

Системи автоматизації бюджетного планування відіграють важливу роль у підвищенні ефективності фінансового управління. Вони скорочують час і ресурси, необхідні для планування та аналізу, а також забезпечують точність і достовірність даних. Однак вибір і впровадження системи мають бути ретельно адаптовані до специфіки установи та потреб її користувачів для успішного користування системами бюджетного планування кошторису.

Список використаних джерел

1. Бенько М. М. Інформаційні системи і технології в бухгалтерському обліку: монографія. Київ: Київський національний торговельно-економічний університет, 2010. 336 с.
2. Останкова Л.А. Аналіз, моделювання та управління економічними ризиками: навч. посібн. Київ.: Центр навчальної літератури, 2011. – 256 с.
3. Електронний ресурс (Конспект лекцій з навчальної дисципліни комп'ютеризація облікових систем) Режим доступу : https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/D1%84%D0%B5%D0%B4%D1%96%D0%BA%202/page18.html
4. Скриньковський Р. Інформаційні технології в організації бухгалтерського обліку на підприємстві. Економіка. 2019. С. 10.
5. Електронний ресурс (Oracle Hyperion, Режим доступу: <https://www.oracle.com/ua/>)
6. Електронний ресурс (Microsoft Dynamics) Режим доступу: <https://www.microsoft.com/en-us/dynamics-365>
7. Електронний ресурс (Фінансова політика як складова економічного розвитку) Режим доступу: <https://knute.edu.ua/file/MzEyMQ==/3043ab09788d719c6ad51708e587adb2.pdf>

УДК 625.85

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ АСФАЛЬТОБЕТОНУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ВЛАСТИВОСТЕЙ ПІД ДІЮ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

Хомутенко Денис Геннадійович, аспірант

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У статті описана методика комп'ютерного моделювання структури зразку асфальтобетону, після випробувань на низькотемпературну тріщиностійкість за методом ACCD. За результатами зроблені висновки щодо можливості використання даної методики для комп'ютерного моделювання структури зразку асфальтобетону та дослідження напружено-деформованого стану, що виникає в асфальтобетоні під час охолодження, а також складний напружено-деформований стан від дії експлуатаційного навантаження та низьких температур..

Ключові слова: асфальтобетон, тривимірне моделювання, комп'ютерне моделювання, структура асфальтобетону, низькотемпературні напруження

Вступ

До основних причин руйнувань асфальтобетонного покриття автомобільних доріг відноситься поперечне розтріскування, причиною якого зокрема є низькотемпературні напруження. Це в свою чергу призводить до зменшення довговічності асфальтобетонного покриття та комфорту користування автомобільними дорогами. Усунення таких дефектів вимагає витрати значних матеріальних ресурсів. Війна та складна економічна ситуація в Україні, робить проблему ресурсозбереження все більш актуальною. В таких умовах важливим є підвищення низькотемпературної тріщиностійкості асфальтобетону.

Низькотемпературні властивості асфальтобетону значною мірою залежать від його складу та структури. Основними складовими асфальтобетону є бітумне в'язуче (бітум, або бітум з модифікатором), мінеральний порошок, дрібний заповнювач (пісок, висівки), крупний заповнювач (щебінь), а також пори. Відповідно структура асфальтобетону поділяється на мікроструктуру, мезоструктуру та макроструктуру. Складові асфальтобетону мають різні властивості, зокрема температурний коефіцієнт об'ємного розширення та модуль пружності, які в свою чергу змінюються залежно від температури. Таким чином, асфальтобетон розглядається як багатокомпонентний, багатозфазний, грубодисперсний матеріал із неоднорідною структурою [1]. Тому його властивості пов'язані з характеристикою його складових та взаємодією між ними. Одним із шляхів покращення низькотемпературних властивостей асфальтобетону є оптимізації його складу та структури.

Враховуючи неоднорідність структури асфальтобетону та комплексний вплив факторів (експлуатаційні навантаження, фактори навколишнього середовища), що діють на асфальтобетонне покриття автомобільних доріг при їх експлуатації, доцільним є використання методів комп'ютерного моделювання для аналізу напружено-деформованого стану асфальтобетону при його охолодженні [2].

