



RS Global
Journals

Scholarly Publisher
RS Global Sp. z O.O.
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773
Tel: +48 226 0 227 03
Email: editorial_office@rsglobal.pl

JOURNAL	World Science
p-ISSN	2413-1032
e-ISSN	2414-6404
PUBLISHER	RS Global Sp. z O.O., Poland
ARTICLE TITLE	ASPHALT CONCRETE PAVEMENT WORKING CONDITIONS ON ASCENTS AND DESCENTS OF HIGHWAYS
AUTHOR(S)	Mozhovyi Volodymyr Vasylovych, Oleksandr Volodymyrovych Kushnir, Levkivska Liydmyla Volodymyrivna, Kutsman Oleksandr Mykhailovych, Hrynychak Ilona Illivna
ARTICLE INFO	Mozhovyi Volodymyr Vasylovych, Oleksandr Volodymyrovych Kushnir, Levkivska Liydmyla Volodymyrivna, Kutsman Oleksandr Mykhailovych, Hrynychak Ilona Illivna. (2024) Asphalt Concrete Pavement Working Conditions on Ascents and Descents of Highways. <i>World Science</i> . 3(85). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30092024/8220
DOI	https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092024/8220
RECEIVED	18 July 2024
ACCEPTED	14 September 2024
PUBLISHED	16 September 2024
LICENSE	 This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License .

© The author(s) 2024. This publication is an open access article.

ASPHALT CONCRETE PAVEMENT WORKING CONDITIONS ON ASCENTS AND DESCENTS OF HIGHWAYS

Mozhoviy Volodymyr Vasylovych

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Road Construction Materials and Chemistry Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-1032-8048

Oleksandr Volodymyrovych Kushnir

Deputy General Director for standardization, certification and quality, «ENERGY AND ROAD CONSTRUCTION, LLC», Kaniv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-2487-4234

Levkivska Liydmyla Volodymyrivna

Associate Professor Department of High Mathematics, National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-5589-5257

Kutsman Oleksandr Mykhailovych

Associate Professor of the Road Construction Materials and Chemistry Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-4510-4570

Hrynychak Iona Illivna

Assistant of the Road Construction Materials and Chemistry Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-8382-3824

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092024/8220

ARTICLE INFO

Received: 18 July 2024

Accepted: 14 September 2024

Published: 16 September 2024

KEYWORDS

Road, Descent, Ascent, Cracks, Pavement, Finite Element Model, Stress-Strain State.

ABSTRACT

The article deals with the peculiarities of the operation of asphalt concrete layers of non-rigid pavement in the ascent and descent zones. It has been established that on ascents and descents of roads, where the speed of vehicles most often changes, the pavement is subjected to more intensive wear than on straight sections. In addition, changes in temperature, water and frost effects, as well as the effects of salt and other chemicals, negatively affect the operational condition of the asphalt pavement and its overhaul period. Premature and more intense destruction of the asphalt pavement creates dangerous situations for road users due to the formation of cracks, pits and frequent repairs. In addition, it is often forgotten, but pavement repairs and traffic congestion cause changes in the traffic regime on the roads, which is often not taken into account when calculating non-rigid pavements. The article deals with a spatial finite element model that allows describing the stress-strain state of each element of the pavement structure under the influence of traffic load. The deformations, displacements, and stresses in the asphalt concrete layers of the pavement structure are analyzed. The circumstances that may affect the premature formation of cracks and lead to a decrease in the durability of asphalt pavement and pavement structures in general were identified. The conducted research allows us to identify and eliminate potential hazards that arise during the operation of pavement. The obtained results can be implemented in the design of pavements in areas with difficult traffic in the ascent and descent zones.

Citation: Mozhovyi Volodymyr Vasylovych, Oleksandr Volodymyrovych Kushnir, Levkivska Liydmyla Volodymyrivna, Kutsman Oleksandr Mykhailovych, Hrynychak Ilona Illivna. (2024) Asphalt Concrete Pavement Working Conditions on Ascents and Descents of Highways. *World Science*. 3(85). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30092024/8220

Copyright: © 2024 **Mozhovyi Volodymyr Vasylovych, Oleksandr Volodymyrovych Kushnir, Levkivska Liydmyla Volodymyrivna, Kutsman Oleksandr Mykhailovych, Hrynychak Ilona Illivna.** This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Вступ.

Умови експлуатації асфальтобетонного покриття на підйомах та спусках автомобільних доріг, як і всього дорожнього одягу визначаються геометричними параметрами автомобільних доріг, параметрами транспортних навантажень та параметрами кліматичних умов. У процесі експлуатації автомобільної дороги всі конструктивні шари дорожньої конструкції піддаються впливу транспортних навантажень, дії температури (замерзанню-відтаванню), води (водонасиченню), сонця (висушуванню) та іншим зовнішнім факторам. Тобто відбувається комплексний вплив погодно-кліматичного і транспортного факторів.

Особливістю навантаження від транспортних засобів є те, що напруження, які виникають в матеріалах дорожнього покриття, можуть і не перевищувати критичних значень, проте при багаторазовому впливі динамічних механічних навантажень в асфальтобетоні розвиваються процеси втоми. Це у комплексі з неперервною дією природно-кліматичних факторів призводить до поступового розриву структурних зв'язків в асфальтобетоні, накопичення внутрішніх мікрodefектів у матеріалі з наступним порушенням його суцільності у вигляді утворення тріщин втоми та подальшим руйнуванням дорожнього покриття.

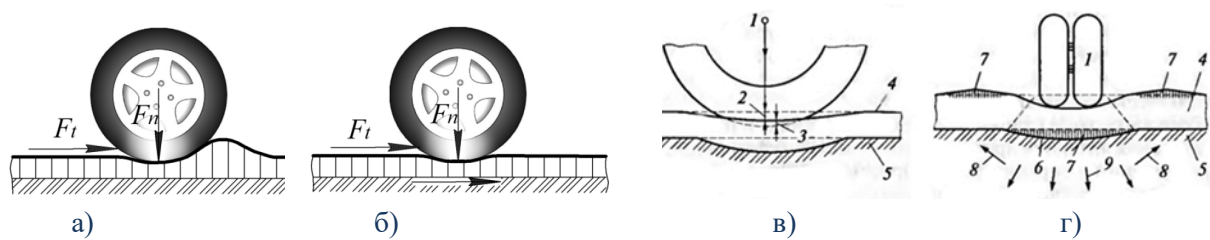
Матеріали та методи.

