оцінки геометричної якості сітки STL. На закінчення надаються альтернативні варіанти подолання деяких недоліків формату STL.

**Ключові слова:** 3-D друк; STL-файли; САПР; 3D-моделювання; формат ASCII; метод поширеного наплавлення.

Рис.: 12.. Бібл.: 10.

**Актуальність теми дослідження.** Останні роки свідчать про революцію у промисловому виробництві, завдяки поширенню технологій адитивного виробництва та цифровізації в будівельній сфері. У цьому контексті формати файлів, такі як STL, стали невід'ємною частиною інженерних процесів. Актуальність дослідження геометричних форматів, зокрема STL, впливає з їх вирішальної ролі в цифровому виробництві та стрімкому розвитку застосування адитивних технологій.

Важливість формату STL в адитивному виробництві базується на його здатності описувати геометрію об'єктів з високою точністю та відносною простотою використання. Він дозволяє представляти тривимірні моделі об'єктів у вигляді набору пов'язаних трикутників, що робить його ідеальним для передачі інформації між різними програмами та пристроями, що використовуються в процесі 3D-друку та моделювання.

Дослідження методів розрахунку площі мережі STL та об'єму всередині неї, мають важливе значення для забезпечення якості та точності виготовлених деталей. Точність цих розрахунків безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту, його функціональність та міцність. Тому розробка ефективних алгоритмів для розрахунку цих параметрів є пріоритетною задачею для інженерів та дослідників.

Однак, використання формату STL також супроводжується рядом обмежень та недоліків. Типові помилки, такі як наявність неправильно орієнтованих трикутників або недостатня роздільна здатність моделі, можуть призвести до дефектів у кінцевому виробі. Крім того, оцінка геометричної якості мережі STL може бути складною задачею через відсутність універсальних критеріїв та стандартів.

У зв'язку з цими викликами й потребами виникає необхідність у дослідженні альтернативних форматів або поліпшених методів роботи з STL для подолання його недоліків та оптимізації процесів адитивного виробництва. Наприклад, розробка нових форматів файлів, здатних більш ефективно описувати складні геометричні форми, або поліпшення алгоритмів обробки та аналізу STL-моделей може значно покращити виробничі процеси та якість кінцевих виробів.

Отже, актуальність досліджень у галузі геометричних форматів, зокрема STL, в адитивному виробництві неперервно зростає разом з розвитком технологій та потребами промисловості. Такі дослідження відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності, точності та якості виробництва в цифрову епоху.

Проводячи дослідження у цій сфері, важливо звернути увагу на кілька ключових напрямів.

По-перше, розробка більш точних і ефективних методів аналізу та обробки файлів STL стає невід'ємною частиною покращення виробничих процесів. Це включає створення алгоритмів для автоматичного виявлення та виправлення помилок у мережах, оптимізацію роздільної здатності моделей для балансування якості та продуктивності, а також покращення алгоритмів розрахунку геометричних параметрів.

По-друге, дослідження нових форматів файлів, які могли б замінити або доповнити STL, є важливим завданням. Нові формати повинні забезпечувати більш гнучке представлення геометричних форм, підтримувати додаткові властивості об'єктів, такі як текстури або кольори, а також забезпечувати кращу сумісність із сучасними програмними засобами та пристроями.

Третім важливим аспектом є розвиток стандартів та рекомендацій щодо використання файлів STL та інших геометричних форматів. Це дозволить створити єдині правила для створення, обміну та обробки 3D-моделей, що підвищить сумісність між різними програмами та пристроями, а також спростить виробничі процеси.

Нарешті, не менш важливим є дослідження застосування нових технологій, таких як штучний інтелект та машинне навчання в обробці файлів STL. Ці методи можуть бути використані для автоматичного аналізу та оптимізації геометричних моделей, виявлення патернів та тенденцій у виробничих даних, а також для створення інноваційних підходів до проектування та виробництва.

Отже, дослідження в області геометричних форматів в адитивному виробництві є важливим завданням, яке має широкі перспективи для покращення виробничих процесів, якості та функціональності кінцевих виробів, а також розвитку інноваційних технологій та методів.

**Постановка проблеми.** У сучасному адитивному виробництві, такому як 3D-друк, формати файлів відіграють ключову роль у передачі інформації про об'єкт від програмного забезпечення до 3D-принтера. Один із найбільш поширених форматів для передачі геометричних даних об'єктів в адитивному виробництві – формат STL (Stereolithography or Standard Tessellation Language).

Попри широке поширення, формат STL має свої обмеження та недоліки. У зв'язку з цим, виникає необхідність проведення досліджень у області геометричних форматів у адитивному виробництві, особливо в контексті формату STL.

Основні проблеми, які потрібно розглянути та дослідити.

Точність та деталізація. Оцінка можливостей формату STL у передачі геометричної точності та деталізації об'єктів, особливо, при роботі зі складними або великими моделями.