В свою чергу результати комп'ютерного моделювання потребують верифікації на основі експериментальних даних. Тому, для прогнозування низькотемпературних властивостей асфальтобетону та оптимізації його складу, актуальним є використання новітніх методів випробування асфальтобетону на низькотемпературну тріщиностійкість, наприклад методу ACCD [3], у поєднанні з методом комп'ютерного моделювання [4].

Аналіз публікацій

При комп'ютерному моделюванні структури асфальтобетону застосовуються двовимірні [1] або тривимірні моделі [2]. В свою чергу тривимірні моделі можуть бути простими геометричними моделями, моделями заснованими на методах випадкової генерації структури та моделями заснованими на методах тривимірної реконструкції [5].

Технологія тривимірної реконструкції структури асфальтобетону за допомогою методів цифрової обробки зображень порівняно з методами

випадкової генерації структури може краще відображати реальну морфологію заповнювача та структуру асфальтобетону [5].

Метод тривимірної реконструкції заснований на аналізі двомірних зображень перерізів асфальтобетону. Для аналізу структури асфальтобетону можуть бути використані цифрові камери, скануючий електронний мікроскоп і рентгенівська комп'ютерна томографія [6].

До переваг методу комп'ютерної томографії можна віднести неруйнівний характер дослідження, наявність розвинутих програмних комплексів для тривимірної реконструкції. В свою чергу до недоліків можна віднести дороговизну обладнання для промислової комп'ютерної томографії та наявність іонізуючого випромінювання [6].

В свою чергу, до переваг методу скануючої електронної мікроскопії можна віднести отримання зображень високої роздільної здатності. В свою чергу до недоліків можна віднести дороговизну обладнання та руйнівний характер дослідження, так як необхідний контакт з поверхнею зразка [6].

Перевагами методу обробки цифрових зображень, отриманих за допомогою цифрових камер, є простота, доступність, точність і низька вартість обладнання. До недоліків можна віднести руйнівний характер дослідження, так як необхідна видимість поверхні зразка, складність у дослідженні мікроструктури та визначені пор [6].

Враховуючи складну економічну ситуацію в Україні, а також той факт, що зразок асфальтобетону вже пошкоджено при проведенні дослідження на низькотемпературну тріщиностійкість за методом ACCD, доцільно сконцентрувати увагу на методі обробки цифрових зображення, отриманих за допомогою цифрових камер.

Мета та постановка задачі

Метою даної роботи є розробка методики комп'ютерного моделювання структури асфальтобетону, зразків, що пройшли випробування на низькотемпературну тріщиностійкість за методом ACCD. Розробка методики направлена на підвищення точності визначення напружено-деформованого стану та механізму розвитку дефектів в асфальтобетоні при його охолодженні. Отримання реалістичної моделі надасть можливість подальшої оптимізації складу і структури асфальтобетону, та підвищення його низькотемпературної тріщиностійкості.

Методи та об'єкти дослідження

Об'єктами дослідження являються зразки асфальтобетону, що пройшли випробування на низькотемпературну тріщиностійкість за методом ACCD [3].

Для проведення фотографування перерізів зразку асфальтобетону використовується цифровий фотоапарат CANON EOS 2000D, з об'єктивом CANON EF-S 18-55mm f/4-5.6 IS STM. Щоб отримати фотографії високої якості використовується стенд, що забезпечує постійну орієнтацію фотографій та складається з столику з закріпленим фотоапаратом, кільцевої світлодіодної

лампи з температурним діапазоном 4000–5700 К, інтервалометра, площадки для розміщення зразку асфальтобетону з фотограмметричними маркерами.

Отримання послідовної серії перерізів зразку асфальтобетону, шляхом поетапного зрізання його шарів, виконується на верстаті з числовим програмним керуванням для обробки каменю. Такі верстати забезпечують досить високу точність обробки близько 0,01 мм.

Результати дослідження

Пропонується розглянути методику комп'ютерного тривимірного моделювання структури асфальтобетону на основі реконструкції за двовимірними цифровими зображеннями послідовної серії перерізів зразку асфальтобетону, що пройшов випробування на низькотемпературну тріщиностійкість за методом АССД. Алгоритм складається з семи етапів, що наведені на рис. 1.



