

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-55-04>

УДК 004.942

**Багнюк Наталія Володимирівна**, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>

**Христинець Наталія Анатоліївна**, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-4836-7632>

**Биков Сергій Олегович**, здобувач вищої освіти

кафедри комп'ютерної інженерії та кібербезпеки

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

## РОЗРОБКА МУЛЬТИМЕДІЙНИХ 3D МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СИМУЛЯЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

**Багнюк Н.В., Христинець Н.А., Биков С.О. Розробка мультимедійних 3D моделей для симуляції технологічного процесу.** Задачі моделювання поведінки частинок сумішей є важливими для різних галузей промисловості, включаючи будівництво, матеріалознавство, хімічну промисловість та фармацевтику. У будівництві, наприклад, моделювання засипки частинок може бути корисним для дослідження властивостей бетонних сумішей або композитних матеріалів. У матеріалознавстві, моделювання взаємодії різних частинок може допомогти в розробці нових матеріалів з покращеними механічними або хімічними властивостями. У роботі були розглянуті комп'ютерні методи проектування 3D моделей частинок сталі та кераміки, що підкреслює широкий спектр можливостей застосування цих технологій в різних галузях. Особлива увага приділяється моделюванню текстур та полігонів, оскільки ці аспекти важливі для досягнення реалістичного візуального представлення частинок. Коректне відтворення текстур і деталей полігонів дозволяє забезпечити точність та достовірність симуляційних результатів. Використання Blender у поєднанні з налаштованим світлом, камерою та контейнером відкриває широкі можливості для створення інтерактивної інструментальної системи. Ця система може бути використана для вивчення та оптимізації технологічних процесів у промисловості, що сприяє підвищенню ефективності та якості виробництва. Такий підхід дозволяє не лише зменшити витрати та час на дослідження, але й стимулює інновації та покращення в галузях, де моделювання технологічних процесів має ключове значення.

**Ключові слова:** Blender, симулятор, технологічний процес, об'єкти, полігони, текстура, 3D модель

**Bahniuk N., Khrystynets N., Bykov S. Development of multimedia 3D models for technological process simulation.**

The problems of modeling the behavior of particles in mixtures are important for various industries, including construction, materials science, chemical industry, and pharmaceuticals. In construction, for example, the modeling of particle filling can be useful for investigating the properties of concrete mixes or composite materials. In materials science, modeling the interaction of different particles can help in the development of new materials with improved mechanical or chemical properties. The paper considered computer methods for designing 3D models of steel and ceramic particles, which emphasizes the wide range of possibilities of application of these technologies in various fields. Particular attention is paid to the modeling of textures and polygons, as these aspects are important to achieve a realistic visual representation of particles. Correct reproduction of textures and details of polygons allows to ensure accuracy and reliability of simulation results. Using Blender in combination with customized lights, camera and container opens up a wide range of possibilities to create an interactive tool system. This system can be used to study and optimize technological processes in industry, which contributes to increasing the efficiency and quality of production. This approach not only reduces research costs and time, but also drives innovation and improvement in industries where process modeling is key.

**Keywords:** Blender, simulator, technological process, objects, polygons, texture, 3D model

**Постановка наукової проблеми.** Моделювання та симуляції технологічних процесів є актуальними науковими проблемами, які поєднують в собі питання математичного моделювання, фізики, інформатики та інженерії [1]. Такого роду завдання є надзвичайно популярними у різних галузях науки і техніки: методами моделювання проектуються складні системи від космічних та літальних апаратів до мікро- та нано-частинок дисперсних середовищ. Задачі моделювання поведінки частинок сумішей актуальні для галузей будівництва, матеріалознавства, хімічної промисловості, фармацевтики. В роботі розглянуто комп'ютерні методи проектування 3D моделей частинок сталі і кераміки. Ці композиційні матеріали використовуються при проектуванні деталей машин та механізмів, фільтрів, будівельних елементів, сорбційних мембран тощо. Однією з основних задач симулювання поведінки таких сумішей є створення алгоритмів для реалістичного формування динаміки частинок під час засипки, враховуючи їх взаємодію та поведінку у вузьких об'ємах засипки.

Інша важлива складова проблеми полягає в інтеграції мультимедійних технологій для візуалізації симуляції, що дозволяє користувачам спостерігати процес в реальному часі. Використання сучасних графічних процесорів та технологій 3D-моделювання є необхідним для

досягнення високої якості візуалізації та швидкодії системи як з економічної точки зору, так і з екологічних питань. Тобто, окрім того, що процеси симуляції значно здешевлюють процес виготовлення пробних заготовок, вони ще й дозволяють не лише виявити проблеми та помилки, а й програмно вирішити такі питання. Розроблена система емулявання має бути гнучкою та масштабованою, щоб дозволяти налаштування параметрів процесу під різні типи матеріалів та розміри контейнерів.

