

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОСАДЖЕННЯ ЧАСТИНОК ТА ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНІ

*На основі сучасного стану та тенденцій і напрямків розвитку потреб обґрунтовано необхідність та доцільність реалізації інформаційної системи імітаційного моделювання процесу осадження частинок та формування поверхні в рамках якої реалізовані моделі випадкового та динамічного осадження з широким спектром інших початкових параметрів. Намічено шляхи подальшого вдосконалення системи.*

*Ключові слова: інформаційна система, імітаційне моделювання, процес осадження, випадкове осадження, балістичне осадження.*

PASICHNYK O.  
Khmelnysky National University

## INFORMATION SYSTEM OF SIMULATION MODELING OF THE PARTICLE DEPOSITION PROCESS AND SURFACE FORMATION

*The current state and tendencies and directions of development of equipment and technologies are analyzed. There has been an increase in attention to the characteristics of surfaces and surface layers of parts and elements in various fields, in particular, mechanical engineering, electronics, medicine, etc. One of the effective ways to obtain the formation of surfaces and surface layers with specified high characteristics for compliance with strict requirements for economic efficiency of technological processes is the deposition of particles, including micro- and nanoscale.*

*As a tool for practical solution of the problem, the methodology of simulation modeling in combination with computer technology is proposed. The effectiveness of this approach is demonstrated by examples from various fields of human activity, including computer-aided design systems, mechanical systems calculations, process modeling, systems modeling, urban planning and architecture, optical devices design, electronic devices design, coating applications and properties, medicine, national security, metrology, educational activities.*

*The implemented information system of simulation modeling of the process of particle deposition and surface formation is based on the models of random and dynamic deposition with displacement and without displacement improved taking into account the weight of the particle.*

*Validation and verification of the information system was performed.*

*As directions of further improvement of the implemented system, the implementation of modules for assessing the quality of the obtained surface, in particular, regarding its roughness and porosity, as well as solving the problem of assigning initial parameters and deposition models to obtain a surface with specified quality characteristics.*

*Keywords: information system, simulation, deposition process, random deposition, ballistic deposition.*

**Вступ.** Процеси функціонування різноманітних систем живої та неживої природи пов'язані з взаємодією їх складових, яке відбувається шляхом поверхневого контактування або проходження через них потоків речовини та (або) енергії. Прискіплива увага до властивостей і характеристик поверхневих шарів контактних поверхонь є панівною тенденцією розвитку техніки та технологій у сучасному світі. Одночасно із цим стрімко розвиваються та урізноманітнюються технологічні прийоми формування поверхонь, зокрема, шляхом осадження частинок, у тому числі, мікро- та нанорозмірів.

Зазначені підходи можуть і широко застосовуються для вирішення широкого кола питань. До прикладу:

– **машинобудування** – спеціальні покриття, які мають необхідні трибологічні, фізико-механічні, антикорозійні, естетичні та інші експлуатаційні характеристики, й утворюються шляхом, нанесення функціональних матеріалів [1–3], напилення, наплавлення [4–8], електролітичного осадження [9, 10], фарбування, зокрема порошкового [11], тощо;

– **радіоелектроніка** – мікрочастинки, які мають певну структуру, що утворюється шляхом «наросування»; провідники для елементів; друковані плати [12], структура складових засобів зв'язку тощо;

– **медицина** – лікування з малоінвазивним втручанням у організм [13], процес осадження необхідний для виготовлення наноматеріалів, що застосовуються у створення структур для «доставки» ліків [13], «розумних» наноструктур для дослідження та лікування та відновлення біологічних систем людини [14], виготовленні протезів, штучних частин зі спеціальним покриттям тощо [14];

Проведений аналіз засвідчує широкий спектр застосування по галузям науки і техніки, так і по об'єктах. Разом із тим практика свідчить, що найкращим засобом визначення властивостей об'єкту є натурний експеримент, тобто дослідження властивостей та поведінки об'єкту в потрібних умовах [15]. Але в багатьох випадках натурний експеримент є малоінформативним з точки зору отримуваних результатів. Кращою альтернативою у такому випадку є моделювання.

