

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУШНІР ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 625.85

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА
ПІДХОДАХ ДО АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ О. В. Кушнір

Науковий керівник –
Мозговий Володимир Васильович
доктор технічних наук,
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02
_____ О.Ю. Усиченко

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Кушнір О.В. Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостів та шляхопроводів.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми». (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Національний транспортний університет, Київ, 2021.

Актуальність роботи. Асфальтобетонне покриття нежорсткого дорожнього одягу є найбільш розповсюдженим на автомобільних дорогах, у тому числі на підходах до мостів. Однак особливості експлуатації асфальтобетонного покриття на підходах до мостів, що пов'язані з підвищенням інтенсивності руху транспортних засобів, зміною режиму їх руху (уповільнення, гальмування, зупинки, зрушення з місця та інше) викликають різний характер напружено-деформованого стану покриття. Ще однією особливістю експлуатації покриття є те, що одна половина покриття піддається впливу транспортних засобів, які рухаються на підйом при в'їзді на міст, а на другу половину асфальтобетонного покриття впливають транспортні засоби, що рухаються по спуску при з'їзді з мосту. Крім того асфальтобетонне покриття по всій довжині підходу до мосту опирається на основу, яка має різну конструкцію в межах заплавної частини, у межах насипу перед мостом та в межах перехідної плити. Відмічені особливості не ураховуються чинними нормативними документами при розрахунку асфальтобетонного покриття на міцність. Все це призводить до передчасного утворення різноманітних недопустимих деформацій і руйнувань, що впливає на зменшення терміну служби асфальтобетонного покриття на підходах до мостів та призводить до частих ремонтних утручань та погіршує безпеку руху і цим суттєво погіршує транспортне сполучення. До найбільш розповсюджених дефектів відноситься порушення суцільності асфальтобетонного покриття у вигляді поздовжніх та поперечних тріщин.

У першому розділі розглянуто питання щодо забезпечення довговічності нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостів.

Огляд літературних джерел стосовно експлуатаційного стану асфальтобетонного покриття підходів до мостів свідчить, що переважна більшість мостів, що експлуатуються і будуються в Україні, на підходах до мостів в зоні їх сполучення з насипом автомобільної дороги в дорожній конструкції мають перехідні плити. У цих місцях до основних дефектів і пошкоджень відносяться просідання та вимивання ґрунту у результаті утворення тріщин на асфальтобетонному покритті. Тріщини також спостерігаються на інших ділянках покриття підходів до мостів. Відмічається, що у багатьох випадках інтенсивне порушення суцільності асфальтобетонного покриття у вигляді тріщин, які згодом переходять у ямковість і вибоїни, спостерігається уздовж заплавної частини підходу до мосту.

Відмічено, що існуюча теоретична та нормативна база щодо влаштування підходів з перехідними плитами потребує удосконалення. В діючих нормативних документах на проектування і влаштування підходів до мосту не достатньо інформації для прийняття технічних рішень інженерами-проектантами на етапі нового будівництва, і щодо заглиблення перехідних плит і щодо конструкцій дорожніх одягів на них.

Показано, що виконані дослідження до цього часу не дозволили на єдиній методологічній основі враховувати умови експлуатації асфальтобетонного покриття на підходах до мостів для оцінювання його довговічності з урахуванням режиму руху транспорту та особливостей дорожньої конструкції з перехідною плитою в зоні сполучення насипу з мостом.

В другому розділі розроблено класифікацію умов роботи асфальтобетонного покриття на підходах до мостів з урахуванням вірогідності утворення заторів та різних умов водно-теплого режиму роботи всієї дорожньої конструкції по довжині підходів до мосту, що дає можливість детальніше виділити основні чинники з точки зору тріщиноутворення в покритті на різних ділянках.

Запропоновано розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття та методику визначення його напружено-деформованого стану при дії вертикального і горизонтального транспортного навантаження та коливання

температури, що дозволяє точніше враховувати дію впливових чинників та особливості дорожньої конструкції.

На основі застосування принципів Пальгрейна-Майнера та Бейлі розроблено математичну модель для опису граничного стану асфальтобетонного покриття для кожної характерної ділянки за умовами його експлуатації. Це дає можливість точніше оцінювати довговічність асфальтобетонного покриття з більш детальною диференціацією врахування дії основних чинників, що впливають на утворення тріщин в асфальтобетонному покритті.

У третьому розділі здійснено обґрунтований вибір методів встановлення розрахункових термо-реологічних та термо-механічних властивостей асфальтобетону для оцінки довговічності асфальтобетонного покриття: модуля пружності при різному часі дії навантаження; розрахункової міцності на розтяг при згині; показника втоми; функції релаксації та функція температурно-часового зміщення; функції довговічності; коефіцієнта лінійного температурного деформування; коефіцієнта температуропровідності.

Отримано апроксимаційні залежності характеристик від складу асфальтобетону.

Досліджено фізико-механічні та теплофізичні властивості безавтоклавного пінобетону. Здійснено проектування складу безавтоклавного пінобетону з підвищеними механічними та теплофізичними властивостями на підходах до автодорожніх мостів з метою забезпечення морозостійкості дорожнього одягу в заплавній частині, встановлено розрахункові термореологічні і термомеханічні характеристики. Його теплофізична ефективність у 2-3 рази перевищує традиційні матеріали, що застосовуються в основі дорожнього одягу.

Представлені результати натурних досліджень асфальтобетонного покриття на підходах до мостів.

За результатами дослідження довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостів на основі числових експериментів отримано наступне.

Встановлено, що при застосуванні типових рішень з перехідною плитою дорожньої конструкції підходу до мосту у зоні спряження насипу з мостовою спорудою незалежно від кута нахилу перехідної плити відбувається різке

збільшення вертикального прогину поверхні покриття на 20-40 %, коли транспортне навантаження розташовується поза перехідною плитою у порівнянні з його значенням у випадку транспортного навантаження у межах перехідної плити. Це спричиняє збільшенню розтягуючих поверхневих горизонтальних нормальних напружень σ_n та вертикальних дотичних τ_r , і призводить до зменшення довговічності покриття в 1,5-2 рази. Причому, ці напруження в покритті при наїзді на плиту виникають більші ніж при з'їзді з плити в 1,2 – 1,5 рази.

З'ясовано, що при дії горизонтальних транспортних навантажень (гальмування або зрушення з місця) на покриття поблизу границі з відбитком пневматика з протилежної сторони від напрямку їх дії виникають підвищені (до 5 % від руйнівного значення) поверхневі горизонтальні нормальні напруження та вертикальні дотичні.

Проведений аналіз впливу тривалості навантаження на міцність асфальтобетонного покриття з основами із матеріалів різної термо-реологічної чутливості свідчить, що для підвищення довговічності покриття підходів до мостів необхідно застосовувати матеріали III і IV типу термореологічної чутливості.

У четвертому розділі запропоновано методику розрахунку на довговічність асфальтобетонного покриття конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів, що базується на методології прогнозування терміну служби до порушення монолітності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів.

Описано удосконалення методики вимірювання прогинів на поверхні асфальтобетонного покриття, що полягає у необхідності проведення вимірювань у період часу доби, коли температура по глибині асфальтобетонних шарів відрізняється на більше ніж на 5 градусів. На основі аналізу температурного режиму асфальтобетонних шарів запропоновано рекомендовані такі періоди часу доби для різних сезонів року.

Запропоновано удосконалені принципи раціонального конструювання дорожнього одягу з урахуванням особливостей роботи асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів.

Впровадження в практику результатів досліджень було підтверджено відповідними довідками із таких організацій: Державне агентство автомобільних доріг України «Укравтодор»; ДП «ДерждорНДІ»; ДП «УКРДІПРОДОР», ТОВ «Міжнародний проектний інститут», ТОВ «Енергетичне дорожнє будівництво» та інших.

Результати досліджень знайшли своє впровадження в навчальному процесі НТУ на факультеті транспортного будівництва при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виробничих практик та написанні дипломних проектів та магістерських робіт.

Ключові слова: асфальтобетон, довговічність, дорожнє покриття, нежорсткий дорожній одяг, підхід до мосту, перехідна плита, натурні дослідження, термореологічні характеристики.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Kushnir O.V., Hamelak I.P., Raikovsky V.F. Design of a design of road clothes for transportation of heavy and large-sized freights by roads of Ukrain. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VIII(30), Issue: 244, P. 53-62. Budapest, 2020 Dec <https://doi.org/10.31174/SEND-NT2020-244VIII30-13>

Статті у фахових виданнях:

2. Кушнір О. В. Аналіз існуючих підходів проектування зон сполучення мостів з насипами. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2019. Вип. 106. С. 97-104.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/106/97.pdf

3. Кушнір О. В. Забезпечення довговічності дорожнього одягу на підходах до мостів з асфальтобетонним покриттям. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2020. Вип. 107. С. 63-70.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/107/63.pdf

4. Кушнір О. В. Солодкий С. Й. Особливості напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2020. Вип. 108. С. 46-58.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/108/46.pdf

5. Кушнір О. В., Коваль П. М., Боднар Л. П., Панібратець Л. Г. Робота асфальтобетонного покриття в зоні примикання деформаційних швів на автодорожніх мостах. *Дороги і мости*. Київ, 2015. Вип. 15. С. 87-93. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/robota-asfalytobetonno-go-pokrittya-v-zoni-primikannya-deformaciynih-shviv-na-avtodoroghnih-mostah>

6. Коваль П.М., Кушнір О.В., Мартинов В.І. Методика проектування складів пінобетону з необхідними властивостями на підставі експериментально-статистичних моделей. *Дороги і мости*. Київ, 2008. Вип. 10. С. 130-136. URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/%D0%A1%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_10.pdf

7. Мартинов В.І., Фаль А.Є., Кушнір О.В. Пінобетон для будівництва основ дорожніх одягів. *Вісник*. Одеса, 2007. Вип. №27 С. 219-224 (с. 375).

8. Мартинов В.І., Коваль П.М., Кушнір О.В. Вплив водопотреби розчинної суміші та щільності пінобетону на його міцність. *Вісник*. Одеса, 2008. Вип. №31 С. 229-237. (с. 407).

9. Коваль П.М., Кушнір О. В., Фаль А.Є. Перспективи застосування пінобетону в дорожньому і мостовому будівництві. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2006. Вип. 73. С. 148-151.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

10. Кушнір О.В., Коваль П.М., Фаль А.Є. Перспективи застосування пінобетону в дорожньому будівництві. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: збірн. наук. праць. Вип. 14. Рівне. 2006. С. 64-67.

11. Кушнір О.В., Коваль П.М., Фаль А.Є., Мартинов В.І. Пінобетон для дорожнього будівництва. *Компьютерное материаловедение и прогрессивные технологии*. Одеса. 2008. С. 204-207 (с. 227).

12. Кушнір О.В. Забезпечення довговічності дорожнього одягу на підходах до мостів з асфальтобетонним покриттям. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету Національного транспортного університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2020. С. 193.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. Кушнір О.В., Катукова В.М., Кулак Є.М. Моніторинг нових технологій і матеріалів для ремонту і утримання автомобільних доріг. *Дороги і мости*: зб. наук праць. Київ, 2010. Вип. 12. С. 74-80. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/monitoring-novih-tehnologiy-i-materialiv-dlya-remontu-i-utrimannya-avtomobilnyh-dorig>

14. Кушнір О.В., Катукова В.М., Закерничний О.В. Інформаційні технології в системі моніторингу сучасних технологій і матеріалів. *Автомобільні дороги*. Київ. 2012. Вип. № 4 С. 25-30.

15. Кушнір О.В., Катукова В.М. Інновації в дорожньому господарстві України. *Дороги і мости*. Київ. 2014. Вип. 14 С. 21-27.

URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2014_14_5

16. Кушнір О.В., Гончаренко В.В., Рудий В.В. Сучасні умови застосування чорного щебеню в шарах нежорстких дорожніх одягів. *Дороги і мости*. Київ, 2014. Вип. 14. С. 5-14. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2014_14_3

17. Кушнір О.В., Гончаренко В.В., Катукова В.М., Оксень Є.І. Моніторинг ефективності застосування нових матеріалів і технологій при реконструкції автомобільних доріг. *Автошляховик України*: наук.-виробн. журнал. Київ. 2015. № 6. С. 20-23. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2015_6_7

18. Кушнір О.В., Катукова В.М. Інновації в дорожньому господарстві України. *Дороги і мости*: зб. наук праць. Київ, 2015. Вип. 14 С. 21-28.
URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2014_14_5

ABSTRACT

Kushnir O.V. Increasing the durability of asphalt pavement on approaches to bridges and overpasses. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.22.11 "Highways and airfields". (192 - Construction and Civil Engineering). - National Transport University, Kyiv, 2020.

Relevance of work. Asphalt pavement of non-rigid pavement is most common on highways, including approaches to bridges. However, the peculiarities of the operation of asphalt pavement on approaches to bridges, which are associated with increased traffic, changes in their mode of movement (deceleration, braking, stopping, displacement, etc.) cause a different nature of the stress-strain state of the pavement. Another feature of the operation of the pavement is that one half of the pavement is affected by vehicles moving on the rise at the entrance to the bridge, and the other half of the asphalt pavement is affected by vehicles moving on the descent when exiting the bridge. In addition, the asphalt pavement along the entire length of the approach to the bridge rests on a base that has a different structure within the floodplain, within the embankment in front of the bridge and within the transition slab. These features are not taken into account by current regulations when calculating the strength of asphalt pavement. All this leads to the premature formation of various unacceptable deformations and damage, which reduces the service life of the asphalt pavement on the approaches to the bridges and leads to frequent repairs and impairs traffic safety and thus significantly impairs transport links. The most common defects are violations of the integrity of the asphalt pavement in the form of longitudinal and transverse cracks.

The first section discusses the issue of ensuring the durability of non-rigid pavement on approaches to bridges.

A review of the literature on the operational condition of asphalt pavement approaches to bridges shows that the vast majority of bridges operated and built in Ukraine, on the approaches to bridges in the area of their connection with the embankment of the road in the road structure have transition plates. In these places, the

main defects and damages include subsidence and leaching of the soil as a result of the formation of cracks on the asphalt pavement. Cracks are also observed in other areas of the bridge approaches. It is noted that in many cases, an intensive violation of the integrity of the asphalt pavement in the form of cracks, which later turn into potholes and potholes, is observed along the floodplain of the approach to the bridge.

It is noted that the existing theoretical and regulatory framework for the arrangement of approaches with transition plates needs to be improved. There is not enough information in the current regulations for the design and installation of approaches to the bridge for technical decisions by design engineers at the stage of new construction, and on the deepening of transition slabs and on the construction of pavements on them.

It is shown that research to date has not allowed to take into account the conditions of operation of asphalt pavement on approaches to bridges on a single methodological basis to assess its durability, taking into account the peculiarities of transport and road construction of the transition zone of the combined embankment to the bridge.

The second section develops the classification of conditions of asphalt pavement on approaches to bridges, taking into account the probability of congestion and different conditions of water-thermal mode of the entire road structure along the length of approaches to the bridge, which allows to identify the main factors in terms of cracking plots.

The calculated schemes of asphalt pavement operation and the method of determining its stress-strain state under the action of vertical and horizontal transport load and temperature fluctuations are proposed, which allows to take into account the influence of influential factors and features of the road structure.

Based on the application of the principles of Palgrain-Miner and Bailey, a mathematical model was developed to describe the limit state of the asphalt pavement for each characteristic area under the conditions of its operation. This makes it possible to more accurately assess the durability of the asphalt pavement with a more detailed differentiation taking into account the action of the main factors influencing the formation of cracks in the asphalt pavement.

In the third section, a reasonable choice of methods for establishing the calculated thermo-rheological and thermo-mechanical properties of asphalt concrete to assess the durability of asphalt pavement: modulus of elasticity at different load times; design tensile strength in bending; fatigue rate; relaxation functions and temperature-time shift function; durability functions; coefficient of linear temperature deformation; coefficient of thermal conductivity.

Approximation dependences of characteristics on the composition of asphalt concrete are obtained.

Physico-mechanical and thermophysical properties of autoclaved foam concrete have been studied. The design of the composition of autoclave-free foam concrete with high mechanical and thermophysical properties on the approaches to road bridges in order to ensure frost resistance of pavement in the floodplain, the calculated thermoreological and thermomechanical characteristics. Its thermophysical efficiency is 2-3 times higher than traditional materials used in the basis of pavement.

The results of field research of asphalt pavement on approaches to bridges are presented.

According to the results of the study of the durability of asphalt pavement on the approaches to the bridges on the basis of numerical experiments, the following was obtained.

It is established that when applying standard solutions with a transition slab of the road structure of the approach to the bridge in the area of conjugation of the embankment with the bridge structure, regardless of the angle of the transition slab, there is a sharp increase in vertical deflection of the surface by 20-40%. with its value in the case of transport load within the transition plate. This causes an increase in tensile surface horizontal normal stresses σ_n and vertical tangents τ_r , and leads to a decrease in the durability of the coating by 1.5-2 times. Moreover, these stresses in the coating when hitting the plate are greater than when leaving the plate in 1.2 - 1.5 times.

It was found that when exposed to horizontal transport loads (braking or displacement) on the surface near the boundary with the imprint of the tire on the opposite side of the direction of their action there are increased (up to 5% of destructive value) surface horizontal normal stresses and vertical tangents.

Analysis of the effect of load duration on the strength of asphalt pavement with bases of materials of different thermoreological sensitivity shows that to increase the durability of the coating approaches to bridges it is necessary to use materials of thermoreological sensitivity III and IV types.

The fourth section proposes a method for calculating the durability of asphalt pavement structures of non-rigid pavement on approaches to road bridges, based on the methodology of forecasting the service life before breaking the monolithicity of asphalt pavement on approaches to road bridges.

The improvement of the method of measuring deflections on the surface of the asphalt pavement is described, which consists in the need to carry out measurements during the time of day when the temperature at the depth of the asphalt concrete layers differs by more than 5 degrees. Based on the analysis of the temperature regime of asphalt concrete layers, the recommended such time periods of the day for different seasons of the year are proposed.

Improved principles of rational design of road pavement are offered taking into account features of work of an asphalt pavement on approaches to road bridges.

The implementation of the research results was confirmed by the relevant certificates from the following organizations: State Agency of Roads of Ukraine "Ukravtodor"; State Enterprise "DerzdorNDI"; SE "UKRDIPRODOR", LLC "International Design Institute", LLC "Energy Road Construction" and others.

The research results were implemented in the educational process of NTU at the Faculty of Transport Construction during lectures, practical classes, internships and writing diploma projects and master's theses.

Key words: asphalt concrete, durability, pavement, non-rigid pavement, approach to the bridge, transition slab, field research, thermoreological characteristics.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Kushnir O.V., Hamelak I.P., Raikovsky V.F. Design of a design of road clothes for transportation of heavy and large-sized freights by roads of Ukrain. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VIII(30), Issue: 244*, P. 53-62. Budapest, 2020 Dec <https://doi.org/10.31174/SEND-NT2020-244VIII30-13>

Статті у фахових виданнях:

2. Кушнір О. В. Аналіз існуючих підходів проектування зон сполучення мостів з насипами. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2019. Вип. 106. С. 97-104.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/106/97.pdf

3. Кушнір О. В. Забезпечення довговічності дорожнього одягу на підходах до мостів з асфальтобетонним покриттям. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2020. Вип. 107. С. 63-70.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/107/63.pdf

4. Кушнір О. В. Солодкий С. Й. Особливості напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2020. Вип. 108. С. 46-58.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/108/46.pdf

5. Кушнір О. В., Коваль П. М., Боднар Л. П., Панібратець Л. Г. Робота асфальтобетонного покриття в зоні примикання деформаційних швів на автодорожніх мостах. *Дороги і мости*. Київ, 2015. Вип. 15. С. 87-93. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/robota-asfalytobetonno-pokrittya-v-zoni-primikannya-deformaciynih-shviv-na-avtodoroghnih-mostah>

6. Коваль П.М., Кушнір О.В., Мартинов В.І. Методика проектування складів пінобетону з необхідними властивостями на підставі експериментально-статистичних моделей. *Дороги і мости*. Київ, 2008. Вип. 10. С. 130-136. URL:

http://dorogimosti.org.ua/files/upload/%D0%A1%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_10.pdf

7. Мартинов В.І., Фаль А.Є., Кушнір О.В. Пінобетон для будівництва основ дорожніх одягів. *Вісник. Одеса*, 2007. Вип. №27 С. 219-224 (с. 375).

8. Мартинов В.І., Коваль П.М., Кушнір О.В. Вплив водопотреби розчинної суміші та щільності пінобетону на його міцність. *Вісник. Одеса*, 2008. Вип. №31 С. 229-237. (с. 407).

9. Коваль П.М., Кушнір О. В., Фаль А.Є. Перспективи застосування пінобетону в дорожньому і мостовому будівництві. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2006. Вип. 73. С. 148-151.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

10. Кушнір О.В., Коваль П.М., Фаль А.Є. Перспективи застосування пінобетону в дорожньому будівництві. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: збірн. наук. праць. Вип. 14. Рівне. 2006. С. 64-67.

11. Кушнір О.В., Коваль П.М., Фаль А.Є., Мартинов В.І. Пінобетон для дорожнього будівництва. *Компьютерное материаловедение и прогрессивные технологии*. Одеса. 2008. С. 204-207 (с. 227).

12. Кушнір О.В. Забезпечення довговічності дорожнього одягу на підходах до мостів з асфальтобетонним покриттям. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету Національного транспортного університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2020. С. 193.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. Кушнір О.В., Катукіна В.М., Кулак Є.М. Моніторинг нових технологій і матеріалів для ремонту і утримання автомобільних доріг. *Дороги і мости*: зб. наук праць. Київ, 2010. Вип. 12. С. 74-80. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/monitoring-novih-tehnologiy-i-materialiv-dlya-remontu-i-utrimannya-avtomobilnyh-dorig>

14. Кушнір О.В., Катукова В.М., Закерничний О.В. Інформаційні технології в системі моніторингу сучасних технологій і матеріалів. *Автомобільні дороги*. Київ. 2012. Вип. № 4 С. 25-30.

15. Кушнір О.В., Катукова В.М. Інновації в дорожньому господарстві України. *Дороги і мости*. Київ. 2014. Вип. 14 С. 21-27.

URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2014_14_5

16. Кушнір О.В., Гончаренко В.В., Рудий В.В. Сучасні умови застосування чорного щебеню в шарах нежорстких дорожніх одягів. *Дороги і мости*. Київ, 2014. Вип. 14. С. 5-14. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2014_14_3

17. Кушнір О.В., Гончаренко В.В., Катукова В.М., Оксень Є.І. Моніторинг ефективності застосування нових матеріалів і технологій при реконструкції автомобільних доріг. *Автошляховик України: наук.-виробн. журнал*. Київ. 2015. № 6. С. 20-23. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2015_6_7

18. Кушнір О.В., Катукова В.М. Інновації в дорожньому господарстві України. *Дороги і мости: зб. наук праць*. Київ, 2015. Вип. 14 С. 21-28. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2014_14_5

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ	
НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ НА ПІДХОДАХ ДО МОСТІВ	26
1.1 Аналіз існуючих розробок щодо дорожніх конструкцій на підходах до мостів.....	26
1.2 Особливості експлуатації асфальтобетонного покриття дорожнього одягу на підходах до мостів	30
1.3 Існуючі методи оцінки довговічності дорожнього одягу	37
1.4 Висновки до розділу 1	44
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ	
ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ	
НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ НА ПІДХОДАХ ДО МОСТІВ	46
2.1 Умови роботи асфальтобетонного покриття на підходах до мостів	46
2.2 Розрахункові схеми та аналітичні залежності для оцінювання довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостів	50
2.3 Умови забезпечення довговічності асфальтобетонного покриття на ділянці	51
2.4 Розрахункові схеми для визначення напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження та коливання температури	54
2.5 Висновки до розділу 2	66
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО	
ПОКРИТТЯ НА ПІДХОДАХ ДО АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ	68
3.1 Аналітичний аналіз відомих досліджень стосовно фактичного стану асфальтобетонного покриття на підходах до мостів.....	68

3.2 Встановлення розрахункових термо-реологічних та термо-механічних властивостей асфальтобетону для оцінки довговічності асфальтобетонного покриття	69
3.3 Дослідження фізико-механічних та теплофізичних властивостей безавтоклавного пінобетону	80
3.4 Натурні дослідження асфальтобетонного покриття на підходах до мостів	90
3.5 Дослідження довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостів на основі числового аналізу	94
3.6 Висновки до розділу 3	116
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	118
4.1 Методика розрахунку на довговічність асфальтобетонного покриття конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів	118
4.2 Застосування результатів досліджень при виконанні обстежень та польових вимірювань	121
4.3 Рекомендації підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на мостових переходах різних об'єктів на основі натурних обстежень	125
4.4. Соціально-економічна ефективність дисертаційних досліджень	145
4.5 Висновки по розділу 4	147
ВИСНОВКИ	149
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	152
ДОДАТОК А. Схеми конструкцій сполучення мосту з насипом автомобільної дороги	167
ДОДАТОК Б. Результати чисельного аналізу для вирішення задач напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу	175
ДОДАТОК В. Дані завантаженості транспортним рухом підходів до автодорожніх мостів	203
ДОДАТОК Г. Результати випробування асфальтобетону та асфальтобетонних сумішей	209

ДОДАТОК Д. Розрахунок складу пінобетону	234
ДОДАТОК Е. Температурний режим асфальтобетонного покриття та методика визначення параметрів функції релаксації	244
ДОДАТОК Ж. Довідки про впровадження результатів розробок	254
ДОДАТОК З. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	266

ВСТУП

Актуальність теми.

Успішна експлуатація таких стратегічно важливих об'єктів як мостові переходи залежить від стану покриття дорожнього полотна, як на самих мостах, так і на підходах до них. Відомо, що на підходах до мостів є найбільш поширеними нежорсткі дорожні одяги з асфальтобетонним покриттям.

Існуюча практика експлуатації асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів свідчить, що інженерні рішення, які традиційно застосовуються, не забезпечують необхідної довговічності покриття. Найбільш поширеними дефектами, що стають першопричиною зменшення довговічності всього дорожнього одягу є тріщини, що порушують суцільність покриття, зменшують його розподільчу здатність та є місцем концентрації напружень. З їх появою інтенсивно розвиваються такі дефекти як ямковість, вибоїни, просадки, колія. Все це суттєво погіршує експлуатаційний стан, впливає на комфортність та безпеку руху транспортних засобів, призводить до непередбачених значних матеріальних та енергетичних витрат у результаті частого виконання ремонтних робіт, що значно погіршують транспортне сполучення, є причиною заторів та суттєвого зменшення пропускної здатності мостових переходів.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – підвищення довговічності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові результати роботи одержані в процесі виконання науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор», в рамках виконання господарсько-договірних науково-дослідних робіт: «Провести дослідження, удосконалити методику визначення зчеплення між асфальтобетонними шарами нежорсткого дорожнього одягу та експериментальний зразок приладу для його визначення», (номер державної реєстрації 0119U101525); «Провести моніторинг дослідних ділянок

автомобільних доріг, побудованих за наукоємними технологіями та з використанням нових матеріалів» (номер державної реєстрації 0108U004029); «Розробити методику визначення ділянок автомобільних доріг, що значно знижують несучу здатність в розрахунковий період» (номер державної реєстрації 0108U004929); «Провести моніторинг дослідних ділянок автомобільних доріг, побудованих за наукоємними технологіями та з використанням нових матеріалів» (номер державної реєстрації 0109U006228); «Розробити доповнення та зміни до ДСТУ Б В.2.7-119-2003 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний» з врахуванням зауважень виробників, накопиченого досвіду використання ДСТУ та сучасного стану виробництва» (номер державної реєстрації 0109U004461); «Створити і заповнити електронну аналітичну базу для збору та зберігання даних моніторингу нових технологій та матеріалів» (номер державної реєстрації 0111U007308) «Провести дослідження та розробити методику випробування захисних та відновлюючих складів для асфальтобетонних покриттів (технологія просочення асфальтобетону)» (номер державної реєстрації 0112U004899); «Провести дослідження та розробити пропозиції щодо адаптації вимог EN 12697-30 та EN 12697-35 у національних стандартах на випробування дорожніх асфальтобетонів» (номер державної реєстрації 0114U003578); «Розробити зміну до ДСТУ Б В.2.7-127:2006. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові» (номер державної реєстрації 0112U004355); «Аналіз та формування попередніх даних щодо чинних термінів у стандартах, словниках та інш. технічній документації, що стосується автомобільних доріг, визначень понять, що становитимуть об'єкт стандартизації. Розробка ДСТУ «Автомобільні дороги. Терміни та визначення» (номер державної реєстрації 0110U007009); «Переглянути ТУ У В.2.7-45.2-00018112-208-2002 «Суміші литі емульсійно-мінеральні та холодні асфальтобетонні. Технічні умови» та розробити на їх заміну СОУ» (номер державної реєстрації 0113U005442); «Провести дослідження та розробити галузевий стандарт на технічні умови на чорний щебінь для дорожніх робіт» (номер державної реєстрації 0114U006229); «Дослідити сучасні дорожньо-будівельні матеріали для влаштування асфальтобетонних покриттів та розробити рекомендації з

ефективного їх використання в конструкціях дорожнього одягу» (номер державної реєстрації 0112U004900).

Мета і задачі досліджень. Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів з урахуванням особливостей його роботи в характерних зонах.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- провести аналіз існуючих досліджень щодо довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів;
- розробити розрахункові схеми асфальтобетонного покриття на підходах до мостів з урахуванням умов його роботи;
- удосконалити метод розрахунку на довговічність асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів;
- провести дослідження впливу різних факторів на довговічність дорожнього покриття на підходах до автодорожніх мостів;
- розробити методику розрахунку на довговічність дорожнього покриття на підходах до автодорожніх мостів та розробити практичні заходи для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів.

Об'єкт дослідження – асфальтобетонне покриття конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів.

Предмет дослідження – довговічність асфальтобетонного покриття в конструкціях нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів.

Методи дослідження – аналітичні з використанням положень теорій теплопровідності, пружності, термов'язкопружності та кінетичної теорії міцності твердих тіл, а також експериментальні з використанням стандартних та спеціальних методів випробування дорожньо-будівельних матеріалів та конструкцій дорожніх одягів.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблено класифікацію умов роботи асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів;
- вперше розроблено математичні моделі для опису граничного стану асфальтобетонного покриття з урахуванням умов його роботи на підходах до автодорожніх мостів;
- отримав подальший розвиток метод проектування складу безавтоклавного пінобетону заданих механічних та теплофізичних властивостей на підходах до автодорожніх мостів.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблено методику прогнозування терміну служби до порушення монолітності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів;
- удосконалено методику вимірювання прогинів на поверхні асфальтобетонного покриття;
- отримало подальший розвиток застосування принципів раціонального конструювання асфальтобетонних шарів покриття з урахуванням особливостей роботи асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів.

Особистий внесок здобувача.

Отримані автором результати теоретичних та експериментальних досліджень, які виносяться на захист, відображені в публікаціях, що оприлюднені у фахових виданнях та виданнях іноземних держав. У публікаціях [2-5] автором розглядаються особливості роботи асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу в зоні сполучення мосту і насипу на прикладі розгляду найбільш типових конструктивних рішень. В статтях [4, 5] розглянуто просторову скінченно-елементну модель, яка дозволяє визначати напружено-деформований стан кожного елемента конструкції при різному розташуванні транспортного навантаження по відношенню до розташування перехідної плити. Проведено кількісно-якісний аналіз деформацій, переміщень і напружень в асфальтобетонних шарах конструкції нежорсткого дорожнього одягу, який виявив певні обставини, що можуть впливати на передчасне утворення в них тріщин. Це пов'язано з різкою зміною параметрів напружено-деформованого

стану над перехідною плитою по відношенню до їх зміни в асфальтобетонних шарах поза межами перехідної плити і обумовлене явищем «квазиклавішного ефекту», що пояснює утворення відповідних дефектів і призводить до зменшення довговічності конструкцій нежорсткого дорожнього одягу.

Автором сформульовано основні чинники, які впливають на напружено-деформований стан нежорсткого дорожнього одягу; вивчено вплив термореологічних процесів на міцність і довговічність асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу [1-18]; обґрунтовано критерії оцінювання довговічності асфальтобетонних шарів покриття нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів [2-6]. За результатами досліджень [4] було розроблено методику розрахунку асфальтобетонних покриттів підвищеної довговічності на опір від розтягування при вигині, методику розрахунку асфальтобетонних шарів покриття нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях семінарах та вебінарах: «Полімери та гума. Матеріали для улаштування і ремонту автомобільних доріг. Геополімерні та геосинтетичні будівельні матеріали», 10 лютого 2005 р., Київ, Україна; «Міжнародний Форум з будівництва та експлуатації автомобільних доріг і мостів «АВТОДОРЕКСПО», 2012-2020 рр., Київ, Україна; «Актуальні питання проектування автомобільних доріг загального користування», 2012, Харків Україна; «Форумі європейських національних дорожніх дослідницьких лабораторій FENRL. В межах проекту «INCRIS», ДП «ДерждорНДІ», 23-25 січня 2013 р., м. Київ, Україна; «Покращення конструктивних, технологічних та експлуатаційних показників автомобільних доріг і штучних споруд на них в дослідженнях студентів і молодих науковців», 17-18 травня 2014 р., м. Харків, Україна; «Сучасні матеріали та технології при новому будівництві, реконструкції та ремонтах автомобільних доріг загального користування», 26 травня 2016 р., м. Київ, Україна; «Особливості проектування автомобільних доріг загального користування: проблеми та задачі», 17-18 травня 2018 р., м. Харків,

Україна; «Модифікація бітумів та асфальтобетонів –ефективний напрямок підвищення довговічності автомобільних доріг» 13 вересня 2018 р., м. Київ, Україна; «Актуальні питання проектування автомобільних доріг загального користування», 12-13.05.2019 р., м. Запоріжжя, Україна; науково-практичного семінару "Актуальні проблеми ремонтів та утримання мостів", 11-12 вересня 2019 р., м. Одеса; «Зимове утримання. Матеріали і технології для нежорстких дорожніх одягів», 2020 р., м. Київ, Україна; «Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», 23-25 вересня 2020 р., Львів, Україна; «LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету», 2020 р., Київ, Україна.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладено у 18 публікаціях: з них 1 стаття у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, 8 статей у фахових виданнях, 3 праці апробаційного характеру, 6 праць, які додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел зі 145 найменування та вісім додатків. Основний текст викладений на 151 сторінках. Текст ілюструється 43 рисунками і містить 14 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ НА ПІДХОДАХ ДО МОСТІВ

1.1 Аналіз існуючих розробок щодо дорожніх конструкцій на підходах до мостів

Зазвичай на підходах до мостів передбачають дорожні конструкції, як для автомобільних доріг або вулиць населених пунктів і їх проектують за чинними нормативними документами (ДБН В.2.3-4, ДБН В.2.3-5, ГБН В.2.3-37641918-559). Але дорожня конструкція і її режим роботи в місці сполучення насипу і мосту має суттєву відмінність [1-19].

Згідно існуючої практики та чинних нормативних документів в класичному розумінні, конструкція сполучення мостової споруди з насипом на підходах до мостів включає в себе: влаштування дренажної засипки в межах конусу і за опорами; укладання залізобетонних перехідних плит довжиною 2, 4, 6 або 8 м в межах проїзної частини; смуг безпеки; тротуарних плит завдовжки 2 м; зміцнення узбіч; системи відведення води з мостової споруди, влаштування сходових спусків; влаштування на сполученні конструкції дорожнього одягу, яка повинна бути однаковою з конструкцією проїзної частини автомобільної дороги, що підходить до мосту.

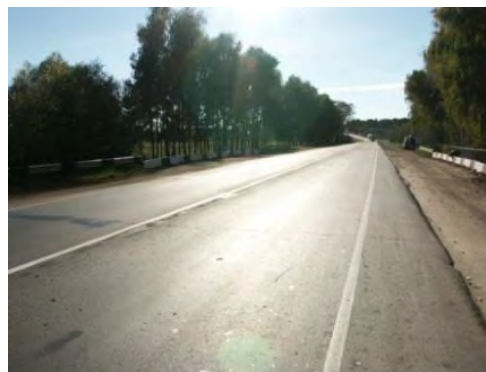
Влаштування залізобетонних перехідних плит є досить простий і ефективний спосіб забезпечення рівності в місцях сполучення мосту з насипом. Таке рішення набуло широкого використання в Україні з 70-х років минулого століття після впровадження рекомендацій, розроблених в ДерждорНДІ [1-3]. Застосування перехідних плит забезпечує плавний перехід від конструкції насипу підходу до більш жорсткої конструкції прогонової будови мосту. Дослідження ефективності використання перехідних плит [1, 3, 6] дозволило зробити ряд удосконалень і розробити ряд нормативних документів (ВСН 5-78 «Инструкция по проектированию и строительству автодорожных мостов и путепроводов»; СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы») і типових рішень [11, 12]. У

той же час слід відмітити, що в діючих нормативах [4-5] не достатньо інформації для прийняття технічних рішень інженерами-проектантами на етапі нового будівництва та капітального ремонту. Деякі рішення, зокрема, щодо заглиблення перехідної плити виглядають не достатньо обґрунтованими. Вимоги щодо конструкції дорожнього одягу в зоні перехідних плит не враховують особливості кліматичних змін та параметри сучасних транспортних навантажень [1, 7] і є застарілими. Водночас з'явилися нові матеріали, конструкції і технології та нормативи на них, використовується сучасна будівельна техніка [8-10]. Все вище згадане прямо вказує на факт недосконалості конструктивних рішень, щодо сполучення мостів з насипами підходів. На практиці в місцях сполучення мостових споруд з насипами підходів у процесі їх експлуатації виникають різні види дефектів, що значно погіршують безпеку руху та знижують довговічність мостів, а також конструкції дорожнього одягу у зоні спряження [2, 3, 6, 13-16].

До основних видів дефектів відносять просадки ґрунту підходів (рис. 1.а) у результаті тріщиноутворення в асфальтобетонному покритті (рис. 1.б), розмиви ґрунту (рис. 1.в), протікання води (рис. 1.1.г). Частково ця проблема вирішується влаштуванням перехідних залізобетонних плит (рис. 1) і деформаційних швів для компенсації температурних переміщень [13, 16]. Незважаючи на це, на багатьох об'єктах у процесі експлуатації у результаті втрати суцільності спостерігаються розмиви ґрунту під перехідними плитами, протікання води по шафовим стінкам опор, намокають торці балок, що викликає корозійні процеси в бетоні і арматурі (рис. 1.1.г) [3]. У зоні сполучення з насипом можливі просадки перед спорудою, вимивання ґрунту з-під перехідних плит. У самій конструкції сполучення може відбуватися зсув перехідних плит, їх часткове або повне руйнування. Такі фактори пов'язані з недоліками конструктивних рішень ділянок сполучення стоянів мостів з ґрунтовими насипами автомобільних доріг. Тріщини в покритті проїзної частини, за стоянами, обумовлені кутовими і лінійними переміщеннями, які виникають від дії навантажень. Осідання ґрунту за стоянами мостів обумовлене різною жорсткістю основи і ґрунту насипу підходів, покладеного і ущільненого під час будівництва споруди.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.1 – Приклади деформацій і руйнувань в зоні спряження дорожніх конструкцій з мостами: а – просідання насипу на підходах перед опорою мосту на а/д М-12, км 253+930; б – вид на проїзну частину моста на а/д М-12, км 265+903 в напрямку Вінниці; в – розмиви ґрунту; г – вигин стійки опори по осі через тиск старої перехідною плити та протікання води

Сезонні і добові коливання температури також сприяють зміні горизонтального тиску ґрунту на стояни. Таким чином, постійна структурна зміна насипного ґрунту в зоні сполучення з насипу і стояна, може призвести до утворення дефектів в тілі стоянів і зниження стійкості їх положення. Через утворюються просідань ґрунту змінюється розрахункова модель перехідної плити, що може привести до її пошкоджень або навіть руйнування. Деформації покриття в цих місцях можуть впливати на водіїв в великих межах, починаючи від комфортності і закінчуючи безпекою [1, 6, 17]. Реально, на практиці встановлено, що застосування перехідних плит не є запорукою нормативної поздовжньої рівності дорожнього покриття [14, 17]. В деяких випадках

перехідна плита виконує задачу забезпечення поздовжньої рівності в місці опирання на берегову опору, але є питання щодо якості покриття на її другому кінці. Отже, урегулювання нахилу чи вимог до перехідної плити може бути визначено, як збільшення довговічності проїзної частини на підходах до автодорожніх мостів.

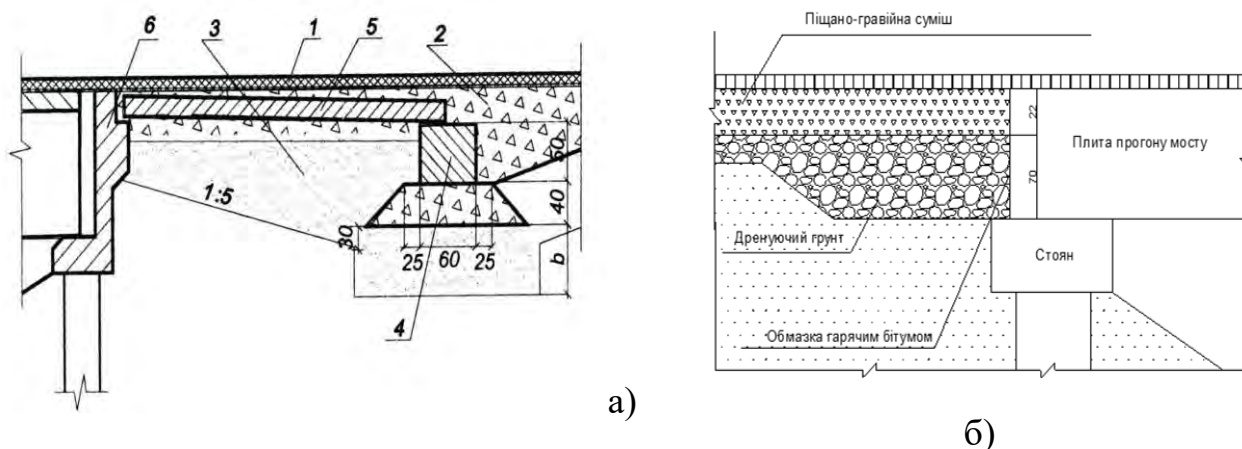
В багатьох літературних джерелах відмічається, що деформації біля підходу до мосту є загальною проблемою, яка спостерігається на багатьох мостах у всьому світі. Одна з основних проблем полягає у встановленні рівня пошкодження, яке потребує необхідних ремонтних заходів [13-17]. За останні 50 років виникало багато технічних рішень [2, 6, 15, 17], спрямованих на зниження зазначених недоліків (Додаток А). Але, не всі рішення знайшли застосування на практиці, вони так і залишилися незатребуваними проектувальниками і будівельниками через відсутність експериментальної перевірки їх ефективності.