Об'єкт дослідження – конструкція нежорсткого дорожнього одягу автомобільної дороги на ділянках з ухилом (підйоми та спуски).

Мета роботи – аналіз умов роботи асфальтобетонного покриття на підйомах та спусках автомобільних доріг, від дії транспортного навантаження з точки зору впливу на утворення тріщин в асфальтобетонних шарах.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний. Розглянуто просторову математичну модель, яка дозволяє визначати напружено-деформований стан кожного елемента конструкції від дії транспортного навантаження. Виконано аналіз деформацій, переміщень і напружень в асфальтобетонних шарах конструкції дорожнього одягу, який виявив певні обставини, що можуть призвести до передчасного утворення в них тріщин.

Аналіз літературних джерел щодо умов роботи асфальтобетонного покриття на ділянках підйому та спуску автомобільних доріг показує, що дія автомобілів на дорожнє покриття призводить до виникнення в ньому як нормальних, так і дотичних напружень [1 – 5]. Величина і характеристики цих напружень залежить від вантажопідємності і режиму руху транспортних засобів (прискорення, сповільнення, рух з постійною швидкістю). Так, горизонтальні дотичні напруження, що виникають в дорожній конструкції, обумовлені тяговою силою, яка подається до ведучих коліс автомобіля, і досягають максимуму при русі на підйомах, при гальмуванні і при розгоні. Крім того, ряд дослідників звертають увагу на те, що має місце також дія поперечних дотичних напружень, які виникають від дії відцентрової сили при русі автомобіля по криволінійній траєкторії та під час обгону, а також при наявності поперечного ухилу [6, 7]. У роботах [3, 4, 8] розглянуто механізм роботи асфальтобетонного покриття при русі автомобіля по прямолінійній траєкторії (рис. 1). Показано, що на покриття з боку колеса автомобіля діють нормальна (вертикальна) F_n і зсуваюча (горизонтальна) F_t сили.



1 – колесо; 2 – прогин дорожнього одягу; 3 – стиск шини; 4 – дорожній одяг; 5 – земляне полотно; 6 – чаша прогину; 7 – зона розтягу і тріщини в покритті; 8 – випирання ґрунту; 9 – напрямок стиску ґрунту.

Рисунок 1. Характер деформацій дорожнього покриття під дією нормальної F_n і зсуваючої F_t сил з боку колеса автомобіля: а) утворення хвилі перед колесом; б) ковзання покриття по основі; в), г) схема утворення чаші прогину і руйнування нежорсткого дорожнього одягу під колесом автомобіля.

При гальмуванні автомобіля зсувна сила стає співрозмірною з нормальною, що викликає небезпеку зсуву покриття відносно основи (рис 1.б). Якщо розглядати вантажний автомобіль з причепом, в процесі руху на колеса (транспортного засобу) діє цілий ряд зовнішніх сил [7, 10]. До них відносяться (рис. 2.а): сила ваги G_a і G_{np} (причіп), сили взаємодії коліс транспортного засобу і дороги – $X_1, X_2, X'_1, X'_2, Z_1, Z_2, Z'_1, Z'_2$ і сили взаємодії транспортного засобу з повітрям – P_B, P'_B . Одні з цих сил діють у напрямку руху і є рушійними силами, а інші – проти руху і є силами опору. Так, сила X_2 на тяговому режимі, коли підвищується потужність до головних коліс, спрямована у бік руху, а інші, вищезгадані сили, спрямовані проти руху.

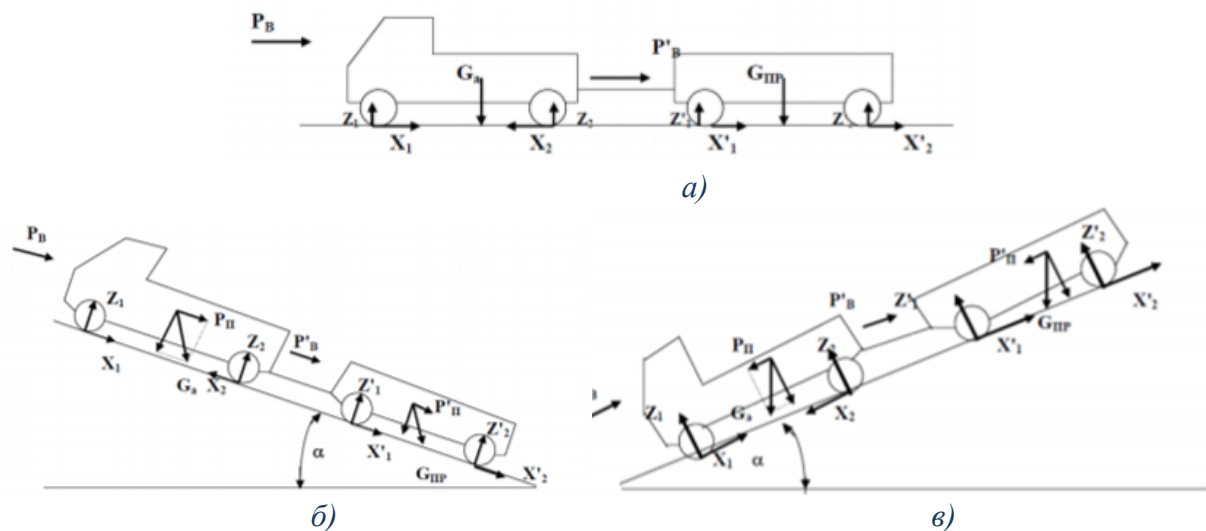


Рисунок 2. Зовнішні сили, що діють на рухомий склад: а) на горизонтальній дорозі; б) на підйомі; в) на спуску.

Сили P_B і P'_B , що складають сили ваги G_a і G_{np} , можуть бути спрямовані як у бік руху (рис. 2.в), так і проти (рис.2.б), залежно від руху транспортного засобу. Також при русі автомобіля його колеса можуть котитися в трьох режимах: тяговий, ведений і гальмівний, а також перебувати в нейтральному й вільному режимах [10]. У кожному випадку взаємодії коліс транспортного засобу з покриттям, в ньому виникають певні характери напружено-деформованого стану, які багаторазово чергуються між собою і через певний час у сукупності з

природно-кліматичними факторами призводять до порушення граничного стану асфальтобетону.

