

DOI: [10.32347/2076-815x.2020.73.29-40](https://doi.org/10.32347/2076-815x.2020.73.29-40)

УДК 625.73

к.т.н., доцент **Васильєва Г.Ю.**,

anvas677@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0557-6925,

к.т.н., доцент **Кошевий О.П.**,

380939339872@yandex.ua, ORCID:0000-0002-7796-0443,

**Міщенко О.Д.**, u.umanska@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-4493-9648,доцент **Чередніченко П.П.**, petro\_che@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7161-661x,

Київський національний університет будівництва та архітектури

## ТЕРМОПРУЖНИЙ СТАН БАГАТОШАРОВИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ

*Зроблено огляд монографії «Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів», в якій наведено результати комп'ютерного аналізу напружено-деформованих станів багатошарових асфальтобетонних дорожніх покриттів під дією транспортних навантажень в умовах сезонних та добових змін температури навколишнього середовища. На основі скінчено-елементної моделі термосилового деформування покриттів виконані дослідження особливостей механічної поведінки систем, що розглядаються, при різних конструктивних схемах, умовах навантаження, наявності тріщин та розшарувань, а також при підкріпленні її стрижневою й сітчастою арматурою. Виявлені ефекти концентрації напружень в системі, обумовлених високо градієнтними полями температур і конструктивними недосконаlostями шарового покриття.*

*Ключові слова: асфальтобетон; дорожня основа; дорожнє покриття; інтенсивність руху; модуль пружності; нежорсткий дорожній одяг.*

У видавництві Національного транспортного університету вийшла в світ монографія «Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів» в складі авторського колективу Заслуженого діяча науки і техніки України, д.т.н., професора Гуляєва В.І., (Національний транспортний університет), Заслуженого діяча науки і техніки України, д.т.н., професора Гайдайчука В.В. (Київський національний університет будівництва і архітектури), к.т.н., генерального директора Густелева О.О., (Комунальна корпорація Київавтодор), д.т.н., професора Мозгового В.В., к.т.н., доцента Заєць Ю.О., к.т.н., доцента Шевчук Л.В., доцента Шлюнь Н.В., (Національний транспортний університет)

Рецензентами виступили Заслужений діяч науки і техніки України, завідуючий відділом будівельної механіки тонкостінних конструкцій Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, д.т.н., професор Луговий Петро

Захарович та Заслужений працівник народної освіти України, декан будівельно-технологічного факультету Київського національного університету будівництва і архітектури МОН України, д.т.н., професор Гоц Володимир Іванович.

Слід відмітити що на сьогодні єдиний нормативний документ, який регламентує підходи до проектування дорожніх одягів для автомобільних доріг «ГБН В.2.3-3764 1918-559: 2019. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування.» [10] не в повній мірі задовольняє вимоги до проектування дорожніх одягів міських вулиць і доріг в силу різних умов їх роботи [15, 16]. До них в першу чергу відносяться:

- зростання інтенсивності руху транспорту і пішоходів з зростанням розмірів міст та їх автомобілізації;
- наявність великої кількості транспортних засобів загального користування та спеціального призначення;
- значна кількість перехресть та примикань вулиць, в'їздів до приміагістральної забудови;
- розміщення в межах червоних ліній вулиць і доріг рейкових шляхів та інженерних мереж;
- високий рівень дорожньо-транспортних пригод на вулицях і дорогах;
- значне екологічне навантаження від транспорту на міське середовище (шум, загазованість, запиленість приміагістральної території, їх забруднення нафтопродуктами та їх складовими компонентами в місцях скупчення транспортних засобів та ін.;
- зростаюча кількість об'єктів тяжіння (особливо офісно-торгівельних та торгівельно-розважальних) поздовж міських вулиць і доріг без достатнього сервісу для транспорту (особливо місць паркування);
- неефективна організація міського руху (транспортного і пішохідного), яка визиває суттєві перепробіги транспорту та збільшує шляхи руху пішоходів, в наслідок чого виникають непродуктивні втрати часу та економічні збитки;
- наявність великої кількості факторів, які суттєво впливають на швидкість руху транспорту.