Ефективність зберігання та передачі даних. Аналіз ефективності використання формату STL в контексті обсягу даних, необхідного для опису об'єктів, та можливих методів стиснення даних без втрати якості друку.

Підтримка геометричних особливостей. Дослідження можливостей формату STL обробляти складні геометричні особливості, такі як криволінійні поверхні, порожнини та внутрішні порожнини.

Стійкість до помилок та виправлення дефектів. Аналіз методів виявлення та виправлення помилок у файлах формату STL, таких як некоректні трикутники, самоперетини тощо.

Сумісність та переносимість. Дослідження сумісності формату STL з різними програмними та апаратними платформами, а також можливих обмежень при переміщенні файлів між різними системами.

Мета дослідження полягає в підвищенні якості та ефективності адитивного виробництва шляхом більш повного розуміння обмежень та можливостей формату STL та пропозиції відповідних покращень або альтернативних рішень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Файли у форматі STL, створені системами 3D-моделювання, включають трикутне представлення поверхонь і стали стандартом для введення даних у технологіях швидкого прототипування. У цих технологіях фізичні об'єкти будуються шар за шаром, де кожен шар є двовимірним перерізом тривимірної сітки у форматі STL. У сучасних системах комп'ютерно-автоматизованого проектування (САПР) мозаїка поверхонь часто містить помилки в структурі даних у вигляді прогалів і дірок, що призводить до відкритих петель у поперечних перерізах, які неможливо виготовити як шари.

Проте, таке представлення, у вигляді трикутних сіток, викликає дві основні проблеми. Одне з труднощів полягає в тому, що багато сучасних твердотілих моделей не генерують топологічно правильних мозаїк. Помилки, такі як прогалів та численні грані, призводять до неправильних поперечних перерізів, які не можуть бути виготовлені як шари. Протягом останнього десятиліття багато дослідницьких груп працювали над спрощенням поверхонь та опублікували багато робіт з цієї теми. Алгоритми спрощення сітки зменшують кількість трикутників у даній моделі, мінімально змінюючи її геометричну форму. Інша проблема полягає у високій складності таких сіток. Моделі з мільйонами трикутників часто вимагають більше, ніж доступне сховище та тривалий час обробки. Тому зменшення складності поверхневих сіток є обов'язковою вимогою для роботи з такими представленнями моделей.

Під час тесселяції в сітці дискретизації можуть виникнути численні проблеми з викривленням форми. Тому розробка дискретних алгоритмів для трикутних сіток з метою згладжування форми є ще однією центральною проблемою.

Такі алгоритми використовують результати та методи диференціальної геометрії, варіаційного дизайну поверхні та числового аналізу та знаходять застосування в багатьох областях. Проте дуже мало робіт стосуються виявлення та виправлення топологічних помилок і побудови відповідних структур даних над трикутною сіткою, які також містять топологічну інформацію.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз останніх досліджень та публікацій, вказує на потребу дослідження наступних аспектів загальної проблеми: стандартизація та оптимізація процесів перетворення даних та автоматизація аналізу та оптимізація геометричної якості.

**Мета статті** полягає у дослідженні файлів у форматі STL у зв'язку з розвитком адитивного виробництва та цифрових технологій у будівельній галузі. Надання вичерпного опису основної інформації, пов'язаної з використанням цього формату, включаючи методи обчислення площі та об'єму сітки STL. В окресленні типових помилок та ключових критеріїв для оцінки геометричної якості сітки. Надання альтернативних варіантів подолання деяких недоліків формату STL.

Виклад основного матеріалу. Розширення файлу STL реалізоване в більшості програмного забезпечення САПР і використовується в різних галузях для моделювання геометричної інформації деталей або форм. Проте, використання файлу STL передбачає розуміння його вмісту, методів утворення сітки та правил генерації файлів, а також можливих кодувань даних [1].

Експлуатація такого типу геометричної моделі є простою. Файл STL містить поверхневі дані САПР, які дискретно описують геометрію поверхні об'єкта у тривимірному просторі. Поверхня, яка визначена у тривимірному просторі, апроксимується набором трикутників, також відомих як грані. Інші геометричні елементи можуть бути використані для дискретизації поверхні (рис. 1); однак лише дискретизація поверхні за допомогою трикутників дозволяє отримати файл у форматі STL.

На практиці, кожна грань (або "facet" англійською) визначається координатами своїх трьох вершин у декартовій системі.