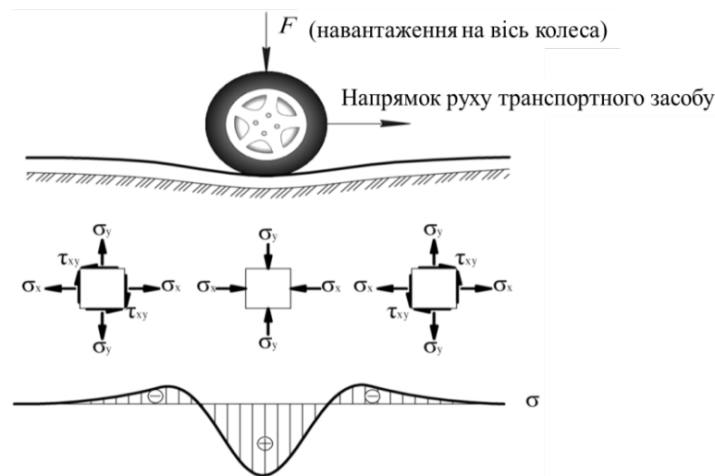


Рисунок 3. Розподіл розтягуючих (стискаючих) напружень в асфальтобетонному покритті при наїзді колеса автомобіля [6, 11].

Багатьма вченими [8, 11] досліджено характер зміни горизонтальних нормальних розтягуючих і стискаючих напружень в залежності від вертикальної координати. Так, експериментально було встановлено, що якщо датчики поздовжніх відносних деформацій розташовані на поверхні покриття при проїзді вантажного автомобіля реєструються знакозмінні деформації (розтяг – стиск – розтяг), а датчики, розташовані в нижній частині покриття над поверхнею основи реєструє деформації стиснення (рис. 4). Це свідчить про те, що у більшості конструкцій дорожнього одягу капітального типу (з основою значної жорсткості) асфальтобетонне покриття сприймає розтягуючі горизонтальні нормальні напруження лише у верхній частині [8], які слід також враховувати при розрахунку асфальтобетонного покриття на міцність і довговічність.

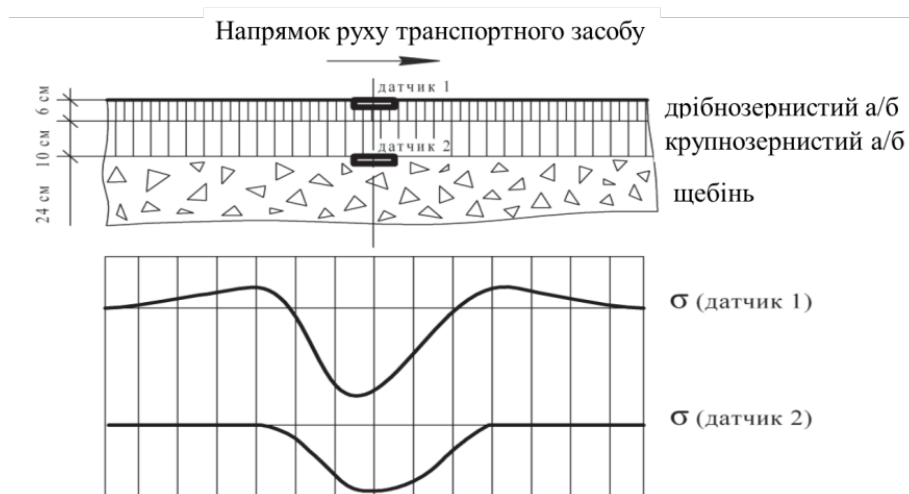


Рисунок 4. Схема розташування датчиків по глибині конструкції і записи зміни напруження (σ) в шарах дорожнього одягу з осцилографа [8].

Незважаючи на виникнення найбільших розтягуючих напружень при згині в нижній точці шару по осі дії навантаження, з урахуванням явищ втоми, що відбуваються в матеріалі при його багаторазовому вигині, в деяких випадках може виявитися, що розрив суцільності монолітного матеріалу (тобто поява тріщин) може розпочатись на поверхні покриття [11].

Відомо, що найменша різниця між встановленими обмеженнями швидкості та експлуатаційною швидкістю спостерігається на ділянках доріг, де конструктивні та технічні рішення, а також умови довкілля спонукають водіїв рухатись повільніше. Поширений приклад таких умов, що примушують водіїв скидати швидкість є габарити мостів та шляхопроводів, які візуально майже завжди виглядають вужче основного поїзду (ширина дороги). Бар'єрне та пішохідне огороження, бортовий камінь на краю проїзної частини, виконання аварійних робіт, аварійні ситуації, затори все це далеко не повний перелік який може бути причиною зміни режиму руху. Тому, зміна режиму руху транспортних засобів, їх кількості, ваги (навантаження на вісь) і швидкості буде істотно впливати на довговічність асфальтобетонного покриття на підйомах та спусках автомобільних доріг [12].



Рисунок 5. Утворення заторів та мала пропускну здатність мостових переходів.

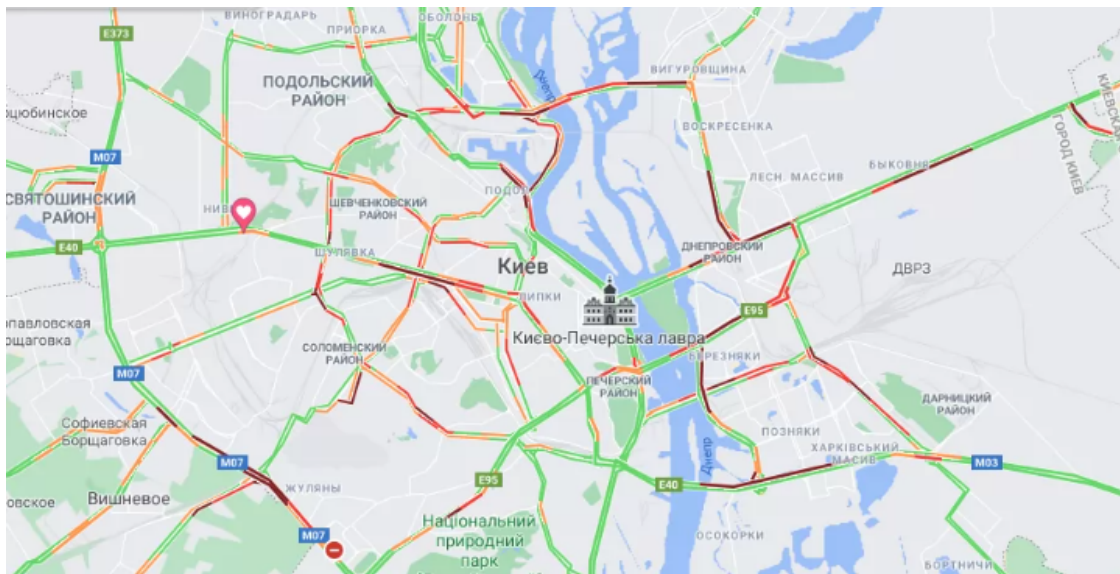


Рисунок 6. Затори в Києві. Карта: Google Maps [13].