Моделювання надає можливість дослідження об'єктів для яких прямий експеримент є небезпечним, економічно не вигідним; за надто довго- або короткотривалим; протяжним у просторі; неможливий; неповторюваний; ненаочний [15].

Математичне моделювання – процес встановлення відповідності об'єкту моделювання певної математичної конструкції – математичної моделі, – та дослідження цієї моделі. Математичні моделі поділяються на аналітичні, імітаційні та змішані [15].

При дослідженнях процесів осадження мікро- та наночастинок при формуванні поверхневих шарів не завжди можливо або доцільно отримати аналітичні моделі й об'єктивним є використання імітаційного моделювання.

Імітаційне моделювання передбачає представлення моделі у вигляді певного алгоритму – комп'ютерної програми, – виконання якого імітує послідовність зміни станів в системі й таким чином відтворює поведінку системи, яка моделюється. Імітаційна модель реалізує часову діаграму функціонування системи. Процес створення та випробування таких моделей називається імітаційним моделюванням, а сам алгоритм – імітаційною моделлю [15].

Наявний досвід реалізація інформаційних систем для математичного моделювання, як аналітичного, так й імітаційного, засвідчує їх високу ефективність для вирішення широкого кола задач: системи автоматизованого проектування [16], розрахунки механічних систем [17–19], моделювання технологічних процесів [8, 20], моделювання систем [21, 22], містобудування та архітектура [23], проектування оптичних пристроїв [24, 25], проектування радіоелектронних пристроїв [26, 27], нанесення та властивості покриттів [3, 18, 28], медицина [29–31], державна безпека [32], метрологія [33], освітній діяльності [34–38], тощо.

**Мета і задачі дослідження.** Мета досліджень полягає у розробці інформаційної технології імітаційного моделювання процесу формування поверхні при осадженні частинок. Для досягнення поставленої мети визначені наступні завдання дослідження: аналіз та узагальнення механізмів взаємодії частинок в процесі осадження; розробка інформаційної технології імітаційного моделювання процесу формування поверхні при осадженні мікрочастинок; виконання алгоритмічної та програмної реалізації інформаційної системи для підтвердження її життєздатності.

**Основна частина.** Виділяють чотири основні типи осадження мікрочастинок [39], 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. 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 тип випадкового осадження (рис. 1, а) [40]. Цей процес осадження полягає в тому, що одиничний об'єкт просто падає на найнижче незаняте місце.

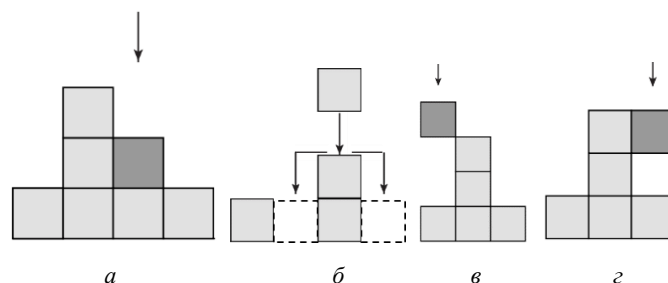


Рис. 1. Моделі осадження: а) випадкове, б) зі зміщенням, в) балістичне, г) балістичне зі зміщенням

Другий тип – випадкове осадження зі зміщенням (рис. 1, б) [41]. Цей процес осадження полягає в тому, 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.

Третій та четвертий типи – балістичне [42]. У ньому об'єкт потрапляє на ділянку, де він «прилипає» до доступного сусіда. Рухаючись вертикально вниз, об'єкт прилипає до першого доступного сусіда (рис. 1, в) або до наступного (рис. 1, г).

Узагальнена модель поєднує у собі чотири типи взаємодії мікрочастинок. Задля реалізації цієї моделі до мікрочастинок додано ще один параметр – вагу. Так як імітаційне моделювання працює зі «ідеальними» об'єктами, вони можуть мати однакові параметри. Але у реальному світі дуже схожі об'єкти мають різні характеристики. Додання ваги дає змогу випадково використовувати різні типи осадження для однієї вхідної множини.

Структура інформаційної системи імітаційного моделювання процесу формування поверхні при осадженні мікрочастинок (рис. 2) складається з декількох основних модулів, які забезпечують функціонування програми задля досягнення мети та які займаються обробкою, обрахуванням та візуалізацією даних чи процесів, що відбуваються під час роботи зі програмою.