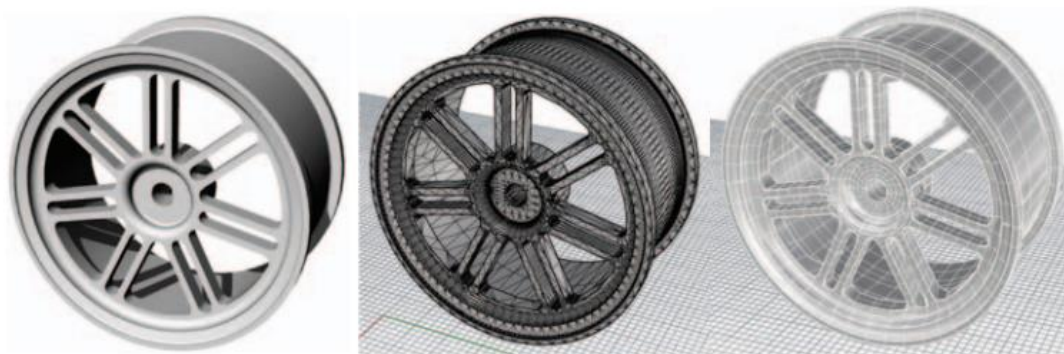


Рис. 1. Візуалізація файлів з дискретними поверхнями

Кожна грань має атрибут напрямку матеріалу, визначений за допомогою орієнтації одиничної нормалі до грані (або "normal" англійською).

Нормаль спрямована зовні від матеріалу (рис. 2).

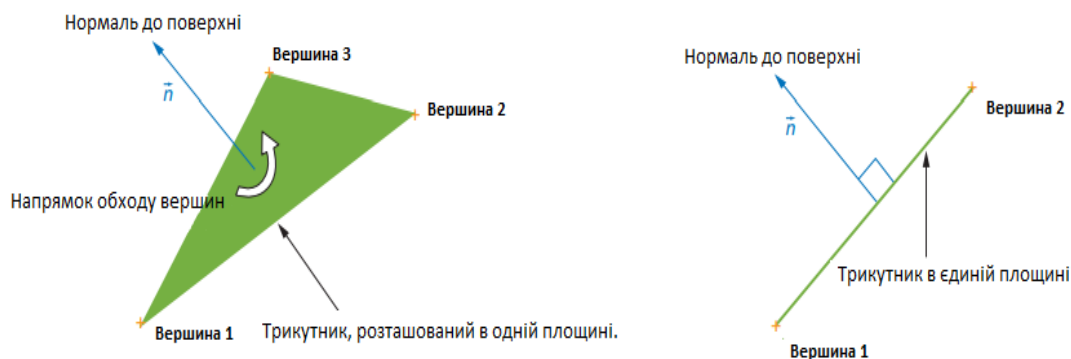


Рис. 2. Схематизація трикутника у форматі STL з вказаними вершинами та відповідною нормаллю

Нині, крім втрати інформації, що відбувається через відсутність відповідних метаданих у файлі STL, виникає значний розрив у цифровому процесі додавання матеріалу. Фактично, модель, яка створена у CAD 3D, перетворюється на набір трикутних граней (у форматі STL) [2].

Потім, з використанням цього файлу, програмне забезпечення САМ автоматично розбиває об'єкт на тонкі горизонтальні шари, які виготовляються на апаратах для адитивного виробництва (див. рис. 3). Процес перетворення вихідної моделі з CAD у файл STL, який є необхідним для САМ, призводить до цифрового розриву.



Рис. 3. Ілюстрація порушення цифрового ланцюга

Сітку STL формують за допомогою теселяції, що означає розміщення геометричних елементів у формі трикутників на всій поверхні тривимірної моделі таким чином, щоб утворилися безперервні елементи без перекриття чи проміжків [3; 4]. Найбільш поширеним методом для досягнення цього є використання алгоритму Делонея. Цей підхід дозволяє створювати складні тривимірні об'єкти, збираючи прості геометричні форми, такі як трикутники.

Під час створення файлу STL слід дотримуватися кількох правил. Кожен трикутник у файлі STL має спільні дві вершини з кожним з трикутників (рис. 4). З огляду на це правило правильний файл STL повинен мати парну кількість граней.



Рис. 4. Графічне представлення правила вершин

Правило сортування трикутників рекомендує упорядковувати вершини за зростанням значень координат по осі z для полегшення обробки файлу деякими програмами [1]. Проте, це правило не завжди строго виконується.

Існує два типи кодування файлів у форматі STL: ASCII (рис. 5) і бінарний (рис. 6). Обидва типи містять однакову інформацію, відмінність полягає лише в організації та зберіганні даних у комп'ютері. Формат STL у вигляді ASCII є текстовим кодуванням і може бути переглянутий за допомогою будь-якого текстового редактора. Формат STL у вигляді бінарного коду не може бути прочитаний звичайним текстовим редактором, проте він створює файли меншого розміру.