Важливою науковою задачею є розробка методів валідації та перевірки точності симуляційної моделі, що включає порівняння результатів моделювання з експериментальними даними. Оптимізація алгоритмів для обробки великих обсягів даних також є невід'ємною частиною дослідження, оскільки процес засипки часто включає в себе мільйони частинок.

**Аналіз досліджень.** З огляду на літературні закордонні та українські джерела [2-4], навчальні матеріали, та інтернет-ресурси з'ясовано, що питання розробки мультимедійної системи симуляції технологічного процесу засипки частинок в циліндричний контейнер є предметом активних досліджень. Закордонні джерела надають детальні алгоритми моделювання таких систем і підходи до реалізації ефективних обчислювальних методів. Українські дослідники також вносять вагомий вклад, зосереджуючи увагу на оптимізації процесів та адаптації існуючих моделей до специфічних умов вітчизняної промисловості [5].

Сучасні навчальні матеріали висвітлюють основні принципи комп'ютерного моделювання та симуляції, що є основою для розробки таких систем [6]. Інтернет-ресурси надають велику кількість інформації щодо програмного забезпечення та інструментів, які можуть бути використані для створення мультимедійних симуляцій. В роботі [7] зазначено, що, наприклад, платформи Unity або Unreal Engine дозволяють створювати візуалізації високої якості, що є важливим для точного відображення процесу засипки частинок. Зокрема, літературні джерела [8-9] часто описують фізичні моделі, такі як методи дискретних елементів (DEM), які використовуються для симуляції взаємодії частинок.

**Мета роботи** полягає у створенні інтегрованих програмних елементів системи, що дозволить моделювати і візуалізувати процес засипки частинок у реальному часі з високим ступенем точності.

**Вклад основного матеріалу.** Вибір ПЗ Blender для розробки 3D моделей частинок обумовлений кількома вагомими причинами. По-перше, Blender є потужним і безкоштовним програмним забезпеченням з відкритим вихідним кодом, що робить його доступним для широкого кола користувачів та дослідників. По-друге, Blender має розвинені інструменти для 3D-моделювання та анімації, які дозволяють створювати реалістичні візуалізації процесів. Третє, можливості фізичної симуляції в Blender дозволяють точно моделювати поведінку частинок, враховуючи їх взаємодію та динаміку. Важливо також зазначити, що Blender підтримує інтеграцію з іншими програмними продуктами, що розширює його функціональні можливості для комплексних симуляцій, оскільки в подальшому проєкт реалізується на платформі Unity.

Базовою основою на початку проєктування 3D моделі будь-якого об'єкта в Blender є полігони частинок (рис. 1).