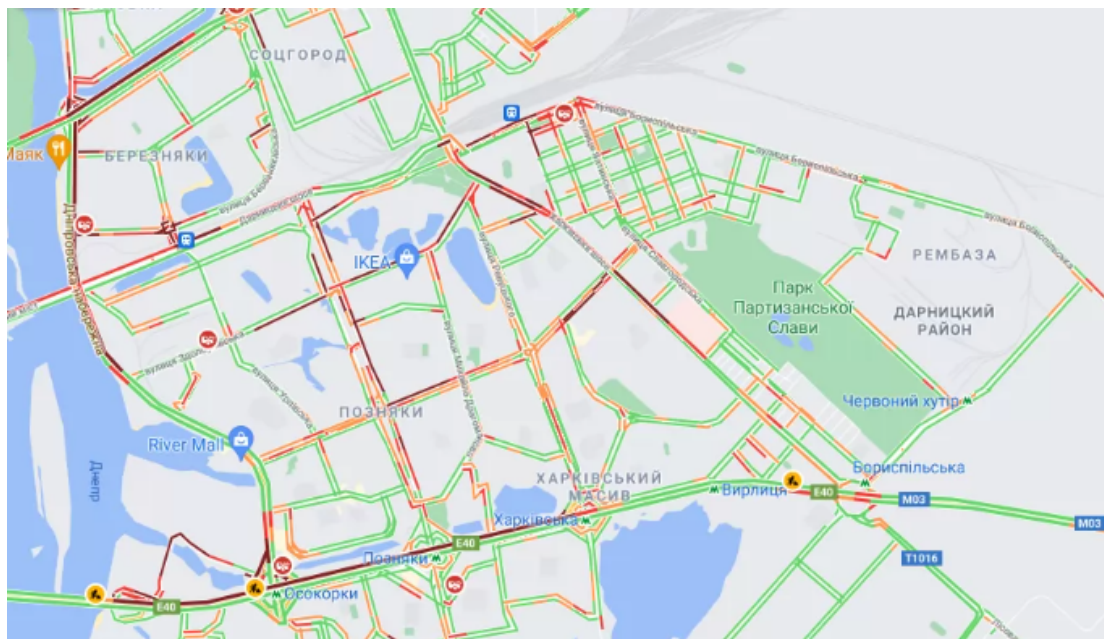


Рисунок 7. Затори на мостах в Києві. Карта: Google Maps [13].

Наш досвід показав, що для дослідження довговічності асфальтобетонного покриття на підйомах та спусках автомобільних доріг доцільно розглядати ділянки автомобільних доріг на підходах до мостів і шляхопроводів (рис. 5 – 7). Таких ділянок багато. Вони в повній мірі відображають проблему. А інженерні споруди (мости і шляхопроводи) мають важливе стратегічне значення.

Отже, режими руху транспортних засобів на підходах до різних мостів будуть різні при різних змінних умовах. Такі ж різні, як режими руху в умовах міста, великих міст та поза ними. Наприклад, в умовах міського руху автомобіль рухається рівномірно приблизно (15 – 20) % часу, (30 – 45) % часу – прискорено, (30 – 40) % часу – накатом або з гальмуванням [13 – 15].

Вивчення питань довговічності асфальтобетонного покриття дорожньої конструкції на підходах до мосту, вимагає розгляду: особливостей умов роботи на різних ділянках, характеру напружено-деформованого стану асфальтобетону, а також можливих дефектів і руйнувань покриття.

Результати.

В даній роботі застосовано методологію досліджень скінченно-елементного моделювання поведінки конструкції нежорсткого дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям під дією транспортного навантаження. Причому для розрахунків використовували характеристики чотирьохвісного великовантажного автомобіля, як такого, що все частіше зустрічається на автомобільних дорогах нашої країни. Також, для досліджень була прийнята конструкція дорожнього одягу, характерна для автомобільних доріг з важким та інтенсивним рухом (табл. 1).

Таблиця 1. Конструкція дорожнього одягу, характерна для автомобільних доріг з важким та інтенсивним рухом.

№з/п	Конструктивні шари дорожнього одягу	Товщина, см
1	Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15) на бітумі БМПА 60/90-53	5
2	Щільний гарячий асфальтобетон на БНД 60/90 (Тип А, Марка І)	11
3	Пористий гарячий асфальтобетон на бітумі БНД 60/90 (Крупнозернистий, Марка І)	11
4	Щебенево-піщана суміш С-7 оптимального складу, укріплена цементом М 20	20
5	Щебенево-піщана суміш С-5 оптимального складу	20
6	Грунт земляного полотна – пісок	

Характеристики вантажного автомобіля: колісна база – 8х4, 5100 мм; повна довжина 8860 мм; відстань між 1-ю і 2-ю віссю 2050 мм; відстань між 2-ю і 3-ю віссю 3050 мм; відстань між 3-ю і 4-ю віссю 1330 мм; розмір шин – 315/80 R22,5. Навантаження на задні осі 13 т.

З метою розрахунку дорожнього одягу було розроблено просторову скінченно-елементну модель, що дозволяє визначити напружено-деформований стан кожного елемента конструкції. Для досліджень прийнята розрахункова модель, що мала розміри $14 \times 4,4 \times 1,97$ м і складалась із 133245 вузлів та 135520 елементів (рис. 8.а). Передбачалося, що шари конструкції дорожнього одягу є монолітними і зчеплені між собою. На рисунку 8.в представлено вид зверху моделі розподілення напруження N_x від прийнятого транспортного навантаження, тобто в асфальтобетонному покритті.

