

УДК 621.762

О. Ю. Повстяной, Ю. В. Куц, Н. Ю. Імбірович*Луцький національний технічний університет***ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ
ТРЬОХМІРНИХ ДАНИХ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРИСТИХ
ПРОНИКЛИВИХ МАТЕРІАЛІВ**

Показано можливість отримання достовірних реалістичних даних структурних властивостей пористих проникливих матеріалів за допомогою формування тривимірних зображень з використанням сучасного пакету прикладних програм Avizo®.

Ключові слова: візуалізація, рендеринг, пористий проникливий матеріал, структурні властивості.

Рис. 7. Літ. 13.

О. Ю. Повстяной, Ю. В. Куц, Н. Ю. Імбірович**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ
ТРЕХМЕРНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СВОЙСТВА ЯЧЕЙСТЫХ
ПРОНИКНОВЕННО МАТЕРИАЛОВ**

Показана возможность получения достоверных реалистичных данных структурных свойств пористых проницаемых материалов посредством формирования трехмерных изображений с использованием современного пакета прикладных программ Avizo®.

Ключевые слова: визуализация, рендеринг, пористый проницаемый материал, структурные свойства.

O. Povstyanoy, Yu. Kuts, N. Imbyrovych**APPLICATION OF COMPUTER DESIGN IS FOR VISUALIZATION OF THREE-
DIMENSIONAL DATA AT RESEARCH OF PROPERTIES OF POROUS PENETRATING
MATERIALS**

The possibility of obtaining reliable data realistic structural properties of porous materials through insightful forming three-dimensional images using modern application package Avizo®.

Keywords: visualization, rendering, porous insightful material, structural properties.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день візуалізація тривимірних об'єктів розвивається дуже швидко. 3D моделі дозволяють вченим створювати віртуальні фото реалістичні 3D-копії об'єктів, які можуть бути розглянуті і дослідженні з будь-якої точки зору [1-2]. Найбільшу реалістичність забезпечує тривимірна графіка, основана на роботі з просторовими моделями об'єктів, що обумовлює її широке використання в багатьох галузях, пов'язаних з комп'ютерним моделюванням та проектуванням. Значна обчислювальна складність процедур роботи з моделями тривимірних об'єктів та візуалізації сцен вимагає їх апаратної підтримки в системах комп'ютерної графіки.

Формування зображень тривимірних сцен, процесів є багатоетапним обчислювальним процесом із використанням складних моделей і методів. Етап кінцевої візуалізації (*англ.* rendering — візуалізація, вимальовування, подання) є важливим етапом графічного конвеєра, оскільки для кожної точки сцени залежно від розташування джерел світла та спостерігача, оптичних властивостей поверхонь, характеристик джерел світла та кривизни поверхні визначаються інтенсивності складових кольору точок зображення та їх екранні координати. Процес візуалізації складних сцен із високою деталізацією поверхонь об'єктів може тривати десятки годин [3].

Оскільки етап кінцевої візуалізації є найтрудомісткішим етапом формування тривимірних зображень і становить 60-80% від загального обсягу обчислень, доцільним є застосування новітніх методів і засобів, які б забезпечили суттєве спрощення процедур рендерінгу як на програмному, так і апаратному рівнях, що дасть змогу досягти потрібної динаміки реалістичних зображень у реальному часі та значно скоротити тривалість візуалізації складних проектів, що в свою чергу призводить до більш точного аналізу властивостей готових виробів.

Тому, **метою даної роботи** є дослідження та аналіз властивостей пористих матеріалів за рахунок формування тривимірних зображень в процесі реалізації етапів кінцевої візуалізації з використанням сучасного спеціалізованого програмного середовища Avizo® для отримання достовірних реалістичних структурних даних.

Аналіз останніх розробок програмного забезпечення. Значна обчислювальна складність процедур роботи з моделями тривимірних об'єктів та візуалізації сцен вимагає їх апаратної підтримки. Загалом, на світовому ринку вказаних засобів щорічний обсяг продажів становить 250 млрд. доларів [4].