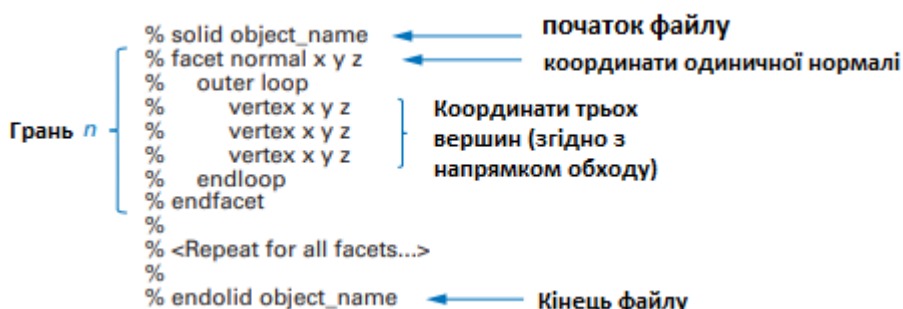


Рис. 5. Структура файлу у форматі ASCII STL

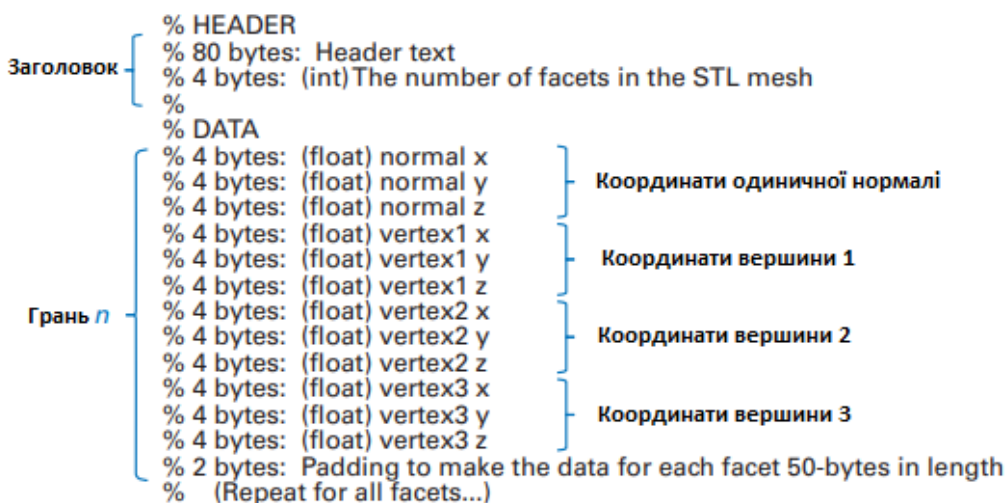


Рис. 6. Структура бінарного файлу STL

Особливість формату STL полягає в тому, що він є безрозмірним. У файлі STL відсутня інформація про масштаб чи довжину. Це означає, що у файлі немає внутрішнього опису одиниць вимірювання, використаних для створення тривимірної моделі. Тому одиниці, що відповідають за розміри, обираються користувачем при відкритті або читанні файлу (наприклад, мікрометри, міліметри, дюйми, сантиметри і т. д.). Після цього можна обчислити площу граней, які утворюють сітку, а також об'єм, включений усередині сітки [5; 6].

Розрахунок площі геометрії у форматі STL досить простий. Формула Герона дозволяє обчислити площу трикутника  $A_i$  трикутника  $i$  у просторі, знаючи довжини трьох сторін  $l_k$   $i$ , отже, також напівпериметр  $p_i$ . Загальна площа поверхні мережі є сумою всіх площових одиниць  $A_i$  кожної грані  $i$ .

Довжина ребра  $l_k$  між двома точками  $A(x_A, y_A, z_A)$  і  $B(x_B, y_B, z_B)$  отримується з рівняння:

$$l_k = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}, \quad (1)$$

де  $k=1,2,3$ .

Півпериметр  $p_i$  елементарного трикутника  $i$  (грані) задається рівнянням:

$$p_i = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^3 l_k. \quad (2)$$

Формула Герона дозволяє визначити площу  $A_i$  елементарного трикутника  $i$  (грані):

$$A_i = \sqrt{p_i(p_i - l_1)(p_i - l_2)(p_i - l_3)}. \quad (3)$$

Загальна площа сітки:

$$\text{Загальна площа} = \sum A_i. \quad (4)$$

Розрахунок об'єму сітки може бути корисним для оцінки обсягу матеріалу, необхідного для виготовлення виробу. Однак обчислення об'єму, включеного всередині сітки STL, є складною задачею. Найбільш ефективний метод полягає в обчисленні об'єму кожного тетраедра, який має чотири вершини, при цьому основою є елементарний трикутник  $i$  (грань, що складається з трьох точок:  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ), а вершиною є точка початку координат ( $O$ ) (рис. 7).