До останніх слід віднести:

- наявність великої кількості пересічень, примикань та відгалужень транспортних потоків (в різних комбінаціях) в одному рівні при незначних відстанях між ними та малими радіусами заокруглень поворотних потоків на них;
- наявність великої кількості пересічень пішохідних і транспортних потоків в одному рівні (як регульованих, так і нерегульованих), як на

перехрестях так і на перегонах між ними, і недостатнє дотримання вимог до необхідного забезпечення зон видимості міського руху в плані;

- наявність великої кількості зупинок громадського транспорту на проїжджій частині вулиць при незначних необгрунтованих відстанях між ними;

- наявність, особливо в містах, які історично склались, ділянок вулиць і доріг з радіусами заокруглень їх поворотів недостатньої величини для проїзду з розрахунковими оптимальними швидкостями;

- наявність в транспортних потоках значної кількості транспортних засобів, які мають намір здійснити лівоповоротній чи розворотній рух;

- наявність серед водіїв транспортних засобів осіб в яких недостатній досвід керування транспортними засобами, недостатня реакція на конфліктні ситуації та просторова орієнтація;

- наявність парковок транспортних засобів на проїжджій частині міських вулиць і доріг;

- наявність біля проїжджої частини міських магістралей значної кількості малих архітектурних форм та об'єктів мілкої торгівлі, які обслуговуються вантажним транспортом з їх проїжджої частини;

- інформаційна перенасиченість вулиць і міських доріг рекламними носіями, які розташовані біля їх проїжджої частини (часто стихійно і недоцільно), що затрудняє просторову орієнтацію водіїв транспортних засобів і сприйняття дорожніх знаків та об'єктів регулювання руху;

- зростаюча кількість дорожньо-транспортних пригод та місць їх концентрації, що ускладнює рух транспорту, в період їх реєстрації та розслідування;

- зростаюча кількість гостьового і транзитного транспорту в містах, в більшості випадків стримуючі рух транспортних потоків при пошуку необхідних об'єктів тяжіння і місць парковок та відсутності необхідних знаків маршрутного орієнтування;

- зростання інтенсивності руху вантажного транспорту, як внутріміського, так і транзитного, своєю маневреністю стримуючого транспортні потоки;

- часті профілактичні і поточні ремонти покриття проїжджої частини, підземних інженерних комунікацій, роздільно прокладених під нею, особливо в містах, які історично склались;

- відсутність чіткої регламентації в нормативних документах про принципи організації будівельних робіт при реконструкції вузлів вулично-дорожньої мережі та приміагістральних об'єктів не зобов'язує передбачати в будівельних генеральних планах схем безпечного і зручного руху транспорту і пішоходів і дає можливість вести будівельний процес використовуючи проїжджу

частину для розвантажувальних робіт і монтажу конструкцій будинків і споруд з "коліс", що ускладнює міський рух;

- незадовільний стан проїжджої частини та низька якість вертикального планування її поверхні, особливо на криволінійних ділянках перехресть та примикань з'їздів на перетинах магістралей в різних рівнях;

- орієнтація вулиць і міських доріг, їх освітлення як штучне, так і природне, яке не дає можливості водіям сприймати та оцінювати ситуацію із-за осліплення цими джерелами, а також осліплення на окремих ділянках вулиць і доріг зустрічним транспортом;

- незадовільне підтримання необхідного стану асфальтобетонних покриттів в жаркі періоди року, коли вони стають більш в'язкими, що сприяє утворенню колійності на їх поверхні і вимагає обмежень руху транспорту, особливо вантажного, в „пікові“ періоди;

- незадовільний стан прибирання снігу на проїжджій частині в зимовий період, що різко знижує та звужує її ширину та сцепні властивості коліс з дорожнім покриттям.