Рис. 1. Схема алгоритму комп'ютерного моделювання структури асфальтобетону

Етап 1. Випробування зразку асфальтобетону на низькотемпературну тріщиностійкість за методом ACCD. На даному етапі проводиться дослідження зразку асфальтобетону на низькотемпературну тріщиностійкість відповідно до методики [3]. Зразки асфальтобетону можуть бути виготовлені з лабораторно приготованої асфальтобетонної суміші, переформованої асфальтобетонної суміші або ж відібраними з асфальтобетонного покриття.

Етап 2. Отримання послідовної серії перерізів зразку асфальтобетону. Зразок асфальтобетону, після випробувань на низькотемпературну тріщиностійкість за методом ACCD, має тріщину у визначеному місці. В цьому разі проведення реконструкції його структури неруйнівними методами має меншу актуальність, так як основні дослідження вже виконані, а зразок пошкоджено. В такому випадку зразок поміщається в фрезерний верстат з числовим програмним керуванням для обробки каменю. За допомогою зазначеного верстата послідовно видаляються шари зразку асфальтобетону, сегментуючи його.

Етап 3. Фотографування серії перерізів зразку асфальтобетону. На даному етапі виконується фотографування кожного перерізу зразку асфальтобетону. Фотографування виконується на спеціальному стенді, що забезпечує високу якість отриманих фотографій та їх орієнтування у просторі.

Етап 4. Обробка цифрових зображень. Отримані фотографії повинні розташовуватися в системі координат XYZ для можливості проведення подальшої якісної тривимірної реконструкції. Для цього пропонується використати методи фотограмметрії, що реалізовані в програмному комплексі Reality Capture.

Далі фотографії обробляють шляхом перетворення зображення у градації сірого, а далі бінаризація [5; 6; 7; 8] з подальшим усуненням включень і незначних за розміром частинок, а також розмиванням та фільтрацією зображення [8]. Наступними є сегментація та спрощення геометрії за допомогою відповідного програмного забезпечення [5].

Етап 5. Тривимірна реконструкція структури асфальтобетону. В подальшому оброблені та сегментовані цифрові зображення серії перерізів зразку асфальтобетону експортують в програмні комплекси для тривимірної реконструкції зображень такі як DragonFly, 3D Slicer, XCAT, Avizo, та інші. В яких виконується тривимірна реконструкція структури асфальтобетона, а також проводиться спрощення геометрії моделі для подальшого експорту в систему автоматизації інженерних розрахунків.

Етап 6. Чисельне моделювання. На цьому етапі виконується експорт отриманої тривимірної моделі в систему автоматизації інженерних розрахунків, такі як ANSYS, NASTRAN, Abaqus FEA, COMSOL Multiphysics, FEATool Multiphysics, та інші. Та подальший розрахунок за допомогою методу скінченних елементів або методу дискретних елементів [5].

Етап 7. Інтерпретація та аналіз отриманих даних. Верифікацію отриманих результатів тривимірного моделювання структури асфальтобетону, для зразків, що були виготовлені з лабораторно приготованої асфальтобетонної

суміші, можливо провести порівнявши їх з даними гранулометричного складу визначених в лабораторних умовах. Результати розрахунків напружено-деформованого стану порівнюють з результатами лабораторних випробувань. Також, можливе порівняння результатів чисельного моделювання отриманих з використанням тривимірної моделі за даною методикою та іншими моделями (геометричної моделі Радовського, моделями виконаними за допомогою методів випадкової генерації структури: на основі системи простих кульок, на основі діаграм Вороного, та інших).

Доцільним також буде дослідження характеру тріщини від дії низьких температур, що утворилася в зразку асфальтобетону при випробуванні АССД. При цьому можливо дослідити залежність розвитку тріщини від розподілу пор в зразку асфальтобетону, а також наявності інших дефектів структури зразку асфальтобетону.

Висновки

Запропонована методика комп'ютерного тривимірного моделювання структури зразку асфальтобетону є перспективним напрямком дослідження. Використання даної методики надасть можливість більш точно дослідити напружено-деформований стан, що виникає в асфальтобетоні під час охолодження, а також складний напружено-деформований стан від дії експлуатаційного навантаження та низьких температур.