Конструкції вузлів сполучення прогонової будови транспортної споруди і насипу підходу до неї (рис. 1.2.б), пройшли великий шлях вдосконалення. Перші прототипи сучасних конструкцій сполучення були розроблені в 30-х роках минулого століття (рис. 1.2.а).

За кордоном набувають широкого розповсюдження технічні рішення, які перемістили вузол сполучення перехідної плити за шафову частину стояна, забезпечуючи об'єднання плити з прогоною будовою (Додаток А) у вигляді так званих інтегральних стоянів [18]. Переміщення інтегрального стояна в одну і іншу сторону залежать від сезонної зміни температури, яке, в загальному випадку, носить синусоїдальний характер. На переміщення стояна будуть також впливати повзучість і усадка бетону несучих конструкцій мосту.

Застосування інтегральних стоянів обмежене загальною довжиною прогонової будови. Згідно з даними щодо побудованих за кордоном інтегральних шляхопроводів та мостів, така довжина для залізобетонних конструкцій не перевищує 50 м, що зазвичай достатньо для шляхопроводів над автомобільними дорогами і великого числа міських вулиць. Через недостатню кількість статистичних даних особливостей роботи інтегральних мостів під навантаженням не запроектовано і не побудовано поки косих і криволінійних

інтегральних шляхопроводів. Також в літературі [18-22] зустрічаються рекомендації щодо неприпустимості інтегральних систем для косих мостів.



1 – асфальтобетон; 2 – щебінь; 3 – пісок; 4 – лежень; 5 – перехідна плита;
6 – шафова стінка стояна

Рисунок 1.2 – Конструкції сполучення мосту з насипом: а – сучасна з асфальтобетонним покриттям і напівзаглибленою перехідною плитою;

б – конструкція сполучення 30-х років 20-го століття

1.2 Особливості експлуатації асфальтобетонного покриття дорожнього одягу на підходах до мостів

Слід звернути увагу на те, що майже на всіх рівнинних річках та гірських річках, крім ділянок з порогами й водоспадами та вузьких ущелин утворюється заплави. Не рідко ці заплави присутні біля насипу підходу автомобільної споруди до мосту. Часто, на етапі проектування цим місцям і конструкції дорожнього одягу та асфальтобетонному покриттю, зокрема, не наділяють належної уваги. А про важливість ретельного обстеження і прийняття обґрунтованих рішень говориться в багатьох підручниках по проектуванню, зокрема [23]. На таких ділянках існує небезпека пучиноутворення. Тож у весняний період виникає необхідність зменшити навантаження на автошляхи. Недотримання перевізниками вимог щодо перевезення вантажу з допустимими навантаженнями на дорогу значно зменшує довговічність асфальтобетонного покриття. Наприклад, на весні 2018 пучиноутворення на дорожньому одязі

автошляхів загальнодержавного користування Чернігівщини призвело до термінових робіт з ліквідації його наслідків та обмеження руху вантажного транспорту автошляхами області на 6 діб.

Умови експлуатації асфальтобетонного покриття на підходах до мостів, як і всього дорожнього одягу визначаються геометричними параметрами автомобільних доріг, параметрами транспортних навантажень та параметрами кліматичних умов.

В процесі експлуатації автомобільної дороги всі конструктивні шари дорожньої конструкції відчують комплекс транспортних навантажень, дію температури, водонасичення-висушування, заморожування-відтавання і інших зовнішніх факторів, в результаті чого формуються напруги різної величини і знака. Найбільш істотним є комплекс впливів, що складається з погодно-кліматичних факторів і динамічного навантаження від автотранспорту. Особливістю навантаження від транспортних засобів є те, що напруження, що виникають в матеріалах дорожнього покриття, можуть і не перевищувати критичних значень, проте при багаторазовому додатку динамічних механічних навантажень в асфальтобетоні розвиваються втомні процеси. Це призводить до поступового накопичення дефектів структури матеріалу і утворення тріщин втоми з наступним руйнуванням дорожнього покриття [24-32].

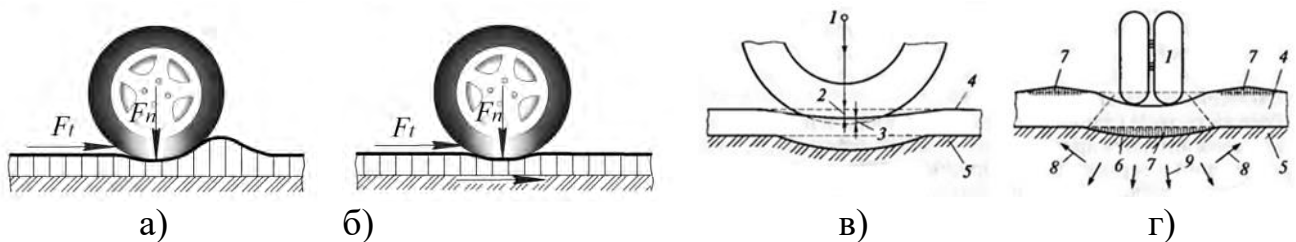
Дія автомобілів на дорожнє покриття призводить до виникнення вертикальної (стискаючої) і двох горизонтальних напружень [33, 34]. Величина і характеристики поздовжньої і поперечної дотичних напружень істотно залежать від режиму руху. Виникаючі в дорожній конструкції горизонтальні напруження обумовлені тяговою силою, яка додається до ведучих коліс автомобіля, і досягають максимуму при високих швидкостях руху на підйомах, гальмуванні і розгоні. Поперечні дотичні напруження виникають від дії відцентрової сили при русі автомобіля по криволінійній траєкторії - по кривим в плані, під час обгону, при наявності поперечного ухилу. Вертикальні і дотичні сили, що передаються від коліс на дорожню конструкцію, мають динамічний характер [33-37].

В роботах [35-37] встановлено, що на відміну від статичного навантаження при якому спостерігаються в основному вертикальні напруження великої

величини, в наслідок динамічних навантажень в асфальтобетоні виникають два види напружень: вертикальні τ і горизонтальні σ .

Дотичні напруження τ від зсуваючої сили F_t викликають переміщення матеріалу покриття паралельно руху автомобіля і утворення поперечних хвиль (рис. 1.3.а) [37-45]. Дотичні напруження τ від дії нормальної сили F_n викликають переміщення асфальтобетону як в сторони, перпендикулярні напрямку руху, так і по напрямку руху. При дії нормальної сили F_n колесо, накочуючись на поперечну хвилю, усуває її. При цьому деформації в поперечному напрямку з кожним проходом автомобіля накопичуються.

В роботах [37-45] розглянуто механізм роботи асфальтобетонного покриття (рис. 1.3). 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 1.3 – Характер деформацій дорожнього покриття під дією нормальної F_n і зсуваючої F_t сил з боку колеса автомобіля [37]: 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 призводить до зсуву покриття відносно основи (рис 1.3.б). Характерно, що розглянуті вище деформації є джерелом таких видів руйнування, як тріщини втоми [37].

Якщо розглядати вантажний автомобіль з причепом, в процесі руху на колеса (транспортного засобу) діє цілий ряд зовнішніх сил [38-40]. До них

відносяться (рис.1.4.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 підводиться потужність до головних коліс, спрямована у бік руху, а інші, вищезгадані сили, спрямовані проти руху. Сили P_B і P'_B , що складають сили ваги G_a і G_{np} , можуть бути спрямовані як у бік руху (рис.1.4.в), так і проти (рис.1.4.б), в залежності від руху транспортного засобу – на підйомі або під ухил.

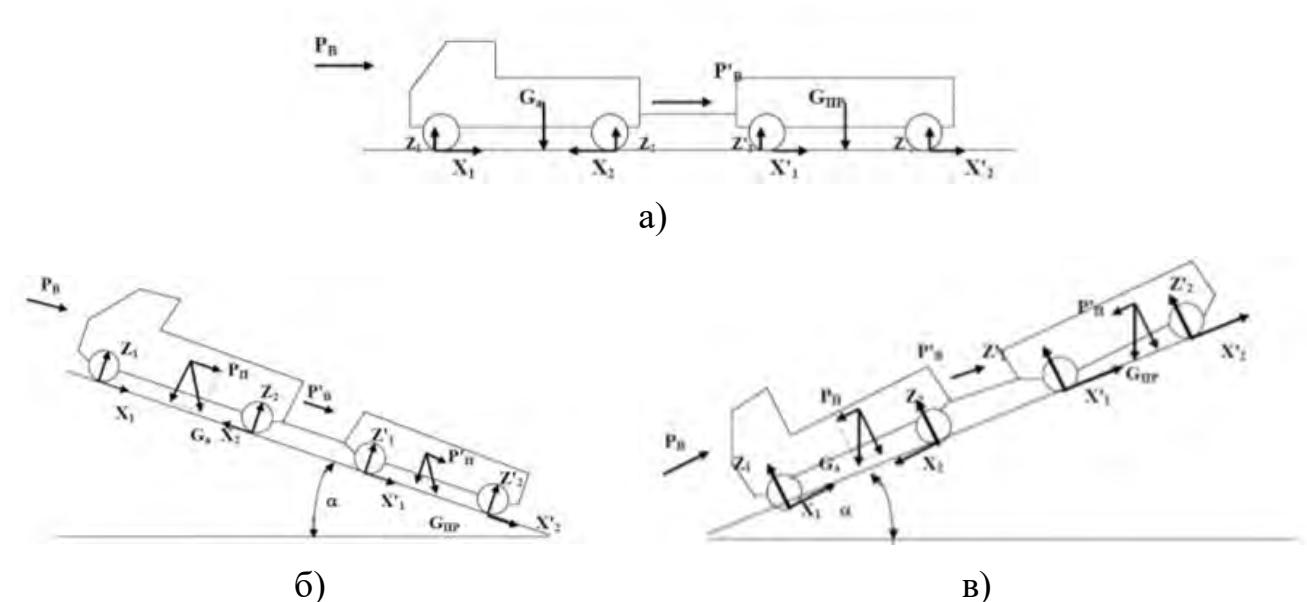


Рисунок 1.4 – Зовнішні сили, що діють на рухомий склад: а) на горизонтальній дорозі; б) на підйомі; в) на спуску.

Також відомо, що при русі автомобіля його колеса можуть котитися в трьох режимах: тяговий, ведений і гальмівний, а також перебувати в нейтральному й вільному режимах [38].

Науковою школою професора О.М. Кривіського встановлено, що напруження в верхніх частинах покриття починають рости ще до того, як рухається навантаження (колесо автомобіля) і встане вертикально над

необхідною точкою [37, 38]. При цьому характерне послідовне виникнення розтягуючих і стискаючих напружень (рис. 1.3.а, 1.5) [41-47].

А. Г. Малофєєв експериментально підтвердив, що під час руху автомобіля напруження перед колесом мають негативне значення (тобто є розтягуючими). При цьому була зафіксована деформація покриття, що має форму згинаючої хвилі що біжить. Показано, що максимальна амплітуда прогину знаходиться під центром навантаження, тобто під колесом автомобіля [41].

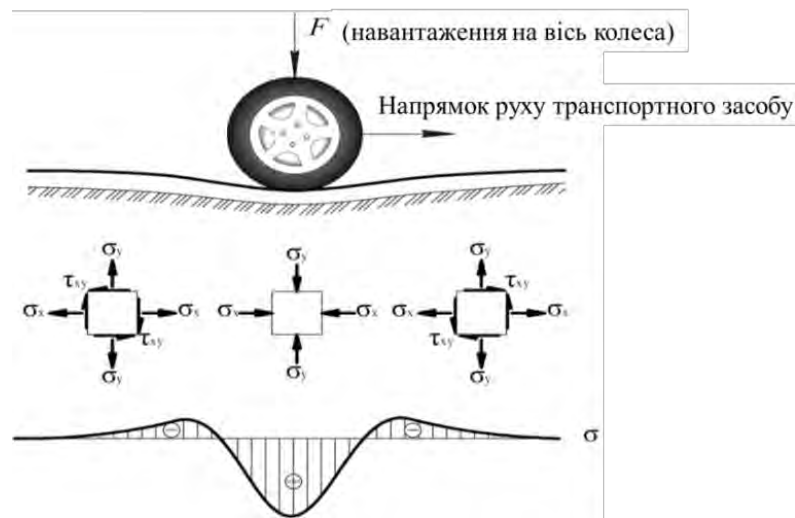


Рисунок 1.5 – Розподіл розтягуючих (стискаючих) напружень в асфальтобетонному покритті при наїзді колеса автомобіля [37].

В роботах [44, 45] показано характер зміни розтягуючих і стискаючих напружень в залежності від глибини залягання тензометричних датчиків. Встановлено, що датчик, розташований на поверхні покриття, при проїзді вантажного автомобіля ЗІЛ-130, реєструє знакозмінні напруження (розтяг – стиск – розтяг), а датчик, розташований між шаром покриття і шаром основи, реєструє напруження практично одного знаку (стиснення) (рис. 1.6). Характерно, що час дії напруження в асфальтобетоні дещо вище (приблизно в 1,5 - 2 рази), ніж час дії самого транспортного навантаження та становить: на покритті - 0,4 - 0,45 с, в шарах основи - 0,2 - 0,3 с.

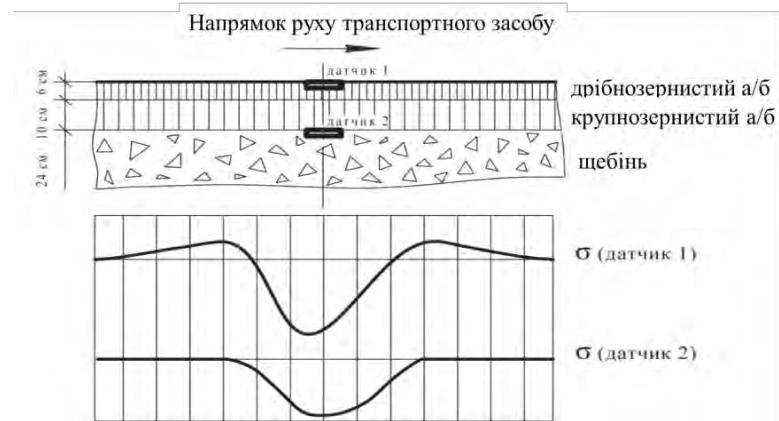


Рисунок 1.6 – Схема розташування датчиків по глибині конструкції і записи зміни напруження (σ) в шарах дорожнього одягу з осцилографа [44]

Ці дані були підтверджені в роботах В. М. Смірнова, Г. С. Бахраха, Б. С. Радовського та інших дослідників [25, 44, 45]. Було показано, що напруження, які виникають в розтягнутих зонах матеріалу, тим вище, чим більше прогин поверхні шару і менше розмір чаші прогину матеріалу [42-44].

Незважаючи на виникнення найбільших розтягуючих напружень при згині в нижній точці розглянутого 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) починається в верхніх, хоча і менш навантажених фібрах [43].

Ступінь динамічного впливу автомобілів на дорожній одяг можна встановити за величиною кутів перелому мікропрофілю за допомогою графіка [135]. А економічну ефективність виконаних ремонтних робіт оцінюють по величині зниження швидкостей руху автомобілів до виконання ремонту і після [135].

Особливість експлуатації асфальтобетонного покриття дорожнього одягу на підходах до мостів полягає в тому, що існуючі конструктивні рішення з перехідними плитами не забезпечують повною мірою плавності зміни напружено-деформаційного стану асфальтобетонного покриття та дорожнього одягу в цілому [3, 17, 18]. Зокрема, у нижніх шарах основи під асфальтобетонними шарами покриття, вертикальні нормальні напруження на 20-40 % більші коли вісь транспортного засобу знаходиться над перехідною плитою

у порівнянні з тим розташуванням навантаження коли вісь знаходиться поза межами плити [3, 49]. А, як відомо, суттєве стрибкоподібне збільшення розтягуючих напружень в асфальтобетонних шарах поза плитою впливає на зменшення довговічності за критерієм міцності на розтяг при згині в 1,5-2 рази [46].

Крім цього підхід до мосту це не тільки зона роботи перехідної плити, також це зона високого насипу та зона заплави, тобто насипу з постійним надмірним зволоженням і тривалим затопленням, як поверхневими, так і підтопленням ґрунтовими водами. Вид та стан конструктивних шарів дорожнього одягу та розташованих під ним підстилаючих ґрунтів земляного полотна, а також особливості руху транспорту суттєво впливають на довговічність асфальтобетонного покриття та дорожнього одягу в цілому.

Ще однією характеристикою, що впливає на довговічність асфальтобетонного покриття на підході до автомобільного мосту є режиму руху транспортних засобів, тобто їх кількість і швидкість. Відомо, що найменша різниця між встановленими обмеженнями швидкості та експлуатаційною швидкістю спостерігається на ділянках доріг, конструктивні та технічні рішення, а також довкілля, яке спонукає водіїв рухатись повільніше: габарити мостів та шляхопроводів, бар'єрне та пішохідне огородження, влаштування бортового каменю на краю проїзної частини, висадження дерев тощо [40, 50-53].

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 [53].

Вивчення питань довговічності асфальтобетону в покритті нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мосту, вимагає розгляду особливостей умов роботи на різних ділянках, характеру напружено-деформованого стану асфальтобетону, а також можливих дефектів і руйнувань покриття [24, 29, 44-48, 52-70].

1.3 Існуючі методи оцінки довговічності дорожнього одягу

Багаторічний вітчизняний та світовий досвід експлуатації автомобільних доріг показує, що спільний вплив механічних навантажень від дії транспорту та погодно-кліматичних факторів зменшує строк служби дорожніх одягів. І одна з основних причин, що призводить до цього, це передчасне руйнування асфальтобетонного покриття.

Дослідження дорожнього покриття, показують, що причина руйнування дорожньої конструкції полягає в повторних згинальних зусиллях. Руйнування асфальтобетону (від втоми) залежить, головним чином, від навантаження на вісь колеса і швидкості транспортного засобу, конструкції дорожнього одягу, і температури навколишнього середовища.

Останні десятиліття в Україні дослідження в області руйнування нежорстких дорожніх одягів від втоми з урахуванням динамічного руху автомобілів дуже актуальні. Основна задача цих досліджень – найбільш повно вивчити закономірності роботи дорожніх конструкцій в реальних умовах експлуатації та розробка науково обґрунтованої методики встановлення характеристик динамічного руху транспортного потоку, що дозволять істотно підвищити довговічність запроектованого дорожнього одягу і забезпечити економічний ефект.

Прийнято вважати, що вітчизняний досвід вивчення довговічності починається з 1940-х років, тоді під керівництвом професора Н. Н. Іванова вперше стали проводитися дослідження втомної довговічності дорожніх покриттів. Було встановлено, що зростання тріщин на дорожньому покритті залежить від інтенсивності руху транспортних засобів [58].

Американські дослідники також прийшли до висновку, що на величину допустимих прогинів дорожнього покриття під рухомим складом коліс впливає кількість проїздів автомобілів. Встановлено, що тріщини на дорожньому покритті, розвиваються внаслідок втомних процесів в матеріалах конструктивних шарів дорожнього одягу, за умови, якщо навантаження повторювалися кілька мільйонів раз [71, 72].

Характерно, що утворення тріщин і руйнування дорожніх покриттів в основному викликані багаторазовим прогином верхніх шарів дорожнього одягу, а не деформацією їх основи [52-55].

Вивченню роботи асфальтобетону під дією рухомих навантажень присвячені роботи Г. С. Бахраха, В. А. Золотарьова, Н. Н. Іванова, С. К. Іліополова, Б. І. Ладигіна, Б. С. Радовського, А.В. Руденського, В. М. Смірнова, Е. В. Кутового, Б. Телтаєва, їх учнів і послідовників [24-30, 52-70].

В останні роки пропонується для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття застосовувати комплексні заходи за рахунок раціонального конструювання дорожнього одягу та направленою регулювання властивостей матеріалів [64]. Конструкційні заходи пов'язані зі змінами принципів конструювання і розрахунку дорожніх одягів, а також методик вибору матеріалів для влаштування конкретних конструктивних шарів. Матеріалознавчі підходи засновані на вдосконаленні структури і властивостей традиційних матеріалів шляхом оптимізації складу, вибору в'язучих, а також технології одержання. Ці підходи передбачають також розробку нових матеріалів і технологій, що забезпечують підвищення надійності і довговічності.

Оцінити довговічність матеріалу за часом його життя під навантаженням означає наблизити критерій оцінки до реальних умов його роботи [24, 30, 56, 57]. Крім того, часовий характер критерію оцінки властивостей матеріалів забезпечує високу його чутливість і взаємозв'язок зі станом, структурою матеріалів і особливостями їх складів. Саме з цим пов'язано бурхливий розвиток з початку 40-х років минулого століття реології, [65], яка вивчає деформації і властивості у взаємозв'язку з умовами деформування тіл. Реологічні підходи дозволяють зрозуміти сутність механізмів деформування, текучості, пластичності, повзучості широкого кола тіл. Вони безпосередньо застосовані до бітумів, які, затверділи.

Відомо [65-79], що підвищення довговічності асфальтобетонних шарів дорожніх одягів можливо досягти створенням такої структури асфальтобетону, яка була б стійкою до впливу зовнішніх експлуатаційних факторів. Підвищення довговічності дорожніх одягів нежорсткого типу можливо досягти при умові використання об'єктивних критеріїв для прогнозування роботи асфальтобетонів

у покриттях. При цьому властивості асфальтобетонів в покриттях дорожніх одягів значно залежать від температури [42, 45-47, 80-85, 86, 87]. Встановлено, що при зростанні температури міцність асфальтобетону у покритті знижується, а пластичність збільшується. В жаркі періоди року в асфальтобетонному покритті під дією руху транспортних засобів можливе виникнення значних за величиною зсувних напружень, які викликають утворення напливів, колії по смугах накату і гребінки на ділянках гальмування.

Становленню технологій підвищення довговічності асфальтових бетонів в шарах дорожніх одягів сприяли роботи багатьох вітчизняних та закордонних вчених. Так А. Я. Грибковим, А.В. Карлсоном, М.І. Волковим, Н.Ф. Почапським та іншими дослідниками експериментально встановлено [27, 65-79], що властивості індивідуальних компонентів асфальтобетонної суміші суттєво впливають на структуру асфальтобетону і, відповідно, його властивості та довговічність.

Телтаєвим Б.Б. і Радовским Б.С. [75] були досліджені різні характеристики в'язко-пружних властивостей бітуму: повзучість, модуль релаксації, динамічний модуль, а також модуль жорсткості, і було показано, що вони взаємопов'язані. Вони визначали модуль жорсткості бітуму через його penetрацію і температуру розм'якшення, спираючись на експериментальні дані Ван дер Поля, причому запропонованим ними шляхом можна обробити і інші аналогічні експериментальні дані.

Багато досліджень авторів пов'язано з такою характеристикою в'язко-пружних властивостей як модуль релаксації. Метою дослідників було знайти модуль релаксації бітуму через його модуль жорсткості, а також через penetрацію і температуру розм'якшення бітуму. Вони отримали формули для чисельного та аналітичного визначення модуля релаксації і комплексного модуля бітуму виходячи з його модуля жорсткості; показали, як знайти модуль релаксації з результатів визначення динамічного модуля при випробуванні періодичної навантаженням і порівняти значення різних модулів, що має важливе значення для проведення коректного розрахунку дорожнього одягу.

Г. С. Бахрах, при дослідженні режимів руху транспортних засобів з позиції оцінки втомної довговічності, зазначив, що зі збільшенням інтенсивності руху і,

отже, зростанням циклів прикладання навантаження на покриття, зі збільшенням навантаження на вісь автомобіля відбувається прискорене накопичення пошкоджень втоми [25]. При щільному транспортному потоці розтягуючі напруження в нижній частині покриття не встигають повністю релаксувати до чергового проїзду. В результаті збільшується перебування покриття в напруженому стані, що веде до зменшення терміну служби асфальтобетонного покриття.

Б. С. Радовським виконані випробування дорожніх покриттів на круговому стенді ДерждорНДІ [45]. За результатами досліджень розроблена методика оцінки вантажопропускної здатності різних видів дорожніх одягів, яка ґрунтувалася на аналізі багаторазового впливу, що чиниться на покриття короткочасних циклічних навантажень від колеса автомобіля при швидкості 30 км/год. Вплив колеса, що проходить на різних відстанях через переріз що розглядався і викликають в шарах конструкції напруження різної величини, порівнювали з результатами лабораторних випробувань на втому під дією різних циклічних навантажень.

Встановлено, що чаша прогину зі збільшенням швидкості стає менш глибокою і набуває більш пологої форми. Характерно, що при будь-якій швидкості руху напружено-деформований стан шаруватої в'язко-пружної конструкції є несиметричним щодо центру прикладання навантаження, що рухається. Доведено, що максимальний прогин виникає позаду центру навантаженого майданчика, а не під центром, тобто максимальний прогин запізнюється по відношенню до навантаження, що прикладається. Згинальні напруження по «підшві» асфальтобетонного шару з ростом швидкості збільшується, а відносна деформація зменшується. Також відзначено вплив на напружено-деформований стан асфальтобетонного покриття амплітуди і частоти коливань рухомого навантаження. [45-47, 58].

А. В. Руденським встановлено, що швидкість деформування надає суттєвий вплив на характеристики довговічності втоми покриття. Він показав, що тривалість транспортного навантаження в середньому становить 0,05 – 0,4 с [59].

Відзначено, що при русі автопоїздів зі швидкістю руху 50 км/год і відстанями між осями напівпричепів до 6 м, частота впливу на асфальтобетон становить 2,5 Гц, а тривалість навантаження - 0,4 с. При русі вантажних автомобілів зі спареними задніми колесами (відстань між осями 1,2 - 1,4 м) тривалість навантаження зменшується до 0,1 с [60].

У ряді робіт [45, 47, 61] показано, що тривалість дії вантажних автомобілів в межах чаші прогину становить 0,1 - 0,6 с. Відзначено, що час дії рухомого автомобіля на поверхню дорожнього одягу в кожній точці (t_n) залежить від швидкості руху (v_{cp}), яка визначається за методикою А. П. Васильєва [77], і довжини чаші прогину у напрямку руху автомобіля (l_{np}), і може бути визначена за формулою:

$$t_n = \frac{l_{np}}{v_{cp}}. \quad (1.1)$$

Дослідження, виконані в МАДІ, дозволили встановити для доріг І і II технічних категорій середню тривалість дії навантаження і «періоди відпочинку» – 0,1 і 0,9 с, відповідно для доріг III категорії – 0,16 і 1,3 с відповідно [78].

Результати випробувань дорожніх одягів короточасним навантаженням на автомобільних дорогах дозволили встановити середній розрахунковий прогин асфальтобетонного покриття під одиничним навантаженням в залежності від категорії дороги. Для I категорії прогин склав 0,423 мм, для II – 0,575 мм, для III – 190,722 мм. При цьому наголошується, що довжина чаші прогину на дорожньому покритті може доходити до 3,0 м [78].

В роботі [44] показано, що при експлуатаційних швидкостях руху автомобілів (в 70-ті роки – 70 км/год) тривалість навантаження нежорстких дорожніх одягів становить 0,05 – 0,14 с, що відповідає частоті навантаження 7 – 20 Гц.

На основі отриманих експериментальних даних на різних типах дорожніх одягів із закладенням вібродатчиків в шари основи встановлено, що спектр коливань дорожніх одягів, внаслідок нерівностей покриття, має неоднорідну

структуру. При цьому частота коливань змінюється в діапазоні від 15 до 22 Гц при швидкості руху автомобіля 60 км/год [89].

А. О. Саль, аналізуючи деформування покриттів, визначив, що швидкість навантаження покриття при русі вантажного автомобіля з розрахунковою швидкістю 70 км/год становить 10 - 40 МПа с⁻¹, а час навантаження – в середньому 0,1 - 0,2 с [60].

На думку В. А. Золотарьова діапазон частот коливань покриття при дії транспортного навантаження знаходиться в межах від 0,01 до 50 Гц. При цьому нижні значення частот коливань відповідають статичній дії, а верхні відповідають динамічному дії, яке відчуває покриття при швидкості автомобіля понад 160 км/год. Спираючись на отримані дані, В. А. Золотарьов рекомендував проводити дослідження динамічних властивостей асфальтобетонів при частотних режимах: 0,01 Гц, 0,5 Гц, 10 Гц [29].

У дослідженнях, виконаних під керівництвом професора С. К. Ілліополова, встановлено, що при русі чаші прогину від колеса автомобіля частота коливань асфальтобетонного покриття при русі зі швидкістю 40 - 120 км/год складає 1 – 10 Гц [29].

У США для доріг різних технічних категорій наведені частотно-часові режими навантаження для заданих розрахункових швидкостей руху [35-36]: міжштатної магістральної дороги з розрахунковою швидкістю руху - 97 км/год відповідає частота 15 – 40 Гц (час дії навантаження - до 0,05 с); для головних штатних (73 км/год) – 10 - 30 Гц (до 0,1 с); для міських доріг (24 км/год) – 2 - 10 Гц (0,1 - 0,5 с); для місцевих – 0,1 - 0,5 Гц (більше 1 с).

Таким чином, аналіз літературних даних свідчить про те, що при дії транспортного навантаження (наїзді колеса автомобіля) в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу поперемінно виникають розтягуючі і стискаючі напруження. При цьому завжди виникає прогин дорожнього покриття, має форму погонної хвилі. Дія рухомого навантаження на покриття має циклічний характер. Частотний спектр впливу транспортних засобів на дорожнє покриття варіюється в досить широких межах від 0,01 до 30 – 50 Гц, а тривалість дії навантаження складає в середньому 0,1 – 0,4 с. При цьому у вітчизняному ВБН В.2.3-218-186-2004 «Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого

типу" також прийнято час навантаження в 0,1 с, тобто для розрахунку беруться значення модуля пружності та міцності, характеристики матеріалів і ґрунту, визначені при тривалості дії навантаження 0,1 с [82]. При цьому враховуються лише розтягуючі напруження в нижній частині монолітного шару при його згині від дії транспортного розрахункового навантаження, що передається у вигляді розподіленого вертикального навантаження по площі круга, рівновеликого відбитка колеса. Однак реальний режим навантаження асфальтобетонних шарів має набагато ширший спектр впливових параметрів та факторів: час дії навантаження змінюється від декількох годин (стоянки, зупинки) до тисячних долей секунди (швидкісні автомагістралі, аеродроми) і суттєво відрізняється по смугах руху, на підйомах та спусках, на перегонах і перехрестях, на міських та міжміських дорогах тощо [39, 42, 45, 47, 50, 51, 80].

Важливою умовою забезпечення довговічності асфальтобетонного покриття є розроблення методів оцінки його довговічності з урахуванням термо-реологічних властивостей асфальтобетону. У цьому напрямку вагомий внесок зроблено професором Радовським Б.С. та його учнями і послідовниками. Так зокрема В.В. Мозговим знайдено нову умову температурної тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів і нові теоретичні рішення задач про визначення температурних напружень в асфальтобетонному покритті і на основі цього створено новий метод розрахунку на температурну тріщиностійкість [47]. Отримано нові експериментальні дані про тріщиностійкості асфальтобетонного покриття і про термо-механічні характеристики асфальтобетонів. Кількісно оцінено ефективність різних способів підвищення температурної тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів. Запропоновано новий лабораторний показник температурної тріщиностійкості асфальтобетону та методика його визначення.

Бесарабом О.М. [42] отримано експериментальні закономірності щодо впливу часу дії навантаження та температури на термореологічну поведінку полімерасфальтобетону, щебенево-мастикового асфальтобетону; полімерасфальтобетону, армованого синтетичними сітками; вплив часу дії навантаження на характер руйнування і тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах при вирішенні задач підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних

шарів. Ним розроблено метод оцінювання довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу від комплексного впливу чинників з урахуванням термо-реологічних властивостей асфальтобетону. Цей метод полягає у використанні показника міри вичерпування довговічності протягом усього строку експлуатації за критерієм граничного стану для монолітних шарів і враховує дію вертикальних «перерізаючих» напружень та відповідного часу дії навантаження.

Густелєвим О.О. [86] розроблено метод оцінювання впливу поперечних температурних тріщин в асфальтобетонному покритті на довговічність дорожнього одягу від комплексного впливу чинників з урахуванням реологічних властивостей дорожньо-будівельних матеріалів і ґрунту земляного полотна.

Куцман О.М. [83] вирішував задачі щодо підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу і також використовував показник міри вичерпування довговічності за критерієм граничного стану для монолітних шарів і враховував дію вертикальних «перерізаючих» напружень та відповідного часу дії навантаження.

Баран С.А. [87] вирішував задачі щодо удосконалення проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону і встановив аналітичні залежності для визначення напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття із ЩМА та оцінки його граничного стану від комплексного впливу технологічних, транспортних та кліматичних факторів з урахуванням процесів усадки.

Останні десятиріччя при вивченні напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу від дії транспортного навантаження часто використовують методи чисельного аналізу [89-92] (Додаток Б).

1.4 Висновки до розділу 1

1. Огляд літературних джерел стосовно експлуатаційного стану асфальтобетонного покриття підходів до мостів свідчить про наступне.

Переважна більшість мостів, що експлуатуються і будуються в Україні, на підходах до мостів в зоні їх сполучення з насипом автомобільної дороги в

дорожній конструкції мають перехідні плити. У цих місцях до основних дефектів і пошкоджень відносяться просідання та вимивання ґрунту у результаті утворення тріщин на асфальтобетонному покритті. Тріщини також спостерігаються на інших ділянках покриття підходів до мостів. Відмічається, що у багатьох випадках інтенсивне порушення суцільності асфальтобетонного покриття у вигляді тріщин, які згодом переходять у ямковість і вибоїни, спостерігається у здовж пойменної частини підходу до мосту.

2. Встановлено, що існуюча теоретична та нормативна база щодо влаштування підходів з перехідними плитами потребує удосконалення. В діючих нормативних документах на проектування і влаштування підходів до мосту не достатньо інформації для прийняття технічних рішень інженерами-проектантами на етапі нового будівництва, і щодо заглиблення перехідних плит і щодо конструкцій дорожніх одягів на них.

3. Встановлено, що дослідження роботи асфальтобетонного покриття нежорстких дорожніх одягів до цього часу не дозволили на єдиній методологічній основі враховувати умови експлуатації асфальтобетонного покриття на підходах до мостів для оцінювання його довговічності з урахуванням режиму руху транспорту та особливостей дорожньої конструкції з перехідною плитою в зоні сполучення насипу з мостом.

РОЗДІЛ 2

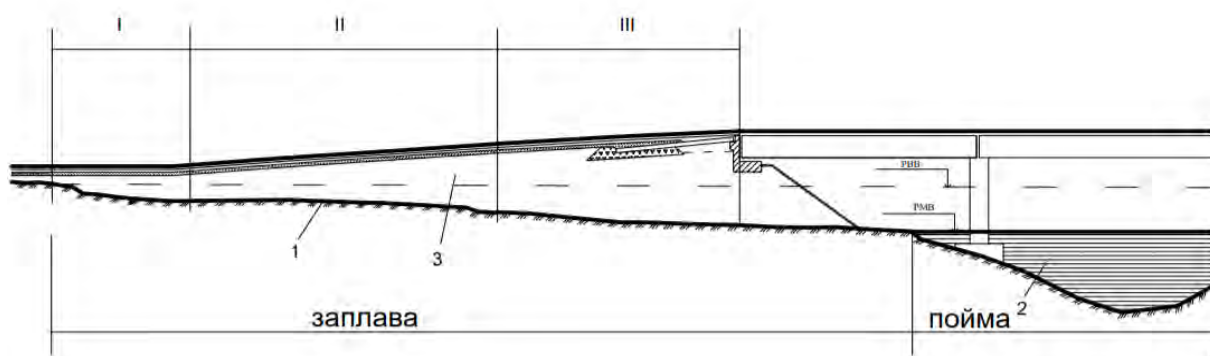
ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ НА ПІДХОДАХ ДО МОСТІВ

2.1 Умови роботи асфальтобетонного покриття на підходах до мостів

Підходи до мостів є важливою складовою спорудою всього мостового переходу і їх успішна експлуатація залежить від асфальтобетонного покриття конструкції дорожнього одягу, влаштована в межах підходів. Ураховуючи, що за визначенням згідно з ДБН В.2.3-22 довговічність – здатність елемента або споруди в цілому зберігати протягом певного часу роботоспроможний стан при встановленій системі технічного обслуговування, приймаємо, що довговічність асфальтобетонного покриття на підходах до мостів свою робочу спроможність втрачає при порушенні його суцільності за рахунок утворення тріщин від дії транспортних та кліматичних факторів і визначається рівнем напружено-деформованого стану покриття в процесі експлуатації. Виходячи з того, що підходи – це конструкція дорожнього одягу на частині насипу різної висоти (у тому числі високі насипи), яка розташована в межах розливу високих вод. Це свідчить про те, що конструкція дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям у межах підходу експлуатуватиметься у різних умовах водно-теплогового режиму, а також має різну конструкцію по довжині з урахуванням того, що згідно чинних нормативних вимог необхідно влаштовувати залізобетонну плиту, яка одним кінцем спираються на виступ шафової стінки (стоян), а іншим – на залізобетонний лежень та/або щебеневу подушку, покликане на забезпечення плавності переходу (зміни) напружено-деформованого стану дорожньої конструкції.

Тому, ураховуючи, що умови роботи асфальтобетонного покриття на підходах до мостів суттєво залежать від виду та стану розташованих під ними шарів конструкції дорожнього одягу та підстилаючих ґрунтів земляного полотна,

у загальному випадку, запропоновано виділити три типи ділянок, що відрізняються дорожніми конструкціями, які обумовлюють різний характер напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття (рис. 2.1).



I – ділянка віднесена до першого типу; II – ділянка віднесена до другого типу; III – ділянка віднесена до третього типу; 1 – ґрунти; 2 – русло ріки; 3 – насип підходу

Рисунок 2.1 – Схема розташування ділянок дорожніх конструкцій, прийнятих для розгляду, щодо умов роботи асфальтобетонного покриття на підходах до мостів

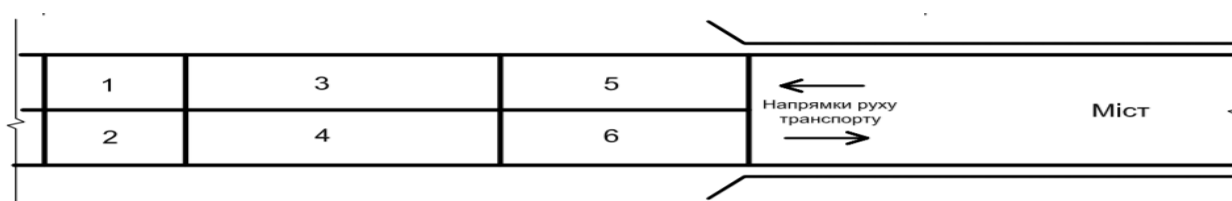
До ділянок типу I, що за умовами зволоженням відносяться до 3 типу місцевості на ґрунтах, що відповідають вимогам ДБН В.2.3-4. Тобто, це мокрі ділянки з постійним надмірним зволоженням і тривалим (понад 30 діб) затопленням, як поверхневими (поверхневий водовідвід надзвичайно утруднений), так і підтопленням ґрунтовими водами [9]. У цьому випадку умови роботи асфальтобетонне покриття визначаються особливостями дорожньої конструкції, розташованої на ґрунті природного залягання з високою вологістю практично в усі сезони року. Крім того, близьке розташування ґрунтових вод впливає на небезпеку пучиноутворення під конструкцією дорожнього одягу та тріщиноутворення асфальтобетонного покриття при морозному здиманні.

До другого типу віднесено ділянки на ухилі підходу до мосту у межах якої висота насипу змінюється від мінімально допустимої до високого насипу перед мостом (рис. 2.1).

До третього типу віднесено ділянки в зоні роботи перехідної плити

(перехідна плита, закінчення перехідної плити та початок насипу автомобільної дороги), які внаслідок свого горизонтального температурного деформування при коливаннях температури та квазіклавішного ефекту у зоні перехідної плити (край перехідної плити) при проїзді пневматиків можуть викликати в асфальтобетонних шарах покриття концентрацію відповідних напружень, що призводять до розриву зв'язків в асфальтобетоні (рис. 2.1).

Крім того, є необхідність враховувати особливості експлуатації асфальтобетонного покриття на підходах до мостів пов'язані з підвищенням інтенсивності руху транспортних засобів, зміною режиму їх руху (уповільнення, гальмування, зупинки, зрушення з місця та інше) викликають різний характер напружено-деформованого стану покриття. Ще однією особливістю експлуатації покриття є те, що одна половина покриття піддається впливу транспортних засобів, які рухаються на підйом при в'їзді на міст, а на другу половину асфальтобетонного покриття впливають транспортні засоби, що рухаються по спуску при з'їзді з мосту. Тому виділені типи ділянок асфальтобетонного покриття (рис. 2.1), що відрізняються особливостями дорожньої конструкції, поділяється ще на види за характером режиму навантаження від дії транспорту (рис. 2.2).