Інформаційна система складається з двох проектів. Один проект реалізує об'єкт (частинку) та візуалізацію процесу осадження цього об'єкта, інший – містить у собі алгоритми, які займаються обробкою

вхідних параметрів, побудовою початкової множини елементів, визначають траєкторії та поведінку частинок в процесі осадження, розраховують характеристики поверхні.

Проект складається з класів і методів та має структуру, що зображена на діаграмі класів (рис. 3).



Рис. 2. Структура програми

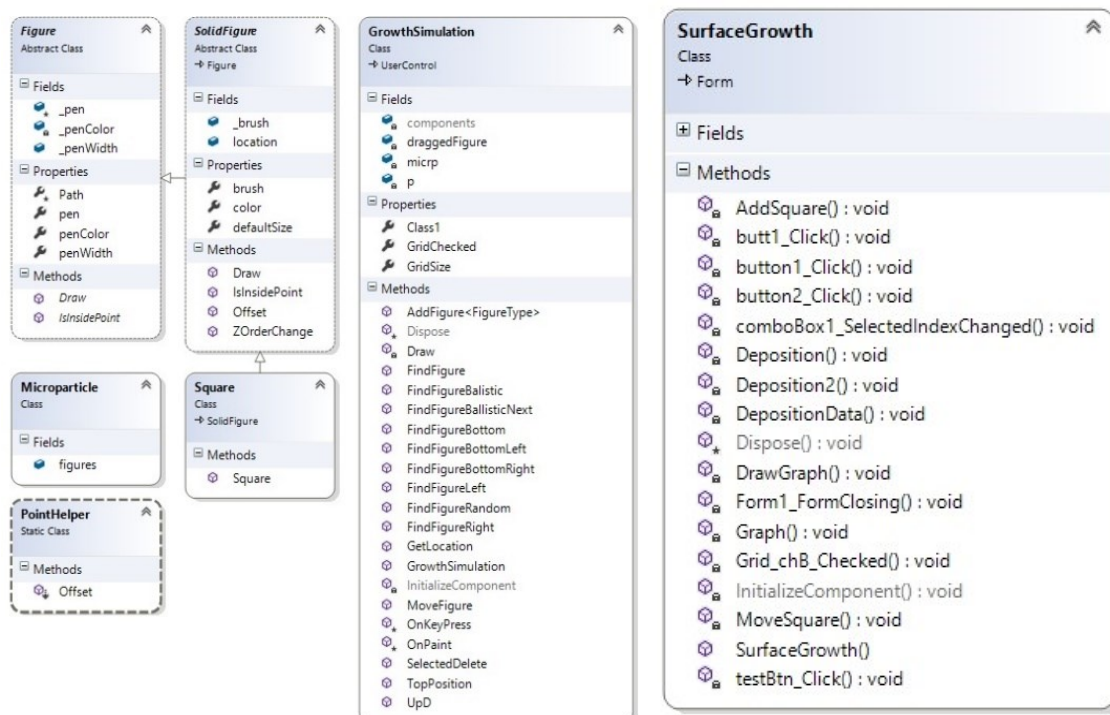


Рис. 3. Діаграма класів

**Верифікація та валідація інформаційної системи.** Під час апробації інформаційної системи імітаційне моделювання процесу формування поверхні шляхом осадження мікрочастинок була виконана серія симуляції за різними сценаріями реалізації процесу, а саме різними варіантами вхідних параметрів та моделями взаємодії частинок. Результати моделювання наведені на рис. 4. Різноманіття отриманих результатів моделювання свідчить про можливість системи щодо урахування особливостей модельованого процесу та можливість використання реалізованої системи.

**Результати та дискусія.** Проаналізовано сучасний стан та напрямки розвитку техніки та технологій. Відмічено збільшення уваги щодо характеристик поверхневих шарів деталей та елементів у різноманітних галузях. Одним з ефективних способів отримання зазначеного результату є осадження частинок, у тому числі з мікро- та нанорозмірами. Проаналізовано та узагальнено моделі осадження частинок, які покладено в основу реалізованої інформаційної системи імітаційного моделювання процесу. Проведено валідацію та верифікацію інформаційної системи.