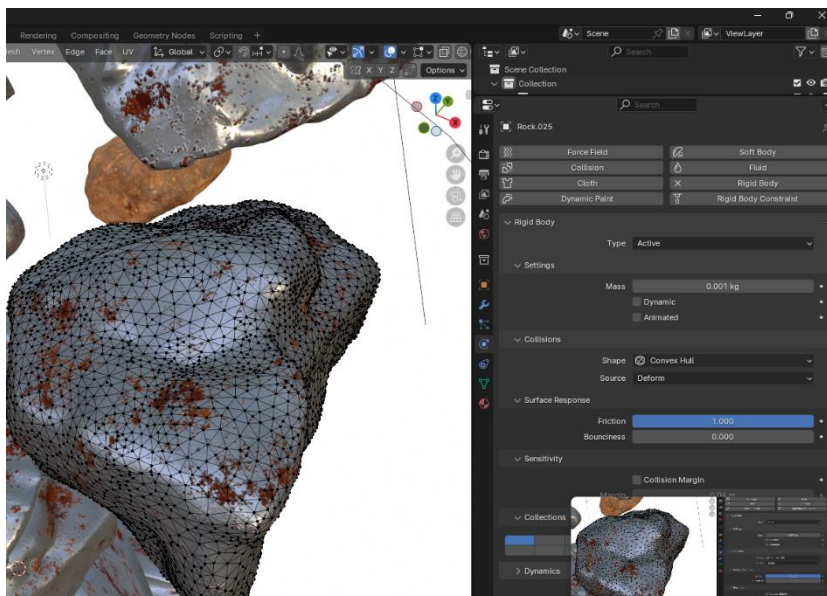


Рис. 1 – Проектування полігонів в Blender

Формуються вони шляхом почергового створення базової геометрії об'єкта за допомогою інструментів моделювання – кубів, сфер тощо. або ручне моделювання вершин, ребер і граней. Далі, для створення системи частинок, до моделі застосовується модифікатор Particle System, який дозволяє налаштувати параметри, такі як кількість частинок, їх розмір, швидкість та напрямок руху. Важливою частиною є використання модифікатора Collision, який дозволяє частинкам реагувати на поверхні об'єктів, з якими вони стикаються. Для більш реалістичної візуалізації частинки можна налаштувати за допомогою матеріалів і текстур, які задають їхній зовнішній вигляд.

Взаємозв'язки спроектованих текстур відтворюються схемою вузлів Node Editor (рис. 2), яка надає гнучкий інтерфейс для створення складних матеріалів і текстур. За допомогою вузлів можна комбінувати різні текстури, шейдери та ефекти, налаштовуючи їх взаємодію для досягнення бажаного результату. Кожен вузол виконує певну функцію, наприклад, задає кольори, додає блиск або визначає рельєф поверхні об'єкта.

Зв'язуючи виходи одного вузла з входами іншого, було створено частинки різних розмірів та текстур, що реагують на освітлення та інші умови сцени. Через цю схему можна інтерактивно налаштовувати текстури, миттєво бачити результати змін у вікні перегляду, що значно полегшує процес 3D моделювання.

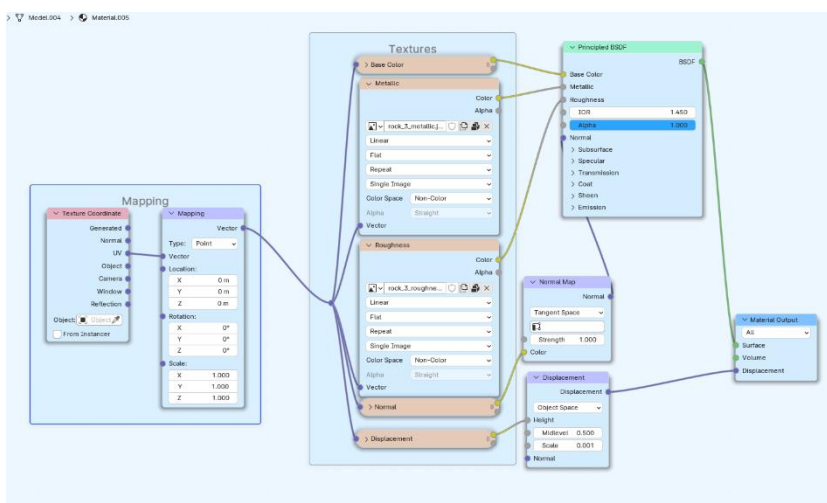


Рис. 2 – Схема вузлів Node Editor

Полігони та розгортки в розроблених 3D моделях використані для мінімізації швів і розтягувань, що забезпечує більш реалістичний і привабливий зовнішній вигляд часток. Це

виконано через інструментарій UV Mapping в Blender, що дозволяє точно проектувати 2D текстури на 3D об'єкти. Процес полягає в розгортці моделі, що означає розділення поверхні 3D об'єкта на плоску 2D сітку. В Blender існують різні методи розгортки, такі як Smart UV Project, Unwrap, Cube Projection та інші, які вибираються в залежності від форми об'єкта і складності текстури (рис. 3).

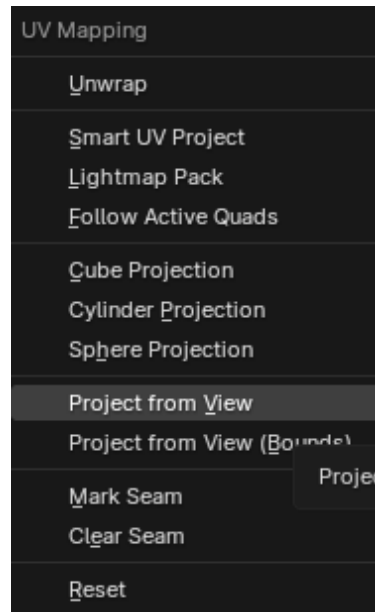


Рис. 3 – Панель UV Mapping та типи розгортки

В роботі використано розгортку Smart UV Project (рис. 4), яка є автоматизованим методом створення UV розгортки, що значно спрощує процес текстурування. Ця розгортка працює шляхом автоматичного розділення моделі на дрібні ділянки і їх оптимального розташування на UV карті з мінімальними спотвореннями. Smart UV Project особливо корисна для об'єктів зі складною геометрією, в тому числі для дендритних і пластинчастих неоднорідних структур, де ручне розгортання було б трудомістким та складним. Після застосування Smart UV Project, є можливість коригувати результуючу UV карту, якщо необхідно, для досягнення більш точного і бажаного вигляду.