Подальші наукові дослідження доцільно направити на практичну апробацію вказаної методики-та верифікацію отриманих результатів.

Література

1. Маляр В. В. Розрахунок напружено-деформованого стану асфальтобетону на основі моделювання його структури. Вісник ХНАДУ. 2014. № 67. С. 98–101. URL: <https://dSPACE.khadi.kharkov.ua/items/cba2168a-f333-4656-8f80-22e26799ce0e> (дата звернення: 11.04.2024).
2. Маляр В. В. Визначення температурних напружень в асфальтобетоні методом комп'ютерного моделювання. Вісник ХНАДУ. 2021. № 93. С. 105–111. URL: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.93.0.105> (дата звернення: 11.04.2024).
3. Evaluation of Low Temperature Cracking Resistance of WMA / S.-S. Kim та ін. Athens OH : The Ohio Department of Transportation Office of Statewide Planning & Research, 2015. 121 с. URL: <https://www.researchgate.net/publication/279942111> (дата звернення: 21.03.2024).
4. Хомутенко Д. Г. Новітні методи експериментального визначення низькотемпературних властивостей асфальтобетону: виклики та перспективи для України. Збірник матеріалів XIV Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих учених "НАУКОВА ВЕСНА 2024", м. Дніпро, 27 берез. 2024 р. Дніпро, 2024. URL: <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/naukova-vesna.php> (дата звернення: 15.04.2024).
5. Improved Procedure for the 3D Reconstruction of Asphalt Concrete Mesostructures Considering the Similarity of Aggregate Phase Geometry between Adjacent CT Slices / C. Wang та ін. Materials. 2023. № 16 (1). С. 234. URL: <https://doi.org/10.3390/ma16010234> (дата звернення: 11.04.2024).
6. Alawneh M., Soliman H. Using Imaging Techniques to Analyze the Microstructure of Asphalt Concrete Mixtures: Literature Review. Applied Sciences. 2023. № 13 (13). С. 7813. URL: <https://doi.org/10.3390/app13137813> (дата звернення: 11.04.2024).

7. Bessa I. S., Castelo Branco V. T., Soares J. B. Evaluation of different digital image processing software for aggregates and hot mix asphalt characterizations. *Construction and Building Materials*. 2012. № 37. С. 370–378. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.051> (дата звернення: 11.04.2024).

8. 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: 12.04.2024).

ПІДХІД ДО СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ

Чмутов Артур

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Метою роботи є системний аналіз математичних моделей, який дозволить побудувати моделі, що відображають сучасний стан глобального потепління та прогнозують майбутнє потепління на основі показників, дозволяючи спостерігати за змінами ситуації під впливом різних факторів.

Математичні моделі глобального потепління є складними системами. Складна система - це відкрита система, яка постійно змінюється внутрішньо, під впливом зовнішнього середовища і в результаті дії як внутрішніх, так і зовнішніх факторів. Моделювання є найбільш ефективним способом дослідження складних систем, як на етапі проектування, так і в процесі експлуатації, для різноманітних цілей, включаючи технічні, економічні, екологічні, соціальні та інформаційні. Це найпотужніший і універсальний метод дослідження та оцінки ефективності різних систем, на поведінку яких впливає вплив випадкових факторів.

Дана робота спрямована на дослідження складних систем, які є імітаційними моделями. Модель імітує основні явища, з яких складається функціонування системи, і описує об'єкт дослідження певною мовою, зберігаючи при цьому його логічну структуру, часовий порядок, особливості та конфігурацію інформації про стан процесу. Опис компонентів реальної системи в імітаційній моделі має певний логіко-математичний характер і являє собою набір алгоритмів, які імітують функціонування цієї системи.

Просторові інвентаризації парникових газів мають на меті визначити місцезнаходження джерел викидів та оцінити обсяги їхніх викидів. На відміну від традиційних інвентаризацій на рівні країни, просторові інвентаризації враховують характеристики джерел викидів і коефіцієнти викидів, характерні для кожного джерела, що дозволяє будувати більш детальні інвентаризації. Геоінформаційні системи, створені для просторової інвентаризації парникових газів у видобувних галузях, є моделюючими комплексами, які реалізують ці процедури інвентаризації газів.