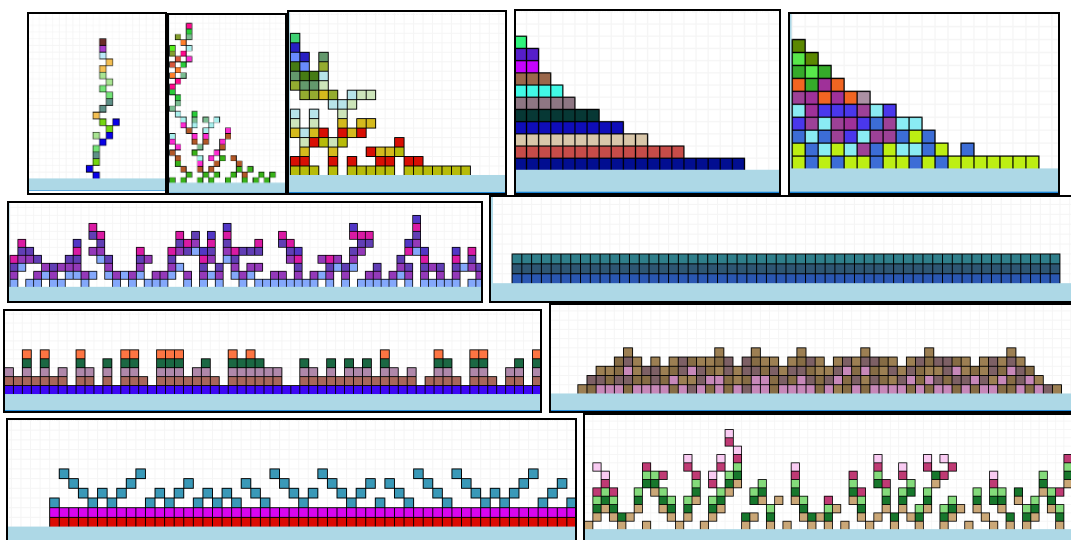


Рис. 4. Результати моделювання

Як напрямки подальшого вдосконалення реалізованої системи передбачається реалізація модулів оцінки якості отримуваної поверхні, зокрема, щодо її шорсткості та пористості, а також вирішення задачі призначення початкових параметрів та моделей осадження задля отримання поверхні із заданими характеристиками якості.

**Висновки.** На основі сучасного стану та тенденцій і напрямків розвитку потреб обґрунтовано необхідність та доцільність реалізації інформаційної системи імітаційного моделювання процесу осадження частинок та формування поверхні в рамках якої реалізовані моделі випадкового та динамічного осадження з широким спектром інших початкових параметрів. Намічено шляхи подальшого вдосконалення системи.