На сьогоднішній день існує багато різноманітних прикладних програм для аналізу та обробки металографічних зображень [5-6]. Самими успішними стають програмні продукти, які найбільш зрозумілі та прості в експлуатації. Так, **Image Expert Pro** - це програмне забезпечення для кількісного аналізу зображень в науці та на виробництві. Широкий набір функцій по обробці зображень і виділенню структурних елементів дозволяють використовувати аналізатор для вирішення широкого кола завдань матеріалознавства, серед яких можна виділити: аналіз неметалевих включень, аналіз графітових включень, аналіз зерен структури, визначення кількості альфа-фази, аналіз мікроструктури сталей, аналіз глибини без вуглецевого шару, аналіз підшипникової сталі, аналіз пористості. Оптимальне використання інструментів мінімізує застосування ручних операцій.

ImageJ – це програма з відкритим вихідним кодом для аналізу і обробки зображень. Написана мовою Java поширюється без ліцензійних обмежень. Відкритий API дозволяє гнучко нарощувати функціонал за рахунок додаткових плагінів, а вбудований макромовна – автоматизувати складні повторювані дії. **ImageJ** широко застосовується в біомедичних дослідженнях, астрономії, географії та інших дисциплінах, пов'язаних з аналізом зображень.

Image-Pro Premier 3D програмне забезпечення використовується в сотнях галузей промисловості, таких як клітинна біологія, матеріалознавство, мікроскопія, патологія, фармацевтична галузь та ін. Дане програмне забезпечення надає володіє широким спектром інструментів для отримання високоякісних зображень.

Всі перелічені та проаналізовані програмні продукти для візуалізації зображень мають багато в чому схожий інтерфейс і подібні інструменти створення об'єктів, але з різними принципами роботи. Основна відмінність полягає у тому, що створений об'єкт у векторній графіці можна згодом обробляти окремо, в той час як об'єкт, створений у растровому редакторі, після зняття виділення перестає існувати відокремлено.

Основна частина. Серед найпрогресивніших та найпродуктивніших прикладних програм для обробки та аналізу металографічних зображень з можливістю візуалізації тривимірних об'єктів за двомірними фотографіями є **Avizo**[®]. Це універсальний комерційний програмний додаток для наукового та промислової візуалізації та аналізу різноманітних точних даних (рис. 1).

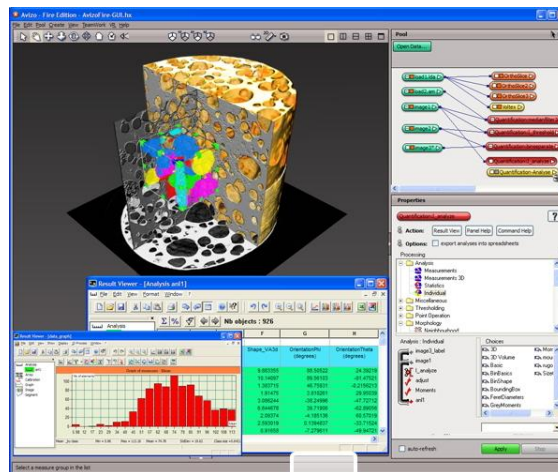


Рис. 1. Загальний вигляд головного вікна одного з модулів Avizo[®]

Avizo[®] розроблений **FEI Visualization Sciences Group** і був спочатку розроблений і створений для візуалізації та аналізу певних груп даних.

VSG Avizo[®] - програмне рішення для 3D візуалізації, обробки та аналізу наукових і виробничих даних з простим у використанні графічним інтерфейсом користувача, цілком підходить для візуалізації тривимірних даних матеріалознавства, геофізики, навколишнього середовища або будь-яких інших технічних даних.

Avizo[®] є модульним і об'єктно-орієнтованим програмним забезпеченням. Його основні компоненти – це системні модулі та об'єкти даних. Модулі використовуються для візуалізації об'єктів даних та для виконання обчислювальних операцій над ними.

Один з найбільш інтуїтивних і найбільш потужних методів для візуалізації даних 3D-зображення у даному програмному продукті є прямо-об'ємний рендерінг. Параметри випромінювання та поглинання світла віднесені до кожної точки обсягу. Моделювання пропускання світла через певний обсяг зображення дозволяє відображати дані з будь-якого напрямку погляду без побудови проміжних полігональних моделей [7]. *Avizo*[®] здатний виконувати прямий рендерінг у режимі реального часу, навіть для дуже великого обсягу даних. Таким чином, обсяг надання інформації може миттєво виділити відповідні області необхідних даних.