1 – ділянка з надмірним зволоженням на з'їзді з мосту; 2 – ділянка з надмірним зволоженням на в'їзді до мосту; 3 – ділянка з високим насипом на з'їзді з мосту; 4 – ділянка з високим насипом на в'їзді до мосту; 5 – ділянка в зоні роботи перехідної плити на з'їзді з мосту; 6 – ділянка в зоні роботи перехідної плити на в'їзді до мосту.

Рисунок 2.2 – Характерні типи і види ділянок на підходах до автодорожніх мостів

Проведений аналіз умов експлуатації асфальтобетонного покриття на підході до мосту 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 мостові переходи характеризуються підвищеною вірогідністю утворення заторів (Додаток В). Тому 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 [42, 51, 52, 90-92, 104, 105].

Відомо, що різний час дії навантаження суттєво впливає на деформаційні та міцнісні характеристики ґрунтів та дорожньо-будівельних матеріалів нежорсткого дорожнього одягу, які проявляють реологічні властивості у залежності від температури та вологості [24-31, 45-47, 75, 76, 105, 106, 107, 108, 109]. Все це свідчить про суттєвий вплив часу дії навантаження на рівень напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття та його довговічність [42, 45, 46, 87, 88, 97, 100, 101].

На основі аналізу літературних джерел [96-98, 101-103, 92] та онлайн-карт інформації і навігації, стосовно умов руху (Додаток Г), виділено чотири різновиди часу дії транспортного навантаження на поверхню покриття при:

- вільному русі t_H^B від 0.05 до 0.5 с (розрахункове значення – 0,1 с);
- сповільненому русі t_H^C від 0.5 до 2.0 с (розрахункове значення – 1 с);
- русі з короткими зупинками $t_H^{KЗ}$ від 2,0 до 60,0 с (розрахункове значення – 60 с);
- при довготривалих зупинках $t_H^{ДЗ}$ більше 60 с (розрахункове значення – 600 с).

На кожній i -тій із виділених ділянок підходу до мосту (рис. 2.2) асфальтобетонне покриття буде сприймати характерний для відповідної ділянки спектр j -тих різновидів режимів вертикальних і горизонтальних навантажень відповідно до таблиці 2.1.

Режим навантаження для кожної ділянки встановлюється за допомогою інженерних вишукувань, на основі яких сумарна кількість прикладань розрахункових навантажень (на приклади вертикального навантаження) складається:

$$\sum N_p = N_p(t_H^B) + N_p(t_H^C) + N_p(t_H^{K3}) + N_p(t_H^{D3}), \quad (2.1)$$

де $N_p(t_H^B) = \delta_{ij} \sum N_p$; $N_p(t_H^C) = \delta_{ij} \sum N_p$; $N_p(t_H^{K3}) = \delta_{ij} \sum N_p$; $N_p(t_H^{D3}) = \delta_{ij} \sum N_p$;

δ_{i1} – доля розрахункових навантажень за термін служби при t_H^B ;

δ_{i2} – доля розрахункових навантажень за термін служби при t_H^C ;

δ_{i3} – доля розрахункових навантажень за термін служби при t_H^{K3} ;

δ_{i4} – доля розрахункових навантажень за термін служби при t_H^{D3} .

Таблиця 2.1 – Доля транспортних навантажень від їх загальної кількості, що сприймає і-та ділянка на підходах до мосту при j-тому різновиді часу дії навантаження

Шифр ділянки підходу до мосту	Доля транспортних навантажень (δ – вертикального; Δ – горизонтального при гальмуванні; Δ' – горизонтального при зрушенні з місця) від їх загальної кількості, що сприймає і-та ділянка на підходах до мосту при j-тому різновиді часу дії навантаження											
	t_H^B			t_H^C			t_H^{K3}			t_H^{D3}		
	δ_{i1}	Δ_{i1}	Δ'_{i1}	δ_{i2}	Δ_{i2}	Δ'_{i2}	δ_{i3}	Δ_{i3}	Δ'_{i3}	δ_{i4}	Δ_{i4}	Δ'_{i4}
1	δ_{11}	Δ_{11}	Δ'_{11}	δ_{12}	Δ_{12}	Δ'_{12}	δ_{13}	Δ_{13}	Δ'_{13}	δ_{14}	Δ_{14}	Δ'_{14}
2	δ_{21}	Δ_{21}	Δ'_{21}	δ_{22}	Δ_{22}	Δ'_{22}	δ_{23}	Δ_{23}	Δ'_{23}	δ_{24}	Δ_{24}	Δ'_{24}
3	δ_{31}	Δ_{31}	Δ'_{31}	δ_{32}	Δ_{32}	Δ'_{32}	δ_{33}	Δ_{33}	Δ'_{33}	δ_{34}	Δ_{34}	Δ'_{34}
4	δ_{41}	Δ_{41}	Δ'_{41}	δ_{42}	Δ_{42}	Δ'_{42}	δ_{43}	Δ_{43}	Δ'_{43}	δ_{44}	Δ_{44}	Δ'_{44}
5	δ_{51}	Δ_{51}	Δ'_{51}	δ_{52}	Δ_{52}	Δ'_{52}	δ_{53}	Δ_{53}	Δ'_{53}	δ_{54}	Δ_{54}	Δ'_{54}
6	δ_{61}	Δ_{61}	Δ'_{61}	δ_{62}	Δ_{62}	Δ'_{62}	δ_{63}	Δ_{63}	Δ'_{63}	δ_{64}	Δ_{64}	Δ'_{64}

Таким чином, на основі вище здійсненого аналізу розроблена класифікація умов роботи асфальтобетонного покриття на підходах до мосту (рис. 2.1, 2.2, табл. 2.1).

2.2 Розрахункові схеми та аналітичні залежності для оцінювання довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостів

В теоретичних передумовах прийнята наступна робоча гіпотеза: «Довговічність асфальтобетонного покриття на підходах до мостів визначається його стійкістю до порушення суцільності у результаті негативної спільної дії найбільш впливових факторів: транспортне вертикальне та горизонтальне

навантаження, усадка покриття від зниження температури при її коливанні, транспортне вертикальне дотичне напруження в зоні швів і тріщин монолітних шарів основи, підвищена реологічна чутливість шарів основи і земляного полотна, морозне здимання у холодний період року, негативний вплив на покриття перезволоженого ґрунту насипу у пойменій частині».

Для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостів на основі результатів відомих досліджень [96-98, 101-103, 92] передбачено застосування в шарах основи матеріалів, укріплених неорганічними в'язучими та в земляному полотні пісок, піщано-гравійні та піщано-щебеневі суміші, як реологічно нечутливі та малочутливі матеріали. Крім того, передбачено дотримуватись вимог для уникнення руйнування асфальтобетонного покриття від морозного здимання у холодний період року, а також для мінімізації впливу на зменшення довговічності покриття перезволоженого природного ґрунту у пойменій частині. Тому з цією метою запропоновано в шарах основи ділянки типу І у підтопленій зоні застосовувати пінобетон як реологічно нечутливий матеріал що має підвищені теплоізоляційні характеристики, які сприяють унеможливленню морозного пучення.

2.3 Умови забезпечення довговічності асфальтобетонного покриття на ділянці

Забезпечення морозостійкості конструкції дорожнього одягу на ділянці І

Як свідчать сучасні дослідження [93-95] морозне здимання є одним з найбільш небезпечних факторів порушення суцільності асфальтобетонного покриття за рахунок близького залягання ґрунтових вод, тому для забезпечення морозостійкості всієї конструкції дорожнього одягу та уникнення небезпеки для асфальтобетонного покриття морозного здимання передбачається дотримуватись результатів розрахунку на морозостійкість за чинними нормативними документами згідно з [10], за узагальненим алгоритмом, блок-схема якого наведена на рисунку 2.3.

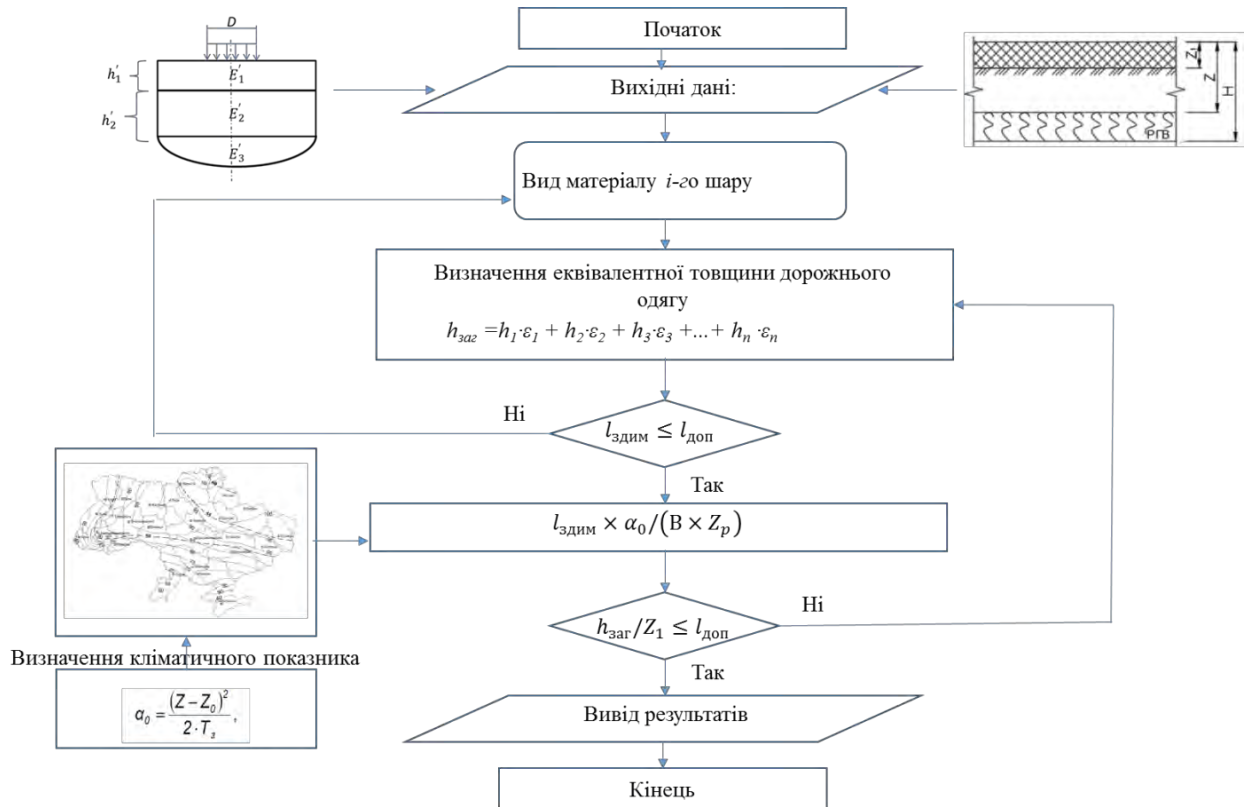
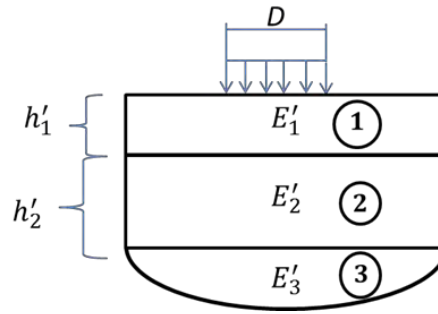


Рисунок 2.3 – Блок-схема методу розрахунку на морозостійкість згідно з ГБН В.2.3-37641918-559 [10]

Вимога до дорожньої конструкції на перезволоженому природньому ґрунті насипу у пойменій частині для уникнення суттєвого підвищення горизонтальних розтягуючих нормальних напружень при згині в покритті

На ділянці I (рис. 2.4) для забезпечення безпечних умов роботи асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження за наявності перезволоженого природного ґрунту необхідно забезпечити таке співвідношення між товщинами та модулями пружності всіх шарів, щоб низьке значення модуля пружності природного ґрунту не впливало на суттєве підвищення в покритті горизонтальних розтягуючих нормальних напружень при згині дорожнього одягу.



1 – шар покриття з приведеним модулем E'_1 товщиною h'_1 ; 2 – шар основи з приведеним модулем E'_2 та товщиною h'_2 ; 3 – земляне полотно з природного перезволоженого ґрунту з модулем пружності E'_3 ; D – діаметр відбитку колеса

Рисунок 2.4 – Модель трьохшарового напівпростору

За результатами досліджень Б.С. Радовського [44], це буде забезпечено для моделі трьохшарового напівпростору (рис. 2.2), якщо виконуватиметься умова:

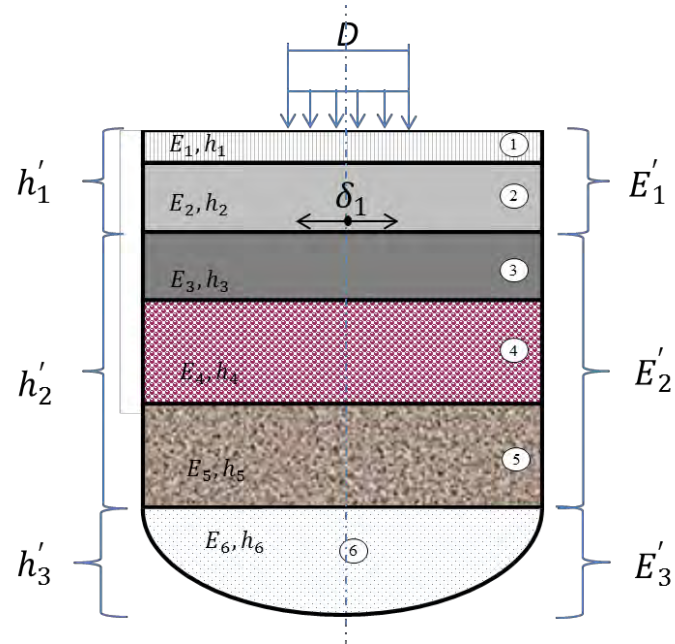
$$h_a \geq h'_2 \text{ при } h_a = h'_1 \sqrt{\frac{E'_1}{E'_2}}, \quad (2.2)$$

де h_a – товщина активної зони дорожньої конструкції, при меншому значенні якої відбувається суттєве збільшення горизонтальних розтягуючих нормальних напружень при згині в покритті товщиною h'_1 ;

h'_2 – товщина основи;

E'_1, E'_2 – модулі пружності відповідно покриття і основи.

У цьому випадку приведення розрахункової схеми фактичної багатошарової дорожньої конструкції на ділянці І (згідно прикладу, представленого на рис. 2.5) до трьохшарової моделі (рис. 2.4) здійснюється з урахуванням методики ГБН В.2.3-37641918-559 наступним чином.



1 – верхній шар покриття; 2 – нижній шар покриття; 3, 4 – шари основи; 5 – шар насипного ґрунту земляного полотна; 6 – $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ – розрахункові модулі пружності шарів;

E'_1, E'_2, E'_3 – розрахункові модулі пружності шарів, приведені до розрахункової схеми; $h_1, h_2, h_3, \dots, h_{n-1}$ – товщини шарів; $h'_1, h'_2, \dots$ – товщини шарів приведені до розрахункової схеми

Рисунок 2.5 – Схема приведення багатошарової дорожньої конструкції до тришарового напівпростору

Встановлюються середньозважені значення модулів пружності:

- асфальтобетонних шарів (1 і 2) покриття E'_1 ;
- шарів: основи (2 і 4) та насипного ґрунту (5) E'_2 ;
- модуль пружності природного ґрунту проймається рівним модулю пружності напівпростору розрахункової схеми $E_6 = E'_3$.

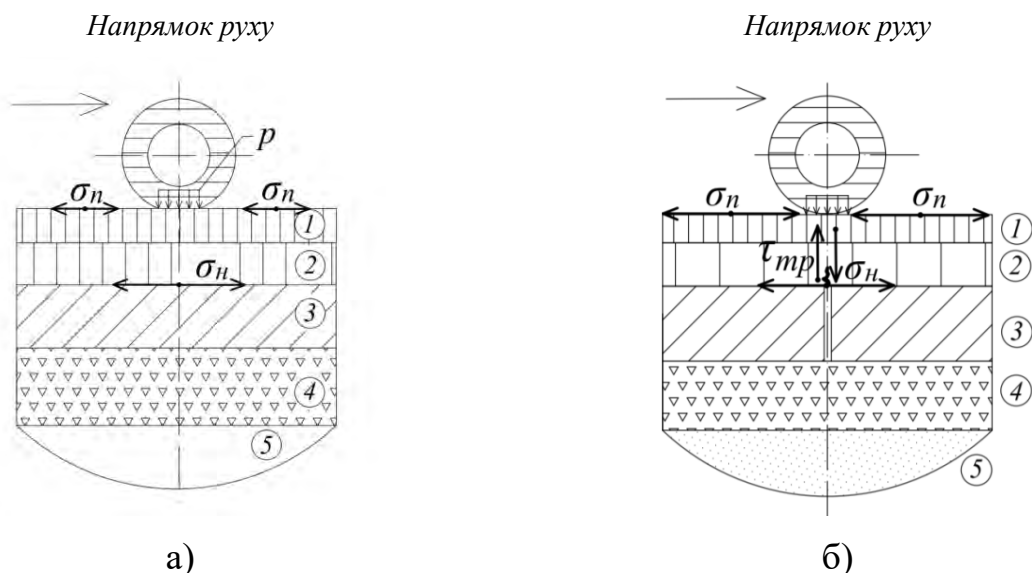
2.4 Розрахункові схеми для визначення напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження та коливання температури

Конструкція дорожнього одягу на підході до мосту сприймає, головним чином, дію вертикальних навантажень від транспортних засобів, що

проїжджають (рис. 2.6.а) на суцільній основі із монолітних матеріалів. При згині покриття від дії транспортного навантаження, що передається через пневматик з інтенсивністю p виникають горизонтальні нормальні розтягуючі напруження σ_n в нижній його фібрі та поверхневі розтягуючі напруження σ_n на поверхні покриття перед колесом та після нього [88]. У місцях монтажних швів при влаштуванні шарів основи із монолітних матеріалів будуть діяти на покриття вертикальні перерізаючі дотичні напруження τ [84] за рахунок “клавішного ефекту”. Також, з урахуванням результату аналізу завантаженості транспортним рухом мостових переходів (Додаток В) існує певна вірогідність дії горизонтальних навантажень від транспорту у випадках гальмування або зрушення з місця у результаті утворення заторів. Тому передбачено враховувати їх вплив на довговічність покриття (рис. 2.7). У випадку гальмування (рис. 2.7.а) за рахунок дії дотичних напружень до поверхні покриття під відбитком пневматика з інтенсивністю τ_z додатково до горизонтальних поверхневих напружень за колесом будуть додаватися, а після колеса відніматися горизонтальні нормальні напруження σ_z .

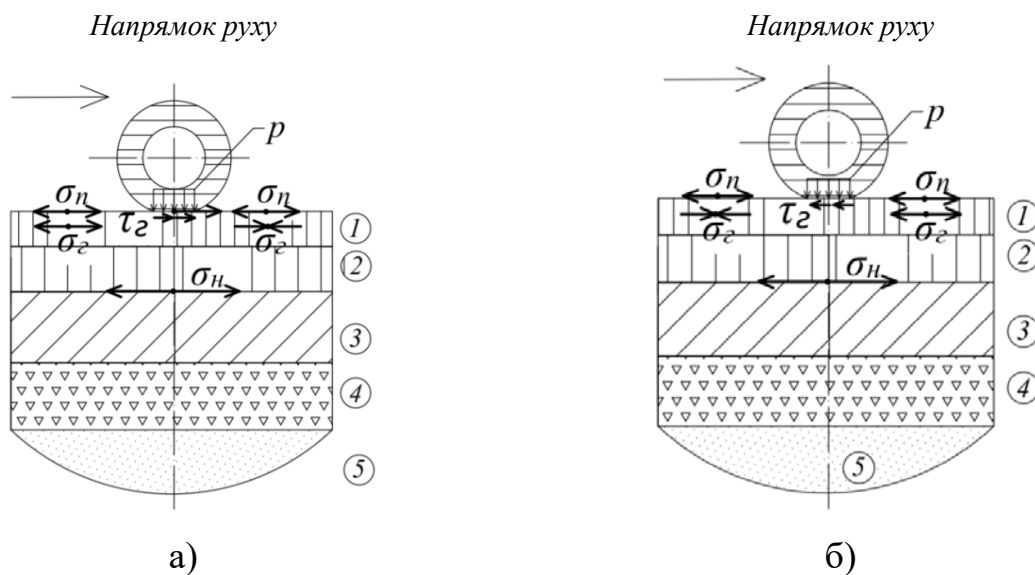
Крім впливу транспортного навантаження передбачено враховувати коливання температури на появу у покритті горизонтальних нормальних розтягуючих напружень σ_T у поздовжньому напрямку, як це було показано у багатьох дослідженнях [46, 47, 75, 84, 87, 88, 95, 101]. Для їх визначення передбачено застосувати розрахункову схему (рис. 2.9), що імітує неможливість температурного деформування покриття при зміні температури з часом $T = f(t)$.

Крім того, передбачено враховувати дію перерізаючих дотичних напружень, що можуть бути зумовлені «квазіклавішним» ефектом над швами чи тріщинами монолітних шарів основи, а також у результаті дії горизонтальних транспортних навантажень [3, 44, 46, 101, 102].



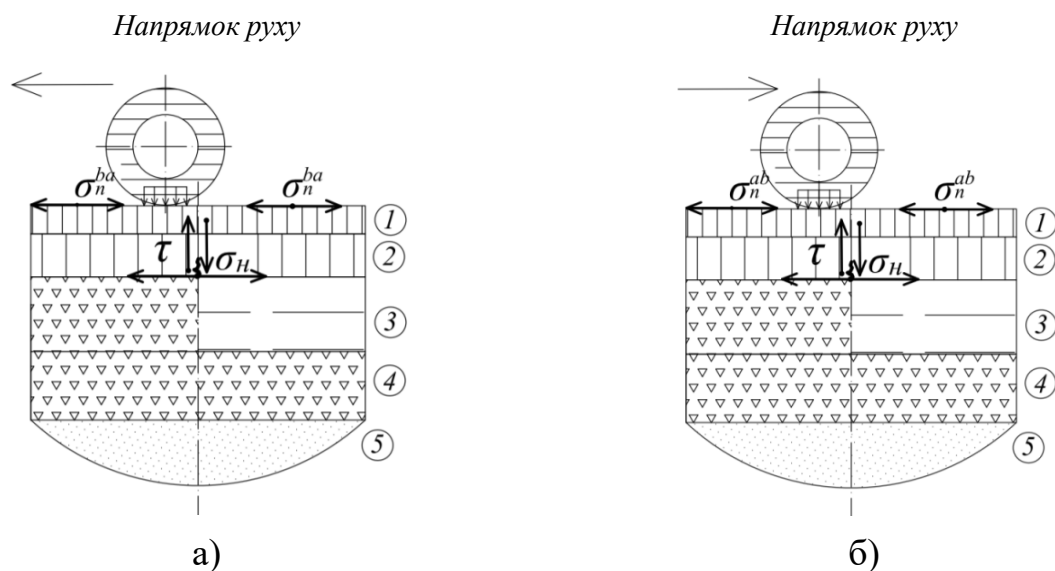
1, 2 – асфальтобетонні шари покриття; 3, 4 – шари основи; 5 – нижні шари конструкції дорожнього одягу та ґрунт земляного полотна

Рисунок 2.6 – Розрахункова схема роботи асфальтобетонного покриття на підходах до мостів: а – при дії вертикального навантаження на суцільній основі; б – те ж на основі з тріщинами і швами



1, 2 – асфальтобетонні шари покриття; 3, 4 – шари основи; 5 – нижні шари конструкції дорожнього одягу та ґрунт земляного полотна

Рисунок 2.7 – Розрахункова схема роботи асфальтобетонного покриття на підходах до мостів: а – при дії вертикального і горизонтального транспортного навантаження під час гальмування; б – те ж при зрушенні з місця



1,2 – асфальтобетонні шари покриття; 3, 4 – шари основи; 5 – нижні шари конструкції дорожнього одягу та ґрунт земляного полотна

Рисунок 2.8 – Розрахункова схема роботи асфальтобетонного покриття на підходах до мостів: а – при з'їзді з перехідної плити; б – при наїзді на перехідну плиту

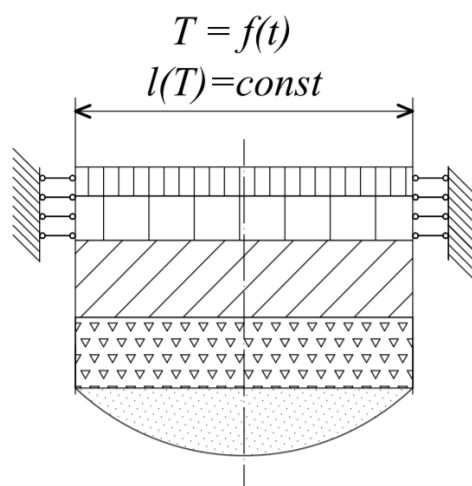


Рисунок 2.9 – Розрахункова схема роботи асфальтобетонного покриття при коливанні температури Розрахункова схема яка імітує неможливість температурного деформування покриття у поздовжньому напрямку при зміні температури

Згідно відомих досліджень [33, 34, 42, 43, 102-105] дія вертикального та горизонтального транспортного навантаження в конструкції дорожнього одягу може викликати горизонтальні нормальні напруження в нижній фібрі покриття σ_n , а також на поверхні σ_n . Для визначення цих напружень передбачено застосовувати сучасні програмні продукти (NASTRAN, ANSYS, SCAD Office, ЛИРА-САПР), що дозволяють встановлювати їх значення з достатньою точністю для виконання інженерних розрахунків [3, 46, 49, 83, 86, 87, 90-93]. При використанні доступних програмних комплексів використовуються положення теорії пружності. В даному випадку горизонтальні розтягуючі напруження при заданих параметрах транспортного навантаження є функцією від геометричних параметрів конструктивних шарів дорожнього одягу і розрахункових характеристик ДБМ і ґрунтів та координат точки в якій вони визначаються:

$$\sigma_x = \varphi(h_i, E_i, \mu_i, x, y, z), \quad (2.3)$$

де h_i — товщина i -того шару;

E_i — модуль пружності i -того шару;

μ_i — коефіцієнт Пуасона;

x, y, z — координати точок.

Вплив температури та часу дії навантаження на значення горизонтальних нормальних напружень в асфальтобетонному покритті передбачається врахувати шляхом застосування спрощеного підходу квазіпружної апроксимації, коли термо-в'язко-пружна поведінка враховується шляхом використання деформаційних характеристик матеріалів, що відповідають заданим значенням температури T та часу дії навантаження t_n [42, 43, 83, 84, 86, 87, 93]:

$$E = \varphi(T, t_n). \quad (2.4)$$

При дослідженні впливу коливань температури на довговічність асфальтобетонного покриття визначали амплітуди коливань температурних напружень в річному та добовому циклах зміни температури на основі термо-

в'язко-пружного рішення НТУ при середньо-інтегральній (додаток Е) по товщині швидкості охолодження покриття K :

$$\sigma_T = -\alpha HKt - \alpha K(B - H) \int_0^t \frac{d\tau}{[1 + \psi(t) - \psi(\tau)]^m}, \quad (2.5)$$

$$\text{де } \psi(t) = \frac{1}{pKr} e^{p(T_0 - Q + Kt)};$$

$$\psi(\tau) = \frac{1}{pKr} e^{p(T_0 - Q + K\tau)};$$

t – час;

p, r, m, B і H – параметри термо-в'язко-пружних характеристик при температурі приведення Q .

Маючи можливість визначати напруження в асфальтобетонному покритті від дії визначених чинників на основі використання розроблених розрахункових схем (рис. 2.6 – 2.9) слід розробити умови довговічності асфальтобетонного покриття з позицій кінетичної теорії твердих тіл [115-118].

Відомі дослідження свідчать, що закономірності руйнування асфальтобетону, як і багатьох матеріалів, мають кінетичний характер [45, 47]. Тобто, при будь-якому зовнішньому впливі виникаючі напруження ведуть до накопичення міри пошкодженості у часі, яка характеризується мірою втрати ресурсу довговічності

$$M_i = \frac{t_i}{t_i * (\sigma_i(t), T_i(t))}, \quad (2.6)$$

де $t_i * (\sigma_i(t), T_i(t))$ – довговічність асфальтобетону при постійних напруженні і температурі.

Якщо напруження σ діють циклічно, то умову договічності використовують у вигляді умови Пальмгрена-Майнера:

$$M_i = \left(\frac{\sum N_p(\sigma_n)}{[N_p(\sigma_n)]} \right) = 1, \quad (2.7)$$

де $\sum N_p(\sigma)$ – сумарна інтенсивність навантаження;

$[N_p(\sigma)]$ – гранично допустима кількість прикладання навантаження.

Якщо напруження у часі змінюються неперервно $\sigma(t)$, то час до руйнування t_p визначають на основі критерію Бейлі:

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{t^*(\sigma(t), T(t))} = 1. \quad (2.8)$$

У нашому випадку з урахуванням розроблених розрахункових схем (рис. 2.6 – 2.9) при комбінації циклічних і неперервних змінах напружень σ_H , σ_{II} , $\sigma_{Г}$, $\sigma_{Т}$, $\tau_{пл}$, $\tau_{Г}$, $\tau_{тр}$ та застосовуючи принцип лінійного сумування міри втрати ресурсу довговічності від дії кожного виду напружень [114], умова довговічності буде мати вигляд:

$$[\sum_{g=1}^G M_g(t)] \leq \beta[M], \quad (2.9)$$

де M_g – міра втрати ресурсу довговічності за один рік експлуатації від впливових g -тих факторів (σ_H , σ_{II} , $\sigma_{Г}$, $\sigma_{Т}$, $\tau_{пл}$, $\tau_{Г}$, $\tau_{тр}$);

β – коефіцієнт, що відображає вплив водоморозних чинників на довговічність асфальтобетонного покриття;

де G – кількість характерних i -тих періодів у році з близькими кліматичними умовами;

$[M]$ – гранично допустиме значення міри втрати довговічності, що рівне одиниці.

Це дозволяє базуючись на принципах Пальгрейна-Майнера та Бейлі і використовуючи встановлені розрахункові схеми та прийняті методики визначення напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття отримати умову оцінки його довговічності до появи тріщиноутворення:

$$Y_{nom} \leq Y_{розр}, \quad (2.10)$$

де $Y_{пот}$ – потрібна проєктна довговічність асфальтобетонного покриття до тріщиноутворення;

$Y_{розр}$ – розрахункова довговічність асфальтобетонного покриття до тріщиноутворення:

$$Y_{розр} = \beta \left[\sum_{g=1}^G M_g(t) \right]^{-1}, \quad (2.11)$$

Стосовно розроблених розрахункових схем і режимів навантаження вираз (2.11) для i -тої ділянки матиме вигляд:

$$Y_{зар} = \left[\left(\frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))]} + \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))]} + \right. \right. \\ \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^B, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^C, T_i))]} + \\ 2 \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{K3}, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{D3}, T_i))]} + \frac{\Delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^B, T_i))]} + \\ \frac{\Delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^C, T_i))]} + \frac{\Delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^{K3}, T_i))]} + \frac{\Delta_{ij} \sum N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^{D3}, T_i))]} + \\ \int_0^{t_i} \frac{dt}{t_p(\sigma_T(t), T(t))} + \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^C, T_i))]} + \\ \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{K3}, T_i))]} + \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{D3}, T_i))]} + \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^B, T_i))]} + \\ \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^C, T_i))]} + \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^{K3}, T_i))]} + \frac{\delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^{D3}, T_i))]} + \\ \frac{\Delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^B, T_i))]} + \frac{\Delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^C, T_i))]} + \frac{\Delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^{K3}, T_i))]} + \\ \left. \frac{\Delta_{ij} \sum N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^{D3}, T_i))]} \right]^{-1} \quad (2.12)$$

Для ділянки 1 з урахуванням схеми на рисунку 2.6.а робоча формула буде мати наступний вигляд:

$$Y_1 = \left[\left(\frac{\delta_{11} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{12} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))]} + \frac{\delta_{13} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))]} \right. \right. \\ + \frac{\delta_{14} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{11} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^B, T_i))]} \\ + 2 \frac{\delta_{11} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^C, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{11} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{K3}, T_i))]} \\ \left. \left. + 2 \frac{\delta_{11} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{D3}, T_i))]} + \int_0^{t_i} \frac{dt}{t_p(\sigma_T(t), T(t))} \right) \right]^{-1}$$

Для ділянки 1 з урахуванням схеми на рисунку 2.6.б робоча формула буде мати наступний вигляд:

$$Y_1 = \left[\left(\frac{\delta_{11} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{12} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))]} + \frac{\delta_{13} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))]} \right. \right. \\ + \frac{\delta_{14} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{11} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^B, T_i))]} \\ + 2 \frac{\delta_{11} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^C, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{11} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{K3}, T_i))]} \\ + 2 \frac{\delta_{11} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{D3}, T_i))]} + \int_0^{t_i} \frac{dt}{t_p(\sigma_T(t), T(t))} \\ + \frac{\delta_{11} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{12} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^C, T_i))]} \\ \left. \left. + \frac{\delta_{13} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{K3}, T_i))]} + \frac{\delta_{14} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{D3}, T_i))]} \right) \right]^{-1}$$

Для ділянки 2 з урахуванням схеми на рисунку 2.6.а робоча формула буде мати наступний вигляд:

$$Y_{2a} = \left[\left(\frac{\delta_{21} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{22} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))]} + \frac{\delta_{23} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))]} \right. \right. \\ + \frac{\delta_{24} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{21} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^B, T_i))]} \\ + 2 \frac{\delta_{21} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^C, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{21} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{K3}, T_i))]} \\ \left. \left. + 2 \frac{\delta_{21} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{D3}, T_i))]} + \int_0^{t_i} \frac{dt}{t_p(\sigma_T(t), T(t))} \right) \right]^{-1}$$

Для ділянки 2 з урахуванням схеми на рисунку 2.6.б робоча формула буде мати наступний вигляд:

$$Y_{26} = \left[\left(\frac{\delta_{21} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{22} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))]} + \frac{\delta_{23} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))]} \right. \right. \\ + \frac{\delta_{24} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{21} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^B, T_i))]} \\ + 2 \frac{\delta_{21} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^C, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{21} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{K3}, T_i))]} \\ + 2 \frac{\delta_{21} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{D3}, T_i))]} + \int_0^{t_i} \frac{dt}{t_p(\sigma_T(t), T(t))} \\ + 2 \frac{\Delta_{21} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^B, T_i))]} + 2 \frac{\Delta_{22} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^C, T_i))]} \\ \left. \left. + 2 \frac{\Delta_{23} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{K3}, T_i))]} + 2 \frac{\Delta_{24} \sum N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{Tp}(t_H^{D3}, T_i))]} \right) \right]^{-1}$$

Для ділянки 3 з урахуванням схеми на рисунку 2.7.а робоча формула буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
Y_{3a} = & \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_{31} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{32} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))]} + \frac{\delta_{33} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))]} \right. \right. \\
& + \frac{\delta_{34} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{A3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{A3}, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{31} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^B, T_i))]} \\
& + 2 \frac{\delta_{32} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^C, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{33} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{K3}, T_i))]} \\
& + 2 \frac{\delta_{34} \sum N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{A3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Pi(t_H^{A3}, T_i))]} + \frac{\Delta'_{31} \sum N_{pi}(\tau_\Gamma(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\tau_\Gamma(t_H^B, T_i))]} \\
& + \frac{\Delta'_{32} \sum N_{pi}(\tau_\Gamma(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\tau_\Gamma(t_H^C, T_i))]} + \frac{\Delta'_{33} \sum N_{pi}(\tau_\Gamma(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_\Gamma(t_H^{K3}, T_i))]} \\
& + \frac{\Delta'_{34} \sum N_{pi}(\tau_\Gamma(t_H^{A3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_\Gamma(t_H^{A3}, T_i))]} + \frac{\Delta'_{31} \sum N_{pi}(\sigma_\Gamma(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Gamma(t_H^B, T_i))]} \\
& + \frac{\Delta'_{32} \sum N_{pi}(\sigma_\Gamma(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Gamma(t_H^C, T_i))]} + \frac{\Delta'_{33} \sum N_{pi}(\sigma_\Gamma(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Gamma(t_H^{K3}, T_i))]} \\
& \left. \left. + \frac{\Delta'_{34} \sum N_{pi}(\sigma_\Gamma(t_H^{A3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_\Gamma(t_H^{A3}, T_i))]} + \int_0^{t_i} \frac{dt}{t_p(\sigma_T(t), T(t))} + \frac{\sum \Delta_{3j} N_p(t, \sigma_r)}{[N_p(t, \sigma_r)]} \right) \right]^{-1}
\end{aligned}$$

Для ділянки 4 з урахуванням схеми на рисунку 2.7.б робоча формула буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
Y_{46} = & \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_{41} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{42} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))]} + \frac{\delta_{43} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))]} \right. \right. \\
& + \frac{\delta_{44} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{A3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{A3}, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{41} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^B, T_i))]} \\
& + 2 \frac{\delta_{42} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^C, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{43} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{K3}, T_i))]} \\
& + 2 \frac{\delta_{44} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{A3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{A3}, T_i))]} + \frac{\Delta_{41} \sum N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^B, T_i))]} \\
& + \frac{\Delta_{42} \sum N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^C, T_i))]} + \frac{\Delta_{43} \sum N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^{K3}, T_i))]} \\
& + \frac{\Delta_{44} \sum N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^{A3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Gamma}(t_H^{A3}, T_i))]} + 2 \frac{\Delta_{41} \sum N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^B, T_i))]} \\
& + 2 \frac{\Delta_{42} \sum N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^C, T_i))]} + 2 \frac{\Delta_{43} \sum N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^{K3}, T_i))]} \\
& \left. \left. + 2 \frac{\Delta_{44} \sum N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^{A3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Gamma}(t_H^{A3}, T_i))]} + \int_0^{t_i} \frac{dt}{t_p(\sigma_T(t), T(t))} + \frac{\sum \Delta_{1j} N_p(t, \sigma_r)}{[N_p(t, \sigma_r)]} \right) \right]^{-1}
\end{aligned}$$

Для ділянки 5 з урахуванням схеми на рисунку 2.8.а робоча формула буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
Y_{5д} = & \left[\left(\frac{\delta_{51} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{52} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))]} + \frac{\delta_{53} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))]} \right. \right. \\
& + \frac{\delta_{54} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{A3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{A3}, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{51} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^B, T_i))]} \\
& + 2 \frac{\delta_{52} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^C, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{53} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{K3}, T_i))]} \\
& + 2 \frac{\delta_{54} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{A3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{A3}, T_i))]} + \int_0^{t_i} \frac{dt}{t_p(\sigma_T(t), T(t))} \\
& + \frac{\delta_{51} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Gamma}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Gamma}(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{52} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Gamma}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Gamma}(t_H^C, T_i))]} \\
& \left. \left. + \frac{\delta_{53} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Gamma}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Gamma}(t_H^{K3}, T_i))]} + \frac{\delta_{54} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Gamma}(t_H^{A3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Gamma}(t_H^{A3}, T_i))]} \right) \right]^{-1}
\end{aligned}$$

Для ділянки 6 з урахуванням схеми на рисунку 2.8.б робоча формула буде мати наступний вигляд:

$$Y_{6e} = \left[\left(\frac{\delta_{61} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{62} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^C, T_i))]} + \frac{\delta_{63} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{K3}, T_i))]} \right. \right. \\ + \frac{\delta_{64} \sum N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_H(t_H^{D3}, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{61} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^B, T_i))]} \\ + 2 \frac{\delta_{62} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^C, T_i))]} + 2 \frac{\delta_{63} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{K3}, T_i))]} \\ + 2 \frac{\delta_{64} \sum N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\sigma_{\Pi}(t_H^{D3}, T_i))]} + \int_0^{t_i} \frac{dt}{t_p(\sigma_T(t), T(t))} \\ + \frac{\delta_{51} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^B, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^B, T_i))]} + \frac{\delta_{52} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^C, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^C, T_i))]} \\ \left. \left. + \frac{\delta_{53} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^{K3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^{K3}, T_i))]} + \frac{\delta_{54} \sum N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^{D3}, T_i))}{[N_{pi}(\tau_{\Pi\Lambda}(t_H^{D3}, T_i))]} \right) \right]^{-1}$$

Таким чином, у відповідності до розрахункових схем на основі положень кінетичної теорії міцності твердих тіл розроблено математичну модель для опису граничного стану асфальтобетонного покриття для кожної характерної ділянки за умовами його експлуатації.

2.5 Висновки до розділу 2

1. Розроблено класифікацію умов роботи асфальтобетонного покриття на підходах до мостів з урахуванням вірогідності утворення заторів та різних умов водно-теплого режиму роботи всієї дорожньої конструкції по довжині підходів до мосту, що дає можливість детальніше виділити основні чинники з точки зору тріщиноутворення в покритті на різних ділянках.

2. Розроблено розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття та методику визначення його напружено-деформованого стану при дії вертикального і горизонтального транспортного навантаження та коливання

температури, що дозволяє точніше враховувати дію впливових чинників та особливості дорожньої конструкції.

3. На основі застосування принципів Пальгрейна-Майнера та Бейлі розроблено математичну модель для опису граничного стану асфальтобетонного покриття для кожної характерної ділянки за умовами його експлуатації. Це дає можливість точніше оцінювати довговічність асфальтобетонного покриття з більш детальною диференціацією врахування дії основних чинників, що впливають на утворення тріщин в асфальтобетонному покритті: σ_H , σ_{II} , σ_T , $\sigma_{T'}$, $t_{пл}$, $t_{Г'}$, $t_{тр}$.