Вище наведені причини і фактори суттєво впливають на режими руху транспортних засобів і їх взаємодію з дорожнім покриттям і це недостатньо враховується для їх розрахунків і конструювання для міських вулиць і доріг в екстремальних погодних умовах на протязі доби і року.

Автори монографії вдало підходять до вивчення термонапруженого стану дорожніх покриттів, про що свідчать і раніш опубліковані їх роботи [2-8], так як цей фактор практично не враховується при проектуванні, а в нормативних документах носить рекомендований характер. Крім них окремим аспектам проблем конструювання і роботи дорожніх покриттів в своїх дослідженнях приділяють увагу і інші автори [9, 11-20].

Маємо намір викласти в загальному вигляді зміст даної монографії, щоб звернути на неї увагу дослідників конструювання дорожніх одягів для вулично-дорожньої мережі міст.

В передмові автори відмітили, що виходячи з огляду задач про міцність та довговічність будівельних об'єктів, багатошарові дорожні конструкції можна віднести до одного з найбільш складних видів будівельних конструкцій, що обумовлено багатопараметричністю факторів, які визначають їх конструкції, властивості матеріалів, видів навантажень та впливів на них, а також умов їх експлуатації. Виділено серед них найбільш помітні та важливі особливості й ефекти.

- В загальному масиві багатошарової дорожньої конструкції матеріал кожного шару характеризується своїми термомеханічними властивостями. Тому в загальному масиві навіть в спрощеній моделі функції модуля пружності,

коефіцієнта Пуассона, коефіцієнта теплопровідності і коефіцієнта теплового лінійного розширення виявляються розривними, викликаючи тим самим розривність функції деформацій і напружень, які є суттєво неоднорідними з концентраціями напружень в най неочікуваних місцях. Такі функції важко моделювати та прогнозувати простими та числовими методами. Дана обставина ускладнює задачу раціонального проектування таких конструкцій.

- Додатково в розрахункову модель конструкцій можуть вносити приховані (а іноді й явні) вертикальні тріщини та горизонтальні розшарування конструкції, іноді допустимі за умовами експлуатації.

- На ділянках спуску та підйому полотно дороги виявляється криволінійним, що також приводить до більш складних і менш наочних полів деформацій та напружень.

- Особливу специфіку в роботу дорожньої конструкції вносять матеріали шарів покриття, що включають асфальтобетон, цемент, щебінь, пісок, ґрунт та ін., так як всі вони по різному опираються розтягу. Стисненню та зсуву, а асфальтобетон крім того у загальному випадку, є нелінійним в'язко-пружно-пластичним матеріалом, властивості якого в значній мірі залежать від температури.

- Особливі ефекти в дорожній конструкції виникають при добових змінах температури навколишнього середовища. Вони викликані тим, що асфальтобетонні матеріали характеризуються порівняно низьким коефіцієнтом теплопровідності, й при типових розмірах конструкції на протязі доби вона не встигає прогрітись чи схолонути на велику глибину. В результаті помітні високо градієнтні зміни температури відбуваються переважно тільки в верхньому шарі (іноді в двох верхніх шарах), а поле температури набуває крайового ефекту. В загальній теорії теплопровідності такі ефекти відому давно, а рівняння що їх описують, отримали назву сингулярно збурених. Розв'язування таких задач, як підтверджено в даній монографії, пов'язане з великими труднощами.

- Якщо шари асфальтобетону покладені на металеву основу (в мостових конструкціях) або включають армовані стрижні з підвищеною жорсткістю, то, як показали розрахунки авторів, великий вплив на формування полів напружень здійснює різниця значень їх коефіцієнтів теплового лінійного розширення.