Металографічні зображення можуть бути представлені комбінацією різноманітних структурних складових при різному співвідношенні: фазами, які характеризуються різноманітними розмірами, формою та кольором, а також межами зерен, що можуть бути представлені або окремими лініями на зображенні, або покривати зображення безперервною сіткою. Тому основну вимогу до якісного аналізу зображень можна сформулювати і поставити так: на отриманій під мікроскопом фотографії необхідно виділити структурні складові, а після цього класифікувати їх по яскравості, розміру та формі. Практична реалізація цього питання включає в себе такі задачі, які вже стали класичними, як сегментація, фільтрування вад та виділення об'єктів з фону, визначення меж об'єктів, розпізнавання образів [8, 9].

Вивчення структурних характеристик матеріалів — одна з головних задач матеріалознавства, адже на її основі базується процес створення нових та покращення властивостей вже існуючих матеріалів. Сучасний етап розвитку матеріалознавства нерозривно пов'язаний з виготовленням пористих проникливих матеріалів різної форми і різного призначення [10]. Сьогодні важко назвати галузь промисловості, де не використовуються ППМ. Відомо, що основні експлуатаційні характеристики виробів із ППМ (проникливість, ресурс роботи, тонкість очистки, механічна міцність та ін.) безпосередньо визначаються організацією їх пористого простору, причому вироби з ППМ з градієнтною пористою структурою володіють більш високими експлуатаційними характеристиками у порівнянні з ППМ з однорідним поророзподіленням. Тому для їх якісної та надійної роботи і проводять візуалізацію та аналіз структур ППМ.

У Луцькому НТУ під керівництвом *д.т.н., професора Рудя Віктора Дмитровича* проводяться широкомасштабні та комплексні роботи по проектуванню, виготовленню, дослідженню, аналізу та застосуванню пористих проникливих матеріалів. Зокрема для очищення технічних рідин та масел виготовляють ППМ з відходів промислового виробництва, а саме з порошку сталі ШХ15. За своїми властивостями і складом він нічим не відрізняється від компактної сталі, проте він є досить дешевим при виготовленні, що дозволяє виробництву значно зекономити на ППМ [11, 12].

На рис.2. показані структури ППМ з відходів промислового виробництва, які отримані методом сухого радіально-ізостатичного пресування [13]. Із даного зображення видно пористість ППМ та мікропористість частинок.

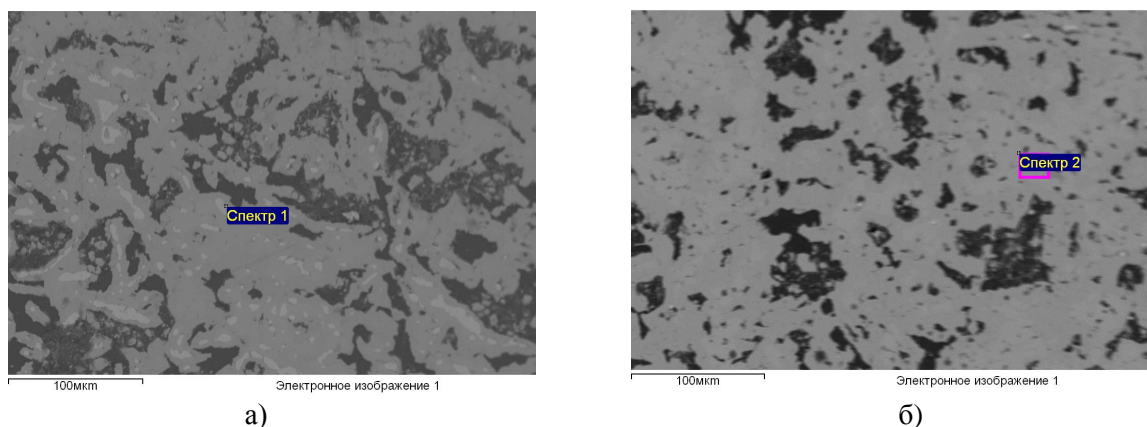


Рис. 2. Мікроструктура ППМ з відходів промислового виробництва:

- а) розмір частинок вихідного порошку – 0,1 мм
 б) розмір частинок вихідного порошку – 0,063 мм

За допомогою програмного забезпечення *Avizo*[®] ми отримали точні розміри певної ділянки зрізу (рис.3). У середовищі *Avizo*[®] можливо вимірювати лінійні, кутові та полярні розміри. Також можливо проводити розрахунок об'єму, площі, периметру об'єкту.