### Література

1. Каплун П.В. Влияние ионного азотирования на долговечность открытых зубчатых передач / П.В. Каплун, В.А. Гончар // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2015. - №2. – С. 84 - 89.
2. Лопата Л.А. Создание износостойких композиционных покрытий на основе порошков самофлюсующихся сплавов электроконтактным припеканием / Л.А. Лопата, В.Я. Николайчук, В.Н. Барановский, С.Л. Чиграй // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2015. - №4. – С. 92 - 98.
3. Skoblo T.S. Assessment of the properties of hardened by nanocoating oil scraper piston rings by an optic-mathematical method / T.S. Skoblo, A.I. Sidashenko, T.V. Maltsev, V.N. Romanchenko // Problems of Tribology). – 2019. – №2. – P. 20 - 24.
4. Кудрін А.П. Дослідження зносостійкості матеріалів наплавки в умовах газоабразивного зношування / А.П. Кудрін // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2015. - №3. – 67 - 70.
5. Похмурська Г.В. Модифікування мікроструктури наплавлених шарів на основі порошкового дроту ПДСr10B4 із додаванням Al, Mg / Г.В. Похмурська, М.М. Студент, А.А. Войтович // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2015. - №3. – С. 98 - 104.
6. Савуляк В.І. Вплив мікроструктури високовуглецевих шарів, отриманих методом електродугового наплавлення з використанням вуглецевих волокнистих матеріалів, на параметри зносостійкості в умовах абразивного середовища / В.І. Савуляк, В.Й. Шенфельд, С.О. Панасюк // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2015. - №3. – С. 105 - 112.
7. Фурман В.К. Дослідження впливу домашок нанопорошку оксиду алюмінію на зносостійкість плазмових покриттів / В.К. Фурман, А.В. Чорний, І.В. Смирнов // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2016. - №1. – С. 100 - 104.
8. Горященко С.Л. Передача покриття на поверхню матеріалів легкої промисловості після розпилення / С.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. - №4. – С. 199 - 201.
9. Яворська Н.М. Скряч - метод в дослідженні якості композиційних електролітичних покриттів на основі нікелю / Н.М. Яворська, С.Я. Підгайчук, О.С. Дробот // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2015. - №3. – С. 117 - 121.
10. Винар В.А. Зміна мікромеханічних властивостей нікелю та його трибологічної поведінки в результаті електролітичного наводнення / В.А. Винар // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2015. - №4. – С. 74 - 79.
11. Друкована плата [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Друкована\\_плата](https://uk.wikipedia.org/wiki/Друкована_плата).
12. Порошкове фарбування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Порошкове\\_фарбування](https://uk.wikipedia.org/wiki/Порошкове_фарбування).
13. Sławomir Boncel. Magnetic carbon nanostructures in medicine [Електронний ресурс] / Sławomir Boncel, Artur P. Herman, Krzysztof Z. Walczak – Режим доступу: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2012/jm/c1jm13734d>.
14. Kummer Kim M. Biological Applications of Anodized TiO<sub>2</sub> Nanostructures: A Review from Orthopedic to Stent Applications [Електронний ресурс]. / Kummer Kim M., Taylor Erik, Webster Thomas J. // Nanoscience and Nanotechnology Letters. – 2012. – Vol.4. – No. 5. - P. – 483 - 493. – Режим доступу: <https://www.ingentaconnect.com/content/annl/2012/0000004/00000005/art00004>.
15. Боев, В. Д. Имитационное моделирование систем: учеб. пособие для прикладного бакалавриата / В.Д. Боев. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 253 с.
16. Білий Д.І. Система автоматизованого проектування CAD/CAE додатків / Д.І. Білий, Т.К. Скрипник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. - №6. - Том 2. – С. 141 - 145.
17. Рудницький В.Б. Застосування ІТ-технологій в механіці деформованого твердого тіла / В.Б. Рудницький, Н.О. Ярецька, В.О. Венгер // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2017. - №2. – С. 22 - 30.
18. Дудка А.М. Застосування комп'ютерних програм для отримання рівнянь апроксимації досліджень триботехнічних властивостей композитів / А.М. Дудка, І.М. Кузясев, І.І. Начовний, О.І. Буря, Е.В. Ткаченко, Ю.В. Толстенко // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2017. - №4. – С. 28 - 32.
19. Петров В.О. Застосування прикладних програм для розрахунку на міцність деталей верстатних пристосувань / В.О. Петров, В.А. Подоляк, С.О. Гундерчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. - №2. – С. 12 - 14.