4. Удосконалено метод проектування асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів та шляхопроводів, це дає можливість підвищити його довговічність, що сприятиме: підвищенню комфортності та безпеки руху транспортних засобів, зменшенню матеріальних та енергетичних витрат при утриманні покриття, зменшенню заторів та покращенню транспортного сполучення.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ПІДХОДАХ ДО АВТОДОРОЖНИХ МОСТІВ

3.1 Аналітичний аналіз відомих досліджень стосовно фактичного стану асфальтобетонного покриття на підходах до мостів

Існуючий практичний досвід і аналіз літературних даних [2, 3, 13-22] показують що дефекти, які утворюються в місцях сполучення мостових споруд з насипами підходів у процесі їх експлуатації значно знижують довговічність мостів (в зоні стояна) та конструкції дорожнього одягу на підходах до них.

За отриманими результатами аналізу бази даних АЕСУМ, створеної з 2006 року в ДП «ДерждорНДІ» на основі обстеження і паспортизацій 4616 мостів та мостових переходів на дорогах місцевого та загального значення встановлено, що: на 34 % мостів сполучення з насипом виконано без перехідних плит; на 35 % мостів сполучення виконано з перехідною плитою і поперечним опорним лежнем; на 10 % мостів влаштовано проміжні плити; на 1 % мостів влаштовано плити Г-подібного типу; на 20 % мостів конструкція перехідних плит не визначена. Тобто у 66 % випадків застосовані перехідні плити (рис. 3.1), що посприяло забезпечення більш кращого експлуатаційного стану асфальтобетонного покриття і насипу земляного полотна в місці сполучення насипу з мостами [13, 16].

Як було зазначено у розділі 1 серед основних видів дефектів спостерігаються просадки ґрунту підходів у результаті тріщиноутворення в асфальтобетонному покритті, розмиви ґрунту, протікання води. Тому практичний досвід застосування перехідних залізобетонних плит (рис. 1.1) переконливо свідчить про їх позитивний вплив на експлуатаційний стан дорожньої конструкції. Тому в даній дисертаційній роботі дослідження направлені саме на підходи до мостів, де використовується найбільш прогресивне рішення застосування перехідної плити в дорожній конструкції зони сполучення насипу з мостом. Все це підтверджує актуальність

дисертаційних досліджень.



Рисунок 3.1 – Співвідношення різних типів сполучення мостів з насипом на дорогах України загального і місцевого значення

3.2 Встановлення розрахункових термо-реологічних та термо-механічних властивостей асфальтобетону для оцінки довговічності асфальтобетонного покриття

Виконання розрахунків для оцінки довговічності асфальтобетонного покриття (розділ 2) потрібні термо-реологічні, термо-механічні та тепло-фізичні властивості асфальтобетону:

- модуль пружності при різному часі дії навантаження;
- розрахункова міцність на розтяг при згині;
- показник втоми;
- функція релаксації та функція температурно-часового зміщення;
- функція довговічності;
- коефіцієнт лінійного температурного деформування;
- коефіцієнт теплопровідності.

Для їх встановлення виконували експериментальні випробування, аналітичні розрахунки за формулами теорії композитів, а також на основі аналізу відомих літературних та довідкових даних.

Випробування асфальтобетонів виконували в лабораторії відділу асфальтобетонів ДП «ДерждорНДІ» та лабораторії кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії НТУ. У лабораторних випробуваннях використовували як стандартні методики, так і оригінальні, розроблені на

кафедрі дорожньо-будівельних матеріалів і хімії НТУ. Для випробувань асфальтобетону виготовляли циліндричні зразки способом пресування, для визначення стандартних фізико-механічних властивостей за методикою ДСТУ Б В.2.7-319:2016 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань». В Додатку Е представлено приклади проектування рецептів асфальтобетону різного складу та результати визначення основних фізико-механічних характеристик. Визначення термо-реологічних і термо-механічних характеристик, що застосовуються для оцінювання довговічності асфальтобетонного покриття, використовували зразки-плити. Їх виготовляли способом укочування на секторному пресі, за технологією, що імітує формування структури асфальтобетону в натурних умовах при влаштуванні асфальтобетонного покриття СОУ 45.02-00018112-020:2009 «Будівельні матеріали. Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій». Модуль пружності, показник втоми та міцність на розтяг при згині, що використовуються у розрахунках асфальтобетонних шарів на міцність, визначались відповідно до нормативних документів СОУ 45.2-00018112-059:2010 «Дорожньо-будівельні матеріали. Методи визначення розрахункових модулів пружності», СОУ 45.2-00018112-058:2010 «Монолітні дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на втому» та СОУ 42.1-37641918-099:2013 «Розрахунковий опір розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів. Метод визначення». Функцію релаксації, функцію температурно-часової аналогії та функцію довговічності визначали як експериментально за методикою НТУ, так і аналітично за методикою Б.С. Радовського, використовуючи номограму Ван-дер Поля для бітумів або експериментальні дані для динамічних модулів пружності бітумів або полімербітумів.

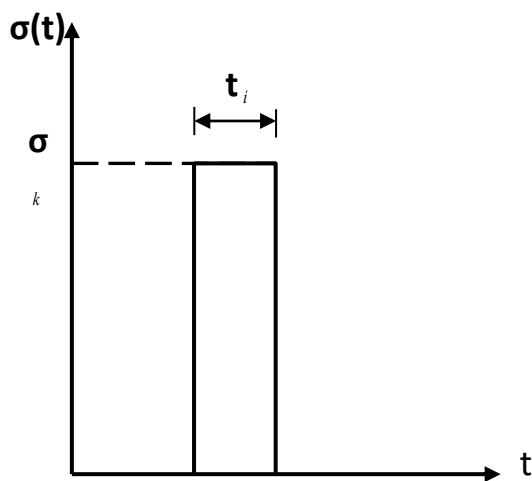
Встановлення модуля пружності при різному часу дії навантаження

Відповідно до класифікації умов експлуатації асфальтобетонного покриття на підходах до мостів за режимом навантаження виділено чотири різновиди часу дії транспортного навантаження (розділ 2) на поверхню покриття при:

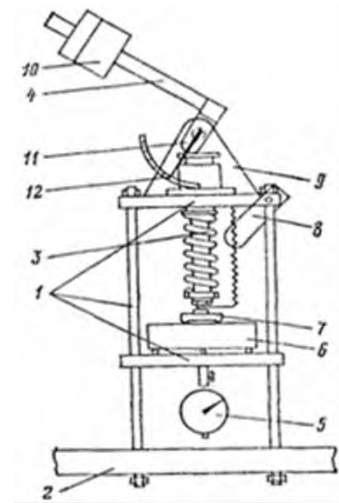
- вільному русі $t_H^B = 0,1$ с;
- сповільненому русі $t_H^C = 1$ с;

- русі з короткими зупинками $t_H^{КЗ} = 60$ с;
- при довготривалих зупинках $t_H^{ДЗ} = 600$ с.

Експериментальне встановлення модуля пружності асфальтобетону виконували згідно з методикою СОУ 45.2-00018112-059 «Дорожньо-будівельні матеріали. Методи визначення розрахункових модулів пружності» створюючи П-подібний імпульс заданої тривалості навантаження на асфальтобетонний зразок-призму (рис.3.2.а). Короткочасне прикладання навантаження здійснювали за допомогою маятникового приладу ДерждорНДІ [118] конструкції Радовського-Щербакова (рис.3.2.б). Довготривале навантаження створювали за допомогою важільного преса із заданим навантаженням t_H .



а)



б)

$\sigma(t)$ – горизонтальні нормальні напруження, величина яких залежить від часу дії навантаження; σ_k – горизонтальні нормальні напруження які виникають при тривалості дії навантаження t_H ; 1 – рама; 2 – станина; 3 – механізм навантаження; 4 – важіль; 5 – датчик переміщення; 6 – зразок-призма; 7 – кронштейн; 8 – фіксатор; 9 – головка; 10 – пересувна гиря; 11 – сферична частина ексцентрика.

Рисунок 3.2 – Схеми експериментального визначення розрахункових модулів пружності: а – схема режиму навантаження зразка під час випробування; б – схема маятникового приладу

Крім експериментальних методів визначення модуля пружності за різного часу дії навантаження застосовували аналітичні методики, що базуються на основних положеннях теорії композитів. Ця методика дозволяє, задаючись

кількісним співвідношенням між компонентами асфальтобетону та їхніми властивостями, визначати значення модуля пружності самого композиту [75, 84, 119-121].

Для встановлення модуля пружності асфальтобетону у залежності від значення цієї характеристики кожного компоненту та його складу багатьма дослідниками розроблені аналітичні залежності [75, 118, 122], які носять чисто емпіричний характер або теоретико-експериментальний. Так найпростішим і широко вживаним виразом є формула Хакелома-Кломпа [122], яка являє собою функціональну залежність модуля пружності асфальтобетону від модуля пружності бітуму E_b і параметрами складу асфальтобетону (об'ємної концентрації мінерального матеріалу C_v , залишкової пористості асфальтобетону VPI):

$$E_b = f(E_b, C_v, VPI). \quad (3.1)$$

Більш точніший підхід для визначення деформаційних характеристик асфальтобетону запропоновано Б.С. Радовським [75, 84], в якому використовуючи стандартні характеристики бітуму, розроблено аналітичні залежності для визначення характеристик жорсткості асфальтобетонного композиту. Динамічний модуль пружності асфальтобетону визначається за формулою:

$$E_{mixd} = P_{cd} \left[E_{agg} \cdot (1 - VMA) + E_{bd} \cdot VMA \cdot VFA \right] + \frac{1 - P_{cd}}{\frac{(1 - VMA)}{E_{agg}} + \frac{VMA}{E_{bd} \cdot VFA}} \quad (3.2)$$

де контактна функція визначається за формулою:

$$P_{cd} = \frac{\left(P_0 + E_{bd} \cdot \frac{VFA}{VMA} \right)^{P_1}}{P_2 + \left(E_{bd} \cdot \frac{VFA}{VMA} \right)^{P_1}}, \quad (3.3)$$

де $P_0=0.138$, $P_1=0.58$ и $P_2=36.25$.

Динамічний модуль бітуму визначається по формулі:

$$E_{bd}(\omega) = \frac{E_g}{\Gamma(1+m(\omega))} \left[1 + \left(\frac{E_g}{3\eta\omega} \right)^\beta \right]^{-\frac{1}{\beta}}, \quad m(\omega) = \frac{(E_g / 3\eta\omega)^\beta}{1 + (E_g / 3\eta\omega)^\beta}, \quad (3.4)$$

В'язкість бітуму визначається за формулою (3.5)

$$\eta(T_r) = 0.00124 \left[1 + 71 \exp \left[-\frac{12(20 - PI)}{5(10 + PI)} \right] \right] \cdot \exp \left(\frac{0.2011}{0.11 + 0.0077 PI} \right), \quad (3.5)$$

а показник степені – за формулою (3.6)

$$\beta = \frac{0.1794}{1 + 0.2084 PI - 0.00524 PI^2}, \quad (3.6)$$

де S – модуль жорсткості бітуму, МПа;

E_g – миттєвий модуль пружності, який для всіх бітумів можна прийняти

$E_g=2460$ МПа;

η – коефіцієнт в'язкості, МПа·с;

$\eta(T_r)$ – в'язкість при температурі $T_r=(T_{rb} -10)$;

$a_{T_r, Ahrr}(T)$ – функція температурно-часового зміщення при температурі

$T \leq T_{rb} -10$;

$a_{T_r, WLF}(T)$ – функція температурно-часового зміщення при температурі $T > T_{rb} -10$;

T_{rb} – температура розм'якшення за методом «кільце і куля», °С;

PI – індекс пенетрації бітуму $PI=(20-500A)/(1+50A)$;

$A = (\lg(800/P)) / (T_{rb} -25)$ – коефіцієнт температурної чуттєвості;

P – глибина проникання (пенетрація) при 25 °С;

t – час дії навантаження, с;

T – температура, °С.

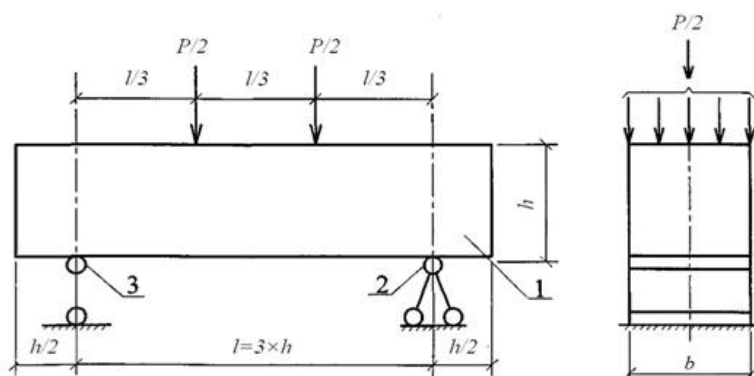
Також модуль пружності $E(t)$ для дисертаційних досліджень встановлювали на основі літературних або довідкових даних, отриманих апробованими методиками, розробленими для визначення модуля пружності, стосовно асфальтобетонів різних складів [10, 83, 85, 87, 125]. З цією метою були також використані результати випробування зразків при сталих гармонійних коливаннях [47, 84, 125]. Для цього застосовували наступне емпіричне співвідношення [45, 125], що зв'язує $E(t)$ з дійсною E' і уявною E'' складовими комплексного модуля в дослідях з різними круговими частотами ω :

$$E(t) = E'(\omega) - 0,4\omega + 0,014E''(10\omega), \quad t = 1/\omega, \quad (3.7)$$

Встановлення розрахункової міцності на розтяг при згині

Експериментальне визначення розрахункової міцності на розтяг при згині виконували за методикою СОУ 42.1-37641918-099:2013 «Розрахунковий опір розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів. Метод визначення». Суть випробувань полягає у визначенні навантаження, необхідного для руйнування зразка-призми в умовах розтягу при 4-х точковому згині, що забезпечує чистий розтяг в нижній частині зразка в зоні між прикладеними силами (рисунок 3.3).

Випробування виконується при швидкості деформування зразка $(128 \pm 6,0)$ мм/хв.



1 – зразок-призма; 2 – нерухома опора; 3 – рухома опора; P – навантаження, Н (кгс); h – висота поперечного перерізу зразка, мм (см); b – ширина поперечного перерізу зразка, мм (см); l – відстань між опорами, мм (см)

Рисунок 3.3 – Схема випробувань зразків-призм на розтяг при згині

Встановлення показника втоми асфальтобетону

Встановлення показника втоми здійснювали за відомими результатами, отриманими згідно з методикою СОУ 45.2-00018112-058:2010 «Монолітні дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на втому», що використовує повторне навантаження асфальтобетонних зразків-призм. Також використовувались результати випробувань асфальтобетонних зразків при постійній швидкості навантаження і виконувались розрахунки за методикою роботи [83].

Встановлення параметрів функції релаксації та функції температурно-часового зміщення

Експериментальне визначення функції релаксації здійснювали за методикою НТУ [83, 84] при базовій температурі приведення 20 °С. При цьому використовували приблизну рівність між значенням функції релаксації $R(t)$ і модулем пружності $E(t)$ асфальтобетону:

$$R(t) \approx E(t), \quad (3.8)$$

Для визначення $E(t)$ при різному часу дії навантаження застосовували різні методи випробувань. Виходячи із технічних можливостей в лабораторії найзручніше створювати різний час дії навантаження при визначення модулів пружності при довготривалому навантаженні (більше 30 с), а короткочасне навантаження при 0,1 с – з допомогою маятникового приладу. Модулі пружності при меншому часі дії навантаження визначають за допомогою гармонійних коливань [125], а також за допомогою ультразвукових приладів. Експериментально такі модулі пружності визначали за методикою НТУ [84, 125] з використанням ультразвукового приладу СП УК-10ПМС. За допомогою цього приладу визначали швидкість проходження ультразвукових хвиль V (м/с) в асфальтобетонному зразку, в залежності від частоти коливань ν (с⁻¹).

Це дає змогу визначити модуль пружності в МПа за наступною

залежністю:

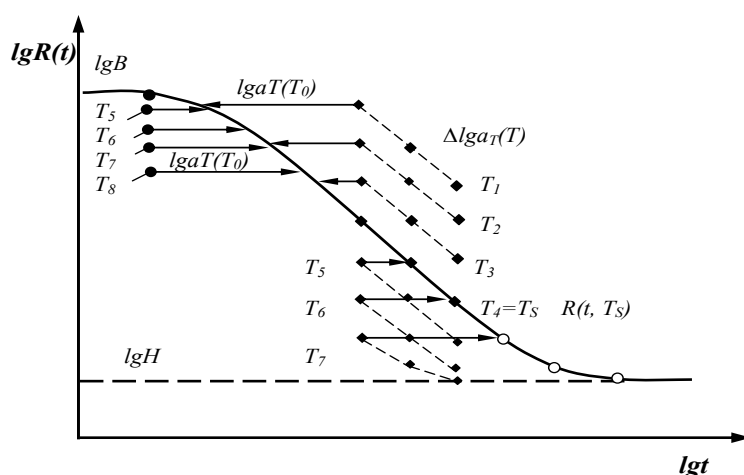
$$E_{ult} = \rho \cdot V^2 \cdot \kappa_{\phi}, \quad (3.9)$$

де ρ – середня щільність зразка, кг/м³;

V – швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль в асфальтобетоні, м/с;

κ_{ϕ} – коефіцієнт, що є функцією розмірів зразка.

Процедуру побудови повної функції релаксації при температурі приведення виконується згідно методики НТУ [84, 87, 124] за схемою представленою на рисунку 3.4.



- – при прозвучуванні ультразвуком; ■ – при випробуванні в умовах короткочасної повзучості;
- o – те ж в умовах тривалої повзучості

Рисунок 3.4 – Схема побудови повної кривої модуля пружності асфальтобетону на підставі застосування принципу температурно-часової аналогії за результатами експериментів.

Це дає змогу апроксимувати експериментальні значення функції релаксації. Для досліджень прийнято застосовувати функції релаксації у вигляді модифікованого степеневого закону Р. Шеппері:

$$R(t) = H + (B - H) \cdot (1 + t/r)^{-m}, \quad (3.10)$$

де m, r, H, B – експериментальні константи.

Крім того, як свідчать дослідження НТУ [75, 83, 84], значення параметрів функції релаксації можуть бути отримані за допомогою дослідів на повзучість, або з результатів випробувань зразків асфальтобетону на розтяг при постійній швидкості випробування за методикою, наведеною у Додатку Г.

Для апроксимації функції температурно-часового зміщення використана степенева залежність вигляду [75, 84]:

$$a_T(T, Q) = e^{-P(T-Q)}. \quad (3.11)$$

де Q – температура приведення;

P – експериментальний параметр.

На основі апроксимації встановлених експериментальних і аналітико-експериментальних результатів та відомих літературних даних [70, 75, 83, 84, 87, 125, 124] були отримані аналітичні залежності, що дозволяють визначати параметри функції релаксації (3.10) та функції температурно-часового зміщення (3.11).

Залежність параметрів функції релаксації та температурно-часового зміщення бітуму ($P_{25} = 80 \text{ мм} \cdot 10^{-1}$) від його індексу пенетрації IP :

$$m = 35,464(IP)^2 - 49,193(IP) + 15,203, \quad (3.12)$$

$$\lg r = -5.85 \lg c - 1.64 \lg c, \quad (3.13)$$

$$p = 0.312 - 0.0174(IP). \quad (3.14)$$

Залежність параметрів функція релаксації r і m асфальтобетону в залежності від індексу пенетрації бітуму IP ($P_{25} = 80 \text{ мм} \cdot 10^{-1}$, $B = 6,3\%$, $V_H = 3\%$):

$$\lg r = 0,0149(IP)^2 + 1,4506(IP) + 4,6964, \quad (3.15)$$

$$m = 0,0803m^2 - 1,7548v + 7,6286, \quad (3.16)$$

$$lg r = 0,0095 \cdot (IP)^2 + 0,631 \cdot (IP) + 2,6929, \quad (3.17)$$

$$m = -3, \quad (3.18)$$

Залежність параметрів функції релаксації асфальтобетону неперервного зернового складу ($B = 0,063$; $P_{25} = 80 \text{ мм} \cdot 10^{-1}$; $I.P. = 0$; $T = Q = 10 \text{ }^\circ\text{C}$) в залежності від його залишкової пористості V_n :

$$lgr = 0,0039 V_n^2 - 0,1363 V_n - 4,279; \quad (3.19)$$

$$m = 1085,4 V_n - 477,87; \quad (3.20)$$

$$H = 0,1441 V_n^2 - 5,0973 V_n + 51,971; \quad (3.21)$$

$$B = -4971,4 V_n + 29819. \quad (3.22)$$

Залежність параметрів функції релаксації асфальтобетону неперервного зернового складу ($V_n = 3 \%$; $P_{25} = 80 \text{ мм} \cdot 10^{-1}$; $I.P. = 0$) з урахуванням вмісту бітуму:

$$lgr = 0,0017B^3 - 0,0608B^2 + 0,6235 B - 6,7734; \quad (3.23)$$

$$m = -2E-06B^4 + 1E-05B^3 \cdot 0,0011B^2 - 0,0166B + 0,5053; \quad (3.24)$$

$$H = 0,1089B^4 - 2,7838B^3 + 23,728B^2 - 72,667B + 75,974; \quad (3.25)$$

$$B = 0,2402B^6 - 14,056B^5 + 320,28B^4 - 3535,4B^3 + 18720B^2 - 37114B + 32050. \quad (3.26)$$

Встановлення функції довговічності асфальтобетону

Як свідчить аналіз результатів досліджень НТУ [75, 84] функцію

довговічності асфальтобетону доцільно описувати модифікованою залежністю Бартенєва

$$t^*(\sigma, T) = B_t(T) \sigma^{-b_t(T)}, \quad (3.27)$$

де параметри $b_t(T)$ і $B_t(T)$ на основі експериментальних результатів можуть бути апроксимовані аналітичними залежностями:

$$b_t(T) = A_b + B_b \frac{1}{T'} + c_b e^{D_b/T'}, \quad (3.28)$$

$$\lg B = a_B + b_B \frac{1}{T'} + r_B e^{p_B/T'}, \quad (3.29)$$

де $A_b, B_b, C_b, D_b, a_B, b_B, r_B, p_B$ – експериментальні константи;
 T' – абсолютна температура.

Використовуючи експериментальні результати та відомі літературні дані залежності параметрів функції довговічності від температури $b_t(T)$, $B_t(T)$ отримували на основі апроксимації для різних складів асфальтобетону відповідні аналітичні залежності.

Так, за даними, отриманими В.А. Золотарьовим [125] в результаті випробування на тривалу міцність при постійних температурах зразків асфальтобетону приготованого на бітумі III структурного типу з пенетрацією 80, в інтервалі температур від -30° до $+20^\circ$ С, були отримані вирази:

$$e_\tau = -1E-06T^5 + 2E-05T^4 + 0,0004T^3 - 0,0097T^2 - 0,0135T + 5,3948$$

$$\lg e_\tau = -2E-06\left(\frac{1}{T'}\right)^4 + 1E-05\left(\frac{1}{T'}\right)^3 + 0,0011\left(\frac{1}{T'}\right)^2 - 0,0166\left(\frac{1}{T'}\right) + 0,5053.$$

3.3 Дослідження фізико-механічних та теплофізичних властивостей безавтоклавного пінобетону

Дослідження впливу рецептурно-технологічних чинників на фізико-механічні властивості безавтоклавного пінобетону

В лабораторії кафедри виробництва будівельних виробів і конструкцій Одеської державної академії будівництва і архітектури були проведені експериментальні роботи по визначенню впливу рецептурно-технологічних чинників на фізико-механічні властивості безавтоклавного пінобетону.

Був розроблений алгоритм розрахунку складів пінобетону, що забезпечує необхідні показники по міцності і середній густини. В основу закладена інформація, отримана в результаті реалізації 3-х факторного експерименту, охарактеризованого [100, 129, 130]. Детальний опис алгоритму розрахунку складу пінобетону наведений в Додатку Д.

Як сировинні матеріали, в експериментальних роботах використовували: портландцемент, наповнювач, піноутворювач і воду.

В якості незалежних змінних, в тривірневому плані Бокса – Бенкина типу В-3, були прийняті: вміст наповнювача, діаметр розпливу розчину по віскозиметру Сутгарда і густина пінобетонної суміші. Повні відомості про змінні чинники, їх рівні і інтервали варіювання приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Чинники, їх рівні і інтервали варіювання

Найменування чинника	Код чинника	Од. вимірювання	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
			-1	0	+1	
X1 – вміст заповнювача	Н	поділ. од	0,3	0,5	0,7	0,2
X2 – діаметр розпливу розчину	Д	мм	200	250	300	50
X3 – густина пінобетонної суміші	З	кг/м ³	900	1150	1400	250

Перед приготуванням пінобетонних сумішей, згідно матриці планування експерименту, проводили розрахунок складу з метою отримання пінобетону середньої густини в сухому стані 600 – 1200 кг/м³.

У кожному рядку плану експерименту заповнювали пінобетоном по дві форми.

Після набуття пінобетоном міцності, зразки витягували з форм і поміщали в камеру нормального твердіння з 90% вологістю і температурою 20 ± 2 °C.

Після закінчення термінів зберігання, в 28-ми добовому віці, зразки пінобетону розпилювали у вертикальному напрямі на 6 зразків заввишки 100 мм. Зважені зразки пінобетону поміщали в сушильну шафу і висушували до постійної маси при температурі 100 ± 5 °C і знову зважували для визначення технологічної вологості. Після цього частину зразків випробовували на міцність при стисненні на гідравлічному пресі. Іншу частину поміщали у воду на 24 години до їх повного насичення і визначали водопоглинання і водостійкість (коефіцієнт розм'якшення) пінобетону.

В результаті реалізації експерименту були визначені фізико-механічні характеристики пінобетону (середня густина в сухому стані, міцність при стисненні в сухому і водонасиченому стані, технологічна вологість і водопоглинання) і складової розчину (міцність при стисненні і розтягуванні при згині). Матриця планування і результати експерименту приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Матриця планування і результати експерименту

№ п/п серії	Чинники			Властивості			
	1	2	3	Середня густина пінобетону, кг/м ³	Міцність пінобетону, кг/см ²	Вологість пінобетону, %	Водопоглинання пінобетону, %
	Н	Д	З				
1	-	+	-	637	10	14,6	46,8
2	+	-	-	718	7	12,3	32
3	-	+	-	792	16	14,9	26,5
4	+	-	-	769	7	12,2	31,9
5	-	+	+	1226	51	11	10,7
6	+	-	+	1177	34	12,3	17,2
7	-	+	+	1212	37	14,2	19,4
8	+	-	+	1160	31	12,3	17,5
9	-	0	0	986	33	15,5	20
10	+	0	0	1026	17	13,4	19,6
11	0	-	0	921	27	13,2	16,8
12	0	+	0	1071	30	14,3	18,6
13	0	0	-	735	9	16	34,3
14	0	0	+	1217	43	12,2	17,3
15	0	0	0	1067	29	14,3	18,4

На підставі отриманих результатів експерименту в системі COMPEX були побудовані математичні моделі досліджуваних властивостей і їх статистичні характеристики, які приведені нижче (рис. 3.5 – 3.7).

На підставі математичних моделей побудовані графічні залежності, що відображають, і характер впливу досліджуваних чинників на властивості пінобетону, а також ізоповерхні досліджуваних властивостей.

Як видно з графіків (рис. 3.5 – 3.7) найбільший вплив на зміну міцності пінобетону має третій чинник – густина пінобетонної суміші, або, що рівнозначно середня густина пінобетону. Другим суттєвим чинником є чинник X_1 – вміст наповнювача. Як у зоні максимальних, так і в зоні мінімальних значень збільшення вмісту наповнювача призводить до зниження міцності пінобетону.

Певний інтерес представляє характер впливу водопотреби суміші розчину. Так в зоні мінімальних значень (низька середня густина пінобетону, висока пористість) підвищення водопотреби приводить до підвищення міцності пінобетону (рис. 3.8, рис. 3.9). В той же час в зоні високої густини характер впливу цього чинника змінюється на протилежний.

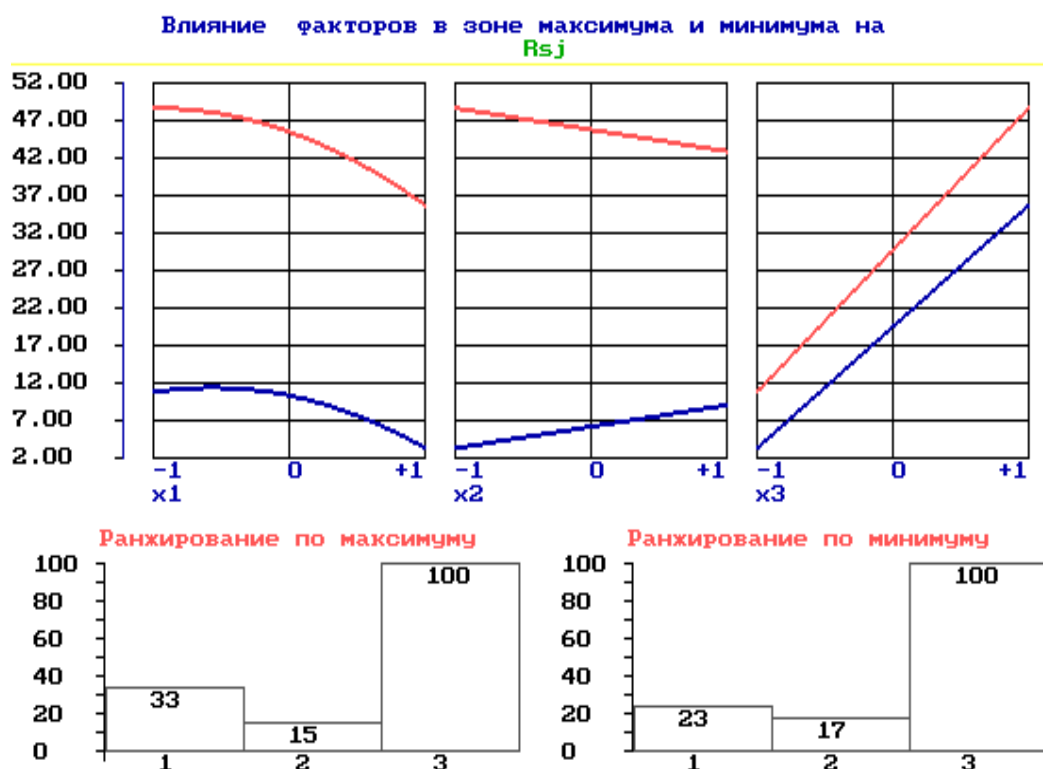
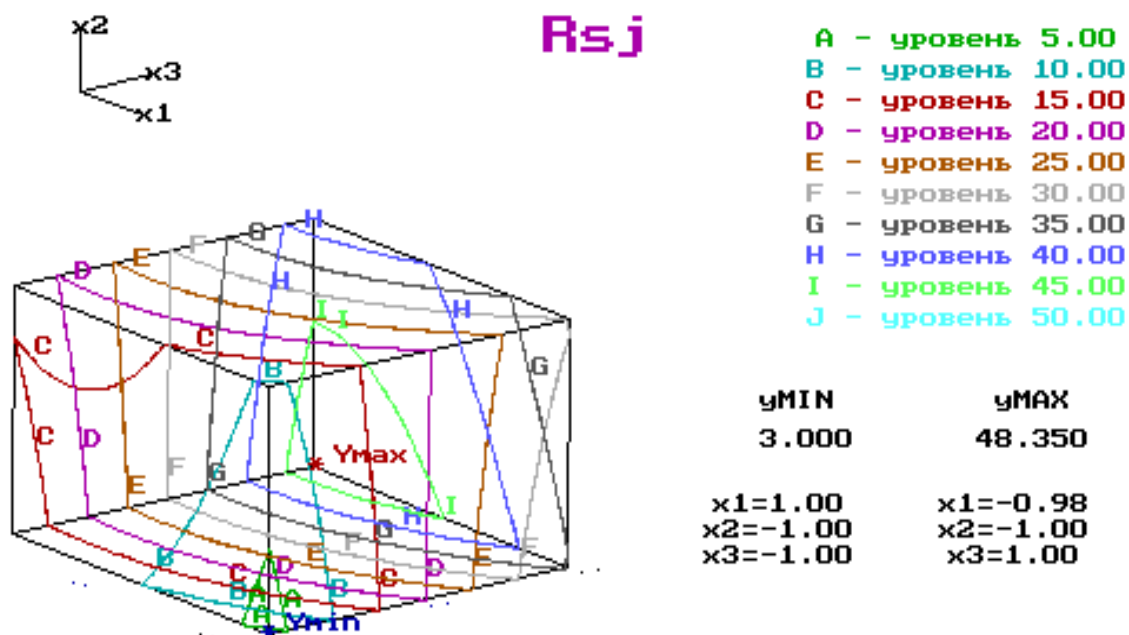
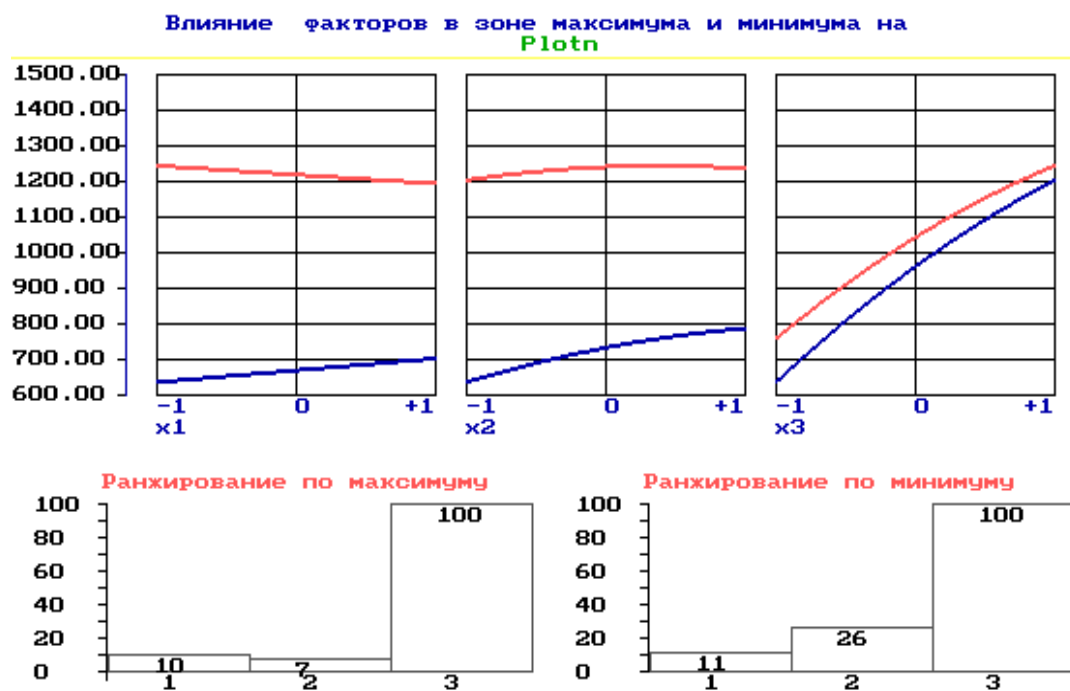


Рисунок 3.5 – Ступінь і характер впливу чинників на міцність пінобетону



а)



б)

Рисунок 3.6 – Математична модель досліджуваних властивостей і їх статистичні характеристики: а - ізоповерхні міцності пінобетону; б - ступінь і характер впливу чинників на середню густину пінобетону

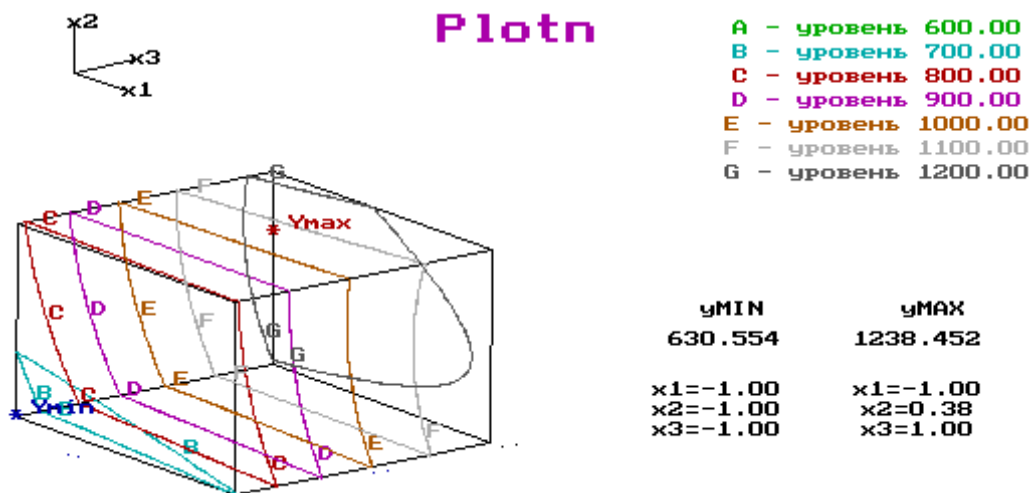


Рисунок 3.7 – Ізоповерхні середньої густини пінобетону

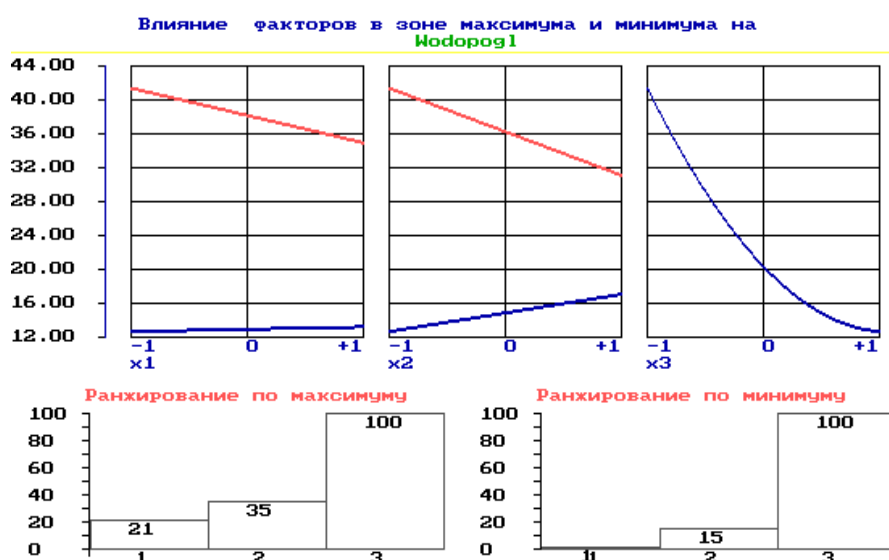
На зміну середньої густини пінобетону в сухому стані найбільший вплив дає третій чинник – густина пінобетонної суміші. Із збільшенням густини пінобетонної суміші, практично лінійно, підвищується середня густина пінобетону. При цьому підвищується і міцність пінобетону. Два інших чинника впливають не суттєво на зміну густини пінобетону, крім того, що в зоні мінімальної густини підвищення водопотреби приводить до збільшення густини пінобетону.

На рисунках 3.8 – 3.10 представлені графіки, що відображають ступінь і характер впливу досліджуваних чинників на величину водопоглинання пінобетону. Найбільший вплив на водопоглинання дає густина пінобетону, або його загальна пористість. Із зниженням пористості зростає пористість пінобетону, або його насичення твердою фазою, що призводить до зниження водопоглинання.

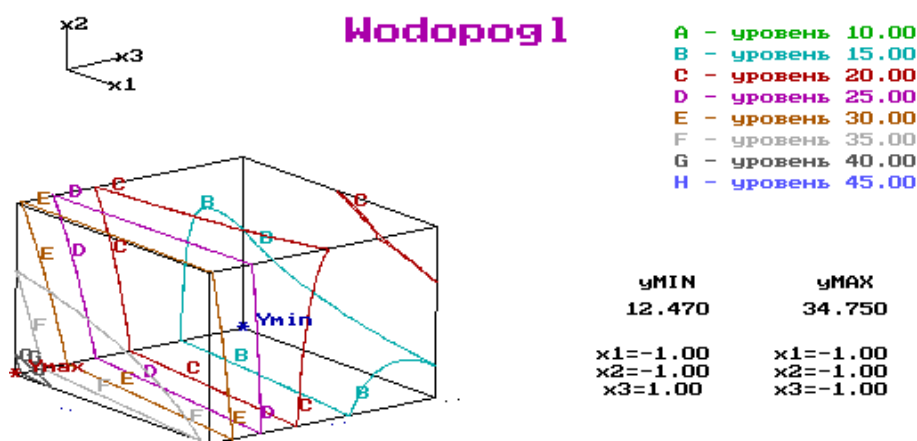
Неоднозначний вплив на водопоглинання пінобетону перших двох чинників. Так в зоні високих значень водопоглинання збільшеного вмісту наповнювача і величини водопотреби суміші розчину призводить до зниження водопоглинання. Проте, в зоні мінімального водопоглинання вміст наповнювача практично не робить ніякого впливу, а підвищення водопотреби збільшує водопоглинання пінобетону. Такий неоднозначний характер впливу водопотреби суміші розчину при різному насиченні пінобетону газовою фазою, може свідчити про переважний вплив якихось структурних параметрів на властивості

пінобетону. Оскільки на приведених графічних залежностях простежується певний кореляційний зв'язок між міцністю і середньою щільністю пінобетону на підставі набутих експериментальних значень в системі EXCEL побудований графік залежності міцності від густини пінобетону, приведений на рисунку 3.11.