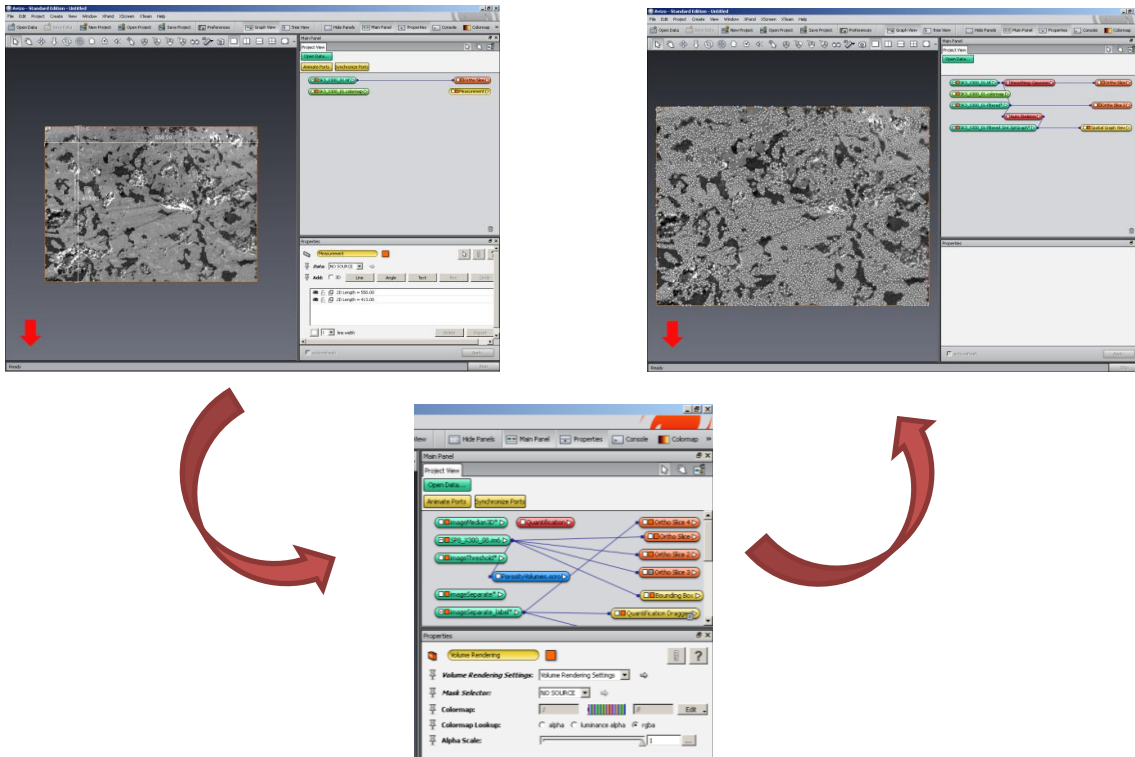


Рис. 3. Визначення лінійних розмірів та встановлення відповідних зв'язків між даними частини зрізу шліфу ППМ за допомогою *Avizo*[®]

Визначення зносостійкості – важлива характеристика будь-якого виробу. Зношування поверхні призводить до зниження функціональних якостей ППМ і до втрати їх споживчої цінності. Підвищенню зносостійкості виробів сприяють як застосування матеріалів з високою зносостійкістю, так і конструктивні рішення, що забезпечують компенсацію зносу, резервування зносостійкості, загальне поліпшення умов тертя (застосування високоякісних мастильних матеріалів, захисту від абразивного впливу).

За допомогою програми *Avizo*[®] можна визначити найбільш слабкі місця ППМ, які можуть призвести до руйнування конструкції. На рис.4 червоним кольором показано найбільш уразливі місця виготовленого ППМ з відходів промислового виробництва.