- В процесі експлуатації конструкції покриття піддаються складному коливанню статичних та динамічних навантажень, а також тепловим впливам. До динамічних сил віднесено навантаження від рухомого транспорту. Зазвичай динамічний характер таких навантажень враховується в залежності від відношення швидкостей розповсюдження хвиль деформацій в конструкції та руху сил. Оскільки на автомагістралях швидкості руху автомобілів в багато разів

менші за швидкість розповсюдження пружних хвиль в ґрунтовому масиві, силами інерції в конструкції дороги від рухомих впливів транспорту можна знехтувати і задачі формулювати в квазістатичній постановці.

Дослідження термонапруженого стану шарових конструкцій в монографії розглядаються як в стаціонарній, так і нестаціонарних постановках.

- В загальному випадку на довговічність дорожніх конструкцій впливає дія навколишнього середовища, пов'язана з атмосферними опадами, Сонячною радіацією, зношуванням і старінням матеріалів та ін. Ці ефекти автори в даній монографії не розглядають.

Автори монографії вважають, що моделювання механічної поведінки дорожньої конструкції з м'яким шаровим покриттям із врахуванням наведених особливостей її роботи навряд чи можливе за допомогою аналітичних методів. В цій роботі воно виконане застосуванням методу скінченних елементів. Методика цих досліджень була розроблена на кафедрі дорожньо-будівельних матеріалів і хімії та кафедрі вищої математики національного транспортного університету, а також на кафедрі теоретичної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури.

У першому розділі монографії наведена інформація про конструктивні схеми дорожніх конструкцій, умови експлуатації і методи їх розрахунків, що обумовленні чинними нормативними документами.

Розроблена обчислювальна система включає препроцесорні блоки програм, які обробляють вихідну інформацію, пов'язану з аналізом конструктивних особливостей дороги, матеріалів, які використовуються, умов експлуатації та виду навантажень.

З її використанням на базі рівнянь теплопровідності та термopружності будується скінченно-елементна модель у формі систем алгебраїчних рівнянь. В результаті її розв'язання формуються поля температур і переміщень. Постпроцесорна обробка цих результатів дозволяє на візуальному рівні виконати особливості еволюції полів температур і напружень та встановити місця локалізації високих градієнтів температури і концентрації напружень.

Багатоваріантні цілеспрямовані міцні сні розрахунки та дослідження дорожньої конструкції при різних значеннях її геометричних і фізико-механічних параметрах дають можливість згладити концентратори напружень і деформацій підвищити довговічність системи.

Модель термopружного середовища для оцінки термopружного стану шаруватої дорожньої конструкції розглянуто в другому розділі, який складається з наступних підрозділів:

2.1. Постановка задачі теорії термopружності в прямокутних декартових координатах.

- 2.2. Постановка задачі термопружності в циліндричних координатах.
- 2.3. Класифікація рівнянь термопружності методами математичної фізики.
- 2.4. Постановка плоскої задачі термопружності.
- 2.5. Дія імпульсивних та рухомих навантажень на пружні системи.
- 2.6. Основні моделі в'язкопружних середовищ.
- 2.7. В'язкопружні властивості бітумних матеріалів.
- 2.8. Основні співвідношення лінійної в'язкопружності.
- 2.9. Використання приведених параметрів теорії термопружності для розв'язання термо-в'язко-пружних задач.

Скінченно-елементне моделювання напруженого стану шаруватого дорожнього одягу під дією транспортних навантажень і температурних збурень розглянуто в третьому розділі. Він складається:

- 3.1. Метод скінченних елементів в механіці твердого деформованого тіла.
- 3.2. Моделювання підкріплення плитою конструкції дороги з розвантажуючим розрізом.
- 3.3. Вплив ефекту розшарування на напружено-деформований стан покриття під дією транспортного навантаження.
- 3.4. Ефект збільшення внутрішніх напружень в асфальтобетоні під дією транспортного навантаження у зимовий час в результаті збільшення його модуля пружності.
  - 3.4.1. Аналогія з балкою на пружній основі.
  - 3.4.2. Скінченно-елементне моделювання дорожнього покриття.
- 3.5. Термопружні деформації асфальтобетонного шару на металевій плиті моста.
- 3.6. Термопружне добове деформування асфальтобетонного покриття в літні та зимові часи.
  - 3.6.1. Сингулярно збурені задачі математичної фізики і термомеханіки шаруватих дорожніх покриттів.
  - 3.6.2. Скінченно-елементне моделювання нестационарного теплового деформування шаруватих покриттів.
- 3.7. Термопружне деформування покриття на вгнутій ділянці дороги.
  - 3.7.1. Розв'язувальні рівняння в циліндричних координатах.
  - 3.7.2. Температурні деформації шаруватих покриттів на криволінійних ділянках.
- 3.8. Ефект пружної взаємодії армуючого стержня з асфальтобетонним шаром дорожнього покриття.
- 3.9. Термопружні напруження в асфальтобетонному шарі на металевій основі.

3.10. Аналіз механізму підкріплення армуючою сіткою багатошарового покриття.

3.11. Концентрація напружень в околі тріщини при дії транспортних навантажень.

Список джерел використаних для підготовки даної монографії складає 84 одиниці нормативної і монографічної літератури та окремих статей вітчизняних та зарубіжних авторів.

Дана монографія заслуговує уваги не тільки наукових та інженерно-технічних працівників в області автомобільно-дорожнього будівництва, а й науковців і фахівців з проектування міських вулиць і доріг. Особливо важливо вивчення термонапруженого стану ділянок вулично-дорожньої мережі на схилах з південною орієнтацією та розробка інженерно-технічних заходів по їх підсиленню та пониженню їх температурного стану.

### Література.

1. Гуляев В.І., Гайдайчук В.В., Мозговий В.В. та ін. Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів: монографія / В.І. Гуляев, В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий та ін. – К.: НТУ, 2019. - 252 с.
2. Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу під дією транспортних навантажень // Опір матеріалів і теорія споруд, вип. 99. – К.: КНУБА, 2017. – С. 45-57.
3. Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Чисельне моделювання термонапруженого стану шаруватого покриття автомобільної дороги // Опір матеріалів і теорія споруд, вип. 98. – К.: КНУБА, 2017. – С. 56-71.
4. Гуляев В.І., Шевчук Л.В., Куцман О.М. Сезонний перерозподіл полів напружень в конструкціях шаруватих покриттів доріг під дією транспортних навантажень // Вісник НТУ, вип. 40. – К.: НТУ, 2018. – С. 98-105.
5. Гуляев В.І., Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Дослідження термонапруженого стану конструкцій дорожнього одягу // Промислове будівництво та інженерні споруди, №1. – С. 6-12.
6. Гуляев В.І., Мозговий В.В., Гайдайчук В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Деякі закономірності термопружного деформування асфальтобетонного покриття дороги // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки», вип. 37. – К.: НТУ, 2017. – С. 80-92.
7. Заєць Ю.О. Про механізм термопружного розшарування дорожніх покриттів при добових змінах в них полів температури // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки», вип. 40. – К.: НТУ, 2018. – С. 80-92.
8. Мозговий В.В., Онищенко А.М., Резніченко О.С. Методика проектування асфальтобетонних шарів зносу для міських умов // Вісник, 2010. – Част. 1. – С. 46-50.
9. Талтаев Б.Б. Деформации и напряжения в нежестких конструкциях дорожных одежд / Под ред. академика НАН РК Ш.М. Айтиалиева. – Алматы: Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышбаева, 1999. – 217 с.
10. ГБН В.2.3-3764 1918-559: 2019. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. – К.: Мінінфраструктури України, 2019. – 59 с.
11. Гасенко А.В., Ільченко В.В., Атембемах Келвіс. Чисельне дослідження пружних багатошарових моделей дорожнього одягу вуличної мережі м. Полтава при тролейбусних навантаженнях // Містобудування та територіальне планування, вип. 62, част. 1. – К.: КНУБА, 2016. – С. 125-132.