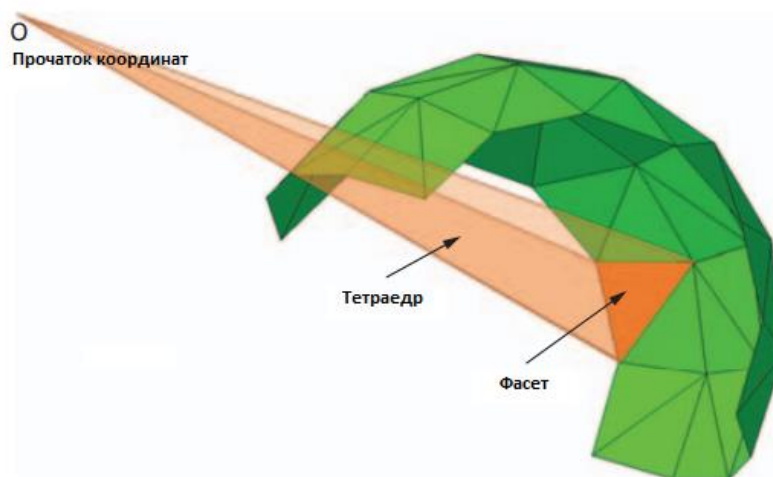


Рис. 7. Графічне представлення створення тетраедра на частині сферичної мережі.

Дискретизація поверхні може стати причиною виникнення дефектів, які, в свою чергу, часто призводять до проблем у подальшому виготовленні деталі. Навіть у відсутності дефектів, якість дискретизованої поверхні може бути оцінена за допомогою геометричних критеріїв якості.

Після автоматичного створення сітки, на жаль, можуть виникати деякі загальні дефекти на отриманій дискретизованій геометрії.

Вектор нормалі до грані повинен вказувати на зовнішню сторону матеріалу, щоб дозволити розрізнити зовнішню та внутрішню частини об'єму. У деяких випадках можливо, що деякі грані отримують нормалі, спрямовані у протилежний бік. Для таких граней вказівка напрямку матеріалу буде невірною. Наприклад, у випадку червоного трикутника (рис. 8) нормаль спрямована всередину, а не на зовнішню сторону. Така грань має обернену нормаль. Можливо, що геометрія, утворена гранями, має пропуски або отвори на поверхні (рис. 9).

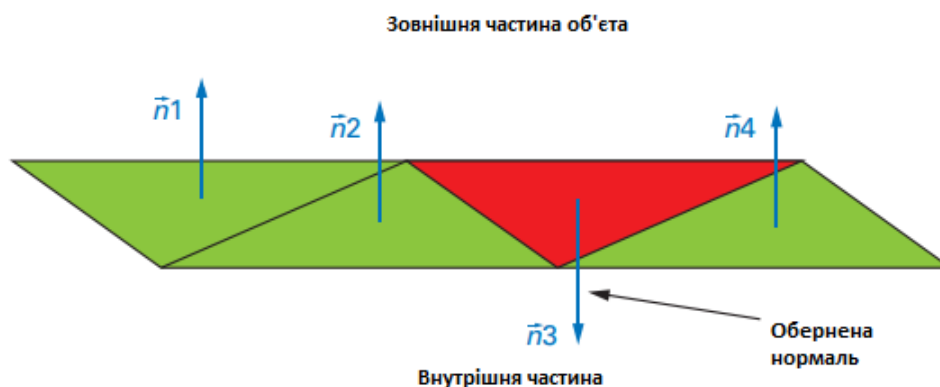


Рис. 8. Нормаль до оберненої грані

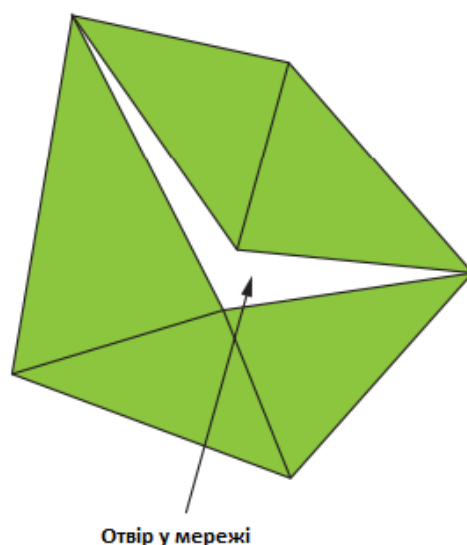


Рис. 9. Незакрита сітка STL

Поверхня, яка була дискретизована, складається з прилеглих граней, де дві сусідні грані мають спільне ребро. Проте є можливість, що одна грань може перекривати іншу замість того, щоб бути прилягаючою до неї (рис. 10). У такому випадку перекриваюча грань не повністю відповідає правилу розміщення вершин.

У певних випадках створення сітки може призвести до появи граней, які перетинаються (рис. 11), що порушує правило розміщення вершин.

У геометрії, яка була дискретизована, можуть існувати окремі грані, які частково або повністю відокремлені від решти геометрії (рис. 12). У такому випадку правило розміщення вершин не дотримується повністю.

