

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНІ ПРИ ОСАДЖЕННІ МІКРОЧАСТИНОК

*Розроблено узагальнену модель осадження мікрочастинок; реалізовано програмний продукт для імітаційного моделювання формування поверхні в процесі осадження мікрочастинок, що забезпечує задання різних початкових законів розподілу; відслідковування результуючого закону розподілу; перевірку наявності наскрізних порожнин; оцінку якості поверхні осажденного шару.*

*Ключові слова: імітаційна модель, інформаційна система.*

D.V. BONDAR, O.A. PASICHNYK, T.K. SKRYPNYK  
Khmelnitskyi National University

### INFORMATION SYSTEM OF IMITATION SIMULATION OF THE SURFACE FORMATION PROCESSING IN THE DEPOSITION OF MICROPARTICLES

*Technological advances greatly contribute to the modelling and numerical study of deposition structures. Such studies help to develop a better understanding and control over the formation of specific shapes and surfaces, for specific purposes. This is relevant for the manufacture of nanomaterials used in industry, medicine and other fields. One of the current trends of technological development is to form on the surfaces of various coatings with special properties different from the properties of the main body part. A possible technology for obtaining such coatings is the technology of deposition of microparticles. The analysis shows a possible wide range of applications in the fields of science and technology, as well as objects of modelling. This result determines the potential need for a wide range of end-users in information technology. The purpose of this work is to create an information system that is designed to simulate the process of surface formation during particle deposition. To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks: development of a generalized model of microparticle deposition; implementation of information system for simulation modelling of surface formation in the process of deposition of microparticles, which provides the assignment of different initial distribution laws; tracking the resulting distribution law; checking the presence of through cavities; assessment of the surface quality of the deposited layer. As a result of the work, information technology was first developed using a generalized model that combines four types of particle deposition with an extended nomenclature of initial data in combination with the analysis of the original result.*

*Keywords: simulation model, information system.*

#### Вступ

Розвиток інформаційних технологій та збільшення потужності обчислювальних машин дали змогу застосовувати їх у різних галузях. Одним із можливих напрямків є моделювання та пов'язане з ним дослідження структур поверхневих шарів отриманих шляхом осадження частинок. Такі дослідження допомагають краще зрозуміти та контролювати процес формування поверхонь. Моделювання поверхні також надає переваги для візуалізації даних. Ці дослідження мають практичне значення для різних галузей промисловості та сфер життєдіяльності людини. Тому створення інформаційної технології, що імітує процес осадження мікрочастинок, є актуальним для застосування у різних сферах.

Метою цієї роботи є створення інформаційної системи, яка призначена для імітації процесу формування поверхні при осадженні частинок.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання: розробка узагальненої моделі осадження мікрочастинок; реалізація інформаційної системи для імітаційного моделювання формування поверхні в процесі осадження мікрочастинок, що забезпечує задання різних початкових законів розподілу; відслідковування результуючого закону розподілу; перевірка наявності наскрізних порожнин; оцінка якості поверхні осажденного шару. В результаті проведеної роботи вперше було розроблено інформаційну технологію, що використовує узагальнену модель, яка поєднує чотири типи осадження частинок з розширеною номенклатурою початкових даних у поєднанні з аналізом вихідного результату.

#### Основні матеріали дослідження

Комп'ютерне моделювання [1] – метод розв'язування задачі аналізу або синтезу складної системи, що ґрунтується на використанні її комп'ютерної моделі. Сутність комп'ютерного моделювання полягає у відшукуванні кількісних і якісних результатів із залученням наявної моделі. Якісні висновки, зроблені на підставі такого дослідження, дають змогу розкривати невідомі досі властивості складної системи: її структуру, динаміку розвитку, стійкість, цілісність тощо. Кількісні висновки мають переважно характер прогнозу майбутніх чи пояснення минулих значень змінних, що характеризують систему.