20. Резанова В.Г. Розробка програмного забезпечення для визначення реологічних характеристик розплавів полімерів / В.Г. Резанова, Н.М. Резанова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. - №5. – С. 21 – 25.
21. Сорокати Р.В. Моделювання зносоконтактних параметрів для циліндричних напрямних ковзання / Р.В. Сорокати, С.Ф. Посонський, К.О. Диха // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2015. - №1. С. 37 - 43.
22. Sorokaty R. Computer information technology modeling tribological systems / R. Sorokaty, A. Dykha, O. Pasichnyk, T. Skrupnyk // Problems of Tribology. – 2020. - №2. P. 59 – 66.
23. Петрова О.О. Використання програмних засобів для визначення архітектурних стилів споруд / О.О. Петрова, Є.С. Лисенко, Ю.В. Качанов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. - №3. – С. 180 – 185.
24. Сокуренько В.М. Автоматизований розрахунок окулярів з дифракційними оптичними елементами / В.М. Сокуренько, М.М. Вакуленко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. - №1. – С. 107 – 112.
25. Сокуренько В.М. Автоматизований розрахунок оптичної системи SWIR-об'єктива / В.М. Сокуренько, І.О. Смажко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. - №6. – С. 202 – 205.
26. Голевич О.Б. Моделювання випромінювання плат із вбудованими компонентами для передачі ширококутних хаотичних сигналів / О.Б. Голевич, О.С. Пивовар // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. - №1. - С. 213 – 216.
27. Пивовар О.С. Моделювання методу нелінійної реакції у сегментованих кабельних лініях / О.С. Пивовар, В.Д. Бидюк, Я.В. Вержицький // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. - №5. – С. 147 – 151.
28. Сорокати Р.В. Напружений поверхневий стан дискретно зміщених поверхонь / Р.В. Сорокати, М.О. Диха, С.Ф. Посонський // Проблеми трибології (Problems of Tribology). - 2015. - №. – С. 57 - 60.
29. Л.В. Хвостівська Імітаційна модель пульсового сигналу судин людини / Л.В. Хвостівська // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. - №2. – С. 94 – 100.
30. Якубовская С.В. Информационная технология прогнозирования исхода инфаркта миокарда / С.В. Якубовская, Д.Х. Штофель, И.А. Криворучко, Т.А. Чернышова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. - №2. – С. 237 – 244.
31. Ляшенко А.В. Система автоматизованої синдромальної діагностики за лапароскопічними захворюваннями / А.В. Ляшенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. - №3. – С. 151 – 157.
32. Дудат'єв А.В. Інформаційно-аналітичні центри в управлінні інформаційною безпекою держави / А.В. Дудат'єв, О.П. Войтович, В.В. Миронюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. - №1. – С. 105 – 109.
33. Пасічник О.А. Методологія оцінки характеристик виміральної системи, реалізованої із застосуванням інформаційних технологій / О.А. Пасічник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. - №1. – С. 174 – 177.
34. Петровський С.С. Побудова інформаційного середовища ВНЗ / С.С. Петровський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. - №2. – С. 199 – 201.
35. Бармак О.В. Інформаційна технологія автоматизованого анування та реферування цифрових текстів / О.В. Бармак, О.В. Мазурець, А.В. Живілік // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. - №4. – С. 147 – 158.
36. Бармак О.В. Інформаційна технологія автоматизованого формування тестових завдань / О.В. Бармак, О.В. Мазурець, В.І. Кліменко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. - №5. – С. 93 – 103.
37. Бармак О.В. Методи автоматизації визначення семантичних термінів у навчальних матеріалах / О.В. Бармак, О.В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. - №2. – С. 209 – 213.
38. Бармак О.В. Інформаційна модель семантичної структури навчального курсу / О.В. Бармак, О.В. Мазурець // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. - №6. – Том. 1. С. 92 – 97.
39. Casselman B. It Just Keeps Piling Up! [Електронний ресурс] / B. Casselman – Режим доступу: <http://www.ams.org/publicoutreach/feature-column/fc-2016-02>.
40. Wooseop Kwak Random deposition model with surface relaxation in higher dimensions [Електронний ресурс] / Wooseop Kwak, Jin Min Kim. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437119300160>.
41. Hyun Suk Song. Random Walk Deposition with Relaxation [Електронний ресурс] / Hyun Suk Song, Jin Min Kim. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/259662367\\_Random\\_Walk\\_Deposition\\_with\\_Relaxation](https://www.researchgate.net/publication/259662367_Random_Walk_Deposition_with_Relaxation).
42. Kasturi Banerjee. Surface morphology of a modified ballistic deposition model [Електронний ресурс] / Kasturi Banerjee, J. Shamanna, Subhankar Ray. – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1311.2182.pdf>.

