

УДК 625.85

Хомутенко Д. Г., аспірант спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
Науковий керівник: Маляр В. В., к.т.н., професор кафедри ТДБМіХ
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна)

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ДОСЛІДЖЕНІ ПОРОВОЇ СТРУКТУРИ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Асфальтобетон є багатокомпонентним, багатофазним, грубодисперсним матеріалом з неоднорідною структурою. Як відомо він складається з крупного заповнювача - щебню, дрібного заповнювача - відсіву, асфальтов'язучого - бітуму, мінерального порошку, модифікуючих добавок, а також пор (повітряних пустот). Його властивості залежать від властивостей його складових та взаємодією між ними. В свою чергу пори значною мірою впливають на властивості асфальтобетону, в тому числі на низькотемпературні [0].

Стандартизований наразі метод дослідження залишкової пористості асфальтобетону заснований на визначенні співвідношення середньої густини асфальтобетону до дійсної густини суміші [0]. Даний метод має ряд обмежень: визначення тільки об'єму пор, що містяться в зразку, без розподілу на пори мінерального кістяку та асфальтобетону, а також неможливість дослідження форми, розміру та розподілення пор в об'ємі зразку.

Зважаючи на важливість даних щодо розподілу пор мінерального кістяку та асфальтобетону, а також встановлення форми, розміру та розподілення пор в об'ємі зразку, доцільним є розглянути можливість застосування сучасних методів дослідження, зокрема методу цифрової обробки зображень [0].

Під цифровою обробкою зображень розуміється оброблення цифрових зображень за допомогою цифрових обчислювальних машин (комп'ютерів) [0].

Дослідження повітряних пустот методом цифрової обробки зображення має свої особливості пов'язані з тим, що об'єктом дослідження фактично є порожній простір. Тому застосування методу цифрової обробки зображень стикається з рядом проблемних питань, до яких можливо віднести:

- наявність сполучених та відокремлених пустот, які важко ідентифікувати з достатньою точністю;
- якість підготовки поверхні;
- темний колір бітумного в'язучого;
- наявність прозорого дрібного та крупного заповнювача.

Застосування методу цифрової обробки зображень, під час дослідження порової структури асфальтобетону, включає наступні основні етапи [0, 0]:

- підготовку зразка;
- отримання вихідного зображення;
- обробка зображення;
- сегментація пор;
- тривимірна реконструкція пор;
- аналіз отриманої тривимірної моделі.

Підготовка зразка відрізняється залежно від способу отримання зображення але загалом зразок повинен бути чистий та сухий, а також мати визначені геометричні розміри.

У світовій практиці для дослідження пор застосовують декілька способів отримання зображень, з яких можливо виділити: комп'ютерну томографію, скануючу електронну мікроскопію, фотографування цифровою камерою [0].

Кожний із вищезазначених методів має свої переваги та, на жаль, недоліки [0].

На наступному етапі зображення обробляють в залежності від методу їх отримання. Загалом визначають наступні стадії обробки: фільтрацію і покращення зображень, відновлення зображень, обробку кольорових зображень, стиснення зображень, морфологічну обробку зображень.

Сегментація пор є одним з найбільш важливих етапів. Найчастіше застосовують сегментацію на основі контурів та сегментацію на основі областей. Показником якості проведеної сегментації є точність. Для визначення точності використовують показник МІоU (Mean of intersection over Union), який враховує точність сегментації пор та точність сегментації не повітряних пор [0].

Для проведення тривимірної реконструкції пор використовують програмні комплекси такі як DragonFly, 3D Slicer, ХСАТ, Avizo, та інші.

Аналізу отриманої тривимірної моделі дозволяє:

- встановити закономірності впливу кількості, розміру та розподілу пор на фізико-механічні властивості асфальтобетону;
- встановити закономірність між складом асфальтобетонної суміші та кількості, розміру та розподілу пор в асфальтобетоні;
- моделювати реальну структуру асфальтобетону для подальшого чисельного розрахунку, що в свою чергу підвищить його точність.

Слід зазначити, що на сьогоднішній день для цифрової обробки зображень активно застосовують методи машинного навчання [0].

Отже, використання методів цифрової обробки зображень при дослідженні асфальтобетону, зокрема його порової структури, є перспективним. Проте, для цього необхідне проведення додаткових досліджень направлених на стандартизацію процесу застосування методу.

Список використаних джерел:

1. Alawneh M., Soliman H. Using imaging techniques to analyze the microstructure of asphalt concrete mixtures: literature review. Applied sciences. 2023. Т. 13, № 7813. URL: <https://doi.org/10.3390/app13137813> (дата звернення: 20.03.2025).
2. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital image processing. 3-тє вид. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2008. 954 с. URL: <https://dl.ebooksworld.ir/motoman/Digital.Image.Processing.3rd.Edition.www.EBooksWorld.ir.pdf> (дата звернення: 20.03.2025).
3. Internal structure characterization of asphalt concrete using image analysis / E. Masad та ін. Journal of computing in civil engineering. 1999. Т. 13, № 2. С. 88–95. URL: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1999\)13:2\(88\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1999)13:2(88)) (дата звернення: 20.03.2025).
4. Klimczak M., Jaworska I., Tekieli M. 2D Digital Reconstruction of Asphalt Concrete Microstructure for Numerical Modeling Purposes. Materials. 2022. № 15(16). С. 5553. URL: <https://doi.org/10.3390/ma15165553> (дата звернення: 20.03.2025).
5. Ren J., Sun L. Characterizing air void effect on fracture of asphalt concrete at low-temperature using discrete element method. Engineering fracture mechanics. 2017. № 170. С. 23–43. URL: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2016.11.030> (дата звернення: 20.03.2025).
6. Tao J. Three-dimensional segmentation of air-void system in hardened concrete using photometric stereo and artificial intelligence methods : Doctor of Philosophy dissertation. Texas, 2022. URL: <https://www.proquest.com/openview/bb36d047b89c5a77fb266e628ba49c26/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y> (дата звернення: 20.03.2025).
7. ДСТУ Б В.2.7-319:2016. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 15 с.