Однією з сучасних тенденцій розвитку техніки є формування на поверхнях деталей різноманітних покриттів зі спеціальними властивостями, що відрізняється від властивостей основного тіла деталі. Можливою технологією отримання такого роду покриттів є технологія осадження мікрочастинок.

Поверхневі та структурні властивості агрегатів осадження мають багатодисциплінарний інтерес. Осадження частинок відбуваються в різних фізичних, хімічних та біологічних системах і процесах. Поверхневі та об'ємні властивості агрегатів осадження (утвореної поверхні) тісно пов'язані з найрізноманітнішими проблемами, такими як потік рідини, адсорбція та дифузія в пористих структурах, спрямовані полімери у випадкових середовищах та розповсюдження полум'яних фронтів та інше.

Технологічний прогрес значною мірою сприяє моделюванню та чисельним дослідженням структур осадження. Такі дослідження допомагають розвинути краще розуміння та контроль за формуванням конкретних форм і поверхонь для конкретних цілей. Це актуально для виготовлення наноматеріалів, що застосовуються в промисловості, медицині та інших сферах.

Проведений аналіз засвідчує можливий широкий спектр застосування по галузям науки і техніки, так і по об'єктам моделювання. Такий результат обумовлює потенційну потребу широкого кола кінцевих споживачів в інформаційній технології. Серед комп'ютерних моделей виділяють моделі осаджень мікрочастинок, в яких частинки рухаються по прямолінійних траєкторіях і приєднуються до осаду, що попередньо агрегував за наявності прямого контакту.

Виділяють чотири основні типи осадження [2], разом вони охоплюють широке коло явищ реального світу. Ці чотири типи мають деякі спільні риси. Перш за все, осадження будується на одновимірній області, зі певною шириною [3]. У різні моменти часу невеликий об'єкт (зазвичай квадрат) з'являється над областю і падає вертикально вниз, на будь-який край. Що відбудеться в момент наближення, як будуть рости стеки об'єктів, залежить від того, який тип процесу осадження розглядається.

Перший тип осадження частинок – це модель випадкового осадження, її зображено на рис. 1а [4]. Це найпростіший з усіх процесів осадження. У цій моделі, під час процесу осадження, частинки однакового розміру рухаються вертикальними траєкторіями з випадково обраного положення над поверхнею осаду і осаджуються за наявності безпосереднього контакту з найближчою частинкою осаду, що знаходиться на поверхні. При цьому під "поверхнею" розуміють набір часток, що знаходяться в найвищому положенні в кожній колонці. Відсутність бічних взаємодій у даній моделі осадження призводить до формування рівномірної поверхні, по усій площі. Це означає, що за будь-якого вхідного закону розподілу вихідний закон буде завжди схожим.

У моделі випадкового осадження мікрочастинок товщина шару зростає найповільніше, але при цьому у ньому відсутні порожнини. Модель має найнижчу шорсткість утвореної поверхні, серед усіх чотирьох моделей, при рівномірному законі розподілу. Цей процес називається випадковим осадженням, але термін «випадковий» не є виправданим. Всі моделі, що розглядаються, є випадковими.

Другий тип – випадкове осадження зі зміщенням, його зображено на рис. 1б. Цей варіант цікавий тим, що об'єкт падає на незайняту ділянку, та потім падає в найближче місце, що має мінімальну висоту. Якщо падіння відбулося на місце з нижчими сторонами з обох боків, то об'єкт випадково визначить подальший шлях переміщення вниз. Об'єкт рухається шляхом найменшого опору при подоланні локальних перешкод. Відсутність бічних взаємодій у даній моделі осадження призводить до формування рівномірної поверхні, по усій площі. Це означає, що за будь-якого вхідного закону розподілу вихідний закон буде максимально схожим.

У моделі випадкового осадження мікрочастинок зі зміщенням товщина шару зростає повільно, як і в звичайному випадковому осадженні, також у ньому відсутні порожнини. Модель має низьку шорсткість утвореної поверхні, у порівнянні з іншими моделями, при рівномірному законі розподілу.