## References

1. P.V/ Kaplun H.V., Honchar V.A. The effect of ion nitriding on the durability of open gears. Problems of Tribology. Vol 76 No 2 (2015), 84-89.
2. L.A. Lopata, V.Ya. Nykolaichuk, V.N. Baranovskiy, S.L. Chyhray. Creation of wear-resistant composite coatings based on powders of self-fluxing alloys by electrical contact baking. Problems of Tribology. Vol 78 No 4 (2015), 92-98.
3. T.S. Skoblo, A.I. Sidashenko, T.V. Maltsev, V.N. Romanchenko. Assessment of the properties of hardened by nanocoating oil scraper piston rings by an optic-mathematical method. Problems of Tribology. Vol 24 No 2/92 (2019), 20-24.
4. A.P. Kudrin. Investigation of wear resistance of surfacing materials in the conditions of gas-abrasive wear. Problems of Tribology. Vol 77 No 3 (2015), 67-70.
5. H.V. Pokhmurska, M.M. Student, A.A. Voitovych. Modification of the microstructure of the deposited layers based on flux-cored wire PDCr10B4 with the addition of Al, Mg. Problems of Tribology. Vol 77 No 3 (2015), 98-104.
6. V.I. Savuliak, V.Y. Shenfeld, S.O. Panasiuk. Influence of microstructure of high-carbon layers obtained by the method of electric arc surfacing using carbon fibrous materials on the parameters of wear resistance in abrasive environments. Problems of Tribology. Vol 77 No 3 (2015), 105-112.
7. V.K. Furman, A.V. Chomyi, I.V. Smyrnov. Investigation of the effect of impurities of alumina nanopowder on the wear resistance of plasma coatings. Problems of Tribology. Vol 79 No 1 (2016), 100-104.
8. S.L. Horiashchenko. Transfer of the coating to the surface of light industry materials after spraying. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2015. Volume 227. Issue 4. pp. 199–201.
9. N.M. Yavorska, S.Ya. Pidhaichuk, O.S. Drobot. Scratch method in the study of the quality of composite electrolytic coatings based on Nickel. Problems of Tribology. Vol 77 No 3 (2015), 117-121.
10. V.A. Vynar. Change in micromechanical properties of nickel and its tribological behavior as a result of electrolytic floodin. Problems of Tribology. Vol 78 No 4 (2015), 74-79.
11. Drukovana plata [Electronic resource]. – Access mode: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Drukovana\\_plata](https://uk.wikipedia.org/wiki/Drukovana_plata).
12. Poroshkove farbuвання [Electronic resource]. – Access mode: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Poroshkove\\_farbuвання](https://uk.wikipedia.org/wiki/Poroshkove_farbuвання).
13. Slawomir Boncel. Magnetic carbon nanostructures in medicine [Electronic resource] / Slawomir Boncel, Artur P. Herman, Krzysztof Z. Walczak – Access mode: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2012/jm/c1jm13734d>.
14. Kummer Kim M. Biological Applications of Anodized TiO2 Nanostructures: A Review from Orthopedic to Stent Applications [Electronic resource]. / Kummer Kim M., Taylor Erik, Webster Thomas J. // Nanoscience and Nanotechnology Letters. – 2012. – Vol.4. – No. 5. – P. – 483 – 493. – Access mode: <https://www.ingentaconnect.com/content/asp/nnl/2012/0000004/0000005/art00004>.