Для швидкого і якісного аналізу одержану математичну модель (рис. 8.а) за допомогою інструментів ПК ЛІРА розрізаємо по умовним полосам нахату А (рис. 8.б) та по умовній осі прикладання навантаження В (рис. 8.б). Приклад такого перерізу представлено на рисунку 9.

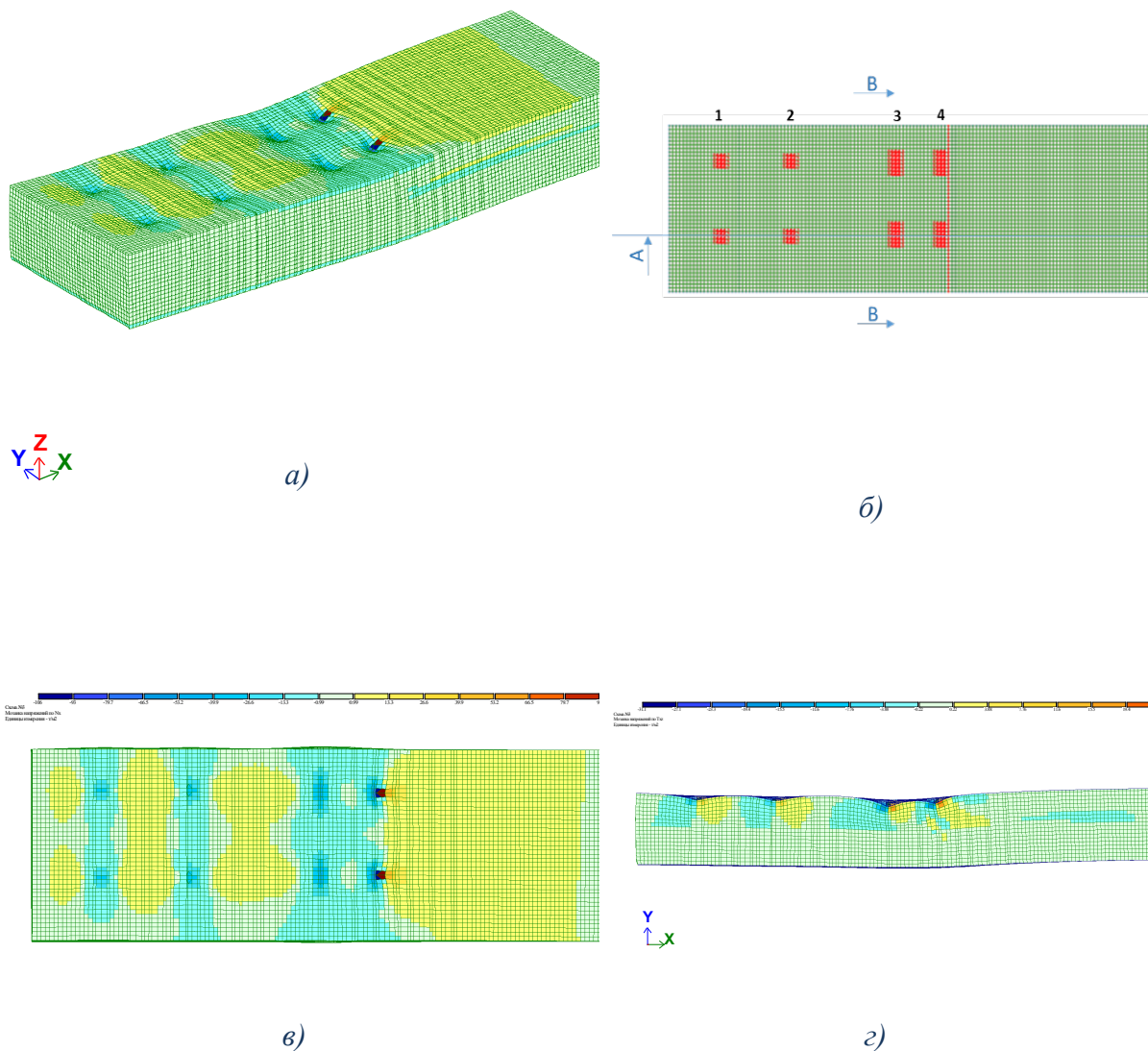


Рисунок 8. Моделі роботи дорожнього одягу розроблені в програмному комплексі ЛІРА САПР: а – загальний вигляд скінченно-елементної моделі (Мозаїка напружень по N_x , т/м^2); б – приклад поздовжнього розрізу (А) і поперечного розрізу (В) на схемі ізополів напружень по N_x (по осі X), що діють в запроектованій моделі (вид зверху); в – схема ізополів напружень по N_x (по осі X), що діють в запроектованій моделі; г – схема ізополів напружень по τ_{xz} на поздовжньому розрізі (А) розрахункової моделі

Для моделювання напруженого стану дорожнього одягу під дією рухомих транспортних навантажень використано метод скінчених елементів. Розрахунок виконаний в програмному комплексі Ліра САПР 2017.

Для розрахунку напруженого стану дорожнього одягу створено просторову кінцево-елементну модель, що дозволяє визначити напружено-деформований стан кожного елемента конструкції (рис. 8).

Об'ємні елементи ґрунту засипки і основи моделювали з допомогою KE271 – 276, що призначені для моделювання односторонньої роботи ґрунту на стиск з врахуванням зсуву та KE36.

Ґрунт основи та верхній шар а/б моделювався пластинчатими кінцевими елементами KE41 – універсальний прямокутний кінцевий елемент оболонки (рис. 9).