Результати апроксимовані поліномом другого порядку з достатньо високим коефіцієнтом кореляції – 0,84. Розкид значень від лінії тренда пояснюється помилкою експерименту, а також впливом перших двох чинників. Але при виборі пінобетону з необхідними показниками міцності використання одержаної емпіричної залежності буде цілком сприятливе.



a)



б)

Рисунок 3.8 – Математична модель досліджуваних властивостей і їх статистичні характеристики: а - ступінь і характер впливу чинників на водопоглинання пінобетону ; б - Ізоповерхні водопоглинання пінобетону

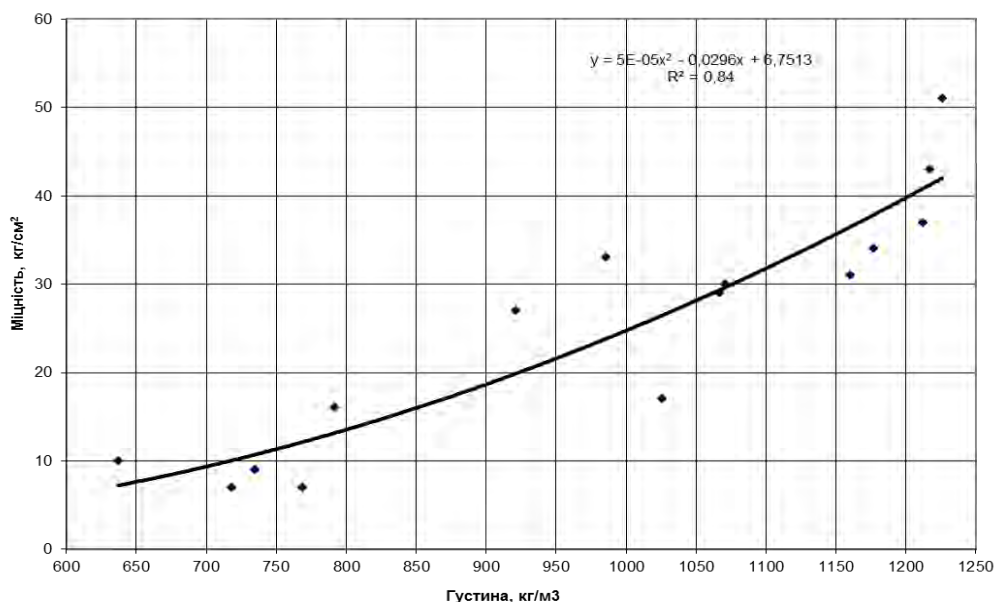


Рисунок 3.9 – Кореляційна залежність між міцністю і середньою густиною пінобетону

Встановлення розрахункових характеристик пінобетону

Випробування по встановленню розрахункових характеристик пінобетону проводили за стандартними методиками в лабораторії кафедри «Будівельні конструкції та мости» ОДАБА м. Одеса за участі д.т.н., доцента Мартинова Володимира Івановича та в лабораторії відділу дорожньо-будівельних матеріалів ДП «ДерждорНДІ» під керівництвом к.т.н. Коваля Петра Миколайовича і к.т.н. Фаля Андрія Миколайовича.

Визначення міцності пінобетону на стиск (табл. 3.3) проводилось згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками» та ДСТУ В.2.7-217:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона». Також були проведені випробування циліндрів з пінобетону діаметром 150 мм висотою 150 мм на визначення міцності пінобетону на розтяг при розколюванні відповідно до ГОСТ 10180-90 (табл. 3.4).

Міцність на розтяг при розколюванні R_{bt} дослідних зразків з пінобетону середньою густиною 800 кг/м³ менша за кубикову міцність R_b у 5 разів, а для зразків з пінобетону середньою густиною 1200 кг/м³ – у 3 рази. На такий

великий розкид даних могла вплинути технологія виготовлення пінобетону та недосконала методика досліджень

З метою визначення призмної міцності пінобетону були виготовлені зразки-призми розмірами 150x150x600 мм (Додаток Д). Випробування пінобетонних зразків-призм проводилося відповідно до ДСТУ В.2.7-217:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмної міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона». Згідно випробувань середня міцність серії зразків з середньою густиною 800 кг/м³ на 28 день склала 1,444 МПа, а середня міцність серії зразків з середньою густиною 1200 кг/м³ на 28 день показала 1,556 МПа.

Таблиця 3.3 – Результати визначення кубикової міцності пінобетону на стиск за контрольними зразками

Середня густина, кг/м ³	Вік пінобетону	Середня міцність серії зразків, МПа
800	7 день	1,084
800	28 день	1,362
800	127 день	1,634
1200	7 день	1,083
1200	28 день	1,600
1200	127 день	1,849

Таблиця 3.4 – Результати визначення міцності пінобетону на розтяг при розколюванні за контрольними зразками

Середня густина, кг/м ³	Вік пінобетону	Середня міцність серії зразків, МПа
800	28 день	0,305
800	127 день	0,312
1200	28 день	0,501
1200	127 день	0,563

Дослідне співвідношення кубикової міцності R до призмної R_b становить 1,03 для пінобетону середньою густиною 800 кг/м³ і 0,94 для пінобетону середньою густиною 1200 кг/м³. Отримані для пінобетону співвідношення R/R_b відрізняються від встановлених емпіричних залежностей, що становлять 0,7-0,9. За результатами випробувань було побудовані графічні залежності (рис 3.10).

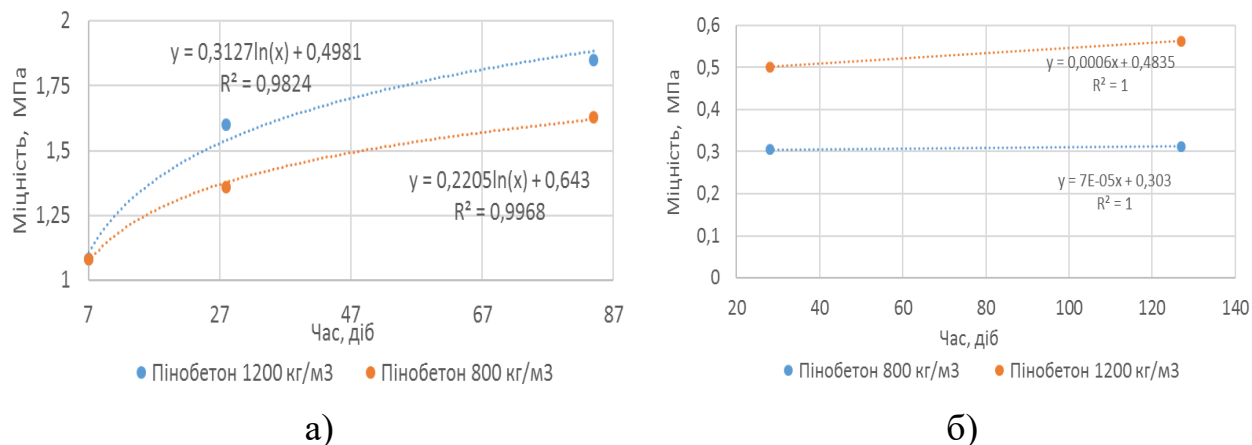


Рисунок 3.10 – Кінетика набору міцності безавтоклавного пінобетону: а - на стиск; б - на розтяг при розколюванні

Важливою з точки зору розрахунку дорожніх одягів для пінобетону, як нового матеріалу, є показник на розтяг при згині [130-132], який визначали згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Будівельні матеріали. Бетони методи визначення міцності за контрольними зразками». Результати представлено на рис 3.10.б.

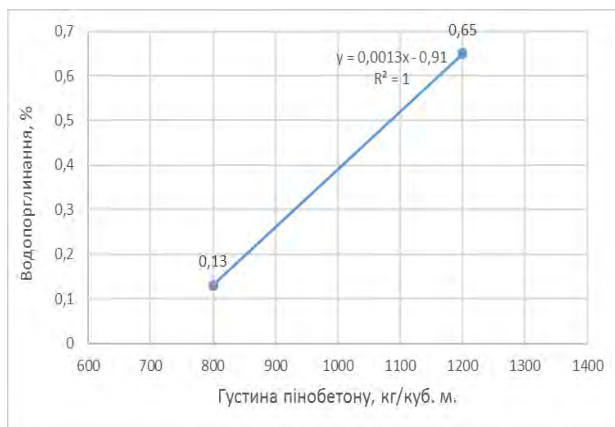
Для матеріалів, що працюють в шарах дорожнього одягу суттєве значення має їх водопоглинання. Пінобетони з густиною 800 кг/м³ характеризуються водопоглинанням за масою 60 %; тоді як для пінобетонів маркою за густиною D1200 водопоглинання становить 20 %.

Важливою характеристикою пінобетону є теплопровідність. Відомо, що вона пов'язана з густиною і визначається структурою матеріалу (рис. 3.11.в).

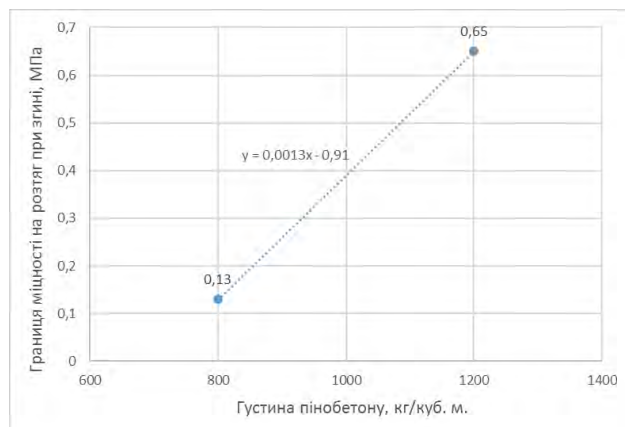
Експериментальні випробування, підбір складу пінобетонної суміші і розробка технологічних параметрів дозволили отримати пінобетон з міцністю на стиск 5,1 МПа, вологістю 11%, водопоглинанням 10,7%.

З проведених випробувань і одержаного досвіду зрозуміло, що ці показники можна покращити.

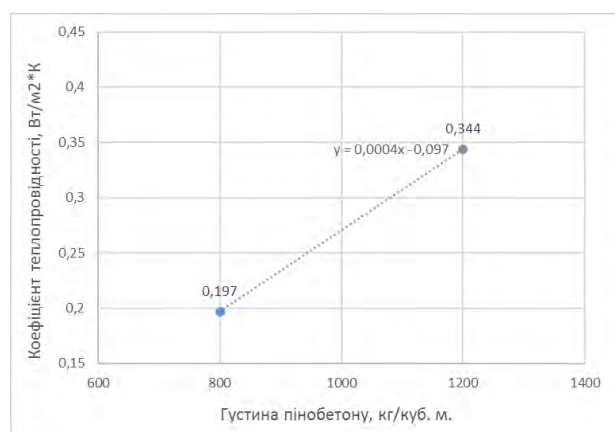
Узагальнені результати випробування безавтоклавного пінобетону наведено в табл. 3.5.



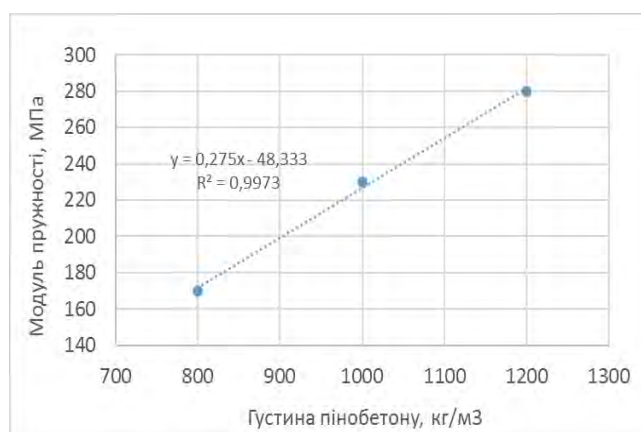
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.11 – Залежність характеристик безавтоклавного пінобетону від його густини: а - водопоглинання; б - міцність на розтяг при згині; в - теплопровідності; г - модуля пружності

Таблиця 3.5 – Характеристики безавтоклавного пінобетону

Марка за середньою густиною безавтоклавного пінобетону згідно з ДСТУ Б В.2.7-45	Густина, кг/м³	Модуль пружності, МПа	Міцність на розтяг при згині, МПа	Показник втоми	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)
D-800	0.8	170	0.1	0.06	0.27
D-1000	1.0	230	0.25	0.06	0.34
D-1200	1.2	280	0.4	0.06	0.2

За результатами досліджень було розроблено Р В.2.7-218-03450778-681:2007 «Рекомендації з використання в дорожньому будівництві пінобетонів». Крім цього, одержані характеристики безавтоклавного пінобетону

використовували при розрахунках конструкцій нежорстких дорожніх одягів та при чисельному аналізі.

Підтвердження одержаних результатів також можна побачити в наукових роботах НУ “Львівська політехніка” [100, 129-133]. Крім цього були одержані результати досліджень щодо дисперсноармованого пінобетону (Додаток Д). Аналіз цих результатів дозволяє стверджувати, що введення в пінобетонну суміш під час бетонування поліпропіленової фібри дозволяє покращити міцнісні характеристики пінобетону на розтяг при згині в діапазоні марок пінобетону від D800 до D1200 в 3,71 – 1,68 разів.

3.4 Натурні дослідження асфальтобетонного покриття на підходах до мостів

У відділі штучних споруд ДП «ДерждорНДІ» за встановленою практикою крім нормативно встановлених показників (Г1.3.5 ДБН В.2.3-6 «Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування») при обстеженні мостового полотна виконували обстеження підходів до мосту (рис. 3.12 -3.14). При обстеженні підходів (30 м для мостів до 50 м довжиною і 50 м для мостів більше 50 м.) виконували їх нівелювання (рис. 3.14), встановлювали тип сполучення мосту з автомобільною дорогою та виконували візуальне обстеження покриття та фотофіксацію.

При виконанні робіт з обстеження і паспортизації мостів, встановлено, що найбільше дефектів у вигляді просядок, тріщин і вибоїн на покритті спостерігається у пойменій частині підходів на характерних ділянках (згідно схеми рисунка 2.1 типу І). На характерних ділянках типу ІІ у переважній більшості на покритті з’являються тріщини, а на ділянках типу ІІІ тріщини і просядки (рис. 3.12 – 3.14).



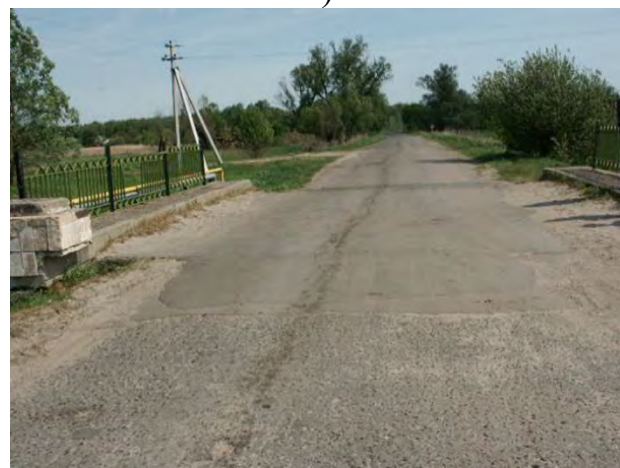
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.12 – Стан покриття на підходах до автодорожніх мостів на а/д місцевого значення у Київській області: а – поперечна тріщина над закінченням перехідної плити; б – відремонтоване асфальтобетонне покриття в зоні перехідної плити; в – просадки асфальтобетонного покриття; г - тріщини та латки на асфальтобетонному покритті

Були проведені натурні дослідження асфальтобетонного покриття на підходах до мостів з встановленням параметрів режимів руху транспортних засобів, а також фіксацією дефектів та вимірювання параметрів рівності покриття і прогинів його поверхні.

Були проведені натурні дослідження шляхом обстеження вулиць і доріг населених пунктів та доріг загального користування. При цьому оцінювали стан дорожнього одягу і встановлювали види, розповсюдженість і розміри дефектів асфальтобетонного покриття. З характерних ділянок відбирали вирубку і керни, виготовляли зразки, досліджували властивості асфальтобетонного покриття.



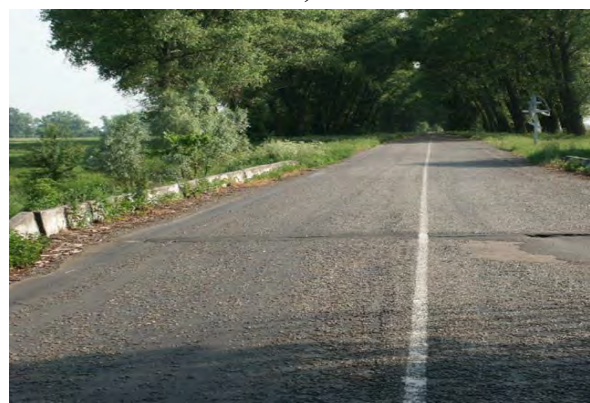
а)



б)



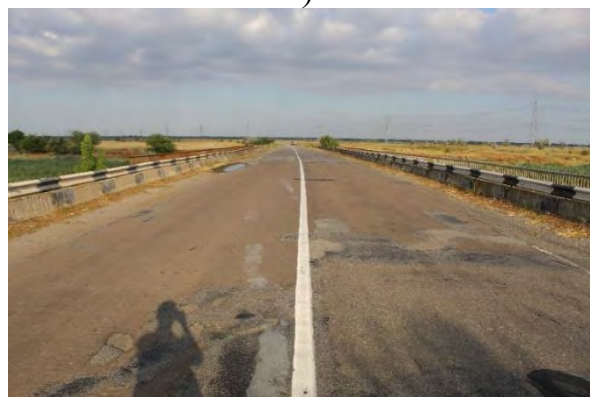
в)



г)

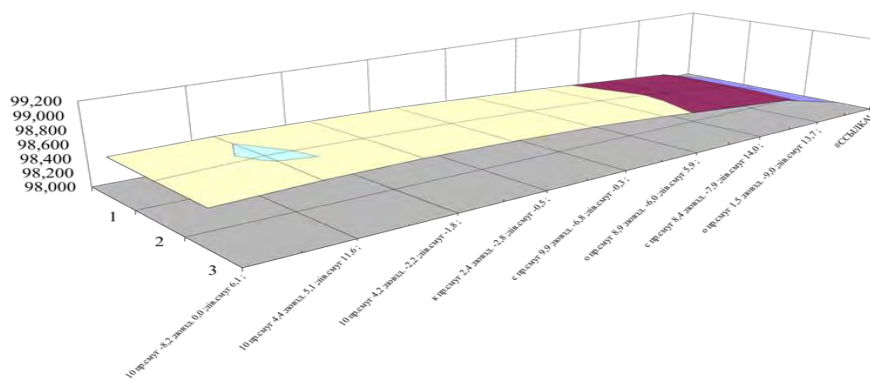


д)

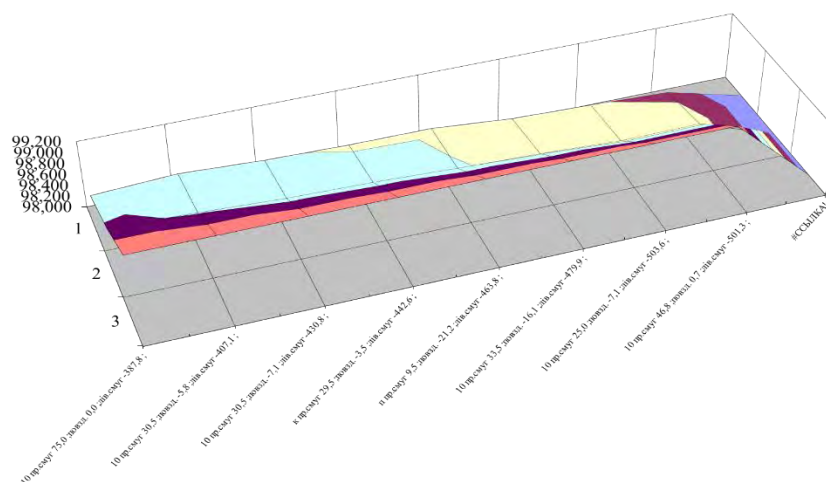


е)

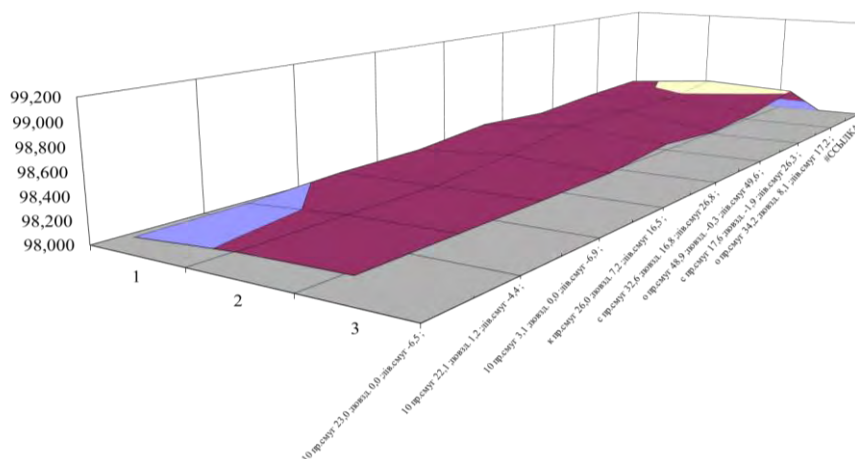
Рисунок 3.13 – Стан асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів на автомобільних дорогах місцевого значення в Київській (а, б), Житомирській (в, г) та Харківській областях: а – просадки асфальтобетонного покриття; б – поперечна тріщина над закінченням перехідної плити; в - просадки, тріщини і ямковість; г - задовільний стан асфальтобетонного покриття; д - просадки асфальтобетонного покриття; е - неоднорідна структура покриття



а)



б)



в)

Рисунок 3.14 - Нівілювання проїзної частини та підходів мосту у Київській області: а, б, в - нерівності асфальтобетонного покриття

Аналіз результатів обстеження стану покриття, що експлуатується при різних режимах навантаження, дав можливість виявити фактори, що призводять

до порушення суцільності покриття і підтвердити теоретичні передумови підвищення його довговічності.

3.5 Дослідження довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостів на основі числового аналізу

Методичні аспекти числового аналізу

За допомогою числового аналізу було досліджено особливості напружено-деформованого стану та граничного стану асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження за різних температурних умов на підході до автодорожного мосту. Для цього використовували отримані у розділі 2 та відомі аналітичні рішення, номограми, скінченно-елементні програмні комплекси, літературні дані для встановлення впливу дії комплексу різних факторів на довговічність асфальтобетонного покриття підходів до автодорожніх мостів. В розрахунках використовували термо-в'язко-пружні, термомеханічні та теплофізичні характеристики дорожньо-будівельних матеріалів і ґрунтів, що встановлювались за методикою пп 3.1 і 3.2, а також за довідковими та літературними даними.

В дисертаційній роботі для проведення числового аналізу, основну увагу було приділено найбільш типовим конструкціям дорожнього одягу і матеріалам, які набули широкого використання в останні роки. Також для використання в шарах основи ділянки І на пойменній частині було передбаченою безавтоклавний пінобетон. Сучасні технології дозволяють його приготування в дорожніх умовах, а характеристики більш низької густини в порівнянні з традиційними матеріалами мають високі теплоізоляційні властивості. Матеріали шарів конструкцій дорожнього одягу та характеристики матеріалів, які використовували для розрахунку, представлені в таблиці 3.7. В ній наведені матеріали і товщини шарів, що використовували для числового аналізу. Конструкціям нежорсткого дорожнього одягу, які використовували в числовому аналізі присвоювався код у вигляді ДОхуyzqwrtp, де хуyzqwrtp номери шарів згідно колонки «№ шару» таблиці 3.6, що відповідають певним цифрам від 1 до

8. Наприклад: шифру ДО12458 відповідає конструкція дорожнього одягу, що наведена у таблиці 3.7.

Таблиця 3.6 - Матеріали шарів дорожнього одягу та їх характеристики, прийняті для аналізу

№ шару	Найменування матеріалу шара	Товщина шару для порівняння, що часто застосовується, см	Модуль пружності для розрахунку (+10 °C) Епр., МПа	Міцність на розтягу при згині Ro, МПа	Показник втоми m	Густина, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)
1	Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15 на БМПА 60/90-53) (Тип А, Марка І)	5	3100	9.80	6.5	2.4	1.4
2	Щільний гарячий асфальтобетон на битумі БНД 60/90 (Тип А, Марка І)	10	3200	9.80	5.5	2.4	1.4
3	Пористий гарячий асфальтобетон на бітумі БНД 60/90 (Крупнозернистий, Марка І)	10	2000	8.0	8.2	2.4	1.25
4	Щебенево-піщана суміш С-7, оброблена цементом, марки М20 згідно з ГБН В.2.3-37641918-554	20	400	0.5	0,06	2.0	2.1
5	Щебенево-піщана суміш С-5 згідно з ДСТУ Б В.2.7-30	20	240	-	-	2.0	1.9
6	Неавтоклавний пінобетон П-1000 згідно з ДСТУ Б В.2.7-45	30	230	0,25	0.06	1.0	0,27
7	Неавтоклавний пінобетон П-1200 згідно з ДСТУ Б В.2.7-45	30	280	0.4	0.06	1.2	0,34
8	Грунт робочого шару - Пісок дрібний	-	100	-	-	1.9	1.91
9	Неавтоклавний пінобетон П-800 згідно з ДСТУ Б В.2.7-45	20	170	0.1	0.06	0.8	0,20

Таблиця 3.7 - Конструкція дорожнього одягу шифр ДО12458

№	Конструктивні шари дорожнього одягу	Товщина, см	Модуль пружності по пружному прогину (+10 °C) Епр., МПа
1	Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15) на бітумі БМПА60/90-53	5	3100
2	Щільний гарячий асфальтобетон на БНД60/90 (Тип А, Марка І)	11	3200
3	Щебенево-піщана суміш С-7 оптимального складу, укріплена цементом М 20	20	400
4	Щебенево-піщана суміш С-5 оптимального складу	20	240
	Грунт земляного полотна - пісок		100

Аналіз напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття підходів до автодорожніх мостів у зоні сполучення їх з насипом

Тривала і надійна робота всього вузла сполучення мосту з насипом [42, 43, 47, 65-79, 84, 85, 87, 88, 92] є важливою науково-практичної задачею, успішне вирішення якої можливе на основі детального аналізу напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття у цій зоні.

Для моделювання напруженого стану дорожнього одягу під дією рухомих транспортних навантажень використано метод скінчених елементів. Як розрахунковий автомобіль з точки зору розташування пневматиків на покритті моделі було вибрано бетонозмішувач FORD TRUCKS 4142M EURO5 (10 м³), з загальною масою 33514 кг (рис. 3.18), 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. Для розрахунку приймали варіанти осьового навантаження на третю та четверту вісі: 110 кН, 115 кН, 130 кН [137, 138]. Прийнято, що слід від контакту колеса з поверхнею дорожнього покриття [85] являє собою прямокутник (Додаток Б).



Рисунок 3.15 – Чотирьохвісний автомобіль FORD TRUCKS 4142.

Схема сполучення мостової споруди з насипом підходу при горизонтальному розташуванні перехідної плити представлена на рис. 3.16.а. Довжина перехідної плити становить 6000 мм (П600.12 430-ТА400С). У дослідженнях розглядали два найбільш поширених і технологічних варіантів влаштування перехідної плити в конструкції:

- напівзаглиблена (45 см від верху плити до верху покриття на протилежного від початку мосту сторони) нахилена перехідна плита з ухилом 1:13;
- перехідна плита, влаштована горизонтально на глибині дорожнього одягу [3].

Напружено-деформованою стан конструкції дорожнього одягу під дією транспортних навантажень залежить від характеру розподілу зон нормальних σ і дотичних τ напружень (Розділ 2) між колесами вантажного автомобіля, впливу накладення полів напружень в залежності від міжосьових відстаней і відстаней між колесами (рис. 3.15).

В дослідженні прийнято сім схем розташування вантажного автомобіля (рис. 3.15) на поверхні асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в зоні сполученні мостової споруди з насипом підходу з наступними координатами розташування третьої осі автомобіля відносно берегової опори (ПК 0, рис. 3.16.б):

- схема №1 - 500 мм;
- схема №2 - 3000 мм;
- схема №3 - 5500 мм;
- схема №4 - 6000 мм;

- схема №5 – 6500 мм;
- схема №6 – 9000 мм;
- схема №7 – 11000 мм.

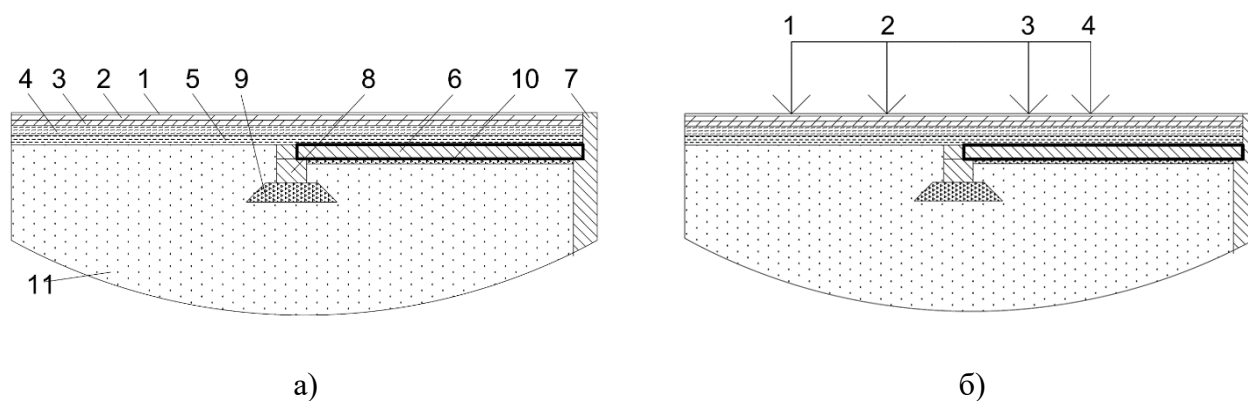


Рисунок 3.16 - Схема сполучення мостової споруди з насипом підходу: а - перехідна плита влаштована горизонтально на глибину дорожнього одягу; 1-2 - шари асфальтобетонного покриття; 3-5 - шари основи; 6 - перехідна плита; 7 - стоян (берегова опора); 8 - лежень; 9-10 - щебенева подушка; 11 - ґрунт земляного полотна (дренуючий) – пісок; б - навантаження нежорсткого дорожнього одягу від чотирьохвісного автомобіля

У дослідженнях розглядали найбільш характерні варіанти конструкції нежорсткого дорожнього одягу різної капітальності з наступними кодами згідно таблиці 3.7:

ДО123458:

- | | |
|--|--------|
| – Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15)
на бітумі БМПА60/90-53 | 5 см; |
| – Щільний гарячий асфальтобетон на БНД60/90 (Тип А, Марка І) | 10 см; |
| – Пористий гарячий асфальтобетон на бітумі БНД 60/90
(Крупнозернистий, Марка І) | 10 см; |
| – Щебенево-піщана суміш С-7 оптимального складу, укріплена
цементом М 20 | 20 см; |
| – Щебенево-піщана суміш С-5 оптимального складу | 20 см; |

– Грунт земляного полотна - пісок

ДО12458:

- Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15)
на бітумі БМПА60/90-53 5 см;
- Щільний гарячий асфальтобетон на БНД60/90
(Тип А, Марка І) 10 см;
- Щебенево-піщана суміш С-7 оптимального складу,
укріплена цементом М 20 20 см;
- Щебенево-піщана суміш С-5 оптимального складу 20 см;
- Грунт земляного полотна - пісок.

ДО1248:

- Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15)
на бітумі БМПА60/90-53 5 см;
- Щільний гарячий асфальтобетон на БНД60/90
(Тип А, Марка І) 10 см;
- Щебенево-піщана суміш С-7 оптимального складу,
укріплена цементом М 20 20 см;
- Грунт земляного полотна - пісок

ДО1258:

- Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15)
на бітумі БМПА60/90-53 5 см;
- Щільний гарячий асфальтобетон на БНД60/90
(Тип А, Марка І) 10 см;
- Щебенево-піщана суміш С-5 оптимального складу 20 см;
- Грунт земляного полотна - пісок

ДО1268;

- Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15)
на бітумі БМПА60/90-53 5 см;

- Щільний гарячий асфальтобетон на БНД60/90
(Тип А, Марка І) 10 см;
- Неавтоклавний пінобетон П-1000 згідно з ДСТУ Б В.2.7-45 30 см;
- Грунт земляного полотна - пісок.

ДО1278:

- Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15)
на бітумі БМПА60/90-53 5 см;
- Щільний гарячий асфальтобетон на БНД60/90
(Тип А, Марка І) 10 см;
- Неавтоклавний пінобетон П-1200 згідно з ДСТУ Б В.2.7-45 30 см;
- Грунт земляного полотна - пісок.

ДО1298:

- Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15)
на бітумі БМПА60/90-53 5 см;
- Щільний гарячий асфальтобетон на БНД60/90
(Тип А, Марка І) 10 см;
- Неавтоклавний пінобетон П-800 згідно з ДСТУ Б В.2.7-45 30 см;
- Грунт земляного полотна - пісок.

Для розрахунку конструкції дорожнього одягу створено просторову скінченно-елементну модель, що дозволяє визначити напружено-деформований стан кожного елемента конструкції (Рис. 3.16.а) [102-104] (Додаток Б).

Для моделювання перехідних залізобетонних перехідних плит використовували KE36 – універсальний просторовий восьмивузловий і ізопараметричний кінцевий елемент.

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.

Ґрунти основи та верхній шар асфальтобетону моделювався пластинчатими кінцевими елементами KE41 – універсальний прямокутний кінцевий елемент оболонки.

Інтерфейс ПК ЛИРА САПР дозволяє одержати загальну інформацію про напружено-деформований стан (Додаток Б), що відображається на кольоровій шкалі над відображеним ізополем. Фрагменти візуалізації напружено-деформованого стану дорожнього одягу представлено на рисунку 3.17 та в Додатку Б.

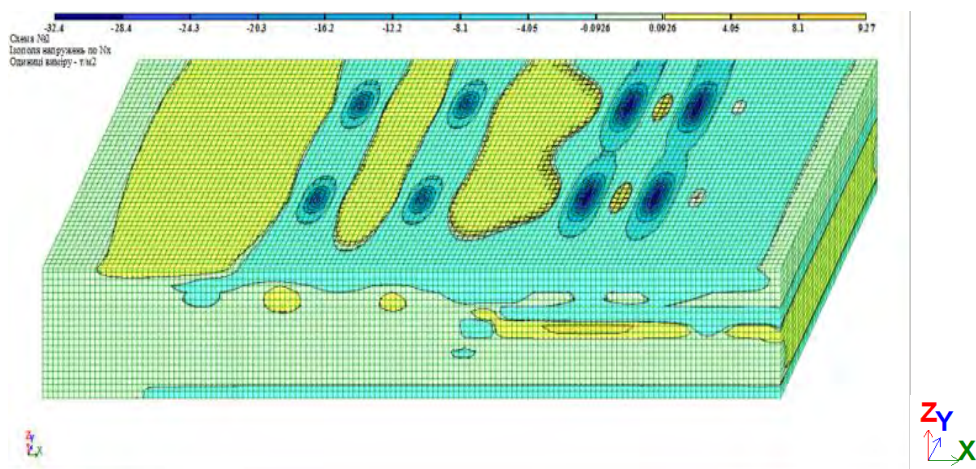
Отримані результати свідчать, що найбільші розтягуючі напруження виникають в зоні перехідної плити. Тому для одержання більш повної числової інформації віртуально розрізали модель в зоні дії пневматика по осі (2 Додаток Б).

В дослідженнях [3, 49] було підтверджено той факт, що якщо порівнювати напружено-деформований стан нежорсткого дорожнього одягу двох схем влаштування перехідних плит (напівзаглиблена рис. 1.2.а і горизонтальна, рис. 3.16), то схема з напівзаглибленою перехідною плитою забезпечує більш плавний перехід від конструкції насипу підходу до більш жорсткої конструкції прогонової будови мосту. В той же час було виявили найбільш небезпечну ділянку в зоні сполучення мосту і насипу – «закінчення перехідної плити – початок насипу». Саме дослідженню цієї зони і присвячені результати, наведені нижче, на прикладі конструкції дорожнього одягу підвищеної капітальності з кодом ДО123458 (згідно таблиці 3.6).

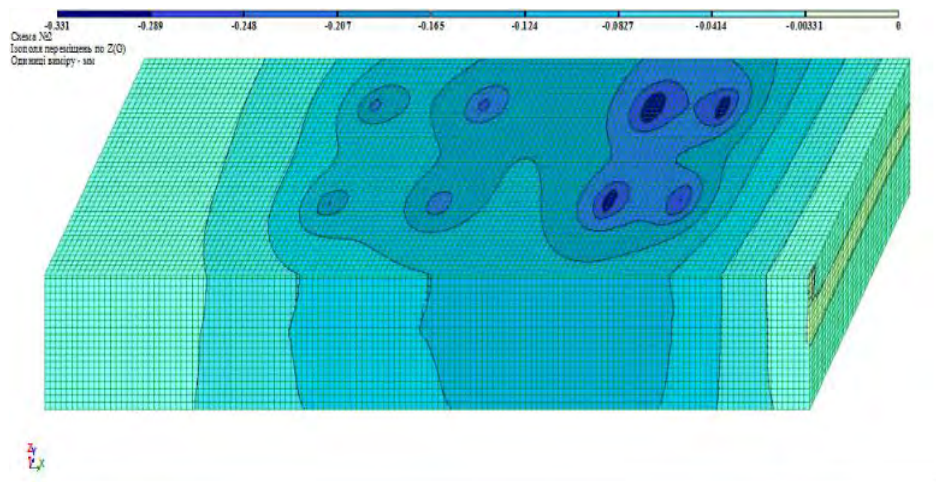
Аналіз зміни вертикального прогину від місця розташування транспортного навантаження по відношенню до краю перехідної плити свідчить, що його зміна до краю плити зазнає різкого збільшення при розташуванні 3-ї осі транспортного засобу за краєм плити (рис 3.18).

У цьому випадку незалежно від кута нахилу перехідної плити така різка зміна вертикального прогину поверхні покриття на 9-12 % від дії одного автомобіля. І може складати більше 30 % якщо розглядати різні осьові навантаження. Це свідчить про те, що вертикальний прогин як інтегральний показник зміни напружено-деформованого стану не змінюється плавно при переході конструкції дорожнього одягу від розташування над перехідною

плитою до розташування в межах насипу ґрунту земляного полотна (рис. 3.18). Такий характер зміни прогину поверхні покриття викликає виникнення більш несприятливих умов з точки зору дії горизонтальних нормальних розтягуючих напружень в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу. На рисунку 3.19 представлена зміна досліджуваних напружень σ_y та σ_x в залежності від розташування транспортного засобу по відношенню до перехідної плити (на перехідній плиті в положенні № 3 та поза перехідною плитою в положеннях №4 і № 5).



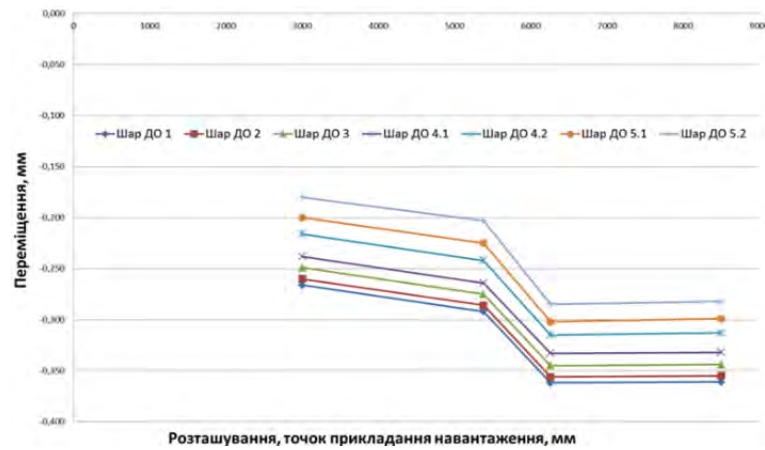
а)



б)

а - схема ізополів напружень по N_x (по осі X), що діють в запроєктованій моделі; б - схема ізополів переміщень $Z(G)$ (по осі Z), що діють в запроєктованій моделі

Рисунок 3.17 - Моделі роботи дорожнього одягу розроблені в програмному комплексі ЛІРА САПР



а)



б)

а - горизонтальне розміщення перехідної плити; б - розміщення перехідної плити під кутом

Рисунок 3.18 - Зміна вертикальних переміщень в шарах 1-5 дорожнього оягу під відбитком пневматика

Такі результати свідчать про те, що напруження σ_x , σ_y в нижній фібрі асфальтобетонних шарів є розтягуючими, як для схем розташування 3-ої вісі над перехідною плитою (схеми розташування транспортного засобу № 3) так і за плитою (схеми розташування транспортного засобу № 5) незалежно від кута нахилу плити. Причому вони поза плитою більші ніж над плитою. У випадку горизонтальної плити ці напруження поза плитою на 10-18 % більші ніж над плитою (Рис. 3.19). Вцілому горизонтальні напруження поза плитою в

асфальтобетонних шарах представленої конструкції зі зміною навантаження від 100 кН до 130 кН змінювалися від 2% до 26%.

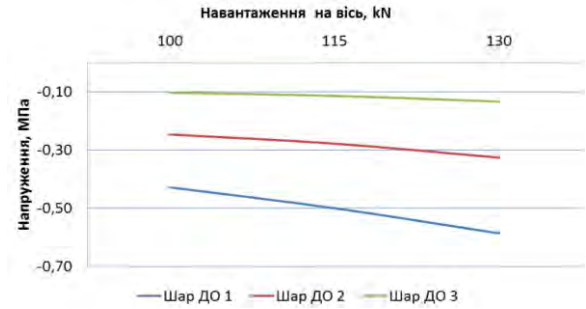
Подібне суттєве стрибкоподібне збільшення розтягуючих напружень в асфальтобетонних шарах поза плитою зумовлене характером зміни вертикального переміщення поверхні покриття (Рис. 3.18) і буде впливати на зменшення довговічності за критерієм міцності на розтяг при згині в 1,5-2 рази. Це пояснює результати отриманих натурних обстежень, представлених в п. 2.4, а також відомих літературних даних і є підтвердженням достовірності даних дисертаційних досліджень.