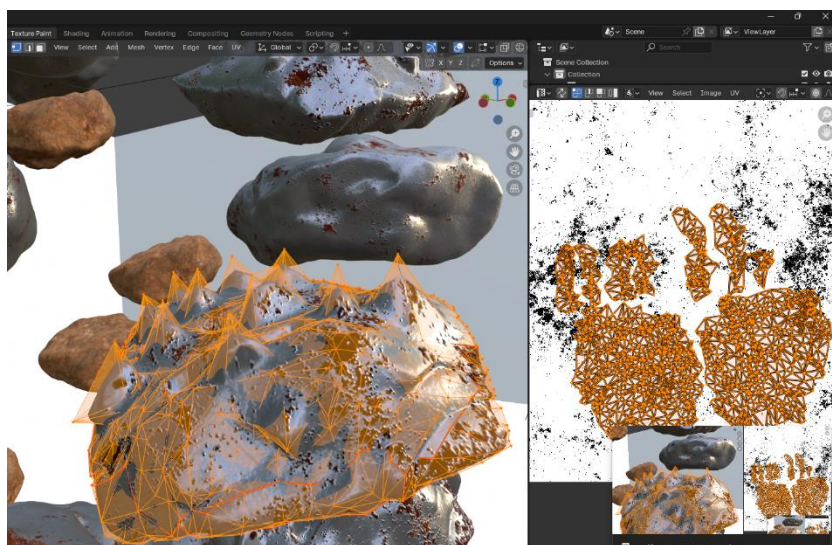


Рис. 4 – Розгортка Smart UV Project

Ключовим моментом симуляції є процес засипки суміші – проектування активів розроблених частинок. Даний процес включає налаштування камери сцени, світла сцени та параметрів самої системи частинок. Камера повинна бути розташована так, щоб забезпечити



оптимальний огляд процесу засипки, дозволяючи користувачам бачити взаємодію частинок з контейнером у реальному часі (рис. 5).

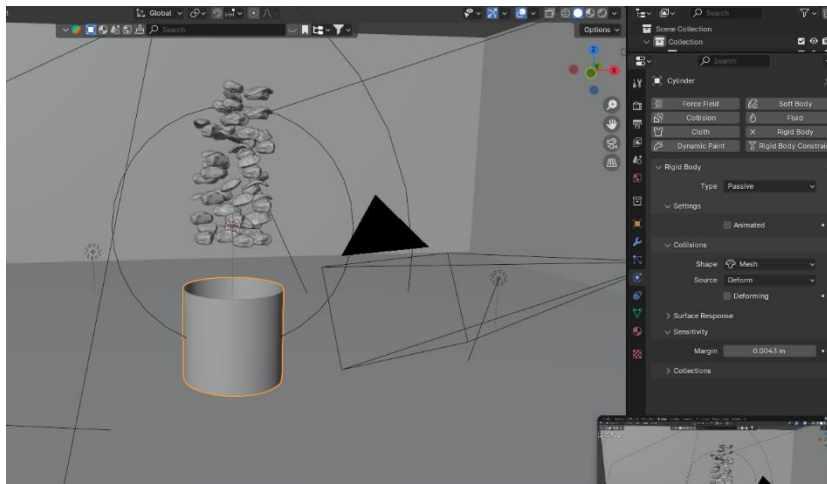


Рис. 5 – Налаштування камери та світла

Налаштування освітлення сцени є критичним для досягнення реалістичної візуалізації, підкреслюючи текстуру і динаміку частинок. Крім того, параметри системи частинок, такі як розмір, форма, швидкість і взаємодія між частинками, повинні бути точно налаштовані для достовірного відтворення фізичних властивостей суміші.