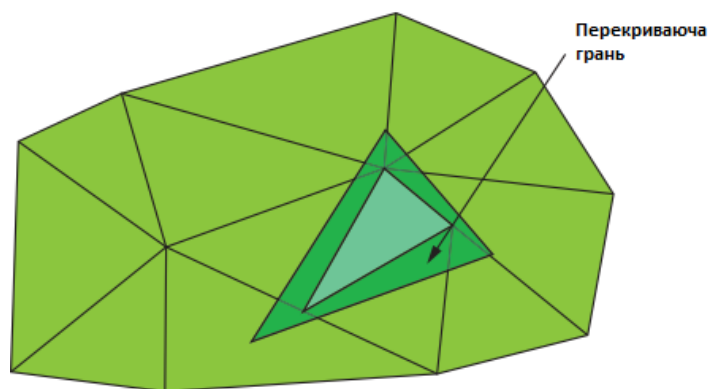


Рис. 10. Випадок перекриваючої грані

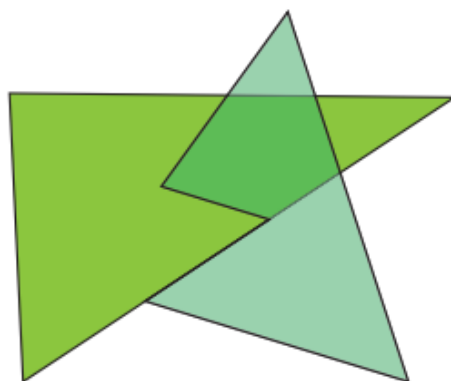


Рис. 11. Випадок з гранями, які перетинаються

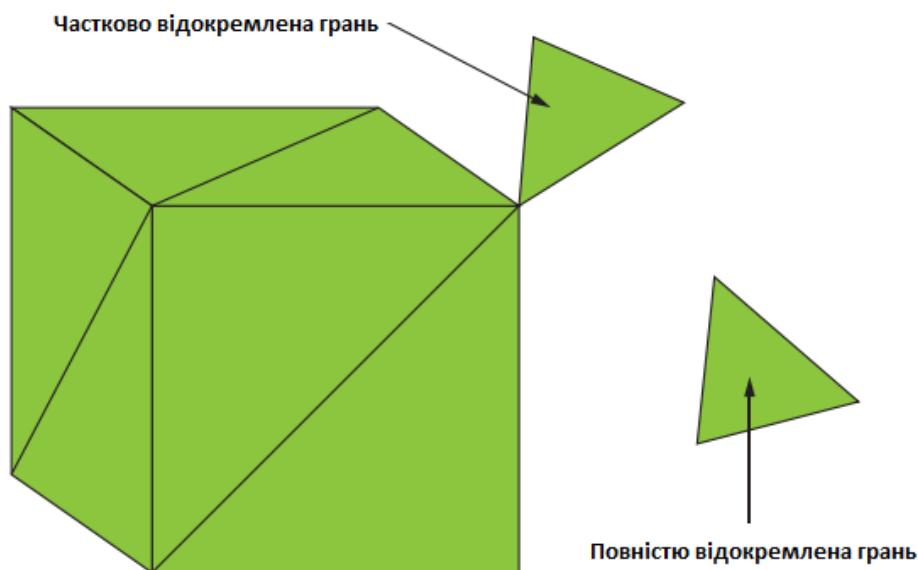


Рис. 12. Випадок з окремими гранями

У програмах комп'ютерно-допоміжного проєктування (САПР) всі ці недоліки зазвичай називаються "неманіфольною геометрією". Щоб виправити ці проблеми максимально ефективно, сучасні програми САПР мають у своєму арсеналі різноманітні інструменти. Наприклад, є інструмент, який дозволяє обертати нормалі граней так, щоб вони коректно вказували на зовнішню сторону матеріалу [7; 8].

Також є інструменти для видалення окремих трикутників або груп трикутників. Ці засоби можуть бути використані для вирішення проблем з перекриттям, перетинами та ізольованими гранями [9; 10].



Також можна вручну створювати додаткові трикутники, наприклад, для заповнення отворів у сітці. Цей ручний підхід підходить для дуже малих отворів. Однак, для великих отворів було розроблено багато автоматичних алгоритмів "заповнення отворів". Серед викликів цих алгоритмів можна відзначити кривизну сусідніх поверхонь та оптимальне відтворення геометрії сусідніх трикутників.

Нарешті, були розроблені інструменти для автоматичного очищення мережі від ізолюваних, дубльованих або граней із некоректною орієнтацією.

**Висновки.** Дослідження файлів у форматі STL має важливе значення в контексті розвитку адитивного виробництва та цифрових технологій у будівельній галузі. Надання вичерпного опису основної інформації, пов'язаної з використанням цього формату, включає методи обчислення площі та об'єму сітки STL, що є важливим для ефективного моделювання та виробництва деталей.