Характер зміни вертикальних нормальних напружень в шарах дорожнього одягу у залежності від схеми розташування транспортного засобу (його 3-ої осі) до положення перехідної плити свідчить про те, що ці напруження в асфальтобетонних шарах змінюються майже однаково для різних схем розташування транспортних засобів і не залежать від зміни кута нахилу перехідної плити у нижніх шарах основи під асфальтобетонними шарами ці напруження на 20-40 % більші коли 3-я вісь знаходиться над перехідною плитою (схеми розташування транспортного засобу 1 та 2) у порівнянні з тим розташуванням навантаження, коли 3-тя вісь знаходиться поза межами плити (схеми розташування транспортного засобу 3 та 5).

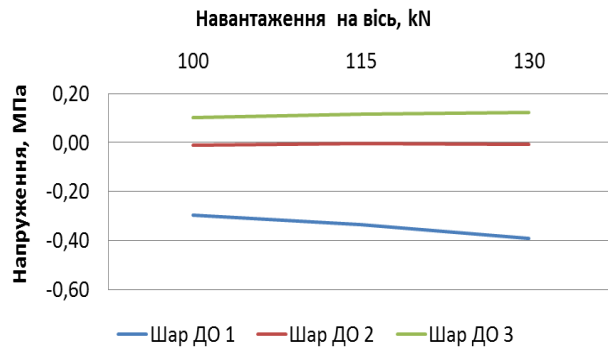
Особливий інтерес мають результати аналізу епюр горизонтальних нормальних поздовжніх напружень в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу у залежності від різних схем розташування осей чотирьохвісного транспортного засобу. Так, наприклад, як видно з рисунку 3.20.а, коли навіть 3-я і 4-та осі знаходяться на перехідній залізобетонній плиті при схемі розташування навантаження №3 (практично на жорсткій основі), у верхньому шарі покриття між ними спостерігається незначні поверхневі розтягуючі напруження σ_x . При схемі розташування №4, коли третя вісь знаходиться поза залізобетонною перехідною плитою, а четверта вісь знаходиться на краю перехідної плити поверхневі розтягуючі напруження σ_x між третьою і четвертою осями вантажного автомобіля значно збільшились та становлять маже 40 % від максимальних розтягуючих напружень в нижній фібрі другого шару асфальтобетонного покриття під відбитком пневматика.



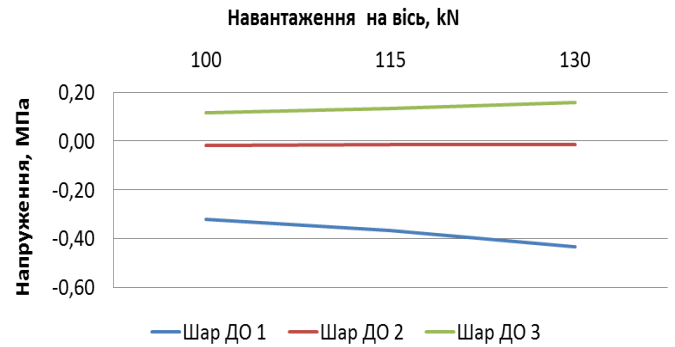
а)



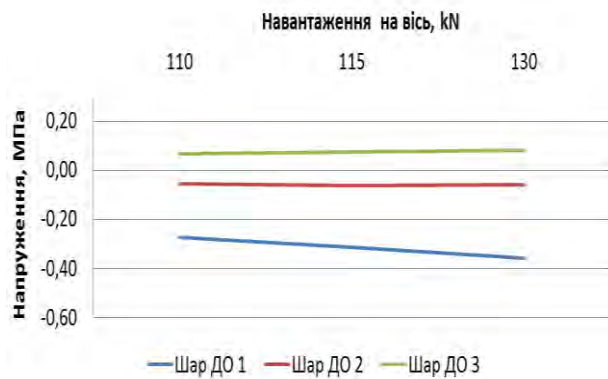
б)



в)



г)



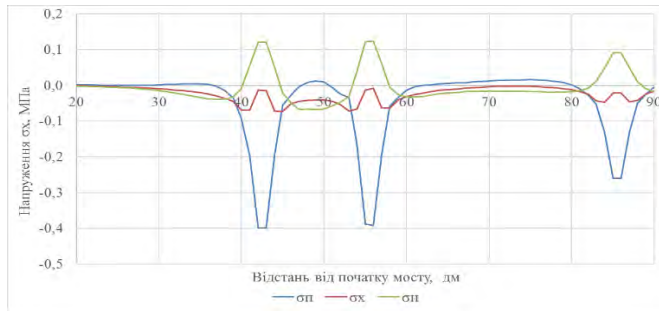
д)



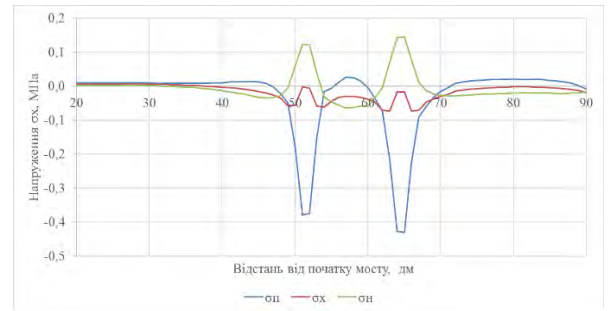
е)

а - τ_{xz} при розташуванні ТЗ в положенні № 3; б - τ_{xz} при розташуванні ТЗ в положенні № 5; в - σ_y при розташуванні ТЗ в положенні № 3; г - σ_y при розташуванні ТЗ в положенні № 5; в - σ_x при розташуванні ТЗ в положенні № 3; г - σ_x при розташуванні ТЗ в положенні № 4

Рисунок 3.19 - Зміна горизонтальних нормальних напружень σ_x , σ_y та вертикальних дотичних напружень τ_{xz} під відбитком пневматика у залежності від навантаження на вісь транспортного засобу



а)



б)

Рисунок 3.20 - Епюра горизонтальних нормальних поздовжніх напружень в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу при різних схемах розташування осей чотирьохвісного транспортного засобу (3-я і 4-та): а - схема 3; б - схема 4

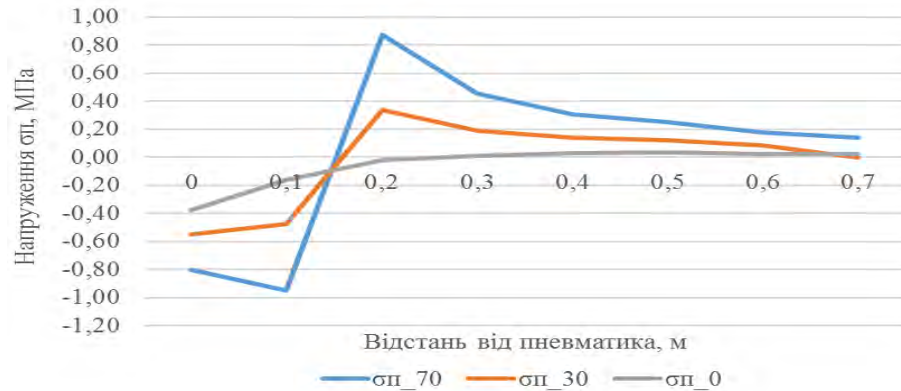
Більш детальні дані зміни напружень в асфальтобетонних шарах різних конструкцій представлено в Додатку Б.

Таким чином, місце спряження дорожньої конструкції з перехідною плитою є місцем концентрації напружень, що змншують довгоічність асфальтобетонного покриття до утворення тріщин.

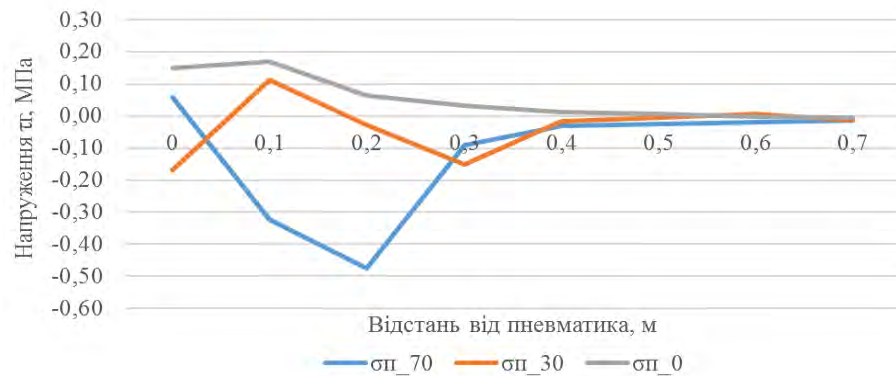
Дослідження впливу горизонтальних транспортних навантажень на напруження в асфальтобетонному покритті мостових переходів

Як було відмічено у Розділі 1 і Розділі 2 на підходах до мостів існує підвищена вірогідність появи транспортних заторів. Це означає, що під час зупинок транспортних засобів та їх рушення з місця після зупинок на поверню асфальтобетонного покриття буде діяти горизонтальне дотичне напруження, яке буде діяти з різною інтенсивністю в залежності від поздовжнього похилу автомобільної дороги у межах підходу до мосту та в залежності від коефіцієнта щеплення пневматика з покриттям. Тому при проведенні числового аналізу було проаналізовано вплив величини горизонтального дотичного напруження на рівень напруженого стану асфальтобетонного покриття. У числовому аналізі значення горизонтального дотичного напруження змінювали від 0 до 70 % від значення інтенсивності вертикального тиску від пневматика на поверхню асфальтобетонного покриття. Результати розрахунків для різних конструкцій дорожнього одягу наведені в Додатку Б.

На основі проведеного числового аналізу встановлено, що при дії горизонтальних транспортних навантажень, зокрема гальмування (рис. 3.21) 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 .



а)



б)

Рисунок 3.21 – Зміна напружень в асфальтобетонному покритті при навантаженні 130 кН на вісь і значеннях τ_r 0%, 30 % та 70% від p для конструкції дорожнього одягу з двома шарами асфальтобетону, і двома шарами основи із ЦПС, де верхній шар укріплений цементом (М20): а - горизонтальні нормальні напруження σ_n ; б - дотичні вертикальні напруження τ_r

Отримані результати свідчать, що максимальне значення горизонтальних нормальних поверхневих напружень σ_n спостерігається на відстані 0,4 м від центру відбитку пневматика і може перевищувати горизонтальні нормальні напруження в нижній фібрі покриття при його згині під центром пневматика σ_n

майже у 8 разів. Аналогічно зростають і дотичні вертикальні напруження τ_r які у даному випадку збільшились у 5 разів.

Причому, ці напруження в покритті при наїзді на плиту виникають більші ніж при з'їзді з плити в 1,2 – 1,5 рази.

Таким чином, проведений аналіз в тому числі робіт [42, 43, 47, 65-79, 84, 85, 87, 88, 92] та проведені перевірочні попередні розрахунки в ПК ЛИРА САПР, в тому числі [3, 49], показав що найбільшої уваги потребують нормальні горизонтальні напруження σ_x (σ_n ; σ_v) та вертикальні перерізаючі напруження τ ($\tau_{тр}$; $\tau_{пл}$). Крім цього, було прийнято рішення дослідити горизонтальні напруження σ_r та дотичні напруження τ_r , які виникають при гальмуванні та зрушенні з місця (рис. 3.22).

Отже, за допомогою метода числового аналізу дослідили особливості напружено-деформованого стану та граничного стану асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження за різних температурних умов на підході до автомобільного мосту. При цьому використовували програмні комплекси, відомі аналітичні рішення, номограми та літературні дані. Встановили комплекс факторів, які негативно впливають на довговічність асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу.

Аналіз впливу тривалості навантаження на довговічність асфальтобетонного покриття нежорстких дорожніх одягів, що мають в основі матеріали різної термо-реологічної чутливості

Відомо, що основи дорожніх одягів можуть мати різноманітні матеріали, властивості яких в різній мірі залежать від температури, вологості і тривалості дії навантаження [42, 45, 46, 58, 90, 106].

Таким чином, матеріали основи і ґрунт земляного полотна, маючи різну термо-реологічну чутливість, не в однаковій мірі впливають на рівень напружень і деформацій, а також на дотримання критерію граничного стану асфальтобетонного покриття. Про це свідчить існуюча практика експлуатації нежорстких дорожніх одягів з асфальтобетонним покриттям. Так, в роботі [59] на підставі досліджень показана залежність ступеня руйнування дорожнього одягу від швидкості руху розрахункових автомобілів (рис. В.5, Додаток В).

Ці результати свідчать про те, що зі зменшенням швидкості руху, а, отже, і зі збільшенням тривалості навантаження ступінь руйнування дорожнього одягу зростає. Так, при зменшенні швидкості руху розрахункових автомобілів в 3 рази, наприклад, від 60 км/год до 20 км/год, ступінь руйнування дорожнього одягу зростає майже в 6 разів.

Така закономірність особливо простежується в міських умовах різних країн, де спектр часу навантажень дорожніх одягів дуже широкий [136]. Наприклад, в США в м. Шарлотті тріщини спостерігаються у багатьох місцях, де зупиняється або повільно рухається транспорт (рис. В.5, Додаток В). На суміжних ділянках, де відбувається безперервний рух транспорту, тріщини, відсутні.

Особливість впливу тривалості дії навантаження і температури дорожнього одягу на її міцність показана в роботі [84] на підставі аналізу показника довговічності асфальтобетонного покриття за критерієм міцності на розтяг. Як показник довговічності було прийнято кількість проходів розрахункового автомобіля N до руйнування асфальтобетонного покриття від дії розтягуючих напружень при згині. В якості вихідного співвідношення був прийнятий критерій тривалості міцності Бейлі, що дозволяє знайти час до руйнування t_p при зміні напруження $\sigma(t)$ у часі і зміні температури $T(t)$. Функція тривалості міцності використана у вигляді модифікованої формули Бартенєва Г. М. Для модуля пружності асфальтобетону використана формула у вигляді модифікованого степеневого закону Р. Шепері. Результати, представлені в таблицях 3.8, 3.9 свідчать, що зі збільшенням тривалості дії навантаження зменшується число проїздів розрахункового автомобіля до руйнування дорожнього одягу, що пояснює більш низьку довговічність конструкцій дорожніх одягів у місцях більш тривалого впливу транспорту.

Також в роботах [42, 84, 94], були проведені випробування довговічності нежорстких дорожніх одягів з асфальтобетонними покриттями, які мають різні моделі основи по їх термореологічній чутливості та однакові критерії міцності (рис. 3.22). При цьому, в якості показника термореологічної чутливості у роботі [42] запропоновано використовувати відношення значень миттєвого і тривалого

модулів пружності. У даному випадку дорожньо-будівельні матеріали можуть бути поділені на чотири групи (таблиця 3.10).

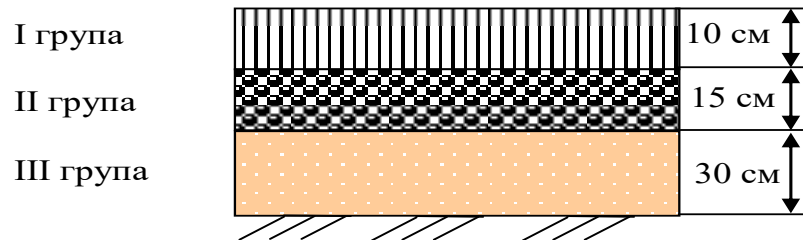
Таблиця 3.8 – Результати визначення довговічності дорожнього одягу з неукріпленою основою в залежності від тривалості дії навантаження

Температура $T, ^\circ\text{C}$	Час дії навантаження $t, \text{с}$	Модуль пружності асфальтобетону $E_{a/6}, \text{МПа}$	$N(t)/N(t=0,1\text{с})$
0	0.1	9704,74	1
	1	5212,24	0,305
	10	2632,82	0,170
	100	1320,58	0,108
10	0,1	4060,74	1
	1	2042,08	0,649
	10	1023,81	0,464
	100	513,14	0,313
20	0,1	1585,57	1
	1	794,00	1,14
	10	398,34	0,396
	100	199,64	0,277

Таблиця 3.9 – Результати визначення довговічності дорожнього одягу з укріпленою основою в залежності від тривалості дії навантаження

Температура $T, ^\circ\text{C}$	Время действия нагрузки $t, \text{с}$	Модуль упругости асфальтобетона $E_{a/6}, \text{МПа}$	$N(t)/N(t=0,1\text{с})$
0	0,1	9704,74	1
	1	5212,24	0,314
	10	2632,82	0,175
	100	1320,58	0,138
10	0,1	4060,74	1
	1	2042,08	0,659
	10	1023,81	0,471
	100	513,14	0,330
20	0,1	1585,57	1
	1	794,00	1,14
	10	398,34	0,460
	100	199,64	0,350

а)



б)

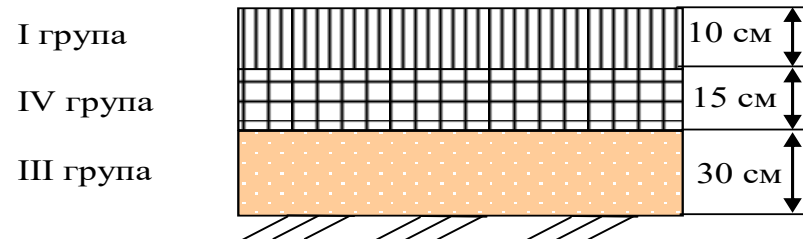


Рисунок 3.22 – Рівноцінні за традиційними критеріями граничного стану варіанти конструкції дорожнього одягу: а – з основою з матеріалів підвищеної термо-реологічної чутливості (1-й варіант); б – те ж зі зниженою термо-реологічною чутливістю (2-й варіант)

Таблиця 3.10 – Групи дорожньо-будівельних матеріалів за термореологічною чутливістю

Види дорожньо-будівельних матеріалів за групами ТРЧ			
I (високо чутливі)	II (чутливі)	III (помірно чутливі)	IV (мало чутливі)
Асфальтобетони всіх типів і видів, органо-мінеральні суміші і т.п.	Глинисті та пілуваті ґрунти земляного полотна, щебінь і гравій оброблені органічними в'язучими і т.п.	Щебінь, гравій, пісок необроблений чи оброблений неорганічними в'язучими у кількості менше 5%, піщані та супіщані ґрунти земляного полотна, крупноуламкові ґрунти і гравійно-піщані суміші, ґрунти земляного полотна, оброблені неорганічними в'язучими і т.п.	Щебінь, гравій, пісок, крупноуламкові ґрунти та гравійно-піщані суміші оброблені неорганічними в'язучими в якості більше 5%, пісний цементобетон і т.п.

Отримані результати свідчать, що дані конструкції дорожніх одягів мають різну довговічність при збільшенні тривалості дії навантаження (рис. 3.23).

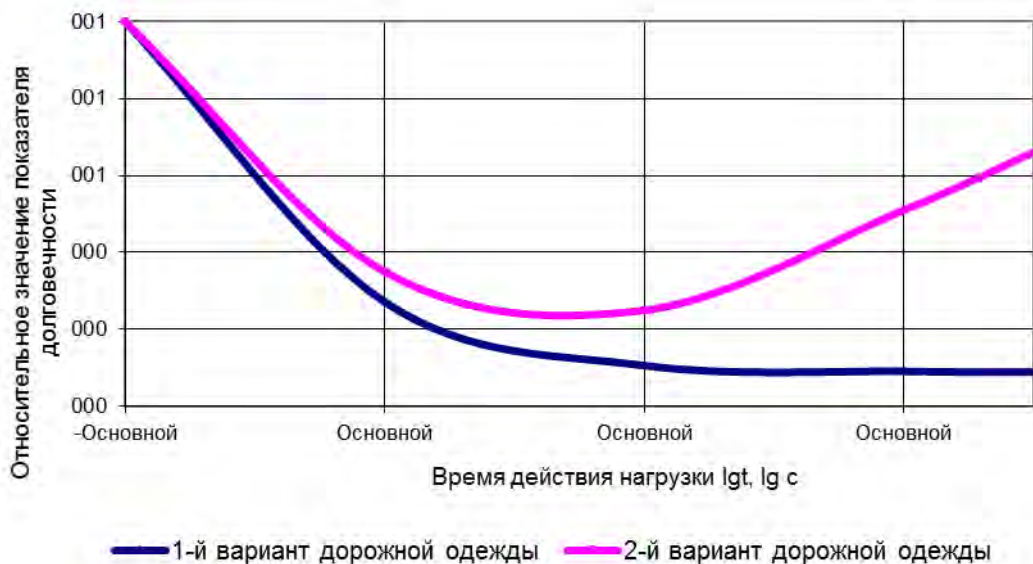


Рисунок 3.23 – Залежність довговічності асфальтобетонного покриття від часу дії навантаження при температурі 0 °C

Таким чином, проведений аналіз відомих досліджень свідчить, що довговічність асфальтобетонного покриття нежорстких дорожніх одягів значно знижується зі збільшенням тривалості дії навантаження. При цьому, довговічність асфальтобетонного покриття значно залежить від чутливості матеріалу основи до тривалості дії навантаження і температури, тобто від термореологічної чутливості матеріалів основи.

В дисертаційних дослідженнях було проведено чисельний аналіз впливу часу дії навантаження на довговічність асфальтобетонного покриття підходу до мосту на ділянці 2 (розділ 2). Дослідження полягали у розрахунку конструкції дорожнього одягу на міцність за методикою [9] при різному часі навантаження.

Вихідні дані:

- дорога розташовується в II дорожньо-кліматичній зоні;
- ділянка дороги проходити в межах пойменої частини насипом;
- категорія автомобільної дороги - III;
- заданий термін служби дорожнього одягу - $T_{сл} = 13$ років;
- задана надійність $K_n = 0,95$;
- наведена до навантаження типу А3 інтенсивність двігання на кінець терміну служби $N_p = 900$ авт / добу; приріст інтенсивності $q = 1,04$;

- ґрунт робочого шару земляного полотна - супісок пилюватий з розрахунковою вологістю 0,7 WT, відноситься до сильнспучених фунтів.
- висота насипу становить 1,5 м, товщина дорожнього одягу - 0,70 м;
- схема зволоження робочого шару земляного полотна - III,
- глибина залягання ґрунтових вод - 0,6 м.

Розрахунок потрібно виконати на різний час дії навантаження:

Ппри параметрах режиму руху(розділ 2):

$$\delta_{21}=0,33;$$

$$\delta_{22}=0,33;$$

$$\delta_{23}=0$$

$$\delta_{24}=0,33.$$

Розрахунок на міцність при часі дії навантаження 0,1 с.

Попередньо призначаємо конструкцію і розрахункові значення розрахункових параметрів (табл. Е.1 Додаток Е).

Розрахунок проводимо відповідно до вимог ГБН В.2.3-37641918-559 [10] на міцність за трьома критеріями граничного стану: по допустимому пружному прогину; за умовою сдвігоустойчивості в ґрунті; на опір монолітних шарів втомного руйнування від розтягування при вигині.

Результати розрахунків показують, що обрана конструкція задовольняє всім критеріям міцності.

Розрахунок на міцність при часі дії навантаження 1 с.

Розрахунок на міцність при часі дії навантаження 1 с, проводиться за методикою наведеною в роботі [83].

Призначаємо розрахункові значення параметрів міцності на розтяг при відповідні часу дії навантаження 1 сек (табл. Е.2 Додаток Е).

Розрахунок проводимо відповідно до [83] за критерієм міцності на розтяг при згині.

Результати розрахунку показують, що обрана конструкція не відповідає критерію міцності на розтяг при згині, оскільки він менше необхідного на 21%. Відповідно, це вимагає внесення відповідних коректив.

Для забезпечення міцності конструкції за критерієм міцності на розтяг при згині, передбачається збільшити товщини шарів або змінити матеріали

конструктивних шарів дорожнього одягу.

Повторний розрахунок на міцність при тривалості дії навантаження 1 сек.

А) Збільшення товщини шарів.

Призначаємо розрахункові значення розрахункових параметрів міцності на розтяг при згині (табл. Е.3 Додаток Е).

Розрахунок проводимо відповідно до [83] за критерієм міцності на розтяг при згині.

Результати розрахунку показують, що обрана конструкція задовольняє критерію міцності на розтяг при згині, оскільки він більше необхідного на 1,5%.

Б) Зміна матеріалів конструктивних шарів без зміни товщини.

Призначаємо розрахункові значення розрахункових параметрів міцності на розтяг при згині (табл. Е.4 Додаток Е.3).

Розрахунок проводимо відповідно до [83] за критерієм міцності на розтяг при згині.

Результати розрахунку показують, що обрана конструкція задовольняє критерію міцності на розтяг при згині, оскільки він більше необхідного на 38%.

Таким чином, для компенсації зменшення коефіцієнта міцності, при збільшенні тривалості дії навантаження на дорожній одяг з 0,1 с до 1 с, ефективними виявилися заходи:

- збільшення товщини асфальтобетонних шарів і шару основи дорожнього одягу;*
- заміна високопористого асфальтобетону на щільний, має підвищену міцність і стійкість до повторних нагруженням.*

Розрахунок на міцність при часу дії навантаження 600 с.

Призначаємо розрахункові значення розрахункових параметрів міцності на розтяг при згині (табл. Е.5 Додаток Е).

Розрахунок проводимо відповідно до вимог ГБН В.2.3-37641918-559 [10] за критерієм міцності на розтяг при згині.

Результати розрахунку показують, що обрана конструкція не відповідає критерію міцності на розтяг при згині, оскільки він менше

необхідного на 73%. Відповідно, це вимагає внесення відповідних коректив.

Для забезпечення міцності конструкції за критерієм опору втомного руйнування від розтягування при вигині, передбачається збільшити товщини шарів або змінити матеріали конструктивних шарів дорожнього одягу.

Повторний розрахунок на міцність при тривалості дії навантаження 600 сек.

А) Збільшення товщини шарів.

Призначаємо розрахункові значення розрахункових параметрів міцності на розтяг при згині (табл. Е.6 Додаток Е).

Розрахунок проводимо відповідно до вимог ГБН В.2.3-37641918-559 [10] за критерієм міцності на розтяг при згині.

Результати розрахунку показують, що збільшення товщини шарів дорожнього одягу не дозволяє забезпечити умова міцності за критерієм опору втомного руйнування від розтягування при вигині, оскільки він менше необхідного на 62%. З цього, для забезпечення міцності конструкції передбачено змінити матеріали конструктивних шарів дорожнього одягу наступним чином:

високопористий асфальтобетон замінити на пористий, має більш високі показники втомної міцності;

щебеневу-піщану суміш основи замінити на укріплену цементом щебеневу-щебеневу-піщану суміш марки 20, що має знижену термореологічну чутливість.

Б) Зміна матеріалів конструктивних шарів

Призначаємо розрахункові значення розрахункових параметрів міцності на розтяг при згині (табл. Е.7 Додаток Е).

Розрахунок проводимо відповідно до вимог ГБН В.2.3-37641918-559 [10] за критерієм міцності на розтяг при згині.

Результати розрахунку показують, що обрана конструкція дозволяє за критерієм опору руйнуванню від втоми при вигині при багаторазовому прикладанні статичного навантаження з тривалістю дії 600 с, оскільки він більше необхідного на 1%.

Таким чином, для забезпечення міцності за критерієм опору руйнуванню

від втоми для ділянок на підходах до перетину з залізничними шляхами при тривалості дії навантаження 600 с. конструкція дорожнього одягу, розрахована для ділянок перегонів при тривалості дії навантаження 0,1 виявилась з малою міцної. Збільшення товщини конструктивних шарів так само не привело до Ефективна результату.

Найбільш ефективне способами забезпечення міцності виявилися:

- заміна високопористого асфальтобетону на пористий, який має більш високі показники міцності на втому;*
- заміна щебенево-гравійно-піщаної суміші на пінобетон, який має знижену термореологічну чутливість.*

3.6 Висновки до розділу 3

Виконано аналітичний аналіз відомих досліджень стосовно фактичного стану асфальтобетонного покриття на підходах до мостів. Відмічено, що серед основних видів дефектів спостерігаються просадки ґрунту підходів у результаті тріщиноутворення в асфальтобетонному покритті, розмиви ґрунту, протікання води. Практичний досвід застосування перехідних залізобетонних плит переконливо свідчить про їх позитивний вплив на експлуатаційний стан дорожньої конструкції. Дисертаційні дослідження, що направлені саме на підходи до мостів, де використовується найбільш прогресивне рішення застосування перехідної плити в дорожній конструкції зони сполучення насипу з мостом вирішують актуальну і важливу народно-господарську задачу.

2. Здійснено обґрунтований вибір методів встановлення розрахункових термо-реологічних та термо-механічних властивостей асфальтобетону для оцінки довговічності асфальтобетонного покриття: модуля пружності при різному часі дії навантаження; розрахункової міцності на розтяг при згині; показника втоми; функції релаксації та функція температурно-часового зміщення; функції довговічності; коефіцієнта лінійного температурного деформування; коефіцієнта температуропровідності.

Отримано апроксимаційні залежності характеристик від складу асфальтобетону.

3. Досліджено фізико-механічних та теплофізичних властивостей безавтоклавного пінобетону. Здійснено проектування складу безавтоклавного пінобетону з підвищеними механічними та теплофізичними властивостями на підходах до автодорожніх мостів з метою забезпечення морозостікості дорожнього одягу в пойменій частині, встановлено розрахункові термореологічні і термомеханічні характеристики. Його теплофізична ефективність у 2-3 рази перевищує традиційні матеріали, що застосовуються в основі дорожнього одягу.

4. Встановлено, що при застосуванні типових рішень з перехідною плитою дорожньої конструкції підходу до мосту у зоні спряження насипу з мостовою спорудою незалежно від кута нахилу перехідної плити відбувається різке збільшення вертикального прогину поверхні покриття на 20-40 %, коли транспортне навантаження розташовується поза перехідною плитою у порівнянні з його значенням у випадку транспортного навантаження у межах перехідної плити. Це спричиняє збільшенню розтягуючих поверхневих горизонтальних нормальних напружень σ_n та вертикальних дотичних τ_r , і призводить до зменшення довговічності покриття в 1,5-2 рази. Причому, ці напруження в покритті при наїзді на плиту виникають більші ніж при з'їзді з плити в 1,2 – 1,5 рази.

З'ясовано, що при дії горизонтальних транспортних навантажень (гальмування або зрушення з місця) на покриття поблизу границі з відбитком пневматика з протилежної сторони від напрямку їх дії виникають підвищені (до 5 % від руйнівного значення) поверхневі горизонтальні нормальні напруження σ_n та вертикальні дотичні τ_r .

Проведений аналіз впливу тривалості навантаження на міцність асфальтобетонного покриття з основами із матеріалів різної термо-реологічної чутливості свідчить, що для підвищення довговічності покриття підходів до мостів необхідно застосовувати матеріали III і IV типу термореологічної чутливості.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Методика розрахунку на довговічність асфальтобетонного покриття конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів

Збір вихідних даних для розрахунку довговічності дорожнього покриття

Вихідні дані для розрахунку дорожнього покриття встановлюються згідно положень чинних нормативних документів з розрахунку нежорстких дорожніх одягів у відповідності з ГБН В.2.3-37641918-559:2019.

При новому будівництві:

- категорію автомобільної дороги;
- інтенсивність руху та склад транспортного потоку;
- дорожньо-кліматичну зону та регіон проектування;
- властивості ґрунтів, які передбачається використовувати в активній зоні земляного полотна;
- підвищення поверхні дорожнього покриття над рівнем ґрунтових або поверхневих вод;
- тип місцевості за умовами зволоження земляного полотна.
- При реконструкції або капітальному ремонті додатково:
- транспортно-експлуатаційний стан існуючої існуючої конструкції дорожнього одягу
- інформацію про історію будівництва та ремонтів на об'єкті;
- загальний модуль пружності дорожнього одягу згідно у розрахунковий період.

Конструювання дорожнього одягу

Конструювання дорожнього одягу здійснюється у відповідності до положень ГБН В.2.3-37641918-559:2019 з урахуванням розроблених принципів конструювання дорожнього одягу для забезпечення підвищеної довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостів, що полягають у наступному.

Для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостів на основі результатів відомих досліджень [96-98, 101-103, 92] передбачено застосування в шарах основи матеріалів, укріплених неорганічними в'язучими та в земляному полотні пісок, піщано-гравійні та піщано-щебеневі суміші, як реологічно нечутливі та малочутливі матеріали. Крім того, передбачено дотримуватись вимог для уникнення руйнування асфальтобетонного покриття від морозного здимання у холодний період року, а також для мінімізації впливу на зменшення довговічності покриття перезволоженого природного ґрунту у пойменій частині. Тому з цією метою запропоновано в шарах основи ділянки типу І у підтопленій зоні застосовувати пінобетон як реологічно нечутливий матеріал що має підвищені теплоізоляційні характеристики, які сприяють унеможливленню морозного пучення.

Встановлення параметрів температурного режиму роботи асфальтобетонного покриття

На основі довідкових і літературних встановлюється:

T_c – середнє значення температури;

A – амплітуда коливань температури на поверхні;

t_n – період коливань температури.

Встановлення термо-реологічних, термомеханічних та тепло-фізичних характеристик асфальтобетону

За методикою розділу 3 встановлюються наступні характеристики асфальтобетону:

- модуль пружності при різному часі дії навантаження;
- розрахункова міцність на розтяг при згині;
- показник втоми;
- функція релаксації та функція температурно-часового зміщення;
- функція довговічності;
- коефіцієнт лінійного температурного деформування;
- коефіцієнт температуропровідності.

Встановлення параметрів температурного режиму асфальтобетонного покриття

Параметри температурного режиму асфальтобетонного покриття встановлюються згідно Додатку Г.

Встановлення рівня напружень в асфальтобетонному покритті на кожній ділянці

Напруження $\sigma_{\text{н}}, \sigma_{\text{п}}, \sigma_{\text{г}}, \sigma_{\text{т}}, \tau_{\text{пл}}, \tau_{\text{г}}, \tau_{\text{тр}}$ в асфальтобетонному покритті на кожній ділянці встановлюється за методикою Розділу 2.

Перевірка конструкцій дорожнього одягу на ділянці 1 та 2 в пойменій частині підходу до мосту

Конструкції нежорсткого дорожнього одягу на ділянці 1 та 2 в пойменій частині підходу до мосту перевіряють згідно вимог Розділу 2.

Розрахунок на довговічність асфальтобетонного покриття конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів

Розрахунок на довговічність асфальтобетонного покриття конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів Виконують за алгоритмом, що представлено на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Алгоритм розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів

4.2 Застосування результатів досліджень при виконанні обстежень та польових вимірювань

Удосконалення методики вимірювання прогинів нежорсткого дорожнього одягу на поверхні асфальтобетонного покриття

Удосконалення полягають у врахуванні різниці температури на різній глибині покриття у добовому циклі зміни температури його поверхні. На прикладі рисунку Е.2 (Додаток Е) за даними [83] показано зміну температури в асфальтобетонних шарах нежорсткого дорожнього одягу у весняний та літній періоди.

Для розрахунку використано методику, основу на рішенні Фур'є [134].

Використовуючи його для встановлення температурного поля та режиму зміни температури в асфальтобетонних шарах на різній глибині z від поверхні при добових коливаннях температури:

$$T(t, z = 0) = T_c + A * \cos \omega \cdot t, \quad (4.1)$$

де $\omega = 2\pi/t_n$;

ω – кругова частота, год⁻¹;

t – час спостереження, год;

T_c – середнє значення температури поверхні покриття;

A – амплітуда добових коливань температури на поверхні покриття, °С;

t_n – період коливань температури.

У цьому випадку, згідно з рішенням Фур'є температура в асфальтобетонних шарах покриття буде змінюватись за залежністю:

$$T(t, z) = T_c + A \cdot e^{-z \sqrt{\frac{\omega}{2a}}} \cdot \cos(\omega \cdot t - z \sqrt{\frac{\omega}{2a}}), \quad (4.2)$$

де z – вертикальна координата покриття, м;

a – коефіцієнт теплопровідності асфальтобетону.

З даних, представлених на рисунку Е.2 слідує, що добові коливання температури на різній глибині мають зміщення по фазі на величину $z \sqrt{\frac{\omega}{2a}}$, що приводить до перетину різних гармонік температур $T(z)$ двічі на добу. Аналіз свідчить, що існує певний період часу, коли температура на різних глибинах асфальтобетонних шарів відрізняється одна від одної не більше ніж 5 °С. саме цей момент час і запропоновано використовувати для вимірювання прогинів поверхні дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям.

На основі проведених досліджень встановлено діапазони часу у добі, коли різниця температури по глибині не перевищує 5 °С. Для весняного періоду вимірювання прогину на асфальтобетонному покритті, допускається здійснювати з 4:00 по 14:00 годину в ранковий час і з 15:00 по 24:00 годину у вечірній час. Для літнього періоду з похмурою погодою вимірювання прогину на асфальтобетонному покритті, допускається здійснювати з 05:00 до 10:00 годину в ранковий час і з 15:00 по 24:00 годину у вечірній час. Для літнього періоду з сонячною погодою вимірювання прогину на асфальтобетонному покритті, допускається здійснювати з 05:00 до 9:30 годину в ранковий час і з 18:00 по 23:00 годину у вечірній час. Для осіннього періоду вимірювання прогину на асфальтобетонному покритті, допускається здійснювати з 02:00 до 11:00 годину в ранковий час і з 16:00 по 21:00 годину у вечірній час.

Аналіз встановленого часу вимірювання прогину на асфальтобетонному покритті показує, що кожен добу протягом декількох годин температура асфальтобетонних шарів на різних глибинах близька між собою з точністю ± 5 °С. Теплова інерційність в добовому режимі коливань температури призводить до того, що максимальні температури завжди вище в верхніх шарах. При цьому через 12 годин ситуація змінюється - максимальні температури вище в нижніх шарах.

Удосконалення методики встановлення динамічного модуля пружності дорожнього одягу за результатами статичних вимірювань прогину у не розрахунковий період

Згідно чинних нормативних документів з розрахунку конструкцій нежорсткого дорожнього одягу [9, 10] за критерієм необхідного модуля пружності використовується динамічне значання загального модуля пружності. Тому потрібно за результатами польових статичних вимірювань прогину поверхні покриття дорожнього одягу знати динамічне його значення для встановлення динамічного модуля пружності.

За вимогами нормативних документів модуль пружності визначають у розрахунковий період року навесні. Однак, на практиці при вирішенні багатьох інженерних задач доводиться виконувати вимірювання прогину покриття при різних температурах. Тому, визначення приведенного пружного прогину при статичному випробуванні використовується коефіцієнт приведення K_0 до температури $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, який встановлювався за методикою ВБН В.2.3.-218-186 (ст. 172 рис. Н.1):

$$l^c = l \cdot K_0, \quad (4.3)$$

де l – виміряний прогин під час вимірювань з урахуванням вимог таблиці 4.1;
 K_0 – температурний коефіцієнт.

В таблиці 4.1 наведено приклад результатів визначення приведенного пружного прогину ($\ell_{cm}(T=10^{\circ}\text{C})=\ell_{cm}(T=T_{\theta}) \cdot K_0$, мм) на автомобільній дорозі М-03.

Для визначення динамічного модуля пружності асфальтобетону використовували емпіричне рішення теорії композитів у вигляді формули Хойкелома і Кломпа (4.4), яка використовується при розрахунках дорожніх одягів по методиці нафтової компанії «Шелл»:

$$E_{a/\delta}(t) \approx E_{\delta}(t) \left[1 + \frac{2,5 \cdot C_v \cdot K_v}{n \cdot (1 - C_v \cdot K_v)} \right]^n \quad \text{при умові } E_{\delta}(t) > 10 \text{ МПа}, \quad (4.4)$$

де $n = 0,83 \lg \left(4 \cdot 10^5 / E_{\sigma} \right)$; $K_V = [1 + (V_{II} - 0,03)]^{-1}$;

$E_{a/\sigma}(t)$, $E_{\sigma}(t)$ – відповідно динамічний модуль пружності асфальтобетону і бітуму, встановлений за номограмою Ван-Дерполя (рис. Е.3) при температурі $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і часу дії навантаження $t=0,1\text{ с}$.

Таблиця 4.1 – Результати визначення приведенного пружного прогину

Кількість тестувань	Місце положення точки, км	Прізд	Контракт	Тип суміші ресайклінга	Температура покриття під час вимірювання, T_{σ} , °C	Температурний коефіцієнт, K_{σ} , (за ВБН В.2.3-218-186)	Вимірний пружний прогин, при температурі покриття під час вимірювання T_{σ} , $\ell_{cm}(T=T_{\sigma})$, мм	Приведений пружний прогин, при температурі покриття під час вимірювання $T=10$ °C, $\ell_{cm}(T=10$ °C) $=\ell_{cm}(T=T_{\sigma}) \cdot K_{\sigma}$, мм
1	164+500	правий	4	2	21	0,78	0,033	0,026
2	165+000				25	0,70	0,026	0,018
3	165+500				22	0,77	0,036	0,028
4	166+000				23	0,76	0,016	0,012
5	166+500				20	0,79	0,026	0,021
6	167+000				22	0,77	0,040	0,031
7	167+500				16	0,86	0,030	0,026
8	168+000				21	0,78	0,020	0,016
9	168+500				19	0,81	0,020	0,016
10	169+000				19	0,81	0,038	0,031
11	169+500				19	0,81	0,030	0,024
12	170+000				17	0,85	0,020	0,017
Середнє значення								0,022
Середнє квадратичне σ , мм								0,006
Коефіцієнт варіації K_v , %								28,49

На ділянці дороги М-03 контракту 4 згідно (таблиця 4.2) були відібрані керни, за результатами яких в лабораторії якості матеріалів НТУ визначали параметри складу асфальтобетону, що дало можливість скориставшись номограмою (рис. Е.3 Додаток Е) та формулою (4.4) для встановлення коефіцієнту переходу від статичного модуля пружності до динамічного.