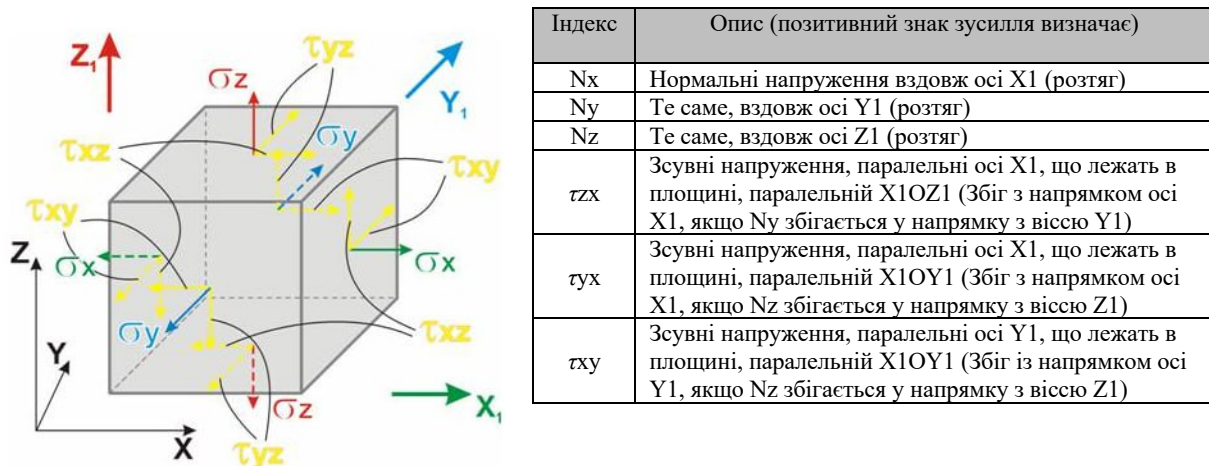


Рисунок 9. Зусилля (напруження) в просторовій скінченно-елементній моделі.

На основі проведеного числового аналізу (рис. 10 – 13) встановлено, що при дії горизонтальних транспортних навантажень, зокрема гальмування (рис. 1.б) на покриття поблизу границі з відбитком пневматика з протилежної сторони від напрямку їх дії виникають підвищені поверхневі горизонтальні нормальні напруження σ_n та вертикальні дотичні τ_r . Ці напруження в залежності від режиму руху транспортного засобу та конструкції дорожнього одягу можуть змінюватись в 1,2 – 2,0 рази по N_x , і в 3,6 рази по τ_{xy} .

Щодо нормальних напружень σ_x можна відзначити наступне. За результатами чисельного моделювання (рис. 10, 12) встановлено, що напруження σ_x мають знакозмінний характер в межах покриття. Тобто, в асфальтобетоні розвиваються процеси втоми, адже має місце послідовне виникнення розтягуючих і стискаючих напружень як на поверхні покриття так і в нижній його частині. Також, встановлено, що під час руху автомобіля напруження на поверхні покриття перед колесом та позаду колеса є розтягуючими. Разом з тим, в другому і третьому шарах отримані напруження стиснення (рис. 10, 12), що черговий раз підтверджує той факт, що більшості конструкцій дорожнього одягу капітального типу (з основою значної жорсткості) асфальтобетонні шари сприймають розтягуючі горизонтальні нормальні напруження у межах покриття.

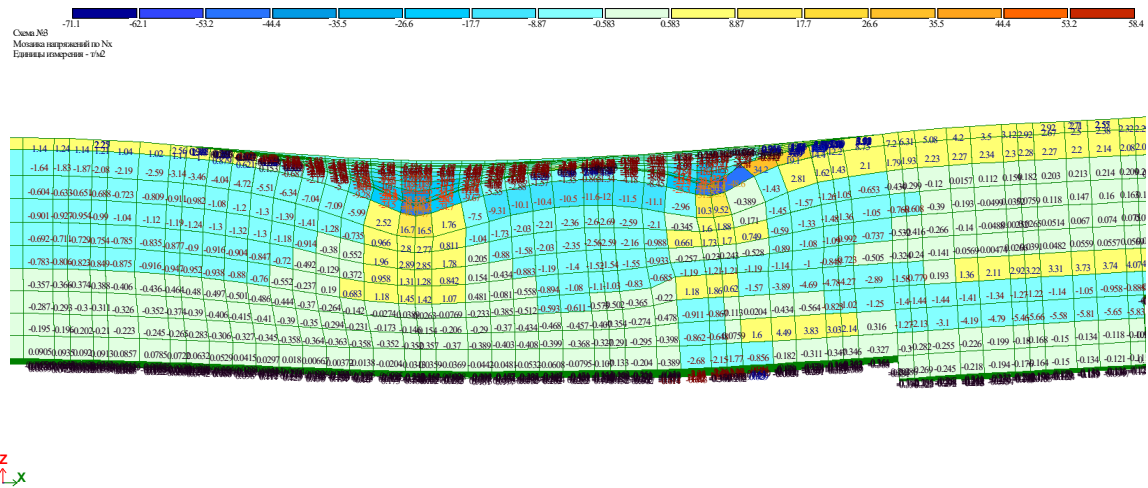


Рисунок 10. Напруження по N_x в асфальтобетонних при навантаженні 130 кН на вісь автомобіля без гальмування.

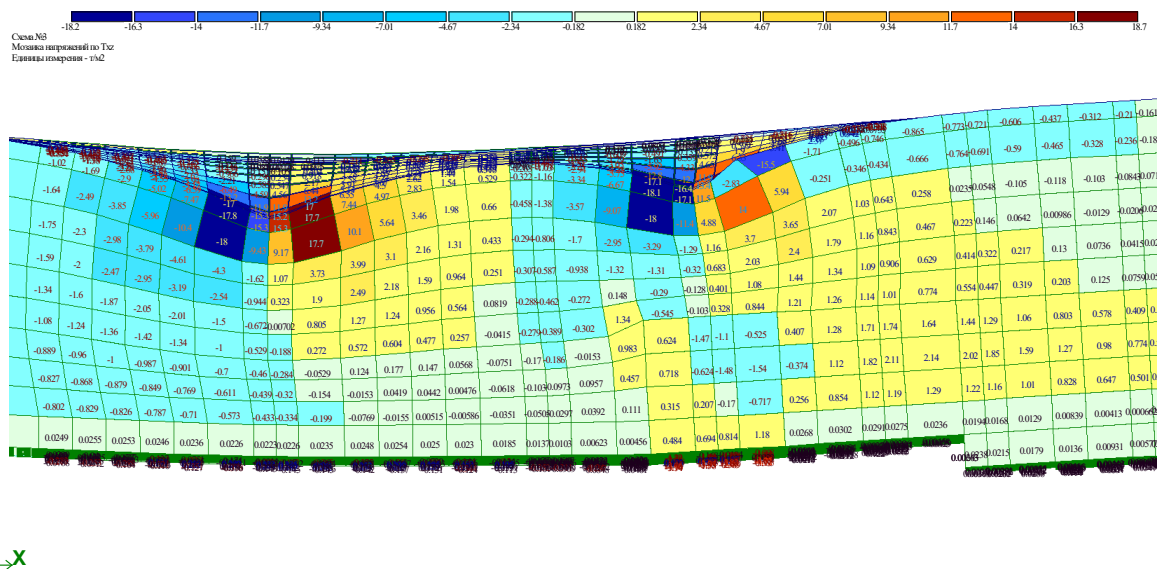


Рисунок 11. Напруження по τ_{xy} в асфальтобетонних при навантаженні 130 кН на вісь автомобіля без гальмування.