Під час дослідження виявлено ряд помилок та ключових критеріїв для оцінки геометричної якості сітки. Це включає в себе такі аспекти, як правильне орієнтування нормалей, виявлення та виправлення перекриття, перетинів та ізолюваних граней.

Для подальших досліджень пропонується розглянути альтернативні варіанти подолання деяких недоліків формату STL, таких як автоматизоване виявлення та виправлення помилок у сітці, розробка нових форматів файлів з більшою функціональністю та підтримкою додаткових властивостей моделей. Дослідження таких альтернатив може сприяти поліпшенню ефективності та точності використання файлів для 3D-друку будівельних об'єктів та в адитивному виробництві.

Використання більш продуктивних форматів файлів: замість STL, можна використовувати більш продуктивні формати, такі як OBJ, PLY або 3MF. Ці формати можуть підтримувати більш широкий спектр функцій, таких як текстур, колірні дані, нормалі, та інші.

Використання більш точних форматів: деякі формати, такі як STEP або IGES, забезпечують більш точне представлення геометрії, що може бути корисним для інженерних застосувань та точних обчислень.

Компресія даних: для зменшення обсягу даних та покращення швидкості обробки можна застосовувати методи компресії даних для формату STL або використовувати інші формати з вбудованою підтримкою компресії. Використання додаткових метаданих: додавання додаткових метаданих до файлів, таких як назви, описи, автори тощо, може поліпшити організацію та розуміння моделей.

Стандартизація: встановлення стандартів для створення та обміну файлами тривимірних моделей може поліпшити сумісність та спростити роботу з ними між різними програмами та системами.

Ці альтернативні варіанти можуть допомогти вирішити деякі недоліки формату STL та покращити процес роботи з тривимірними моделями, забезпечуючи кращу якість та продуктивність.

### Список використаних джерел

1. 3D printer g-code commands: full list & tutorial. All3DP [Electronic resource]. – Access mode: <https://all3dp.com/2/3d-printer-g-code-commands-list-tutorial>.
2. Гусев, В. Дослідження етапів перетворення об'ємної моделі виробу на керуючий код для 3d-принтера в контексті автоматизованого будівництва технології 3d-друку / В. Гусев, Т. Нікіфорова // Український журнал будівництва та архітектури. – 2022. – № 4. – С. 38-45. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.250822.38.876%20>.
3. Nayyeri P. Planar and nonplanar slicing algorithms for fused deposition modeling technology: a critical review / P. Nayyeri, K. Zareinia, H. Bougherara // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2022. – Vol. 119, № 5-6. – Pp. 2785-2810.
4. Hager, I. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? / I. Hager, A. Golonka, R. Putanowicz // Procedia engineering. – 2016. – Т. 151. – С. 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>.

5. Гусев, В. Аналіз файлів формату stl як вхідних даних для систем швидкого прототипування / В. Гусев, Т. Нікіфорова // Будівельні конструкції. Теорія і практика. – 2022. – № 11. – С. 77-85. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.77-85>.
6. Khoshnevis, B. Automated construction by contour crafting–related robotics and information technologies / B. Khoshnevis // Automation in construction. – 2004. – Т. 13, № 1. – С. 5-19. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2003.08.012> (дата звернення: 07.07.2022).
7. STL repair (online & offline): the best software of 2021. All3DP. [Electronic resource]. – Access mode: <https://all3dp.com/2/stl-repair-fixer-tool-online-offline>.
8. STL (stereolithography) file format family. Home Library of Congress. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000504.shtml#useful>.
9. Szilvsi-Nagy, M. Analysis of STL files / M. Szilvsi-Nagy, G. Mátyási // Mathematical and computer modelling. – 2003. – Т. 38. – № 7-9. – С. 945-960. [https://doi.org/10.1016/s0895-7177\(03\)90079-3](https://doi.org/10.1016/s0895-7177(03)90079-3).
10. Гусев, В. О. Технологія 3D – друку у будівництві. Концептуальна схема перетворення 3d – моделі виробу в керуючий код для 3D – принтеру / В. О. Гусев, Т. Д. Нікіфорова // Комплексні композитні конструкції будівель та споруд в умовах воєнного стану (cscs-2022) : зб. наук. праць за матеріалами XIV Міжнар. наук.-тех. конф. (м. Полтава, 20-22 лип. 2022 р.). – Полтава : НУ "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка", 2022. – С. 59-61.