Результати визначення динамічного модуля пружності представлені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати визначення динамічного модуля пружності

Кількість тестувань		Місце положення точки, км		Проїзд		Контракт		Тип суміші ресайклінга		Температура покриття під час вимірювання, T_{θ} , °C		Температурний коефіцієнт, K_{θ} , (за ВБН В.2.3-218-186)		Вимірний пружний прогин, при температурі покриття під час вимірювання T_{θ} , $\ell_{cm}(T=T_{\theta})$, мм		Приведений пружний прогин, при температурі покриття під час вимірювання $T=10$ °C, $\ell_{cm}(T=10^{\circ}C)=\ell_{cm}(T=T_{\theta})\cdot K_{\theta}$, мм		Коефіцієнт нормативного відхилення, t_n , при надійності 0,95		Розрахунковий пружний прогин, при температурі покриття під час вимірювання $T=10$ °C, $\ell_p(T=10^{\circ}C)=\ell_{cm}(T=T_{\theta})\cdot K_{\theta}+t_n\cdot\sigma$, мм		Статичний модуль пружності, $E_{cm}=p\cdot D\cdot(l-u)/\ell_p$, МПа (Згідно з СОУ 45.2-00018112-042)		Динамічний модуль пружності, МПа	
1	164+500	правий	4	2	21	0,78	0,033	0,026	1,7800	0,0334	368	918													
2	165+000				25	0,70	0,026	0,018																	
3	165+500				22	0,77	0,036	0,028																	
4	166+000				23	0,76	0,016	0,012																	
5	166+500				20	0,79	0,026	0,021																	
6	167+000				22	0,77	0,040	0,031																	
7	167+500				16	0,86	0,030	0,026																	
8	168+000				21	0,78	0,020	0,016																	
9	168+500				19	0,81	0,020	0,016																	
10	169+000				19	0,81	0,038	0,031																	
11	169+500				19	0,81	0,030	0,024																	
12	170+000				17	0,85	0,020	0,017																	
Середнє значення								0,022																	
Середнє квадратичне σ , мм								0,006																	
Коефіцієнт варіації K_{θ} , %								28,49																	

Таким чином, дана методика дозволяє врахувати термо-в'язко-пружні властивості асфальтобетону за різних температур вимірювання статичного прогину для отримання розрахункового динамічного модуля пружності на поверхні нежорсткого дорожнього одягу.

4.3 Рекомендації підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на мостових переходах різних об'єктів на основі натурних обстежень

Результати досліджень знайшли своє впровадження під час науково-технічного супроводу та спостереження на таких об'єктах як: ділянки автомобільних доріг від залізничної станції м. Сокиряни через м. Новодністровськ до будівельного майданчика Дністровської ГАЕС, на ділянці км 18+730 – км 61+160 дороги М 01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі (в межах Київської області); при влаштуванні асфальтобетонного покриття при будівництві автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжі, а також на транспортних спорудах по об'єктах КП «Дирекція будівництва шляхово-транспортних споруд м. Києва. На основі виконання таких робіт було розроблено М 218-03450778-650:2008 «Методика визначення ділянок автомобільних доріг, що значно знижують несучу здатність дорожнього одягу у розрахунковий період».

Забезпечення перевезення великогабаритних та надважких трансформаторів на ділянці автомобільної дороги від залізничної станції м. Сокиряни до будівельного майданчика Дністровської ГАЕС

В 2012 році виконували роботи на ділянці довжиною 80-кілометрів діючої автомобільної дороги від залізничної станції м. Сокиряни до будівельного майданчика Дністровської ГАЕС, в ході реалізації програми підготовки станції до вводу в експлуатацію, для забезпечення перевезення трансформаторів масою 308 т (маса трейлера з вантажем 408 т) на будівництво ГАЕС (рис. 4.2).

Ця ділянка дороги проходить у вузькій ущелині річки, що виключає влаштування тимчасових об'їздів. На всій протяжності уздовж дороги йде високовольтна лінія електропередачі, опори якої розташовуються на узбіччі дороги з боку річки. Маршрут руху великогабаритних та негабаритних конструкцій від залізничної станції м. Сокиряни до будівельного майданчика Дністровської ГАЕС представлений на рис. 4 проходить по трьох автомобільних дорогах: Т-02-11 Вербовець – Надністрирянськ – Білоусівка, Р-63 від автомобільної дороги Н-03 (Данківці) Вартиківці та Т-25-64 Новодністровськ – Ожеве – Василівка – Сокиряни.



Рисунок 4.2 – Ділянка автомобільної дороги від залізничної станції м. Сокиряни до будівельного майданчика Дністровської ГАЕС:

- а – схема маршруту руху автомобілів від м. Сокиряни до Дністровської ГАЕС;
б – загальний вид Дністровської ГАЕС

Важливо зазначити дві важливі обставини. По-перше, терміни доставки трансформаторів на будь-яку споруджувану гідроелектростанцію призначаються відповідно до черговості введення агрегатів і планом постачання трансформаторів з заводу-виробника (ці строки обчислюються роками).

По-друге, у період експлуатації ГАЕС дорога і штучні споруди повинні забезпечувати проїзд трейлерного потягу у разі необхідності заміни трансформаторів, що вийшли з ладу. Отже, посилення штучних споруд та дорожні роботи не є тимчасовими заходами і повинні забезпечувати роботу споруд як постійних.

На ділянці дороги протяжністю 80 км потрібно було посилити конструкції існуючого дорожнього одягу та збудувати новий дорожній одяг починаючи з земляного полотна. Таку роботу було не можливо виконати без детального обстеження цих доріг. Тому роботи виконували в три етапи:

- виконання обстежень;
- оцінка техніко-експлуатаційного стану (ТЕС) покриття;
- виконання розрахунків;
- будівництво.

Всі ці роботи, виконували без тривалих перерв інтенсивного руху автомобілів і рейсових автобусів. Обстеження, конструювання та розрахунки конструкцій дорожнього одягу виконували в межах спільної роботи ДП «ДерждорНДІ» і Національного транспортного університету (НТУ) на замовлення ТОВ "Енергетично-дорожнє будівництво"(Підрядника) та Укргідропроект (Генпроектувальника).

За результатами візуального обстеження стану автомобільних доріг за напрямком від залізничної станції м. Сокиряни через м. Новодністровськ до будівельного майданчика Дністровської ГАЕС, вимірювання модулів пружності дорожнього одягу та закладання шурфів для визначення конструкції дорожнього одягу було зроблено такі висновки:

Обстежені ділянки автомобільних доріг:

- Т-02-11 Вербовець-Надністрянськ-Білоусівка, км 21+970 –км 35+327;
- Р-63 від автомобільної дороги Н-03 (Данківці) Вартиківці з км 74+700 - км 81+622;
- Т-25-64 Новодністровськ-Ожеве-Василівка-Сокиряни, км 0+000 – км 0+835.

З них дві дороги – територіальні, одна – регіональна, відносяться до III-IV категорії. Навантаження на одиночну найбільш навантажену вісь двовісного автомобіля для розрахунку міцності приймають 100 кН. Ширина проїзної частини – 6 м. Ширина смуги руху – 3 м. Проїзна частина має двоххилий поперечний профіль.

За результатами візуального обстеження виявлені такі дефекти покриття, як сітка тріщин, часті тріщини та вибоїни. Проведений ямковий ремонт вибоїн, місцями поточний ремонт – поверхнева обробка покриття. Ступінь ураження вказаними дефектами місцями до 20 % площі покриття.

Вказані руйнування викликані тривалою експлуатацією без відповідного утримання і ремонту та низькими властивостями матеріалів шарів дорожнього одягу, особливо це стосується матеріалів шарів основи – щебенево-піщана суміш та щебінь з просоченням.

Протяжність найбільш уражених дефектами ділянок по трьох обстежених дорогах за напрямком руху від ст. Сокиряни до Дніпровської ГАЕС складає близько 3,5 км.

Експлуатаційне утримання та ремонт цементобетонного покриття автодоріг Дністровської ГАЕС проводилось в мінімальних обсягах. За період експлуатації цементобетонне покриття зазнало значних пошкоджень у вигляді тріщин, лущення, сколювань, вибоїн. Зростання інтенсивності руху великовантажних автомобілів, пов'язане із реконструкцією ГАЕС, призвело до збільшення площі деформацій та руйнувань цементобетонного покриття.

Товщина цементобетонних плит складала 23 - 26 см, ступінь руйнування від 10 % до 50 % площі поверхні цементобетонних плит, місцями - більше 50 %. В залежності від рівня руйнувань цементобетонних плит та конструкції дорожнього одягу виділені характерні ділянки та надані вихідні дані для розрахунку конструкцій дорожнього одягу.

Основі дефекти – тріщини (поздовжні та поперечні), сітка тріщин, лущення, сколювання, раковини та вибоїни, викришування. Ширина розкриття тріщин місцями більше 5 см, розмір окремих вибоїн більше ніж 10 см в ширину та глибину.

Модуль пружності дорожнього одягу, що вимірювався на найбільш уражених дефектами ділянках складав:

- на ділянці км 21+970 - км 35+327 автомобільної дороги Т-02-11 Вербовець-Надністрянськ-Білоусівка в середньому 174 МПа;
- на ділянці км 74+700 – км 81+182 а/д Р-63 від автомобільної дороги Н-03 (Данківці) Вартиківці в місцях, уражених дефектами – в середньому 137 МПа, в місцях без дефектів – 320 МПа;
- на ділянці км 0+371 – км 0+835 автомобільної дороги Т-25-64 Новодністровськ-Ожеве-Василівка-Сокиряни в межах м. Новодністровськ в місцях, уражених дефектами – 144 МПа, в місцях без дефектів – 276 МПа.

Конструкція дорожнього одягу територіальних доріг Т-02-11 і Т-25-64 має сумарну товщину шарів від 16 см до 27 см, з них асфальтобетонне покриття – 4 см, поверхнева обробка – 2 см.

Конструкція дорожнього одягу регіональної дороги Р-63 від автомобільної дороги Н-03 (Данківці) Вартиківці має сумарну товщину шарів 22 см, з них шар основи з бітумо-мінеральної суміші 6 см, асфальтобетонне покриття – 4 см, поверхнева обробка – 2 см.

Поверхневий водовідвід на обстежених дорогах місцями не забезпечений, поздовжні канави не мають необхідного поздовжнього похилу, не очищені від рослин. На ділянці автомобільної дороги Т-02-11 в с. Білоусівка відмічено близьке стояння ґрунтових вод.

За результатами обстежень та польових вимірювань конструкція дорожнього одягу вищевказаних ділянок автомобільних доріг не забезпечує мінімально допустимого коефіцієнту міцності Кмц, який дорожній одяг повинен мати до кінця служби дорожнього одягу.

Згідно з табл. 3.7 ВБН В.2.3-218-186 потрібний модуль пружності для доріг III категорії складає 190 - 225 МПа., в залежності від конструкції дорожнього одягу. Згідно з результатами польових вимірювань фактичний модуль пружності на ділянках, уражених дефектами складає в середньому 150 МПа (рис. 4.3).

З урахуванням коефіцієнту надійності для доріг III - IV категорії – 0,85 згідно з рис. 3.1 ВБН В.2.3-218-186 значення модулів пружності зменшуються.

За результатами вимірювань міцність дорожнього одягу обстежених ділянок та стан покриття не задовольняли транспортно-експлуатаційним вимогам, дорожній одяг потребував посилення. Згідно з 2.8.16 ВБН В.2.3-218-186 коефіцієнт міцності складає 0,8.

Інтенсивність руху автомобільного транспорту по автомобільних дорогах характеризувалася незначною інтенсивністю з навантаженням на вісь 10,0 тс (100 кН).

В період будівництва Дністровської ГАЕС характер руху по обстеженим автомобільним дорогам змінюється кардинальним чином і характеризується

проїздом технологічного транспорту та надважких автомобілів, які перевозять технологічне обладнання.

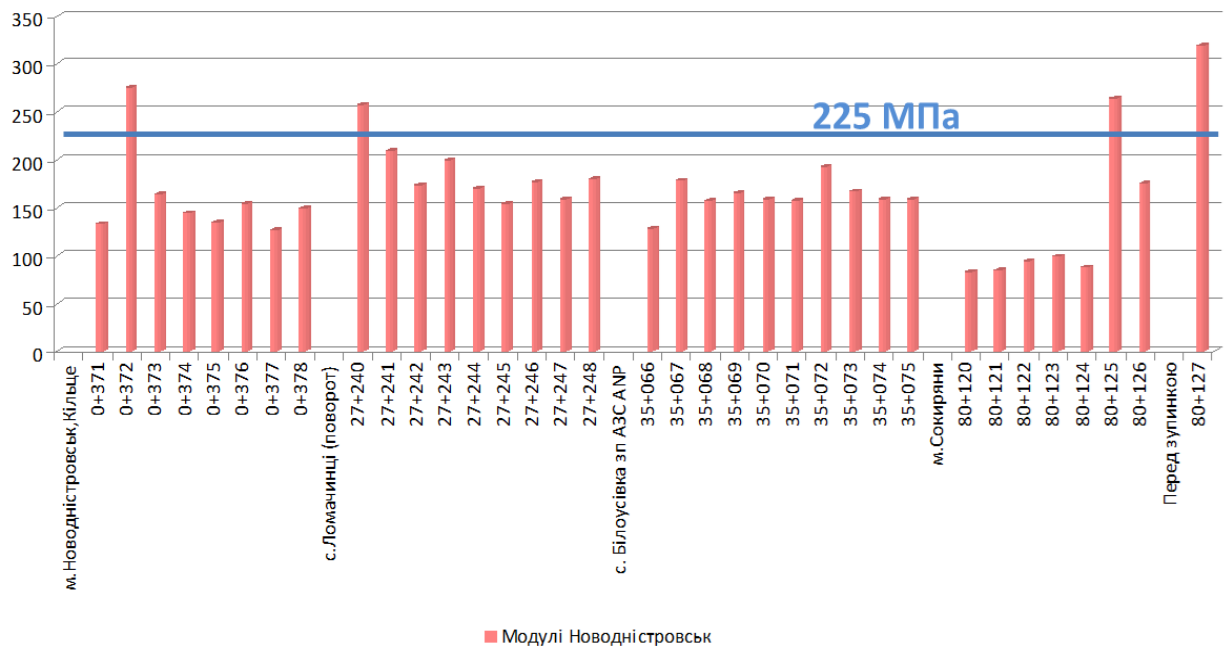


Рисунок 4.3 – Модулі пружності дорожнього одягу ділянок автомобільних доріг за напрямком руху від ст. Сокиряни через м. Новодністровськ до Дністровської ГАЕС

Вказані ділянки обстежених автомобільних доріг із значними руйнуваннями та низьким $K_{мц}$ не забезпечували необхідної несної здатності при розрахунковому навантаженні 100 кН.

За результатами проведеного обстеження виконували аналіз і розрахунки. В розрахунок приймалися три варіанти конструкцій дорожнього одягу:

1) Конструкції дорожнього одягу з основою із деструктурованого віброрезонансним методом існуючого цементобетонного покриття:

- з асфальтобетонним покриттям з основою із пісного бетону або чорного щебеню;
- з цементобетонним покриттям.

2) Конструкції дорожнього одягу із збереженням існуючого покриття:

- з асфальтобетонним покриттям з основою із пісного бетону або чорного щебеню;

- з цементобетонним покриттям;

3) Конструкції дорожнього одягу для нового будівництва:

- з асфальтобетонним покриттям з основою із пісного бетону або чорного щебеню;
- з цементобетонним покриттям.

Найбільшим оптимальним варіантом рекомендували конструкцію дорожнього одягу з трьома шарами асфальтобетонного покриття, в основі - вирівнюючий (тріщиноперериваючий) шар із чорного щебеню поверх існуючого цементобетонного покриття.

Науково-технічний супровід влаштування асфальтобетонного покриття при будівництві автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжі

В 2014 році при виконанні науково-технічного супроводу влаштування асфальтобетонного покриття при будівництві автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжі виконували дослідження та науково-технічний супровід влаштування експериментальних ділянок з покриттям із САГМЩ-10 та САГМЩ-20.

На основі німецького пористого литого асфальтобетону (РМА) спільно з його винахідниками на матеріалах, наданих ПАТ “Уманьавтодор”, в м. Запоріжжя були проведені дослідження і розроблено спеціальний вид сумішей асфальтобетонних гарячих мастикових щільних САГМЩ (далі – суміші) та асфальтобетону пористого мастикового (РМА) з регульованими відкритими порами на поверхні верхнього шару покриття (далі-асфальтобетон) для влаштування верхніх, нижніх (вирівнюючих) шарів асфальтобетонного покриття при будівництві автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжі [139-145].

Науково-технічний супровід влаштування конструкції дорожнього одягу на транспортній споруді біля метро Шулявка у м. Київ

В 2019 році при виконанні науково-технічного супроводу влаштування конструкції дорожнього одягу на транспортних спорудах по об’єктах КП «Дирекція будівництва шляхово-транспортних споруд м. Києва» одним з таких

об'єктів була транспортна споруда біля метро Шулявка (перетин Пр. Перемоги і вул. Олександра Довженка).

Серед багатьох питань які потрібно було вирішувати в ході проектування і будівництва об'єкту було обґрунтування або уточнення раніше прийнятого проектного рішення, щодо влаштування їздового полотна, а також влаштування асфальтобетонного покриття на підходах до споруди.

Згідно старого проекту по металевій ортотропній плиті планувалося влаштувати гідроізоляцію «Eliminator®» та шар литого асфальтобетону товщиною 7 см.

За результатами проведення науково-дослідної роботи після виконання аналіз існуючих проектних рішень, щодо застосування сучасних матеріалів підвищеної довговічності в конструкціях дорожнього одягу на транспортних спорудах з металевою ортотропною плитою, вивчення існуючого досвіду в м. Києві, щодо використання систем дорожнього одягу транспортних споруд, було надані обґрунтовані рекомендації, щодо необхідності:

- змінити проектну товщини асфальтобетонного шару до 8 см;
- зону перехідної плити влаштувати за індивідуальним проектом (рис. 4.4) [3, 49].

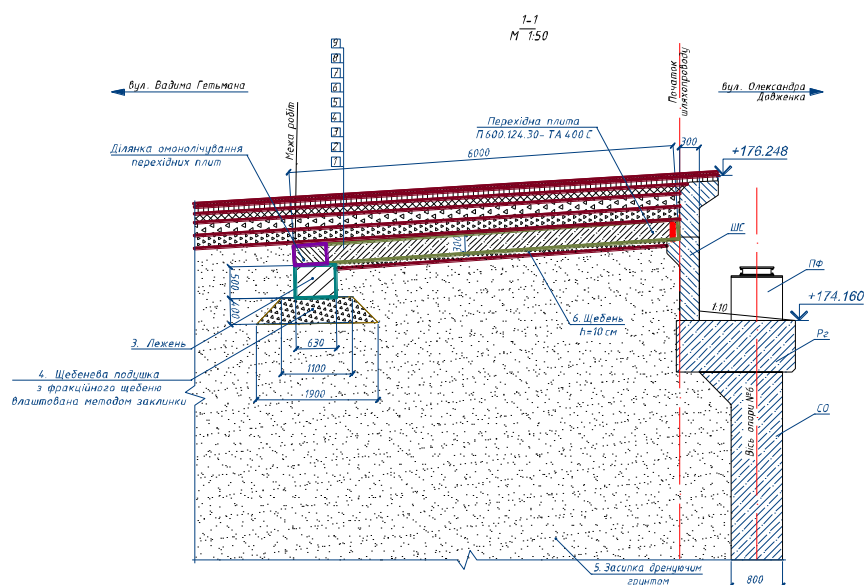


Рисунок 4.4 – Влаштування перехідної плити на транспортній споруді біля метро Шулявка (перетин Пр. Перемоги і вул. Олександра Довженка)

Вишукувальні роботи на ділянці автомобільної дороги Р-03, км 9+900 – км 11+350

В 2013 році виконували вишукувальні роботи на ділянці автомобільної дороги Р-03, км 9+900 – км 11+350. Останній раз на ній проводився ремонт з влаштуванням асфальтобетонних покриттів поверх старого цементобетону у 2003 році. Інші дані про ремонтні заходи за період 2003-2013 рр. були відсутні.

По закінченні зимового періоду сезону 2012-2013 рр. на ділянці автомобільної дороги Р-03, км 9+900 – км 11+100 утворилися суцільні деформації верхніх шарів дорожнього одягу проїзної частини, площа руйнувань складала близько 65 %.

Останній зимово-весняний сезон характеризувався екстремальними для даної місцевості погодними умовами, частими переходами через 0 °С, рекордною висотою снігового покриву - 54 см у грудні 2012 р. і 1,5 м 22 - 23 березня 2013 р. Все це призвело до перезволоження земляного полотна навесні та ослаблення дорожньої конструкції.

Автомобільна дорога Р-03 з'єднує два міжнародні по яким відбувається інтенсивний рух транзитного транспорту. Переважає, в основному, рух великовантажного і великогабаритного транспорту, який минає в'їзд у м. Київ та на ділянку Київ-Бориспіль. Поряд знаходиться міжнародний аеропорт «Бориспіль», близьке розташування до нього і трас міжнародного значення створює умови для інтенсивного руху вантажного транспорту. Легкові автомобілі переважно рухаються по більш зручній трасі Київ-Бориспіль. Крім того, вздовж дороги знаходяться крупні виробничо-складські бази, що також обумовлює зростання транспортного навантаження.

Значне навантаження від руху транспортних засобів та недотримання міжремонтних термінів служби, разом з екстремальними погодно-кліматичними умовами останніх років призвело до скорочення терміну служби дорожнього одягу і стрімкого погіршення транспортно-експлуатаційного стану ділянки автомобільної дороги Р-03, км 9 + 900 – км 11 + 350.

Станом на квітень 2013 р. покриття дорожнього одягу мало значну кількість різних видів руйнувань і деформацій, що порушують його міцність,

рівність та зчіпні властивості та ускладнюють експлуатацію даної дороги та безпеку руху.

Для обґрунтування призначення необхідних ремонтних заходів було проведено обстеження ділянки автомобільної дороги Р-03, км 9 + 900 – км 11 + 350 з оцінкою стану дефектності покриття, міцності дорожнього одягу, рівності та зчіпних властивостей покриття.

За результатами обстеження, з урахуванням фактичних параметрів експлуатаційного стану, у тому числі виду і об'ємів руйнувань та рівності покриття (табл. 4.3) оцінювали ступінь відповідності існуючого дорожнього одягу вимогам чинних нормативних документів – ДСТУ 3587, ВБН В.2.3-218-186. За результатами оцінки фактичного стану існуючого дорожнього одягу призначали конструктивні рішення з ремонту дорожніх конструкцій згідно з положеннями чинних нормативних документів.

Візуальне обстеження ділянки показало, що типовими руйнуваннями асфальтобетонного покриття на ділянці автомобільної дороги Р-03, км 9 + 900 – км 11 + 350 є:

- вибоїни;
- чисельні сліди ремонтних заходів (ямкового ремонту);
- викришування;
- руйнування кромки проїзної частини.

Види дефектів класифікувались та визначались згідно з таблицею Н1 ВБН В.2.3-218-186-2004 «Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу». Ступінь дефектності дорожнього одягу визначалась за результатами встановлення рівня його ураження згідно з табл. Б.1 СОУ 45.2 – 00018112-042:2009 «Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів».

Основний вид деформацій – вибоїни, які займають до 65 % площі покриття.

Результати візуального обстеження стану дефектності наведені на рисунку 4.5.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок 4.5 – Стан покриття на автомобільній дорозі Р-03, км 9 + 900 – км 11 + 350: а - нерівності і ямковість до 30 % площі; б - викришування; в, г - ямковість до 30 % площі, нерівності, викришування; е - руйнування кромки покриття, ямковий ремонт

За результатами обстеження були виявлені значні руйнування у вигляді викришування, вибоїн, нерівностей від виконання ремонтних заходів, поперечні тріщини на ділянці автомобільної дороги Р-03. На цій ділянці конструкція

дорожнього одягу представляє собою асфальтобетонне двошарове покриття, влаштоване на старому цементобетоні, яке багаторазово ремонтувалось.

За своїми технологічними та експлуатаційними показниками асфальтобетонне покриття характеризується високою чутливістю до температурно-зволожувальної дії, безперервним змінам міцності та деформативних характеристик в часі у зв'язку з природним старінням в'язучого.

Згідно з табл. Н1 ВБН В.2.3-218-186 такі деформації як руйнування кромки, вибоїни покриття проїзної частини площею більше свідчать про старіння та втому асфальтобетону. Особливо активно процес виникнення вибоїн та викришування поверхні розвивається у весняний період, чому сприяє чергування плюсових і від'ємних температур повітря та покриття, наявність води в порах покриття. Проникаючи в раковини та мікро тріщини покриття, вода здійснює розклинюючу дію, яка значно збільшується при її замерзанні. Зв'язки між частками матеріалу послаблюються і під впливом коліс автомобіля утворюється вибоїна, яка може швидко збільшитися.

Наїжджаючи на вибоїну, колесо отримує поштовх, що призводить до повторного динамічного удару на деякій відстані за вибоїною. При багаторазовому повторенні цього навантаження утворюється наступна раковина або тріщина, які потім зливаються в одну велику вибоїну.

Обсяг деформацій складає близько 65 % площі покриття. Місцями характер руйнувань вказує на те, що стан дорожньої конструкції має тенденцію до стрімкого погіршення (площа вибоїн складає близько 65 %).

Стан ділянки потребує термінового виконання ремонтних заходів для відновлення транспортно-експлуатаційного стану.

Міцність дорожнього одягу ділянки автомобільної дороги Р-03, в основному, забезпечена, оскільки конструкція дорожнього одягу включає шар основи з цементобетону.

Відповідність транспортно-експлуатаційного стану покриття автомобільної дороги вимогам руху оцінювали як:

- відповідність рівності – порівнянням фактичних S_f та допустимих $S_{доп}$ значень показника рівності за поштовхоміром. Умова відповідності $S_f < S_{доп}$. Згідно з ДСТУ 3587 сумарна нерівність покриття, виміряна поштовхоміром, автомобільної дороги І категорії, що експлуатується, повинна бути не більше ніж 110 см/км;
- відповідність зчепних якостей – порівнянням фактичних і допустимих значень коефіцієнта зчеплення $\phi_f > \phi_{доп}$.

В таблиці 4.3 наведено рівність покриття.

Рівність покриття ділянки автомобільної дороги Р-03, км 9 + 900 – км 11 + 350 – від 86 до 237 см/км, на значній протяжності рівність, що не відповідає нормативним вимогам – не більше 110 см/км для доріг ІІ категорії, що експлуатуються.

Таблиця 4.3 – Результати вимірювання рівності покриття

Показник транспортно-експлуатаційного стану	Нормативне значення $S_{доп}$	Ділянки з кроком 100 м	Фактичне значення S_f	Відповідність ДСТУ 3587
Рівність покриття за поштовхоміром, см/км.	Для доріг ІІ категорії 110	9+900-10+000	209	Не відповідає
		10+000 – 10+100	106	Відповідає
		10+100 – 10+200	163	Не відповідає
		10+200 – 10+300	91	Відповідає
		10+300 – 10+400	86	
		10+400 – 10+500	170	Не відповідає
		10+500 – 10+600	143	
		10+600 – 10+700	152	
		10+700 – 10+800	173	
		10+800 – 10+900	151	
		10+900 – 11+000	218	
		11+000 – 11+100	225	
		11+100 – 11+200	164	
		11+200 – 11+300	237	

Примітка: Тип приладу – поштовхомір пересувної дорожньої лабораторії КП-514 МП. Дата вимірювання – квітень 2013 р., Температура повітря – 20 °С.

За результати вимірювання необхідно термінове виконання ремонтних заходів з вирівнювання покриття на цій ділянці і приведення транспортно-експлуатаційних показників рівності покриття до нормативних вимог.

Коефіцієнт зчеплення, виміряний за допомогою приладу ПКРС-2у пересувної лабораторії КП 514, показав різну зношеність покриття покриття: 0,27; 0,29; 0,30; 0,31; 0,27. Це більше обумовлено луценням та викришуванням покриття, вибоїнами і наслідками ремонтних заходів. Крім того, нерівності на проїзній частині збільшують частоту прикладання вертикального навантаження, при цьому коефіцієнт зчеплення знижується через зміну умов контакту шини колеса автомобіля з дорогою.

За результатами вимірювання коефіцієнту зчеплення покриття, асфальтобетонне покриття на ділянці автомобільної дороги Р-03 у результаті тривалої експлуатації та значних руйнувань має знижені, в порівнянні з нормативними, зчіпні властивості.

Для відновлення шорсткості покриття при влаштуванні верхнього шару необхідно використовувати асфальтобетон, що забезпечує шорстку поверхню з високим початковим коефіцієнтом зчеплення.

Висновки за результатами обстежень та польових вимірювань:

1. Значне навантаження від великогабаритного та великовантажного транспорту та недотримання міжремонтних термінів служби на ділянці автомобільної дороги Р-03 разом з екстремальними погодно-кліматичними умовами останніх років призвело до стрімкого погіршення транспортно-експлуатаційного стану ділянки автомобільної дороги, км 9 + 900 – км 11 + 350.

2. Станом на квітень 2013 р. покриття дорожнього одягу мало значну кількість руйнувань і деформацій, що порушують транспортно-експлуатаційні показники та ускладнюють експлуатацію даної дороги та безпеку руху.

За результатами візуальних обстежень на ділянці автомобільної дороги виявлені значні дефекти покриття, такі як викришування, ямковість, поперечні тріщини, руйнування кромки проїзної частини, нерівності від виконання ямкового ремонту. Сумарний обсяг деформацій і руйнувань складає 65 %. Також, внаслідок неможливості руху транспорту проїзною частиною, рух

великогабаритного транспорту відбувався по узбіччям, що призвело до їх руйнування. Внаслідок цього на даній ділянці, що знаходиться у місці підтоплення талими водами, відбулося перезволоження насипу земляного полотна. Висота насипу складає до 0,5 м.

3. Рівність дорожнього покриття є одним із основних транспортно-експлуатаційних показників, який безпосередньо впливає на ефективність транспортних перевезень, зручність та безпеку руху. Згідно з вимогами ДСТУ 3587 рівність за поштовхоміром для автодоріг II категорії не повинна перевищувати 110 см/км. Вимірювання показало, що рівність покриття змінюється в межах від 86 до 237 см/км.

При виконанні ямкового ремонту, як правило, вдається лише частково поліпшити стан покриття за рівністю. На деформовану нерівну поверхню покриття додатковий вплив створюється ударами коліс автомобілів і підвищеним тиском через коливання кузова автомобіля і коліс. Це, в свою чергу, призводить до утворення додаткових деформацій покриття. Стан ділянки потребує термінового виконання ремонтних заходів – влаштування вирівнюючих асфальтобетонних шарів.

6. За результатами вимірювання коефіцієнту зчеплення, асфальтобетонне покриття на ділянці автомобільної дороги Р-03 у результаті тривалої експлуатації та значних руйнувань має знижені, в порівнянні з нормативними зчіпні властивості. $K_{зч} = 0,27 - 0,31$, при нормативному $K_{зч} = 0,35$ для утруднених умов руху згідно з ДСТУ 3587.

Для відновлення шорсткості покриття при влаштуванні верхнього шару необхідно використовувати асфальтобетон, що забезпечує шорстку поверхню з високим початковим коефіцієнтом зчеплення.

7. Відновлення транспортно-експлуатаційних показників покриття автомобільних доріг відноситься до поточно-середнього ремонту. Згідно з ГБН Г.1-218-182 поточно - середній ремонт передбачав відновлення зношених верхніх шарів асфальтобетонного покриття (рівності та коефіцієнту зчеплення покриття), виправлення пошкоджень елементів автомобільної дороги – узбіччя та укосів насипу.

8. До заходів з поточно-середнього ремонту відноситься:

- влаштування вирівнюючого шару;
- влаштування верхнього шару з крупнозернистого асфальтобетону, що забезпечує шорстку поверхню з високим коефіцієнтом зчеплення;
- укріплення узбіч;
- заміна перезволоженого ґрунту на дренуючий піщаний ґрунт.

Розроблені рекомендації з ремонту ділянки автомобільної дороги Р-03, км 9+900 – км 11+350 полягали у:

- виконанні ямкового ремонту покриття крупнозернистим асфальтобетоном типу А марки І на модифікованому бітумі. Асфальтобетонні суміші повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-119. Вибію готувати до ремонту шляхом обробки країв пневматичним інструментом, фрезою з подальшою очисткою від пилу та бруду. В якості підґрунтовки використовувати бітумну емульсію;
- влаштуванні вирівнюючого шару з крупнозернистого щільного асфальтобетону типу А марки І на модифікованому бітумі (АСГ Кр. Щ. А. НП. І БНД 60/90, модифікований) на даній ділянці та на з'їздах;
- на ділянці перезволоженого ґрунту на узбіччях виконати заміну крупнозернистим піском після влаштування вирівнюючого шару;
- укріпити узбіччя щебеневою сумішшю С-5 за нормативною шириною на товщину вирівнюючого шару.

В 2010 р. виконували роботу за темою “Реконструкція проспекту Перемоги з реконструкцією підземних пішохідних переходів. Розробка конструкцій підсилення дорожнього одягу – Стадія РП”

Метою роботи було дослідити та розробити варіанти конструкцій підсилення існуючого дорожнього одягу для капітального ремонту з урахуванням фактичного його стану на початку виконання робіт.

Завданнями роботи було:

- дослідження міцності існуючої конструкції дорожнього одягу Пр.Перемоги протяжністю ПК 104+90 км.

– розробка конструкцій підсилення дорожнього одягу при капітальному ремонті Пр.Перемоги протяжністю ПК 104+90 км.

Згідно ДБН В.2.3-5-2001 «Вулиці і дороги населених пунктів» за типом конструкції нежорсткого дорожнього одягу відноситься до капітального типу.

Дослідження автомобільних вулиць та доріг проводиться з метою оцінки поточного стану дорожнього одягу.

Перед початком досліджень дорожнього одягу аналізували:

- поздовжній профіль та план траси (по проектній документації);
- дані щодо складу та інтенсивності руху;
- існуючу конструкцію дорожнього одягу;
- існуючий стан автомобільної дороги.

Обстеження стану дорожнього одягу виконували шляхом візуального огляду, при цьому було оцінено стан дорожнього одягу і встановлено види, розповсюдженість і розміри пошкоджень (дефектів) дорожнього одягу. Перелік та класифікація дефектів (згідно ВБН В.2.3-218-186).

Під час візуального огляду для визначення якості асфальтобетону в характерних місцях відбиралися керни з асфальтобетонного покриття дорожнього одягу.

Для відбору кернів на пр. Перемоги, було розбито на шістнадцять ділянок (правий та лівий проїзд): кожна ділянка розбивалася на кілька характерних мість відбору кернів.

Керни відбиралися з асфальтобетонного покриття на пр. Перемоги, за допомогою приладу для буріння.

Товщина асфальтобетонних шарів на ділянках коливалася від 14 см до 41 см. Характер відібраних кернів показував наявність зчеплення між асфальтобетонними шарами, в кернах відібраних з характерних місць були наявні тріщини в нижніх шарах та наскрізні тріщини. Під асфальтобетонними шарами знаходився шлак.

Візуальний огляд існуючого стану покриття автодороги «пр. Перемоги», у м. Києві дозволив виявити наступні основні види руйнувань дорожнього покриття: викришування, поперечні тріщини, поздовжні тріщини, сітка тріщин,

вибоїни, колійність. Дані руйнування складають близько 80 % загальної площі покриття. В додатку 1 приведено відомість дефектів покриття автомобільної дороги «пр. Перемоги».

Існуючий стан проїзної частини свідчить про руйнування дорожнього одягу за двома критеріями граничного стану:

- міцності монолітних шарів на розтяг при згині;
- зсувостійкості зернистих матеріалів та/або ґрунту земляного полотна.

На основі аналізу вихідних даних можна зробити висновок, що дана вулиця має однакові вихідні дані для проектування конструкцій підсилення, за винятком ступеня пошкодженості покриття дорожнього одягу.

Асфальтобетон із відібраних кернів з покриття автодороги «пр. Перемоги» випробували за стандартними фізико-механічними властивостями згідно ДСТУ Б В.2.7-119-2003 «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови» та ДСТУ Б В.2.7-89-99 «Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань». СОУ 45.2-000118112-046:2009 «Асфальтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами»

Для визначення стандартних фізико-механічних властивостей асфальтобетонних шарів зносу використовувались прилади і обладнання у відповідності із існуючими нормативними документами.

Крім того, визначали счеплення між асфальтобетонними шарами (другим та третім шаром).

На основі даних про товщини конструктивних шарів дорожнього одягу було побудовано поздовжній профіль конструкції.

Для елементів дорожнього одягу із зв'язних матеріалів (асфальтобетонні шари покриття), які працюють на розтяг, руйнуванням є поділ на частини (розтріскування).

На основі аналізу вихідних даних, результатів візуального та інструментального обстеження покриття, випробування кернів, відібраних із покриття, розрахунків конструкції дорожнього одягу на міцність, зробили висновки – міцність, жорсткість і розподільча здатність конструкції дорожнього

одягу в цілому, та окремих його елементів зокрема, за жодним із показників не відповідають нормативним вимогам для забезпечення справного і працездатного стану проїзної частини даної дороги. Відповідно, дана автомобільна дорога потребує негайного проведення капітального ремонту та підсилення покриття

При виконанні роботи: “Науково-технічний супровід розробки та влаштування конструкції дорожнього одягу їздового полотна на монолітній естакаді об’єкту: «З’їзди з Подільського мостового переходу на вул. Набережно-Хрещатицьку», в складі будівництва Подільського мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві із застосуванням сучасних вітчизняних апробованих матеріалів і технологій”.

Було розроблено альтернативні варіанти запроєктованій конструкції дорожнього одягу їздового полотна на монолітній естакаді, розробка вимог до асфальтобетонних сумішей і асфальтобетону, та супровід інспекційного нагляду за контролем якості приготування матеріалів і влаштування асфальтобетонних шарів.

При влаштуванні асфальтобетонного покриття на мостах та шляхопроводах виникає проблема появи розтягуючих напружень на поверхні та підшві покриття від дії транспортних засобів та особливостей основи під дорожній одяг. На сьогоднішній день відсутні надійно апробовані типові рішення для масового впровадження. Тому до кожного об’єкту необхідні індивідуальні підходи.

При розробці пропозицій була максимально врахована зарубіжна і вітчизняна практика застосування нових прогресивних матеріалів і технологій. Пропозиції призначені для влаштування конструктивних та захисних шарів дорожнього одягу їздового полотна. Дані пропозиції направлені на підвищення міцності і довговічності та колієстійкості конструкції дорожнього одягу їздового полотна.

4.4. Соціально-економічна ефективність дисертаційних досліджень

Для оцінки соціально-економічної ефективності дисертаційних досліджень щодо довговічності асфальтобетонного покриття конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів було застосовано формулу В.Ф. Бабкова [135], яка дозволяє встановити річну економію собівартості перевезень для одого масту $\Delta \Xi_1$:

$$\Delta \Xi_1 = \frac{(1-K_\delta)}{V_m(1+K_\delta)} N L r T_{\text{роб}}, \quad (4.5)$$

де K_δ – відношення швидкості на ділянці зниження до середньої швидкості автомобіля ($V_m = 50$ км/год) прийнятий рівним 0,6;

N – середня інтенсивність руху, дорівнює 2000 авт/добу;

L – довжина підходів до мосту, що дорівнює 1 км;

r – вартість пробігу 1 автомобіля, прийнята 21 грн/км (при середній вантажопідйомності, середні значення коефіцієнтів використання вантажопідйомності і пробігу автомобілів $\gamma\beta q = 2,9$, а собівартості перевезень – 60 грн/км згідно даних держстатистики на 2018 р.);

$T_{\text{роб}}$ – кількість робочих днів автомобіля на рік, що дорівнює 275.

Оцінку ефективності у сфері народного господарства, яка досягається за рахунок більш швидкої доставки вантажів, рахуємо за формулою:

$$\Delta \Xi_2 = \frac{0,6 \zeta Q_2 L (V_m - V_0)}{24 \cdot 360 V_m V_0} E_n, \quad (4.6)$$

де 0,6 – коефіцієнт, що враховує частку товарних вантажів і вантажів короткострокового зберігання (по А.Б. Меерсон);

ζ – середня ціна 1 т вантажний маси, до розрахунку прийнята 10000 грн;

Q_2 – річна кількість вантажів приймаємо 1000000 тонн;

$q_e = N \gamma\beta q T_{\text{роб}}$ – підраховано при раніше прийнятих значеннях – 275 днів;

$V_m = 50$ км/год;

$V_0 = 25$ км/год; $L = 1$ км;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень – 0,125.

Крім перерахованого вище, експлуатаційні організації знизять витрати на щорічний ремонт покриття біля мостів $\Delta\Xi_3$ (приймали 5000 грн).

Коефіцієнт ефективності капіталовкладень на розрахунковий рік визначається залежністю:

$$E = \frac{\sum \Delta\Xi_p}{K_2 - K_1}, \quad (4.7)$$

де, $\sum \Delta\Xi_p$ – сумарний ефект, отриманий в результаті зниження транспортних витрат;

$K_2 - K_1$ – подорожчання внаслідок застосування нових конструкцій.

Сумарний ефект від зниження транспортних витрат на розрахунковий рік, без урахування зростання інтенсивності руху автомобілів на дорозі, в даному випадку буде рівним:

$$\sum \Delta\Xi_p = (\Delta\Xi_1 + \Delta\Xi_2)(1 + \alpha t_p) + \Delta\Xi_3^p, \quad (4.8)$$

де $(1 + \alpha t_p) = 2,69$ (при $\alpha=0,13$ і $t_p=12,5$);

$$t_p = \frac{1}{E_n} = \frac{1}{0,08} = 12,5 \text{ років},$$

де 0,08 – норматив приведення різночасових витрат згідно з "Типовою методикою";

$\Delta\Xi_3^p$ – які залежать від інтенсивності руху автомобілів сумарні щорічні витрати на ремонт покриття біля моста, рівні

$$\Delta\Xi_3^p = \Delta\Xi_3 \sum_1^{13} \frac{1}{(1+E_{\text{нп}})^t}, \quad (4.9)$$

Отже, згідно проведеного розрахунку сумарний ефект від зниження транспортних витрат на розрахунковий рік може скласти в районі 200000 грн. для мосту з високим насипом більше 6 м і підмостовим габаритом по ширині більше 6 м.