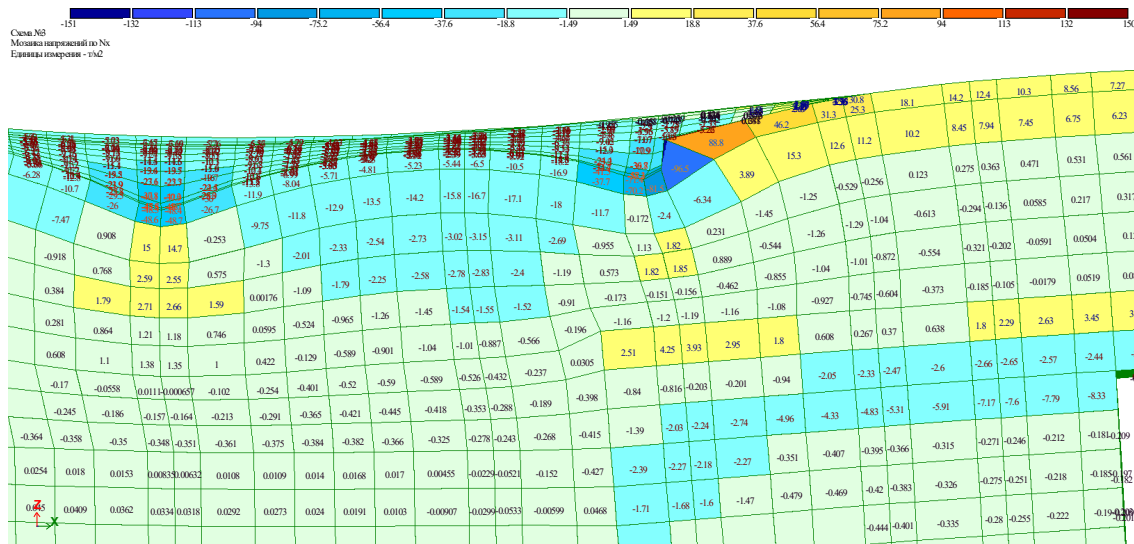


Рисунок 12. Напруження по N_x в асфальтобетонних шарах при навантаженні 130 кН на вісь автомобіля з гальмуванням.

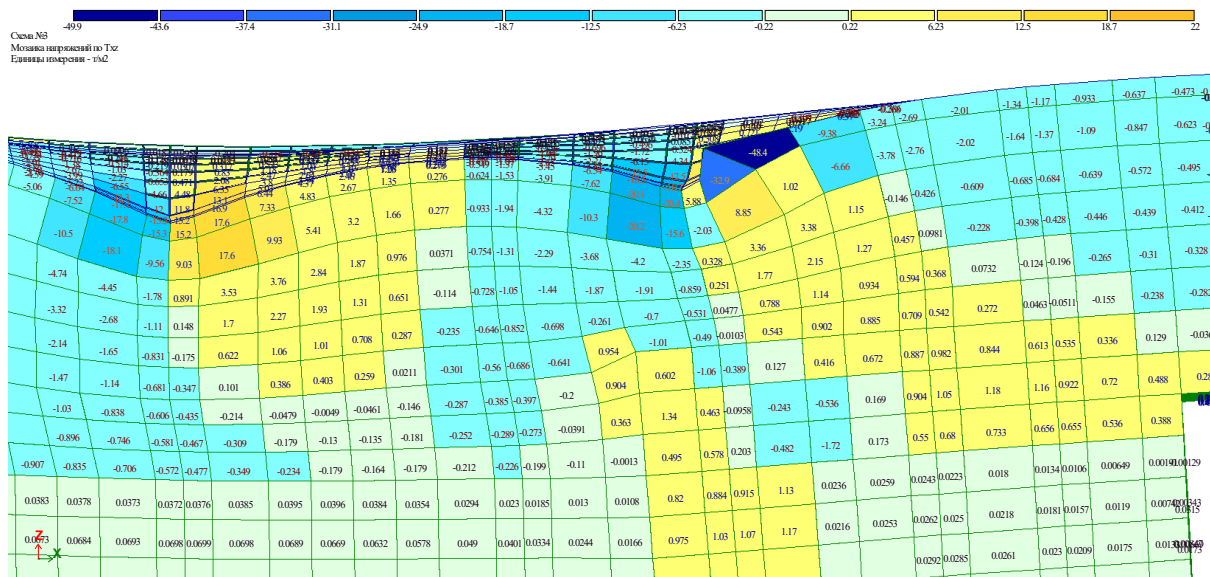


Рисунок 13. Напруження по τ_{xy} в асфальтобетонних шарах при навантаженні 130 кН на вісь автомобіля з гальмуванням.

Обговорення.

У різних дослідженнях показано характерне послідовне виникнення нормальних розтягуючих і стискаючих напружень як на поверхні покриття так і в нижній його частині (рис. 3, 9) [3 – 5, 8, 12]. Теоретично та експериментально було встановлено, що під час руху автомобіля напруження на поверхні покриття перед колесом та позаду колеса є розтягуючими. Було показано, що напруження, які виникають в розтягнутих зонах матеріалу, тим вище, чим більше прогин поверхні шару і менше розмір чаші прогину матеріалу. Характерно, що час дії напруження в асфальтобетонному покритті більший (приблизно у 1,5 – 2,0 рази), ніж час контакту самого пневматика транспортного засобу.

Висновки.

1. Аналіз літературних даних свідчить про те, що підвищення довговічності асфальтобетонного покриття автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, є актуальним при вирішенні питання забезпечення тривалої і надійної роботи покриття дорожнього одягу.

2. Існуючі конструктивні рішення не забезпечують потрібної зміни напружено-деформованого стану дорожнього одягу покриття та асфальтобетонних шарів на ділянках підйому і спуску автомобільних доріг. Вони не враховують більш жорсткий характер режиму навантаження від дії транспорту.