12. Левківський Д.В. Модифікований метод прямих у задачах статичної та динамічної товстих неоднорідних пластин [Текст] : автореф. ... канд. техн. наук: 05.23.17 / Левківський Дмитро Володимирович; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – К.: 2016. – 24 с.: рис.
13. Левківський Д.В., Сочин Ю.В. Застосування узагальненого методу прямих для дослідження теплового поля вісесиметричних тіл // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 69. – Київ, КНУБА, 2019. – С. 207-214.
14. Левківський Д.В. Модифікований метод прямих в задачах термопружності вісесиметричних тіл // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник. – Вип. 70. – Київ, КНУБА, 2019. – С. 315-322.
15. Осетрін М.М. Міські дорожньо-транспортні споруди. Посібник для ВНЗ. – К., 1997. – 196 с.
16. Чердніченко П.П. Проблеми аудиту та моніторингу ефективності роботи вулично-дорожньої мережі міст // Містобудування та територіальне планування, вип. 56. – К.: КНУБА, 2015. – С. 120-123.
17. Човнюк Ю. В., Діктерук М.Г., Чердніченко П.П., Остапущенко О.П. Використання георадарних технологій у процесах моніторингу дорожнього одягу нежорсткого типу: моделювання розповсюдження падаючих/відбитих електромагнітних хвиль у системах аерокосмічної зйомки // Містобудування та територіальне планування, вип. 68. – К.: КНУБА, 2018. – С. 582-598.
18. Човнюк Ю.В., Діктерук М.Г., Васильєва А.Ю., Чердніченко П.П. Применение метода поглощения СВЧ/КВЧ энергии электромагнитных волн нетепловой интенсивности при георадиолокационной диагностике асфальтобетонных покрытий строящихся автомобильных дорог // Містобудування та територіальне планування, вип. 68. – К.: КНУБА, 2018. – С. 599-608.
19. Човнюк Ю.В., Чердніченко П.П., Остапущенко О.П. Використання георадарних технологій у процесах моніторингу фізичного стану капілярно-пористих структур дорожнього одягу // Містобудування та територіальне планування, вип. 69. – К.: КНУБА, 2019. – С. 436-440.
20. Човнюк Ю.В., Чердніченко П.П., Остапущенко О.П. Використання мікропроцесорної системи контролю параметрів термонапруженого стану асфальтобетонного дорожнього покриття в умовах його повзучості // Містобудування та територіальне планування, вип. 71. – К.: КНУБА, 2019. – С. 434-445.

к.т.н., доцент Васильєва А.Ю.,

к.т.н., доцент Кошевий А.П.,

Мищенко Е.Д., доцент Чердніченко П.П.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ТЕРМОУПРУГОЕ СОСТОЯНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ.**

Сделан обзор монографии «Термоупругое состояние многослойных дорожных покрытий», в которой приведены результаты компьютерного анализа напряженно-деформированных состояний многослойных асфальтобетонных дорожных покрытий под действием транспортных нагрузок в условиях сезонных и суточных изменений температуры окружающей среды. На основании конечно-элементной модели термоупругого деформирования покрытий выполнены

исследования особенностей механического поведения рассматриваемых систем при различных конструктивных схемах, условиях нагружений, наличия трещин и расслоений, а также при усилении их стержневой и сетчатой арматурой. Выявлены эффекты концентрации напряжений в системе, обусловленных высокоградиентными полями температур и конструктивными несовершенствами слоеного покрытия.

Ключевые слова: асфальтобетон; дорожное основание; дорожное покрытие; интенсивность движения; модуль упругости; нежесткая дорожная одежда.