Третій та четвертий типи осадження – це балістичне осадження, вони зображені на рис. 1в [4] та 1г [4].

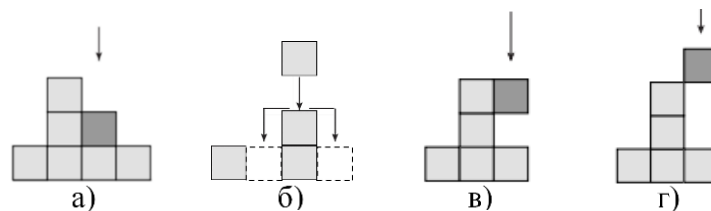


Рис. 1. Моделі осадження: а) та б) випадкове, в) та г) балістичне

Найбільш складним процесом осадження є балістичне [4]. Модель балістичного осадження мікрочастинок кардинально відрізняється від звичайного випадкового осадження та випадкового осадження зі зміщенням. При балістичному осадженні частинки вважаються сильно «магнітними» та «прилипають» до першої точки контакту, тоді як у випадковому осадженні частинки можуть продовжувати процес осадження далі.

У моделі балістичного осадження та моделі балістичного осадження зі зміщенням, під час процесу осадження частинки однакового розміру рухаються вертикальними траєкторіями з випадково обраного положення над поверхнею осаду та осаджуються за наявності безпосереднього контакту з найближчою частинкою осаду, що знаходиться на поверхні, у поточному стовпці. При наявності осаджених мікрочастинок у сусідніх стовпцях, частинка приєднується до першого доступного сусіда у балістичному осадженні та до наступного сусіда у балістичному осадженні зі зміщенням, за наявності безпосереднього бічного контакту з нею. Після аналізу чотирьох типів осадження мікрочастинок була розроблена узагальнена модель, яка поєднує у собі поведінку усіх зазначених варіантів.

Для моделювання згаданого процесу, імітації поверхні, була реалізована інформаційна система у вигляді оригінального програмного забезпечення, що імітує зазначений процес (рис. 2).

У програмному продукті реалізовано можливість обирати вхідний закон розподілу зі зміною масштабування (рис. 3).

Результатом роботи програми є імітація поверхні, що зображена на рис. 4.