3. Аналіз умов експлуатації асфальтобетонного покриття на підйомах та спусках з точки зору режиму транспортного навантаження свідчить, що кожний вид його ділянки, у залежності від умов руху, сприймає різний спектр часу дії навантаження, як вертикального, так і горизонтального (при гальмуванні або зрушенні з місця транспортних засобів). Це зумовлено тим, що наприклад, мостові переходи, які часто перебувають в зоні підйомів (спусків) характеризуються підвищеною вірогідністю утворення заторів. Швидкість руху транспорту може змінюватись від швидкості вільного руху до повної його зупинки. Крім того, у таких умовах зупинки транспорту можуть бути, як короткостроковими, так і довготривалими.

4. Авторами запропоновано методику розрахунку дорожнього одягу, що дозволяє більш повноцінно прогнозувати напружено-деформований стан із урахуванням спільної дії горизонтальних нормальних (σ_n) та вертикальних дотичних (τ_r) напружень.

Також, методика дає можливість визначити величину розтягуючих напружень не лише у нижній частині покриття, а й на його поверхні. Це дозволяє більш точно прогнозувати довговічність покриття з урахуванням втомних процесів у асфальтобетоні.

5. Результати статті можуть бути впроваджені при проектуванні дорожнього одягу на ділянках з ускладненим дорожнім рухом в зоні підйому та спуску, зокрема перед штучними спорудами.

Подяки.

Автори даної статті висловлюють особливу подяку доктору технічних наук, професору, завідувачу кафедри вищої математики НТУ Валерію Івановичу Гуляєву, доценту Кафедри транспортного будівництва та управління майном, кандидату технічних наук, дійсному члену Транспортної академії України Володимирі Івановичу Каськову та головному спеціалісту ТОВ «Міжнародний проектний інститут» Анатолію Романовичу Бугері за наукові консультації, корисні критичні зауваження, сприяння і допомогу в проведенні досліджень.

Заяви про інтереси.

Дослідження проводились без фінансової підтримки. Автори підтверджують, що не використовували технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

REFERENCES

1. James W Van Loben Sels, David N. Wormley, Robert E. Skinner Settlement of Bridge Approaches (The Bump at the End of the Bridge). Synthesis of Highway Practice 234 NATIONAL ACADEMY PRESS. Washington, 1997. 154 https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_234.pdf.
2. Edward J. Hoppe, Ph.D., P.E. Senior Research Scientist. Guidelines for the use, design, and construction of bridge approach slabs. Virginia Transportation Research Council (A Cooperative Organization Sponsored Jointly by the Virginia Department of Transportation and the University of Virginia). Charlottesville. Virginia. 1999. https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/14228/dot_14228_DS1.pdf.
3. Мозговий В.В. Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів: монографія / В.В. Мозговий, В.І. Каськів, О.В. Кушнір, І.І. Гринчак – Київ: ТОВ «САК ЛТД» 2022 – 226 с.
4. Куцман О. М. Забезпечення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу: дис. канд. техн. наук : 05.22.11 / НТУ. К., 2020. 133 с. http://diser.ntu.edu.ua/Kutsman_aref.pdf.

5. Густелєв О. О. Підвищення довговічності нежорсткого дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті : дис. канд. техн. наук : 05.22.11. К., 2019 120 с http://diser.ntu.edu.ua/Gustieliev_DIS.pdf.
6. Ибрахим, Раванд Абдуллах. Анализ методов расчета деформаций нежестких дорожных одежд. Молодой ученый. 2016. № 30 (134). С. 75-83. URL: <https://moluch.ru/archive/134/37438/>.
7. Смирнов Г. А. Теория движения колёсных машин. М. : Машиностроение. 1981. 318 с URL: <https://ru.scribd.com/document/661837467/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F-%D0%94%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F-%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%81%D0%BD%D1%8B%D1%85-%D0%9C%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD-%D0%A1%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B2-%D0%93-%D0%90-1990>.
8. Кушнір О.В. Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів: дис. канд. техн. наук : 05.22.11 / НТУ. К., 2021. 151 с. http://diser.ntu.edu.ua/Kushnir_diser.pdf.
9. Ибрахим, Раванд Абдуллах. Анализ методов расчета деформаций нежестких дорожных одежд. Молодой ученый. 2016. № 30 (134). С. 75-83. URL: <https://moluch.ru/archive/134/37438/>.
10. Закин Я. Х. Прикладная теория движения автопоїзда. Монография : Изд-во «Транспорт». 1967. с. 252 156 URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/GenofondUA/38759>.
11. Moshenzhal, Andrey. (2017). PERFECTION OF DESIGNING PAVEMENT WITH CONSTRUCTION LAYERS FROM GRANULAR SOILS, REINFORCED BY GEOSYNTHETIC MATERIALS. 10.13140/RG.2.2.32049.61281. https://www.researchgate.net/publication/341370572_PERFECTION_OF_DESIGNING_PAVEMENT_WITH_CONSTRUCTION_LAYERS_FROM_GRANULAR_SOILS_REINFORCED_BY_GEOSYNTHETIC_MATERIALS
12. Левківська Л.В., Горбунович І.В., Елаллак Д.М. Аналіз факторів впливу на утворення тріщин в асфальтобетонних дорожніх покриттях. «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» Том 30 (69) Ч.2 № 6, 2019. С. 189 – 194. https://www.researchgate.net/publication/376606177_IMPROVING_THE_PERFORMANCE_CHARACTERISTICS_OF ASPHALT_CONCRETE_BY_REINFORCING ASPHALT_CONCRETE_MIXTURES SYNTHETIC_FIBERS.
13. Київ у п'ятницю застиг у заторах. Рух ускладнений на всіх мостах. Київ, 27 серпня 2021. <https://ukranews.com/ua/news/797494-kyiv-u-p-yatnytsyu-zastyg-u-zatorah-ruh-uskladnennyj-na-vsih-mostah>.
14. Баран С.А. Удосконалення проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону: дис. канд. техн. наук : 05.22.11 / НТУ. К., 2020. 220 с. http://diser.ntu.edu.ua/Baran_dis.pdf.
15. Бесараб О. М. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів з врахуванням часу дії навантаження: дис. канд. техн. наук : 05.22.11. Київ, 2003. 142 с. http://diser.ntu.edu.ua/Gustieliev_DIS.pdf.