Ph.D., ssociate Professor Vasileva Hanna,  
Ph.D., associate professor Koshevyi Oleksandr,  
Mishchenko Olena, associate Professor Cherednichenko Petro,  
Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture

### **THERMOELASTIC STATE OF MULTILAYERED ROAD PAVEMENT.**

This a review of the monograph “Thermoelastic state of multilayered pavements”, which presents the results of a computer analysis of stress-strain states of multilayered bituminous concrete pavements under the influence of transport loads with regard to seasonal and daily changes in ambient temperature. Based on the finite element model of pressure-heated deformation of coatings, we studied the mechanical behavior of the systems under consideration under various design schemes, loading conditions, the presence of cracks and concrete segregation, as well as rod and mesh reinforcement. The effects of stress concentration in the system due to high-gradient temperature fields and structural imperfections of the multilayered pavement are identified.

Key words: bituminous concrete; roadbed; road pavement; traffic intensity; modulus of elasticity; non-rigid road pavement.

### **REFERENCES**

1. Huliaiev V.I., Haidaichuk V.V., Mozghovyi V.V. ta in. Termopruzhnii stan bahatosharovykh dorozhnikh pokryttiv: monohrafiia / V.I. huliaiev, V.V. Haidaichuk, V.V. mozkovyi ta in. – K.: NTU, 2019. - 252 s. {in Ukrainian}
2. Haidaichuk V.V., Mozghovyi V.V., Zaiets Yu.O., Shevchuk L.V. Modeliuvannia napruzhenno-deformovanoho stanu konstruktsii dorozhnoho odiahu pid diieiu transportnykh navantazhen // Opir materialiv i teoriia sporud, vyp. 99. – K.: KNUBA, 2017. – S. 45-57. {in Ukrainian}

3. Haidaichuk V.V., Mozghovyi V.V., Zaiets Yu.O., Shevchuk L.V. Chyselne modeliuвання термонапруженого стану шаруватого покриття автомобільної дороги // *Опір матеріалів і теорія споруд*, вип. 98. – К.: КНУБА, 2017. – С. 56-71. {in Ukrainian}
4. Huliaiev V.I., Shevchuk L.V., Kutsman O.M. Sezonnyi pererozpodil poliv napruzhen v konstruktsiiakh шаруватих покриттів доріг під дією транспортних навантажень // *Вісник NTU*, вип. 40. – К.: NTU, 2018. – С. 98-105. {in Ukrainian}
5. Huliaiev V.I., Haidaichuk V.V., Mozghovyi V.V., Zaiets Yu.O., Shevchuk L.V. Doslidzhennia термонапруженого стану конструкції дорожнього одіагу // *Промислове будівництво та інженерні споруди*, №1. – С. 6-12. {in Ukrainian}
6. Huliaiev V.I., Mozghovyi V.V., Haidaichuk V.V., Zaiets Yu.O., Shevchuk L.V. Deiaki zakonornosti термопружного деформування асфальтобетонного покриття дороги // *Вісник NTU. Серія «Технічні науки»*, вип. 37. – К.: NTU, 2017. – С. 80-92. {in Ukrainian}
7. Zaiets Yu.O. Pro mekhanizm термопружного розшарування дорожніх покриттів при добових змінах в них температур // *Вісник NTU. Серія «Технічні науки»*, вип. 40. – К.: NTU, 2018. – С. 80-92. {in Ukrainian}
8. Mozghovyi V.V., Onyshchenko A.M., Reznichenko O.S. Metodyka proektuvannia асфальтобетонних шарів зносу для миских умов // *Вісник*, 2010. – Chast. 1. – С. 46-50. {in Ukrainian}
9. Taltaev B.B. Deformatsyy y napriazheniia v nezhestkykh konstruktsiiakh dorozhnykh odezhd / Pod red. akademika NAN RK Sh.M. Aitalyeva. – Алматы: Kazakhskaia akademyia transporta y kommunikatsyi ym. M. Тынышбаева, 1999. – 217 s. {russian}
10. HBN V.2.3-3764 1918-559: 2019. Avtomobilni dorohy. Dorozhnii odiah nezhorstkyi. Proektuvannia. – К.: Mininfrastruktury Ukrainy, 2019. – 59 s. {in Ukrainian}
11. Levkivskyi D.V. Modyfikovanyi metod priamykh u zadachakh statyky ta dynamiky товстих неоднорідних пластин [Tekst] : avtoref. ... kand.. tekhn.. nauk: 05.23.17 / Levkivskyi Dmytro Volodymyrovych; Kyiv. nats.. un-t bud-va i arkhitektury. – К.: 2016. – 24 s.: rys. {in Ukrainian}
12. Levkivskyi D.V., Sovych Yu.V. Zastosuvannia uzahalnenoho методу priamykh dla doslidzhennia teplovoho polia visesymetrychnykh til // *Містобудування та територіальне планування: Nauk.-tekhn. Zbirnyk*. – Vyp. 69. – Kyiv, KNUBA, 2019. – С. 207-214. {in Ukrainian}
13. Levkivskyi D.V. Modyfikovanyi metod priamykh v zadachakh термопружності visesymetrychnykh til // *Містобудування та територіальне*