#### Висновки.

В роботі успішно реалізовано побудову 3D моделей. По-перше, за допомогою Blender були створені текстури та полігони частинок, що дозволило досягти бажаного зовнішнього вигляду для симуляції процесу засипки. Далі, було проведено налаштування світла та камери сцени, забезпечуючи оптимальне освітлення та огляд для користувачів під час перегляду симуляції. Також, для емуляції процесу засипки спеціально розроблений та інтегрований циліндричний контейнер, що дозволило відтворити реалістичні умови дослідження. Ці кроки сприяли створенню мультимедійної системи, яка через інтеграцію з Unity може ефективно моделювати технологічний процес засипки частинок, забезпечуючи користувачам зручний і реалістичний інтерфейс для спостереження та аналізу.

#### Список бібліографічного опису

1. The genetic evolution behavior of carbides in powder metallurgy FGH96 Ni-based superalloys / Liu Y. et al. Journal of Materials Science. №58. 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/s10853-023-09161-4> (дата звернення: 01.03.2024).
2. Zabolotnyi O., Pasternak V., Andrushchak I., Ilchuk N., Svirzhevskiy K. Numerical Simulation of the Microstructure of Structural-Inhomogeneous Materials. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2020. P. 562-571.
3. Continuum percolation of the realistic nonuniform ITZs in 3D polyphase concrete systems involving the aggregate shape and size differentiation / J. Lin et al. Science and Engineering of Composite Materials. 2024. P. 161-182. <https://doi.org/10.1515/secm-2022-0237>
4. Microstructural evolution and mechanical properties of Inconel 718 superalloy thin wall fabricated by pulsed plasma arc additive manufacturing/ K. Wang et al. Journal of Alloys and compounds, 2020. P. 79-91 <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152936>
5. MATLAB. MathWorks. Version R2024a. URL: <https://www.mathworks.com> (date of access: 27.02.2024).
6. Advanced Simulation Library. Avtech Scientific. Version 0.1.7. URL: <https://asl.org.il> (date of access: 27.02.2024).
7. John W. Eaton, Torsten Liljed. GNU Octave. GNU General Public License. Version 9.1.0. Free Software Foundation. URL: <https://www.octave.org> (date of access: 23.02.2024).
8. Долгов О. М. Композиційні матеріали. Дніпро : Дніпр. політехніка, 2022. 67 с. URL: <http://surl.li/swvwq> (дата звернення: 16.03.2024).
9. Алгоритм оцінювання якості 3D моделі для адитивного виробництва / В. Марчук та ін. Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2023) : 36. наук. доп. міжнар. конф., м. Луцьк, 16-18 трав. 2023 р. Луцьк, 2023. С. 178-180. URL: <http://surl.li/swwge> (дата звернення: 13.02.2024).

#### References

1. The genetic evolution behavior of carbides in powder metallurgy FGH96 Ni-based superalloys / Liu Y. et al. Journal of Materials Science. №58. 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/s10853-023-09161-4> (дата звернення: 01.03.2024).

2. Zabolotnyi O., Pasternak V., Andrushchak I., Ilchuk N., Svirzhevskiy K. Numerical Simulation of the Microstructure of Structural-Inhomogeneous Materials. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2020. P. 562-571.
3. Continuum percolation of the realistic nonuniform ITZs in 3D polyphase concrete systems involving the aggregate shape and size differentiation / J. Lin et al. Science and Engineering of Composite Materials. 2024. P. 161–182. <https://doi.org/10.1515/secm-2022-0237>
4. Microstructural evolution and mechanical properties of Inconel 718 superalloy thin wall fabricated by pulsed plasma arc additive manufacturing/ K. Wang et al. Journal of Alloys and compounds, 2020. P. 79-91 <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.152936>
5. MATLAB. MathWorks. Version R2024a. URL: <https://www.mathworks.com> (date of access: 27.02.2024).
6. Advanced Simulation Library. Avtech Scientific. Version 0.1.7. URL: <https://asl.org.il> (date of access: 27.02.2024).
7. John W. Eatond, Torsten Lilged. GNU Octave. GNU General Public License. Version 9.1.0. Free Software Foundation. URL: <https://www.octave.org> (date of access: 23.02.2024).
8. Долгов О. М. Композиційні матеріали. Дніпро : Дніпр. політехніка, 2022. 67 с. URL: <http://surl.li/swvwq> (дата звернення: 16.03.2024).
9. Алгоритм оцінювання якості 3D моделі для адитивного виробництва / В. Марчук та ін. Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2023) : 36. наук. доп. міжнар. конф., м. Луцьк, 16–18 трав. 2023 р. Луцьк, 2023. С. 178–180. URL: <http://surl.li/swwge> (дата звернення: 13.02.2024).