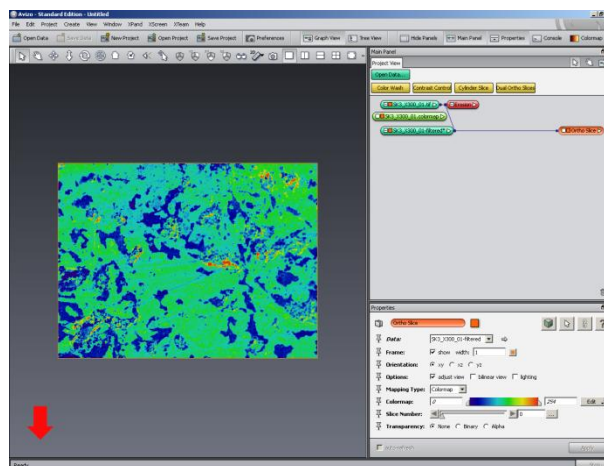


Рис. 4. Визначення зносостійкості та «проблемних» місць у структурі ППМ

Вивчення можливостей та оцінки сучасного програмного забезпечення для комп'ютерних засобів дослідження металографічних зображень з метою визначення якісних та кількісних характеристик металів або сплавів продиктовано науковими та виробничими задачами, які виникли в сучасному матеріалознавстві. У *Avizo*[®] металографічні зображення шліфів ППМ представлені комбінацією різноманітних структурних складових при різному співвідношенні: фазами, які характеризуються різноманітними розмірами, формою та кольором, а також межами зерен, що представлені або окремими лініями на зображенні, або покривати зображення безперервною сіткою. Комбінація цих структурних складових (площинні та просторові) для ППМ з відходів промислового виробництва представлені на рис.5.

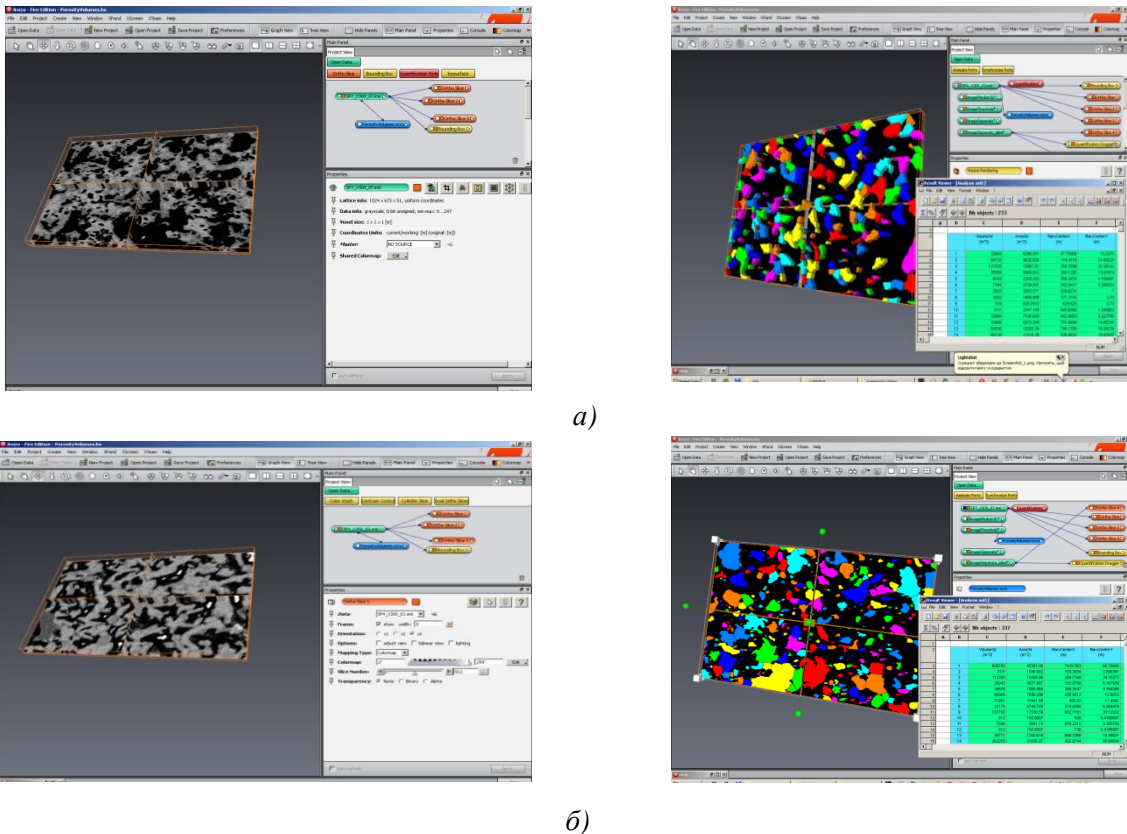


Рис. 5. Визначення та аналіз структурних складових (пористість, максимальний та мінімальний діаметр пор, максимальні та мінімальні розміри частинок) ППМ у форматі 3D-зображення:

- а) ППП з розміром частинок вихідного порошку – 0,1 мм
 б) ППП з розміром частинок вихідного порошку – 0,063 мм

Кінцевою задачею металографічного аналізу за допомогою прикладних програм слід вважати статистичну обробку отриманих в процесі вимірювання характеристик об'єктів, визначення середніх значень цих величин, а також побудова графічних залежностей для візуалізації процесу аналізу.

Вмонтований механізм автоматизації у *Avizo*[®] абсолютно прозорий для користувача і дозволяє без надмірних зусиль накопичувати та аналізувати дані з багатьох точок зору, отримувати інтегральні характеристики та порозподілення (рис.6, 7). універсальний інструмент для якісного аналізу зображення в науці та на виробництві, в рівній мірі незамінний як при аналізі лабораторних структур, так і при кількісному аналізі у відповідності з українськими та міжнародними стандартами.

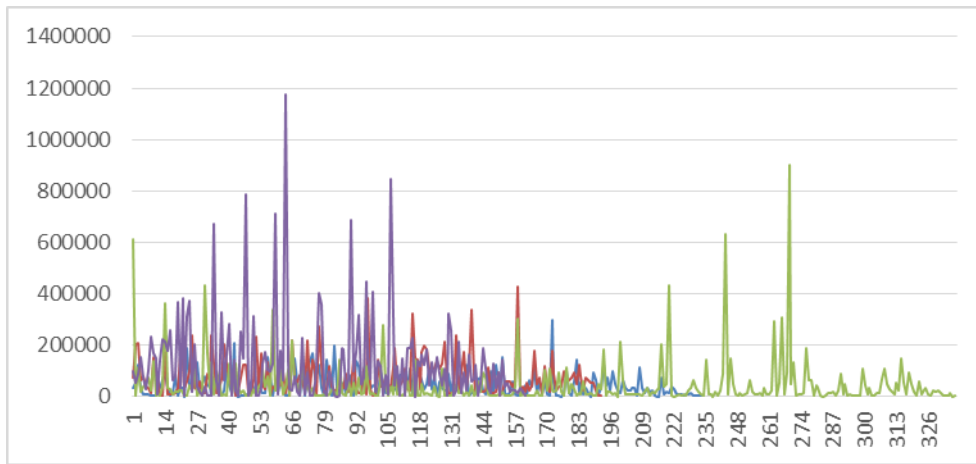
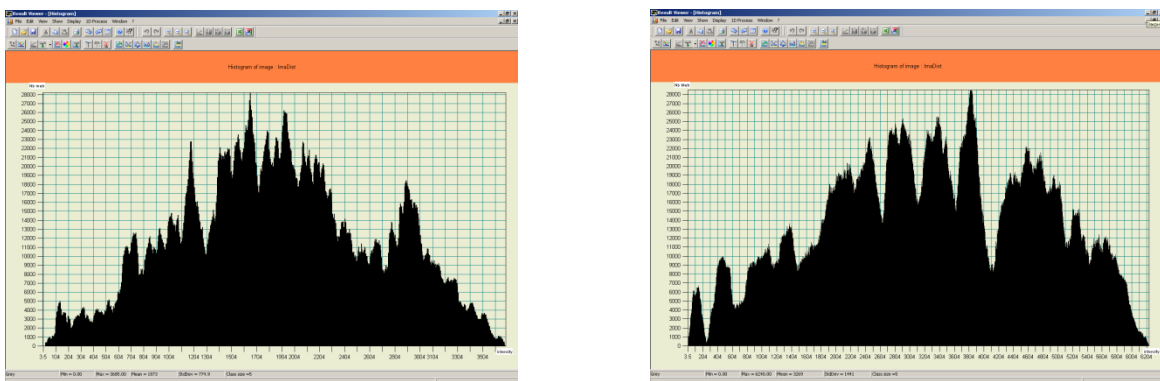