planuvannia: Nauk.-tekhn. Zbirnyk. – Vyp. 70. – Kyiv, KNUBA, 2019. – S. 315-322. {in Ukrainian}

14. Hasenko A.V., Ilchenko V.V., Atembemokh Kelvis. Chyselne doslidzhennia pruzhnykh bahatosharovykh modelei dorozhnoho odiahu vulychnoi merezhi m. Poltava pry troleibusnykh navantazhenniakh // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, vyp. 62, chast. 1. – K.: KNUBA, 2016. – S. 125-132. {in Ukrainian}

15. M.M. Osietrin. Miski dorozhno-transportni sporudy. Posibnyk dlia VNZ. – K., 1997. – 196 c. {in Ukrainian}

16. Cherednichenko P.P. Problemy audytu ta monitorynhu efektyvnosti roboty vulychno-dorozhnoi merezhi mist // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, vyp. 56. – K.: KNUBA, 2015. – S. 120-123. {in Ukrainian}

17. Chovniuk Yu. V., Dikteruk M.H., Cherednichenko P.P., Ostapushchenko O.P. Vykorystannia heoradarnykh tekhnolohii u protsesakh monitorynhu dorozhnoho odiahu nezhorstkoho typu: modeliuvannia rozpovsiudzhennia padaiuchykh/vidbytykh elektromahnitnykh khvyl u systemakh aerokosmichnoi ziomky // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, vyp. 68. – K.: KNUBA, 2018. – S. 582-598. {in Ukrainian}

18. Chovniuk Yu.V., Dykteruk M.H., Vasyleva A.Iu., Cherednychenko P.P. Prymenenye metoda pohloshcheniya SVCh/KVCh enerhyu elektromahnytnykh voln neteplovoi yntensyvnyty pry heoradyolokatsyonnoi dyahnostyke asfaltobetonnykh pokrytyi stroiashchykhsia avtomobylnykh doroh // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, vyp. 68. – K.: KNUBA, 2018. – S. 599-608. {in Ukrainian}

19. Chovniuk Yu.V., Cherednichenko P.P., Ostapushchenko O.P. Vykorystannia heoradarnykh tekhnolohii u protsesakh monitorynhu fizychnoho stanu kapiliarno-porystykh struktur dorozhnoho odiahu // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, vyp. 69. – K.: KNUBA, 2019. – S. 436-440. {in Ukrainian}

20. Chovniuk Yu.V., Cherednichenko P.P., Ostapushchenko O.P. Vykorystannia mikroprotseornoï systemy kontroliu parametriv termonapruzhenoho stanu asfaltobetonnoho dorozhnoho pokryttia v umovakh yoho povzuchosti // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, vyp. 71. – K.: KNUBA, 2019. – S. 434-445. {in Ukrainian}