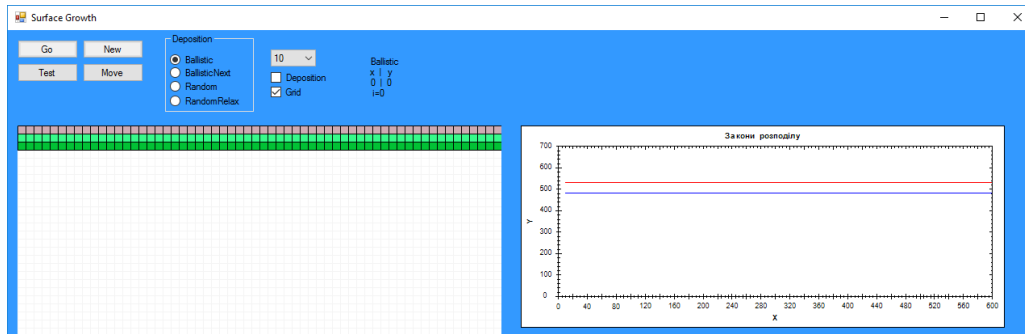


Рис. 2. Головне вікно програми із заданим законом розподілу

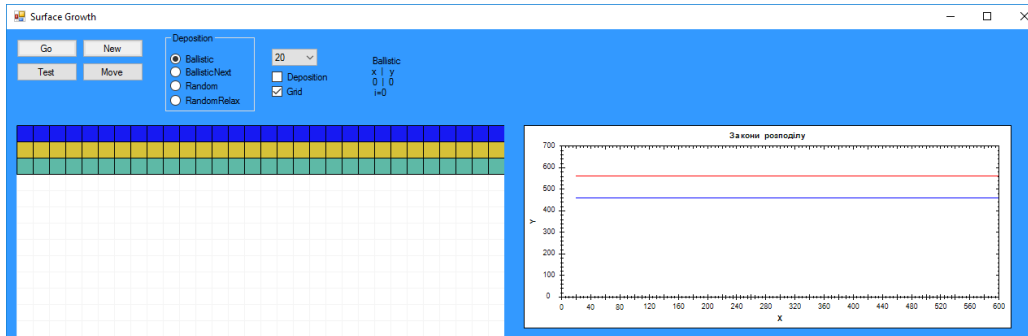


Рис. 3. Масштабування

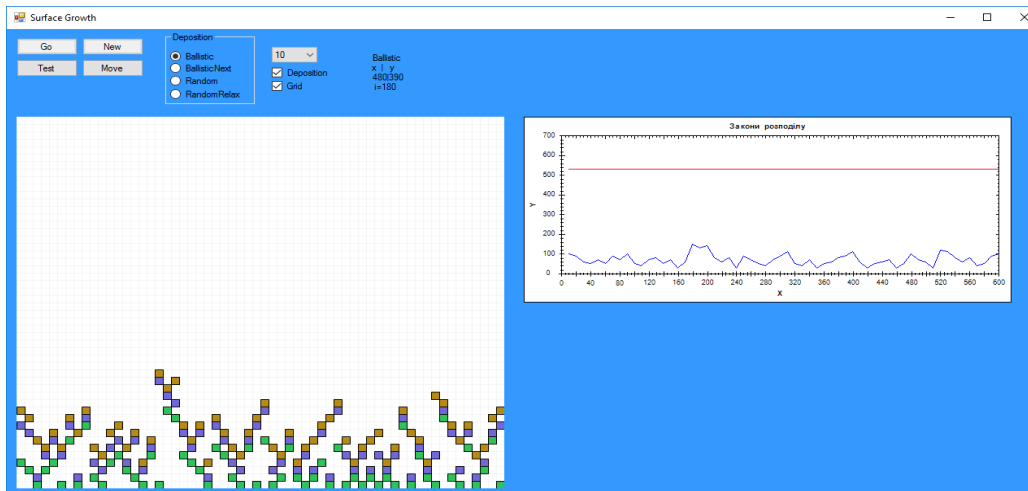


Рис. 4. Утворена поверхня

### Висновки

Реалізовано інформаційну систему імітаційного моделювання формування поверхні в процесі осадження мікрочастинок, що ґрунтується на розробленій узагальненій моделі осадження мікрочастинок. В інформаційній системі забезпечено задання різних початкових законів розподілу; відслідковування результуючого закону розподілу; перевірку наявності наскрізних порожнин; оцінку якості поверхні осадженого шару.

### Література

1. Моделювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://studopedia.org/4-170978.html>.
2. Осадження [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ams.org/publicoutreach/feature-column/fc-2016-02>.
3. Моделювання осадження [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://arxiv.org/pdf/1311.2182.pdf>.
4. Surface morphology of a modified ballistic deposition model [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc4392/m2/1/high\\_res\\_d/problieu.pdf](https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc4392/m2/1/high_res_d/problieu.pdf).

### References

1. Modeling. URL: <https://studopedia.org/4-170978.html>.
2. Deposition. URL: <http://www.ams.org/publicoutreach/feature-column/fc-2016-02>.
3. Deposition modeling. URL: <https://arxiv.org/pdf/1311.2182.pdf>.
4. Surface morphology of a modified ballistic deposition model. URL: [https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc4392/m2/1/high\\_res\\_d/problieu.pdf](https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc4392/m2/1/high_res_d/problieu.pdf).

Рецензія/Peer review : 26.11.2019 р.

Надрукована/Printed : 02.01.2020

Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати́й Р.В.