Рис.6. Розподіл зміни пористості по січенню ППМ
(розмір частинок вихідного порошку – 0,063 мм)



а)

б)

Рис. 7. Побудова та відображення лінійної гістограми пористості по січенню ППМ:
а) ППМ з розміром частинок вихідного порошку – 0,1 мм
б) ППМ з розміром частинок вихідного порошку – 0,063 мм

Висновки. Застосування прикладної сучасної програми *Avizo*[®] для дослідження та комплексного аналізу структурних властивостей пористих проникливих матеріалів дало змогу отримати достовірні реалістичні дані – розподіл пористості по січення зразка. Для візуалізації поророзподілення було застосовано етап кінцевої візуалізації – рендерінг. Це дало змогу миттєво визначити комбінацію різноманітних структурних складових ППМ при різному співвідношенні: фази, а також межі зерен. Тому, на даний час, *Avizo*[®] - найпрогресивніша та найпродуктивніша прикладна програма для обробки та аналізу металографічних зображень з можливістю візуалізації тривимірних об'єктів за двомірними фотографіями.

1. Toda T. 3D video system using Grating Image / T.Toda, S.Takahashi, F.Iwata // Proc. SPIE 2406, – 1995. PP.191-198.
2. Ревенчук І. А. Математичні моделі геометричних перетворювань при візуалізації 3D об'єктів / І. А. Ревенчук // Вісник Національного технічного університету "ХП". Сер.: Нові рішення в сучасних технологіях. - 2013. - № 11. - С. 54-58.
3. Eberly, David H.: «3D Game engine design. Practical approach to real*time computer graphics», 2nd ed., 2007, Morgan Kaufmann publishers. 2. Muller, Thomas: «Real*time rendering», 3rd ed., 2008
4. Farin G. Mathematical Principles for Scientific Computing and Visualization / G. Farin, D. Hansfor . — Peters, Ltd. 2008. — 275 p.
5. Povstyanoy O.Yu. «Review of the current software for computer based research in the processing of metallographic images» / O.Yu.Povstyanoy, Yu.V.Kuts // Canadian scientific journal. - Issue 2. – 2014. – P.54-63.
6. Куц Ю.В. Сучасні методи дослідження мікроструктур за допомогою комп'ютерного матеріалознавства з використанням прикладних програм / Куц Ю.В., Повстяной О.Ю. // Наукові нотатки. – Випуск 45. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2014. – С.323-329.
7. Повстяной О.Ю. Аналіз сучасних методів визначення структури та топології поверхонь матеріалів. / О.Ю.Повстяной, В.Д. Рудь, Ю.А.Мельник, Н.Ю.Імбирович // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – №2. – Київ, «Институт Электросварки им.Е.О.Патона НАН Украины», 2014. – С. 37-42.

8. Комп'ютерна оцінка фазового складу матеріалу за кольоровим зображенням шліфів /Б.П. Русин, В.Г. Іванюк, Г. Лау, В.М. Довгунік, В.В. Корній //Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – №5. – С. 77–80.
9. Романюк О. Н. Прискорене визначення дифузної складової кольору при зафарбовуванні тривимірних графічних фігур / О. Н. Романюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2006. —№ 2 (12). —С. 71—76.
10. Повстяной О.Ю. Морфологічний опис, аналіз та обробка зображень мікроструктури сопел для піскостуменевої обробки, які виготовлені методами порошкової металургії / В.А. Сичук, В.Д. Рудь, О.В. Заболотний // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛНТУ, 2013. – Випуск 41. – С.203-210.
11. Патент України № 63558 А МПК 7 В22F9/04. Спосіб отримання металевого порошку з шламових відходів підшипникового виробництва / В.Д.Рудь, Т.Н.Гальчук, О.Ю.Повстяной; Заявл.06.05.03; опубл. 15.01.04. Бюл.№1, 2004.
12. Повстяной О.Ю. Удосконалення технології отримання пористих проникливих матеріалів з відходів промислового виробництва: Дис...канд.техн.наук.—Луцьк, 2007.—151с.
13. Реут О. П. Сухое изостатическое прессование уплотняемых материалов / of Реут О. П., Богинский Л. С., Петюшик Е.Е. – Минск: Дэбор, 1998. – 258с.

Стаття прийнята до друку 25.03.2015.