### References

1. 3D printer g-code commands: full list & tutorial. All3DP. <https://all3dp.com/2/3d-printer-g-code-commands-list-tutorial/>
2. Husiev, V.O., Nikiforova, T.D. (2022). Doslidzhennia etapiv peretvorennia obiemnoi modeli vyrobu na keruiuchy kod dlia 3d-ptyntera v konteksti avtomatyzovanoho budivnytstva tekhnolohii 3d-druku [Study of the stages of conversion of a three-dimensional model of a product into a control code for a 3D printer in the context of automated construction of 3d printing technology]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury – Ukrainian Journal of Construction and Architecture*, 4, 38–45. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.250822.38.876%20>.
3. Nayyeri, P., Zareinia, K., Bougherara, H. (2022). Planar and nonplanar slicing algorithms for fused deposition modeling technology: a critical review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 119, 5-6, 2785–2810.
4. Hager, I., Golonka, A., Putanowicz, R. (2016). 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? *Procedia engineering*, 151, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>
5. Husiev, V. O., Nikiforova, T. D. (2022). Analiz failiv formatu stl yak vkhidnykh danykh dlia system shvydkoho prototypuvannia [Analysis of stl format files as input data for rapid prototyping systems]. *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka – Building structures. Theory and practice*, 11, 77–85. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.77-85>.
6. Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting–related robotics and information technologies. *Automation in construction*, 13, 1, 5–19. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2003.08.012>
7. STL repair (online & offline): the best software of 2021. All3DP. <https://all3dp.com/2/stl-repair-fixer-tool-online-offline/>
8. STL (stereolithography) file format family. Home Library of Congress. <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000504.shtml#useful>
9. Szilvsi-Nagy, M., Mátyási, G. (2003). Analysis of STL files. *Mathematical and computer modelling*, 38, 7-9, 945–960. URL: [https://doi.org/10.1016/s0895-7177\(03\)90079-3](https://doi.org/10.1016/s0895-7177(03)90079-3)
10. Husiev, V.O., Nikiforova, T.D. (2022). Tekhnolohiia 3D – druku u budivnytstvi. Kontseptualna skhema peretvorennia 3d – modeli vyrobu v keruiuchy kod dlia 3D – prynteru [3D printing technology in construction. Conceptual diagram of the transformation of a 3D product model into a control code for a 3d printer]. *Kompleksni kompozytni konstruksii budivel ta sporud v umovakh voiennoho stanu (cscs-2022): zb. nauk. prats za materialamy XIV Mizhnar. nauk.-tekh. konf. – Complex composite structures of buildings and structures under martial law (CSCS-2022): Collection. of science pr. based on the materials of the XIV International scientific and technical Conf.* (pp. 59–61). National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic".

Отримано 22.03.2024

**Vitalii Husiev<sup>1</sup>, Tatiana Nikiforova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures  
Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture (Dnipro, Ukraine)  
**E-mail:** [husievvitalii@gmail.com](mailto:husievvitalii@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6813-9824>

<sup>2</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.  
Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture (Dnipro, Ukraine)  
**E-mail:** [nikiforova.tetiana@pdaba.edu.ua](mailto:nikiforova.tetiana@pdaba.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0688-2759>

**ANALYSIS OF FILES IN STL FORMAT AS THE BASIS OF MODELING  
FOR 3D PRINTING OF BUILDING OBJECTS**

*The integration of advanced technologies in the field of software at the stages of construction becomes one of the key tasks of designers. Creating objects using 3D printing requires the use of appropriate high-tech solutions. One of these solutions consists in the analysis of the process of converting three-dimensional models into a control code for 3D printers, in particular, the analysis of files in STL format. The efficiency of manufacturing construction structures and structures by 3D printing depends primarily on this analysis.*

*This study aims at an in-depth analysis of STL files in light of the growth of additive manufacturing and the advancement of digital technologies in the construction industry.*

*The purpose of the work is to provide a comprehensive overview of the basic information related to the use of this format, including methods for calculating the area and volume of the STL grid. Identification and analysis of typical errors that may occur when working with files of this format and definition of key criteria for evaluating the geometric quality of the grid. Consideration of strategies and alternative approaches to overcome possible drawbacks that may arise when using the STL format. Creation of a comprehensive view of this format and provision of appropriate recommendations for further improvement of the processes of working with it.*

*The study of STL files plays an important role in the development of additive manufacturing and digital technologies in the construction industry. This study aims to provide a detailed overview of the basic information related to the use of this format, including methods for calculating the area and volume of an STL mesh, which are crucial for efficient modelling and production of structures. During the research, a number of errors were identified and key criteria for assessing the geometric quality of the grid were determined. This includes correctly orienting normals, detecting and correcting overlaps, intersections, and isolated faces. For further research, it is proposed to consider alternative options for overcoming some of the shortcomings of the STL format. For example, you can consider automated methods of detecting and correcting errors in the network, developing new file formats with greater functionality and support for additional model properties. Investigating such alternatives can help improve the efficiency and accuracy of file use in construction and additive manufacturing.*

**Keywords:** 3D printing; STL files; CAD/CAM; 3D modelling; ASCII format; Layer-by-layer deposition method.

**Fig.:** 12. **References:** 10.