15. V.D. Boev. Simulation modeling of systems: textbook. manual for applied bachelor's degree - Moscow: Yurayt Publishing House, 2017.— 253 s.
16. D.I. Bilyi, T.K. Skrypnik. System of automated design of CAD / CAE applications. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2015. Volume 267. Issue 6. Part 2. pp. 141–145.
17. V.B. Rudnytskyi, N.O. Yaretska, V.O. Venher. Application of IT technologies in the mechanics of a deformed solid, Problems of Tribology. Vol 84 No 2 (2017), 22–30.
18. A.M. Dudka, I.M. Kuziaiev, I.I. Nachovnyi, O.I. Buria, E.V. Tkachenko, Yu.V. Tolstenko. Application of computer programs for obtaining equations of approximation of researches of tribotechnical properties of composites. Problems of Tribology. Vol 86 No 4 (2017), 28–32.
19. V.O. Petrov, V.A. Podoliak, S.O. Hunderchuk. Application of application programs for calculation of durability of details of machine tools. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2015. Volume 247. Issue 2. pp. 12–14.
20. V.H. Rezanova, N.M. Rezanova. Development of software for determining the rheological characteristics of polymer melts. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2015. Volume 265. Issue 5. pp. 21–25.
21. R.V. Sorokaty, S.F. Posonskyi, K.O. Dykha. Сорокатий Р.В. Modeling of wear-contact parameters for cylindrical sliding guides. Problems of Tribology. Vol 75 No 1 (2015), 37–43.
22. R. Sorokaty, A. Dykha, O. Pasichnyk, T. Skrypnik. Computer information technology modeling tribological systems // Problems of Tribology. Vol 25 No 2/96 (2020), 59–66.
23. O.O. Petrova, Ye.S. Lysenko, Yu.V. Kachanov Петрова О.О. Use of software to determine the architectural styles of buildings. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2018. Volume 261. Issue 3. pp. 180–185.
24. V.M. Sokurenko, M.M. Vakulenko. Automated calculation of glasses with diffractive optical elements. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2018. Volume 257. Issue 1. pp. 107–112.
25. V.M. Sokurenko, I.O. Smazhko. Automated calculation of the optical system of a SWIR lens. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2019. Volume 279. Issue 6. pp. 202–205.
26. O.B. Holevych, O.S. Pyvovar. Modeling of radiation of boards with built-in components for transmission of broadband chaotic signals. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2015. Volume 221. Issue 1. pp. 213–216.
27. O.S. Pyvovar, V.D. Bydiuk, Ya.V. Verzhbyskyi. Modeling of the nonlinear reaction method in segmented cable lines. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2019. Volume 277. Issue 5. pp. 147–151.
28. R.V. Sorokaty, M.O. Dykha, S.F. Posonskyi. The stress surface state of secretly hardened surfaces. Problems of Tribology. Vol 76 No 2 (2015), 57–60.
29. L.V. Khvostivska. Simulation model of human pulse signal. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2016. Volume 235. Issue 2. pp. 94–100.
30. S.V. Yakubovskaia, D.Kh. Shtofel, Y.A. Kryvoruchko, T.A. Chernyshova. Якубовская С.В. Information technology for predicting the outcome of myocardial infarction. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2018. Volume 259. Issue 2. pp. 237–244.
31. A.V. Liashenko. System of automated syndromic diagnostics for laparoscopic diseases. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2019. Volume 273. Issue 3. pp. 151–157.
32. A.V. Dudatiev, O.P. Voitovych, V.V. Myroniuk. Information and analytical centers in the management of information security of the state. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2020. Volume 281. Issue 1. pp. 105–109.
33. O.A. Pasichnyk. Methodology for assessing the characteristics of a measuring system implemented using information technology. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2017. Volume 245. Issue 1. pp. 174–177.
34. S.S. Petrovskyi. Construction of the information environment of the university. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2019. Volume 271. Issue 2. pp. 199–201.
35. O.V. Barmak, O.V. Mazurets, A.V. Zhyvilik. Information technology of automated annotation and abstracting of digital texts. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2017. Volume 251. Issue 4. pp. 147–158.
36. O.V. Barmak, O.V. Mazurets, V.I. Klimentko. Information technology of automated formation of test tasks. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2017. Volume 253. Issue 5. pp. 93–103.
37. O.V. Barmak, O.V. Mazurets. Methods of automation of definition of semantic terms in educational materials. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2015. Volume 223. Issue 2. pp. 209–213.
38. O.V. Barmak, O.V. Mazurets. Information model of the semantic structure of the course. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. Khmelnytsky. 2018. Volume 267. Issue 6. Part 1. pp. 92–97.
39. Casselman B. It Just Keeps Piling Up! [[Electronic resource] / B. Casselman – Access mode: <http://www.ams.org/publicoutreach/feature-column/fc-2016-02>.
40. Wooseop Kwak Random deposition model with surface relaxation in higher dimensions [[Electronic resource c] / Wooseop Kwak, Jin Min Kim. – Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437119300160>.
41. Hyun Suk Song. Random Walk Deposition with Relaxation [[Electronic resource] / Hyun Suk Song, Jin Min Kim. – Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/259662367\\_Random\\_Walk\\_Deposition\\_with\\_Relaxation](https://www.researchgate.net/publication/259662367_Random_Walk_Deposition_with_Relaxation).
42. Kasturi Banerjee. Surface morphology of a modified ballistic deposition model [Електронний ресурс] / Kasturi Banerjee, J. Shamanna, Subhankar Ray. – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1311.2182.pdf>.

Надійшла / Paper received: 27.07.2020  
Надрукована / Paper Printed : 02.09.2020