Визначення економічного ефекту від впровадження результатів дисертаційної роботи, щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до мостів можна також виконати згідно з МР Г.1-37641918-890 через здійснення капітальних вкладень в автомобільну дорогу.

Наші дослідження щодо заходів, направлених на підвищення довговічності асфальтобетонного покриття дорожнього одягу автомобільних доріг, збігаються з даними інших дослідників [60, 61, 83]. Одержано, що при більших будівельно-монтажних витратах на влаштування асфальтобетонних шарів підвищеної довговічності у 1,5 рази коефіцієнт економічної ефективності може становити 1,1-1,2 при збільшенні довговічності від 1,5 до 2,5 рази.

4.5 Висновки по розділу 4

1. Розроблено методику розрахунку на довговічність асфальтобетонного покриття конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів, що базується на методології прогнозування терміну служби до порушення монолітності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів.

2. Удосконалено методику вимірювання прогинів на поверхні асфальтобетонного покриття, що полягає у необхідності проведення вимірювань у період часу доби, коли температура по глибині асфальтобетонних шарів відрізняється на більше ніж на 5 градусів. На онові аналізу температурного

режиму асфальтобетонних шарів запропоновано рекомендовані такі періоди часу доби для різних сезонів року.

3. Удосконалено методику встановлення динамічного модуля пружності дорожнього одягу за результатами статичних вимірювань прогину у не розрахунковий період з урахуванням термореологічних властивостей дорожньо-будівельних матеріалів конструкції нежорсткого дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна.

4. Розроблено рекомендації з підвищення міцності і довговічності асфальтобетонного покриття на основі результатів досліджень обстеження мостових переходів різних об'єктів.

5. Удосконалені принципи раціонального конструювання дорожнього одягу з урахуванням особливостей роботи асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів.

6. На основі оцінювання соціально-економічної ефективності дисертаційних досліджень встановлено, що сумарний ефект від зниження транспортних витрат на розрахунковий рік може скласти близько 200000 грн. для найбільш типового підходу до автодорожніх мостів.

7. Впровадження в практику результатів досліджень було підтверджено відповідними довідками із таких організацій: Державне агентство автомобільних доріг України «Укравтодор»; ДП «ДерждорНДІ»; ДП «УКРДІПРОДОР», ТОВ «Міжнародний проектний інститут», ТОВ «Енергетичне дорожнє будівництво» та інших.

8. Результати досліджень знайшли своє впровадження в навчальному процесі НТУ на факультеті транспортного будівництва при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виробничих практик та написанні дипломних проектів та магістерських робіт.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-прикладна задача, що полягає у підвищенні довговічності асфальтобетонних шарів покриття нежорсткого дорожнього одягу на підходах до автодорожніх мостів. Отримані нові наукові результати, що дозволяють надійніше прогнозувати тріщиноутворення в асфальтобетонному покритті на підходах до мостів на основі детальнішого врахування умов його експлуатації на різних ділянках.

Основні результати полягають у наступному:

1. Встановлено, що на основі відомих досліджень роботи асфальтобетонного покриття нежорстких дорожніх одягів створено аналітичні методи для прогнозування його напружено-деформованого стану та міцності і довговічності з урахуванням термореологічних властивостей матеріалів і ґрунтів. Однак виконані дослідження до цього часу не дозволили на єдиній методологічній основі враховувати умови експлуатації асфальтобетонного покриття на підходах до мостів для оцінювання його довговічності з урахуванням режиму руху транспорту та особливостей дорожньої конструкції з перехідною плитою в зоні сполучення насипу з мостом.

2. Розроблено класифікацію умов роботи асфальтобетонного покриття на підходах до мостів з урахуванням вірогідності утворення заторів та різних умов водно-теплогового режиму роботи всієї дорожньої конструкції по довжині підходів до мосту, що дає можливість детальніше виділити основні чинники з точки зору тріщиноутворення в покритті на різних ділянках.

3. Розроблено розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття та методика визначення його напружено-деформованого стану при дії вертикального і горизонтального транспортного навантаження та коливання температури, що дозволяє точніше враховувати дію впливових чинників та особливості дорожньої конструкції.

4. На основі застосування принципів Пальгрейна-Майнера та Бейлі удосконалено математичну модель для опису граничного стану

асфальтобетонного покриття для кожної характерної ділянки за умовами його експлуатації. Це дає можливість точніше оцінювати довговічність асфальтобетонного покриття з більш детальною диференціацією врахування дії основних чинників, що впливають на утворення тріщин в асфальтобетонному покритті: σ_n , $\sigma_{\text{п}}$, $\sigma_{\text{г}}$, $\sigma_{\text{т}}$, $\tau_{\text{пл}}$, $\tau_{\text{г}}$, $\tau_{\text{тр}}$.

5. Удосконалено метод проектування асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів та шляхопроводів, це дає можливість підвищити його довговічність, що сприятиме: підвищенню комфортності та безпеки руху транспортних засобів, зменшенню матеріальних та енергетичних витрат при утриманні покриття, зменшенню заторів та покращенню транспортного сполучення.

6. Встановлено, що при застосуванні типових рішень з перехідною плитою дорожньої конструкції підходу до мосту у зоні спряження насипу з мостовою спорудою незалежно від кута нахилу перехідної плити відбувається різке збільшення вертикального прогину поверхні покриття на 20-40 %, коли транспортне навантаження розташовується поза перехідною плитою у порівнянні з його значенням у випадку транспортного навантаження у межах перехідної плити. Це спричиняє збільшенню розтягуючих поверхневих горизонтальних нормальних напружень σ_n та вертикальних дотичних $\tau_{\text{г}}$, і призводить до зменшення довговічності покриття в 1,5-2 рази. Причому, ці напруження в покритті при наїзді на плиту виникають більші ніж при з'їзді з плити в 1,2 – 1,5 рази. З'ясовано, що при дії горизонтальних транспортних навантажень (гальмування або зрушення з місця) на покриття поблизу границі з відбитком пневматика з протилежної сторони від напрямку їх дії виникають підвищені (до 5 % від руйнівного значення) поверхневі горизонтальні нормальні напруження σ_n та вертикальні дотичні $\tau_{\text{г}}$.

7. Запроектований склад безавтоклавного пінобетону з фізико-механічними властивостями, що дозволяють його застосування для підвищення морозостійкості в конструкції дорожнього одягу (пойменій частині) підходу до мосту. Встановлено його розрахункові механічні та теплофізичні

характеристики. Його теплофізична ефективність у 2-3 рази перевищує традиційні матеріали, що застосовуються в основі дорожнього одягу.

8. Розроблено практичні заходи для впровадження в практику: методику прогнозування терміну служби до порушення монолітності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів; удосконалену методику вимірювання прогинів на поверхні асфальтобетонного покриття; удосконалені принципи раціонального конструювання асфальтобетонних шарів покриття з урахуванням особливостей роботи асфальтобетонного покриття. Застосування результатів досліджень було підтверджено відповідними довідками із таких організацій: Державне агентство автомобільних доріг України «Укравтодор»; ДП «ДерждорНДІ»; ДП «УКРДІПРОДОР», ТОВ «Міжнародний проектний інститут», ТОВ «Енергетичне дорожнє будівництво» та інших. Результати досліджень знайшли своє впровадження в навчальному процесі НТУ на факультеті транспортного будівництва при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виробничих практик та написанні дипломних проектів та магістерських робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методические рекомендации по проектированию и строительству сопряжений автодорожных мостов и путепроводов с насыпью М. : Союздорнии, 1975. 19 с.
2. Кушнір О. В. Аналіз існуючих підходів проектування зон сполучення мостів з насипами. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : наук.-техн. збірник. 2019. Вип. 106. С. 97-104.
3. Кушнір О. В. Забезпечення довговічності дорожнього одягу на підходах до мостів з асфальтобетонним покриттям. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*: наук.-техн. збірник. 2020. Вип. 107. С. 63-70.
4. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Чинний від 2005-09-03]. К. : Держспоживстандарт України. 2008. 20 с.
5. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Чинний від 2005-09-03]. К. : Держспоживстандарт України. 2008. 20 с.
6. Попов В. И., Прохоров А. А. Способы сопряжения конструкций путепроводов с насыпями подходов : сборник статей. 2014. Вып. 5. С. 34-44 (60 с.).
7. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Серия 3.503.І-96. Сопряжение автодорожных мостов и путепроводов с насыпью. Вып. 0-1. Конструкции сопряжения материалы для проектирования.
8. Каталог сучасних матеріалів для будівництва, ремонтів та експлуатаційного утримання автомобільних доріг загального користування. ДерждорНДІ. Київ. 2011. 111 с.
9. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Споруди транспорту. Частина І. Частина ІІ.
10. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування.

11. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Серия 3.5 0 3-41. Сопряжения автодорожных мостов и путепроводов с насыпью. Выпуск 3.

12. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Серия 3.503.I-71/88. Дорожные одежды автомобильных дорог общего пользования. Выпуск 0. Материалы для проектирования.

13. Кушнір О. В., Коваль П. М., Боднар Л. П., Панібратець Л. Г. Робота асфальтобетонного покриття в зоні примикання деформаційних швів на автодорожніх мостах. *Дороги і мости* : зб. наук. ст. ДерждорНДІ. Київ. 2015. Вип. 15. С. 87-93.

14. Пегин П. А., Лапин А. В. Обеспечение ровности дорожного покрытия и безопасности движения транспортных средств в местах сопряжения моста с насыпью. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2012. Вып. 3 (30). С. 92-95.

15. Попов В. И. Совершенствование конструкции сопряжения путепроводов с насыпью путем применения интегральных устоев. *Науковедение* : интернет-журнал. 2014. Вып. 5(24) С. 166-176.

16. Коваль П. М., Полюга Р. І., Фаль А. Є. Нормативне забезпечення проектування деформаційних швів в Україні. *Дороги і мости*: зб. наук. ст. ДерждорНДІ. Київ. 2010. С. 255-259.

URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/8129/1/47.pdf>. 2010.

17. Anand J. Puppala, Bhaskar C. S. Chittoori Approach Slabs. Bridge Engineering Handbook. Five Volume Set : Edition 2. New York. 2014. pp. 647-675.

18. Muttoni A., Dumont A.-G., Burdet O., Savvilotidou M., Einpaul J., Nguyen M.L. Experimental verification of integral bridge abutments. Rapport OFROU. Switzerland. 2013. 86 p.

19. 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.

20. 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.

21. Short T. H., Wierschem N. E., Denavit M. D. and Bennett R. M. Bump at the End of the Bridge: Review and Analysis of Rider Discomfort. Civil and Environmental Engineering Report Series. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Tennessee, Knoxville, Tennessee. 2018. Report No. 1. Режим доступу: http://trace.tennessee.edu/ce_reports.

22. Burdet O., Einpaul J., Muttoni A. Experimental investigation of soil – structure interaction for transition slabs of integral bridges. Structural Concrete. 16. 2015. pp 470-479.

23. Білятинський О.А., Старовойда В.П. Проектування капітального ремонту і реконструкції доріг. К. : “Вищаосвіта”. 2003. 343 с.

24. Золотарев В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Харьков: Вища школа. 1977. 116 с.

25. Бахрах Г. С. Усталостное разрушение асфальтобетонных покрытий и пути замедления этого процесса. Строительство и эксплуатация автомобильных дорог : Экспресс-информация ЦБНТИ Минавтодора. М. 1980. Вып. 9. 40 с.

26. Гезенцвей Л. Б., Горелышев Н. В., Богуславский.А. М., Королев И. В. Дорожный асфальтобетон. М. : Транспорт. 1985. 350 с.

27. Ладыгин Б. И., Яцевич И. К. Прочность и долговечность асфальтобетонов : Наука и техника. Минск. 1972. 288 с.

28. Рыбьев И. А. Строительные материалы на основе органических вяжущих веществ. М. : Высшая школа. 1978. 309 с.

29. Руденский А. В. Дорожные асфальтобетонные покрытия. М. : Транспорт. 1992. 254 с.

30. Золотарев В. А. Перспективы повышения долговечности асфальтобетона. Автомобильный транспорт и дорожное хозяйство на рубеже 3-

го тысячелетия : материалы международной научной конференции. Харьков : ХГАДТУ. 2000. С. 58-61.

31. Лапченко А. С. Реологические свойства асфальтополимербетонов при 154 динамическом воздействии: дис. канд. тех. наук: 05.23.05. Харьков : ХНАДУ. 2010. 231 с.

32. Злотарев В. А., Братчун В. И. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы с добавками в дорожном строительстве. Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги». Харьков : ХНАДУ. 2003. 229 с.

33. Ряпухін В. М., Нечитайло Н. О. Моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів. Містобудування та територіальне планування : наук.-тех. збірник. К. : КНУБА. 2011. Вип.40. Част. 2. С. 258-263.

34. Ряпухін В. М., Нечитайло Н. О., Дорошко Є. В. Визначення найбільш небезпечних у асфальтобетонних шарах при розрахунках міцності на зсув. Матеріали міжнарод. наук. -техн. конф., присвяченої 80-річчю ХНАДУ та дор.-буд. факультету : Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. (28-30 жовтня 2010 р.) Харків : ХНАДУ. 2010. С. 44-50.

35. Francisco Thiago S. A. Research on Fatigue of Asphalt Mixtures and Pavements in Nebraska. Francisco Thiago S. Aragão, Yong-Rak Kim, Junghun Lee. Nebraska : Department of Civil Engineering College of Engineering. 2008. p. 156.

36. Shaw P. S. Stress-Strain Relationships for Granular Materials under Repeated Loading. Department of Civil Engineering. University of Nottingham. 1980. p.120.

37. 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/>

38. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. М. : Машиностроение. 1989. 240 с.

39. Закин Я. Х. Прикладная теория движения автопоїзда. Монография : Изд-во «Транспорт». 1967. с. 252

40. Смирнов Г. А. Теория движения колёсных машин. М. : Машиностроение. 1981. 318 с.
41. Малофеев А. Г. Исследование динамического воздействия автомобиля на нежесткие дорожные одежды в процессе эксплуатации дорог дис. д-ра тех. наук. А. Г. Малофеев. Омск, 1978. 251 с.
42. Бесараб О. М. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів з врахуванням часу дії навантаження : Дис. канд. техн. Наук : 05.22.11. Київ. 2003. 142 с.
43. Дорошко Є. В. Удосконалення методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі : Дис. канд. техн. наук: 05.22.11. Харків. 2016. 152 с.
44. Смирнов В. М. Определение усталостной прочности материалов монолитных слоев дорожных одежд. Труды Союздорнии. М. 1990. С. 110-115.
45. Радовський Б. С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных загрузок : Дис. докт. техн. Наук : 05.23.03. К. 1982. 552 с.
46. Радовский Б. С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд. К. 2003. 240 с.
47. Мозговой В. В. Оценка температурной трещиностойкости асфальтобетонных и дегтебетонных слоев в покрытиях автомобильных дорог : Дис. канд. техн. наук : 05.23.05. – К. 1986. – 330 с.
48. Мозговий В. В., Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Білан О. О. Моніторинг стану дорожнього одягу для планування ремонтних робіт автомобільних доріг, у тому числі для СУСП. *Дороги і мости* : зб. наук. ст. ДерждорНДІ Київ. 2011. Вип. 13. С. 76-88. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/monitoring-stanu-doroghnyogo-odyagu-dlya-planuvannya-remontnih-robit -avtomobilynih-dorig-u-tomu-chisli-dlya-susp>
49. Кушнір О. В. Солодкий С. Й. Особливості напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* :

наук.-техн. збірник. Київ. 2020. Вип. 108. С. 46-58. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/108/46.pdf

50. Вознюк А.Б. Швидкісні режими на автомобільних дорогах. Дороги і мости : зб. наук. ст. Вип. 16. 2016. С. 86-99.

51. В. П. Редченко Про обмеження швидкості руху на автодорожніх мостах та визначення фактичного динамічного коефіцієнта. *Автошляховик України*. 2013. Вип. 3. С. 41-48. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2013_3_9

52. Супрун А. С. Расчет напряжения, перемещений и деформаций нежестких дорожных одежд при движении многоосных многоколесных транспортных средств : дис. канд. тех. наук. К. 1983. 190 с.

53. Дудаков А. И. Особенности учета воздействия автотранспортных средств при проектировании нежестких дорожных одежд. Труды ГипродорНИИ. М. : 1981. № 33. С. 99-105.

54. Салль А. О. К вопросу о конструировании дорожных одежд с асфальтобетонными основаниями. Труды СоюздорНИИ. : М. 1979. № 105. С. 142–155.

55. Бахрах Г. С. Об оценке выносливости дорожных асфальтобетонных покрытий. Труды ГипродорНИИ. : М. 1980. С. 57–65.

56. Золотарев В. А. Оцінка тривалості життя асфальтобетону під дією статичного навантаження. *Автошляховик України*. 2013. № 4. С. 29-31. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2013_4_8

57. Золотарев В. А. Оценка долговечности асфальтобетонов по статической усталости [Електронний ресурс]. *Автошляховик України*. 2015. № 4. С. 30-34. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2015_4_9

58. Иванов Н. Н. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. М. : Транспорт. 1973. 328 с.

59. Руденский А. В., Калашникова Т. Н. Исследование усталости асфальтобетона. М. : Труды ГипродорНИИ. 1973. № 7. С. 3-13.

60. Салль А. О. Механические свойства асфальтобетона при изгибе кратковременными нагрузками. М. : Труды Союздорнии. 1971. № 47 С. 16- 19.

61. Гамеляк І. П., Якименко Я. М. Дослідження зміни міцності та деформативності асфальтобетону в залежності від температури та швидкості деформування. *Автошляховик України*. Вип. 6 (212). 2009. С. 24-28.
62. Гезенцевей Л. Б. Горелышев Н.В., Богуславский А.М., Королёв И.В. (под ред. Гезенцева Л.Б.) Дорожный асфальтобетон М. : Транспорт. 1985. 336 с.
63. Жданюк В. К. Структурообразование в контактной зоне как основа формирования водоустойчивости асфальтобетонов : дис. доктора техн. наук: 05.23.05. ХГАДТУ. Харьков. 2000. 370 с.
64. Золотарёв В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Харьков : Вища школа. Из-во при ХГУ. 1997. 116 с.
65. Иванов Н. Н., Горелышев Н. В. Пути увеличения долговечности асфальтобетонных покрытий. *Автомобильные дороги*. 1964. №1. С. 13-15.
66. Кирюхин Г. Н. К вопросу о долговременной прочности асфальтобетона. *Труды СоюздорНИИ*. 1977. Вып. 99. С. 31-38.
67. Кирюхин Г. Н., Гохман Л. М. Особенности деформирования и разрушения битумоминеральных материалов в условиях ползучести при изгибе. *Труды СоюздорНИИ*. 1979. Вып. 113. С. 69-83.
68. Рыбьев И. А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. М. : Высшая школа. 1978. 309 с.
69. Сюньи Г. К. Дорожный асфальтовый бетон. К. : Госстройиздат УССР. 1962. 235 с.
70. Титарь В. С. Закономерности разрушения и долговременной прочности асфальто- и дёгтебетонов: дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Титарь Вячеслав Семёнович. ХАДИ. Харьков, 1982. 252 с.
71. Duriez M., Arrambide J. Nouveau traite de materiaux de construction. Paris : Dunod. v. 3. 1962. 1543 p.
72. Sybilski D. Polimeroasfalty drogowe. Jakose funkcjonalna metodyka i kryteria oceny. Warszawa : IBDM. 1996. 150 str.
73. Матуа В. П. Чирва Д. В., Матуа Р. В. Влияние упруговязкопластических свойств асфальтобетонов на накопление остаточных

деформаций в слоях покрытий автомобильных дорог. Известия вузов : строительство. 2009. № 10. С. 71-77.

74. Радовский Б. С., Щербакова Е. Я. Оценка реологических характеристик асфальтобетона при кратковременных нагрузках. Повышение качества асфальтобетона. 1975. Вып. 79. С. 70.

75. Радовский Б. С., Телтаев Б. Б. Вязкоупругие характеристики битума и их оценка по стандартным показателям : Монография. Алма-Ата. БІЛІМ. 2013. 152 с.

76. Кривисский А. М. Принципы назначения конструкций одежд нежесткого дорожного типа на магистральных автомобильных дорогах : дис. д-ра. тех. наук. Ленинград. 1962. 420 с.

77. Васильев А. П., Баловнев, М. Б. Корсунский и др. (под ред. Васильева А. П.). Ремонт и содержание автомобильных дорог : Справочник инженерадорожника. М. : Транспорт. 1989. 287 с.

78. Сибирякова Ю. М. Расчетные параметры асфальтобетонных покрытий для проектирования нежестких дорожных одежд : дис. канд. тех. наук : 05.23.11. М. : МАДИ. 2008. 161 с.

79. Телтаев Б. Б. Характеристики деформирования асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог. *Дорожная техника*. СПб. 2011. С. 88-100.

80. Николенко М. А. Учет особенностей нагружения полос движения автомагистралей при проектировании дорожных одежд : дис. канд. тех. наук : 05.23.11. Ростов-на-Дону. 2006. 185 с.

81. Guide for Mechanistic-Empirical Design of new and rehabilitated pavements structures : final report. NCHRP. 2004. 120 p

82. Иваньски М. Основы улучшения и регулирования эксплуатационных свойств асфальтобетона : дис. доктора тех. наук : 05.23.05, 05.23.11. М. 2004. 541 с.

83. Куцман О. М. Забезпечення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу : Дис. канд. техн. наук : 05.22.11. К. : НТУ. 2020. 133 с

84. Мозговой В. В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий : Дис. докт. техн. наук. К. 1996. 343 с.

85. Довідник №1 розрахункових характеристик ґрунтів, матеріалів покриття і основи дорожнього одягу та навантажень від транспортних засобів. Довідник. Київ, 2017. 39 с.

86. 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.

87. Баран С. А. Удосконалення проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону: Дис. канд. техн. наук: 05.22.11. К., 2020. 137 с.

88. Илиополов С. К., Углова Е. В. Долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях роста динамического воздействия транспортных средств. Обзорная информация. Автомобильные дороги и мосты. 2007. Вып. 4. 84 с.

89. Загорулько А. В., Кайота Д. О. Комп'ютерне моделювання динамічних систем : конспект лекцій. Суми : Сумський державний університет. 2019. 118 с.

90. Мозговий В. В., Бесараб О. М., Каськів В. І., Мозговий О. В. Проектування капітального ремонту дорожніх одягів. Автомобільне будівництво : зб. 2010.

91. Мерзликин А. Е. Разработка и исследование методики рационального конструирования дорожных одежд (на примере цементогрунтового основания) : Дис. канд. техн. наук : 05.23.14. М. 1982. 186 с.

92. Мерзликин А. Е., Капанадзе И. И., Мозговой В. В. Долговечность асфальтобетонных покрытий на участках с периодическим замедлением движения транспортных средств. Вестник КГУСТА. Вып. 1 (51). Бишкек. 2016. С. 113-117 (450).

93. Гамеляк И. П. Основы обеспечения надежности конструкций дорожной одежды : Дис. докт. техн. наук. К. 2005. 550 с.

94. Смолянець В. В. Удосконалення проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в умовах міст. Дис. канд. техн. наук : 05.22.11. К. 2005. 195 с.
95. Мозговий В. В., Смолянець В. В., Ладижинський І. С., Прудкий О. В. Уточнення розрахункових температур та інтенсивності руху при розрахунках дорожнього одягу міських вулиць і доріг. Безпека дорожнього руху України : науково-технічний збірник. №4 (19). 2004. С. 55-59.
96. Жуков О. О. Проектування асфальтобетонних шарів зносу для міських вулиць і доріг. Дис. канд. техн. наук: 05.22.11. К. 2011. 176 с.
97. Кватадзе А. І. Удосконалення методу прогнозування вологісного режиму дренажного шару дорожньої конструкції під дією навантаження. Дис. канд. техн. наук: 05.22.11. К. 2021. 130 с.
98. Чурилин В. С. Автореферат Обоснование величины допускаемого пучения грунта для проектирования морозоустойчивых нежестких дорожных одежд. Дис. канд. техн. наук: 05.23.11. Томск – 2018. 165 с.
99. Ратькова Е. И., Сюнёв В. С., Катаров В. К. Влияние цикла «замораживание – оттаивание» на модуль деформации и коэффициент сжимаемости суглинков. Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. 2013. № 4(133). С. 75–78.
100. Горніковська І. Б. Неавтоклавний пінобетон для шарів дорожніх одягів автомобільних доріг 05.23.05. 2020.
101. Куцман А. М., Баран С. А., Мерзликин А. Е., Мозговой В.В. и др. Влияние термореологических процессов на прочность и долговечность асфальтобетонного покрытия нежестких дорожных одежд. Дороги и мосты. 2015. Вып. 34/2. С.102-112.
102. Гуляев В. І., Гайдайчук В. В., Мозговий В. В., Засць Ю. О., Шевчук Л. В. Дослідження термонапруженого стану конструкцій дорожнього одягу. Промислове будівництво та інженерні споруди. 2017. №1. С. 6-12.
103. Гуляев В. І., Мозговий В. В., Гайдайчук В. В., Засць Ю. О., Шевчук Л. В. Деякі закономірності термопружного деформування асфальтобетонного

покриття дороги. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки» : науково-технічний збірник. К. : НТУ. 2017. Вип. 37. С. 80 – 92.

104. Гуляєв В. І., Мозговий В. В., Гайдайчук В. В., Засць Ю. О., Шевчук Л. В. Деякі закономірності термопружного деформування асфальтобетонного покриття дороги. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки» : науково-технічний збірник. К. : НТУ. 2017. Вип. 37. С. 80 – 92.

105. Приварников А.К., Радовский Б.С. Влияние вязко-упругих свойств и инерционных сил на поведение дорожной одежды под действием подвижной загрузки. Известия высших учебных заведений : строительство и архитектура. 1980. №4. С.105-111.

106. Бабаев М. Г. Асфальтовые материалы в условиях жаркого климата. Л. : Стройиздат. 1984. 189 с.

107. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М. 1964. 488 с.

108. Теляев П. И., Щербакова Е. Я. О напряженно-деформированном состоянии дорожной одежды под действием нормальной и касательной загрузок. Тр. Союздорнии : 1985. С. 60 – 70.

109. Приварников А. К., Теляев П. И., Щербакова Е. Я. Особенности напряженно-деформированного состояния дорожной одежды при торможении автомобиля. В кн. : Повышение эффективности строительства и эксплуатации автомобильных дорог. Х. : 1985. С. 78-79

110. Радовский Б. С., Супрун А. С., Козаков И. И. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей. Киев : Будивельник. 1989. 168 с.

111. Теляев П. И. К учету длительности действия нагрузки при расчетах дорожных одежд. В кн. : Материалы всесоюзного совещания по основным направлениям научно-технического прогресса в дорожном строительстве. Выпуск 8. Москва. 1976. С. 14-18.

112. Бесараб О. М., Прокопенко Ю. М., Христич М. Й., Мозговий В. В. Про вплив деяких особливостей режиму руху транспортних засобів в містах на

довговічність дорожнього одягу. Безпека дорожнього руху України : науково-технічний збірник. 1999. №4 (5). С.15-21.

113. Баран С. А., Мерзликин А. Е., Мозговой В. В., Куцман А. М. и др. Влияние термореологических процессов на прочность и долговечность асфальтобетонного покрытия нежестких дорожных одежд. Дороги и мосты : Москва. 2015. Вып. 34/2. С.102-112.

114. Трощенко В. Т., Красовский А. Я., Покровский В. В., Сосновский Л. А., Стрижало В. А. Сопротивление материалов деформированию и разрушению. Справочное пособие в 2 кн. Киев : Наукова думка. 1993.

115. Бартенев Г. М., Зеленев Ю. В. Физика и механика полимеров. М. : Высшая школа. 1983. 391 с.

116. Bailey J. Attempt to correlate some strength measurements of glass. Glass Industry. 1939. Vol. 20: N 1. P. 21 - 25; N 2. P. 59 - 65; N 3. P. 95 - 99; N 4. P. 143 - 147.

117. Miner M.A. Experimental verification of cumulative fatigue damage. Automot. Aviat. Industr. 1945. P. 20 - 24. 93 p.

118. Щербакова И. М. Исследование повышения путей долговечности асфальтобетонных покрытий. Дис. канд. техн. наук : 05.23.14. К. 1978. 194 с.

119. Акбаров С. Д., Гузь А. Н., Мовсутов Э. А., Мустафаев С. М. Механика материалов с искривленными структурами. Под ред. А. Н. Гузя и С. Д. Акбарова. Киев : наук. Думка. 1995. 320 с. (Механика композитов : В 12 т. Т. 4).

120. Григоренко О. Я., Космодамианський О. С., Коханенко Ю. В., Куш В. І, Пелех Б. Л, Рушицький Я. Я., Томашевський В. Т. Механика композитов. Монографія в дванадцяти томах. Київ : Наукова думка та А.С.К. 1993 – 2003 рр.

121. Клименко М. І., Гребенюк С. М., Гоменюк С. Ш. Ефективні механічні характеристики в'язкопружних композитів. : ВД «Гельветика». 2019. 300 с.

122. Neukelom W., Klomp A.J.G. Road Design and Dynamic Loading. : Proc. AART. 1964. № 33. p. 92-125.

123. Золотарев, В. А., Титарь В. С. О долговременной прочности асфальтобетона в широком диапазоне температур. Известия ВЗУов : Строительство и архитектура. 1981. № 11. С. 83–87.

124. Онищенко А. М. Наукові основи підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах : Дис. докт. техн. наук. : 05.22.11. К. 2017. 394 с.
125. Золотарев В. А. Закономерности деформирования и разрушения битумов и асфальтобетонов как основа улучшения и регулирования их свойств : Дис. докт.техн. наук. Харьков. 1982. 575 с.
126. Николенко М. А., Бессчетнов Б. В. Повышение длительной трещиностойкости асфальтобетона дорожных покрытий РГСУ. Ростов-на-Дону.
127. Пейрон К., Карофф Ж. Расчёт дорожных одежд. Пер. с фр. М. : Транспорт. 1992.
128. ВСН 46-83 Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа Минтрансстрой. М. : Транспорт. 1985.
129. Мартынова Е. Б. Неавтоклавный пенобетон на активированной растворной составляющей. Дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Одеса, 2005. С.
130. Демчина Дис. канд. техн. наук:
131. Коваль П.М., Кушнір О.В., Мартинов В.І. Методика проектування складів пінобетону з необхідними властивостями на підставі експериментально-статистичних моделей. *Дороги і мости*. Київ, 2008. Вип. 10. С. 130-136. URL:http://dorogimosti.org.ua/files/upload/%D0%A1%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_10.pdf
132. Мартинов В.І., Фаль А.Є., Кушнір О.В. Пінобетон для будівництва основ дорожніх одягів. *Вісник*. Одеса, 2007. Вип. №27 С. 219-224. 375 с.
133. Мартинов В.І., Коваль П.М., Кушнір О.В. Вплив водопотреби розчинної суміші та щільності пінобетону на його міцність. *Вісник*. Одеса, 2008. Вип. №31 С. 229-237. 407 с.
134. Шестаков В. Н., Шестаков А. Н. Методы теории теплопроводности в транспортном строительстве : учебное пособие. Омск. 2011. 75 с.
135. Принципи реконструкції доріг. Автомобільні дороги. 1969, Вип. 11
136. Мерзликин А.Е., Мозговая Л.А., Мозговой А.В., Мозговой В.В., Бесараб А.Н., Болотнюк Е.Н., Замана И.Н., Куцман А.М., Онищенко

А.Н.,Прудкий А.В., Прогрессивные технологии капитального ремонта дорожных одежд. *Дорожная техника*. 2007. С. 126-139.

137. І. П. Гамеляк, В. Ф. Райковський. Експериментальне визначення навантаження на вісь транспортних засобів. *Автошляховик України*. Вип. 3. 2014. С. 25-29.

138. І.П. Гамеляк, В.Ф. Райковський Встановлення експериментальних залежностей між параметр аминавантаження на вісь і тиском Науково-виробничий журнал *Автомобільні дороги*. 2014. Вип. 6. 242 с.

139. ТУ У В.2.7-14.2-21483639/03450778-002:2013 «Технічні умови на дослідну партію «Суміші асфальтобетонні гарячі мастикові щільні та асфальтобетон пористий мастиковий (РМА). Літера О;

140. ТУ У В.2.7-14.2-21483639/03450778-002:2013 «Технічні умови на дослідну партію «Суміші асфальтобетонні гарячі мастикові щільні та асфальтобетон пористий мастиковий (РМА).

141. ТУ У В.2.7-14.2-21483639/03450778-002:2013 «Технічні умови на дослідну партію «Суміші асфальтобетонні гарячі мастикові щільні та асфальтобетон пористий мастиковий (РМА).Зміна №1;

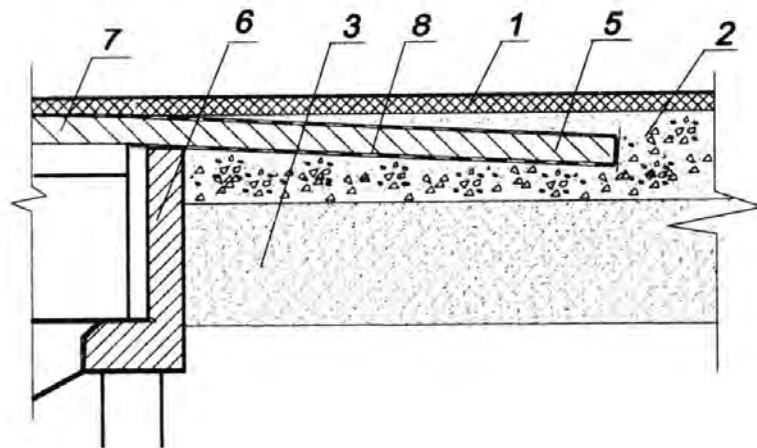
142. РТР В.2.7-14.2-21483639/03450778-020:2013 Разовий технологічний регламент на приготування сумішей асфальтобетонних гарячих мастикових щільних (САГМЩ) та їх використання для влаштування нижніх та верхніх шарів покриття з асфальтобетону пористого мастикового (РМА) на автомагістралі через річку Дніпро в м. Запоріжжя;

143. ТТК 37641918/03450778-186:2016 Типова технологічна карта на влаштування нижнього шару покриття товщиною 8 см із суміші мастикової асфальтобетонної СМА-20 асфальтоукладальником на гусеничному ходу VOGELE SUPER 2100;

144. ТК В.2.7-14.2-21483639/03450778-022:2013 Улаштування нижнього (вирівнюючого) шару асфальтобетонного покриття з САГМЩ-20 (РМА-20) асфальтоукладачами “VOLVO ABG TITAN” при будівництві автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжі;

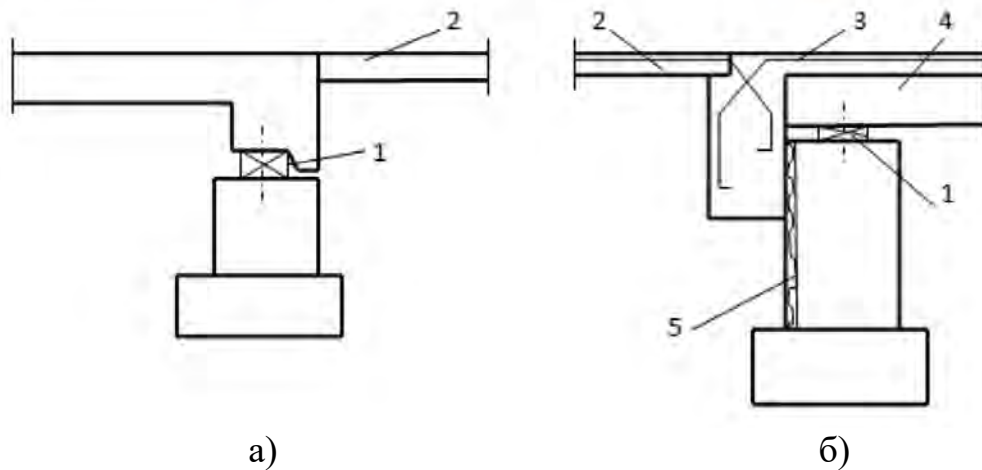
145. ТК В.2.7-14.2-21483639/03450778-023:2013 Улаштування верхнього шару асфальтобетонного покриття з САГМЩ-10 (РМА-10) асфальтоукладачами “VOLVO ABG TITAN” при будівництві автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжі).

ДОДАТОК А
СХЕМИ КОНСТРУКЦІЙ СПОЛУЧЕННЯ МОСТУ З НАСИПОМ
АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ



1 – асфальтобетон; 2 – щебінь; 3 – пісок; 4 – лежень; 5 – перехідна плита;
6 – шафова стінка стояна; 7 – монолітна накладна плита на прогоновій будові; 8 –
гідроізоляція

Рисунок А.1 – Монолітна гнучка перехідна плита



1 – опорна частина; 2 – перехідна плита; 3 – арматура;
4 – сталезалізобетонна балка; 5 – ущільнювач

Рисунок А.2 – Напівінтегральні схеми стоянів: а – найпростішої конструкції; б –
з підвищеною зворотною стінкою

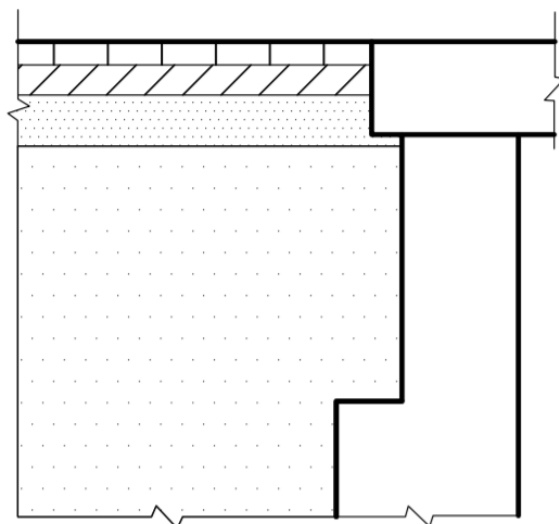


Рисунок А.3 – Схема сполучення мосту і насипу без перехідної плити

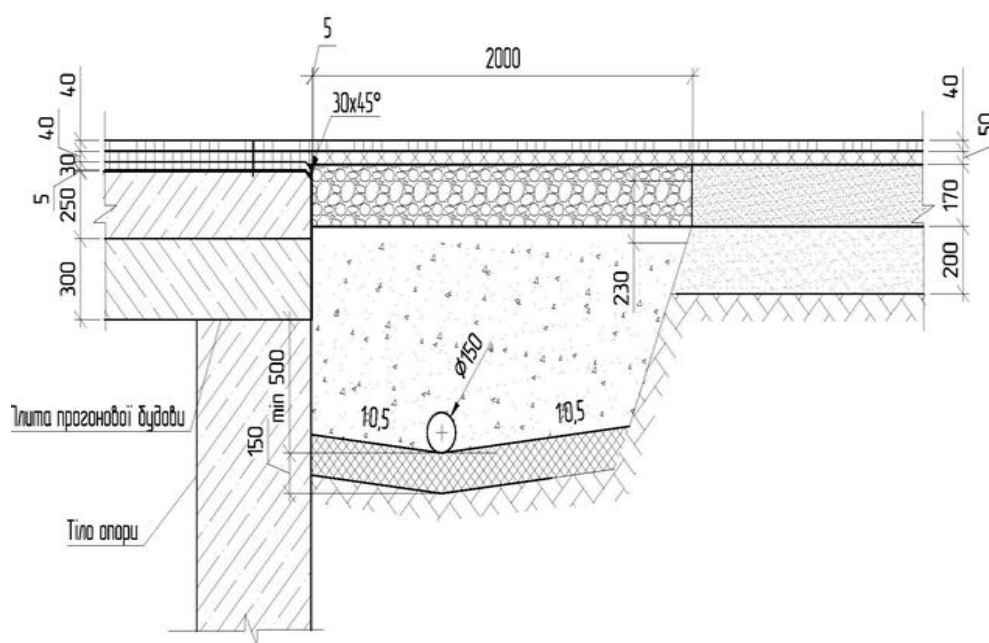


Рисунок А.4 – Схема сполучення малих мостів (< 6 м) з насипом дороги (IV категорії), з застосуванням об'ємних георешіток і матраців

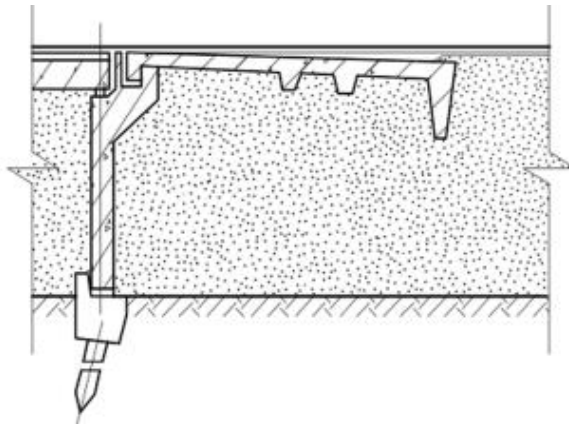


Рисунок А.5 – Схема сполучення мосту і насипу

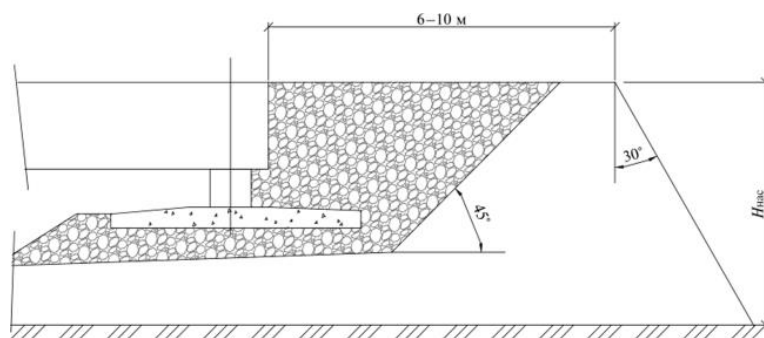
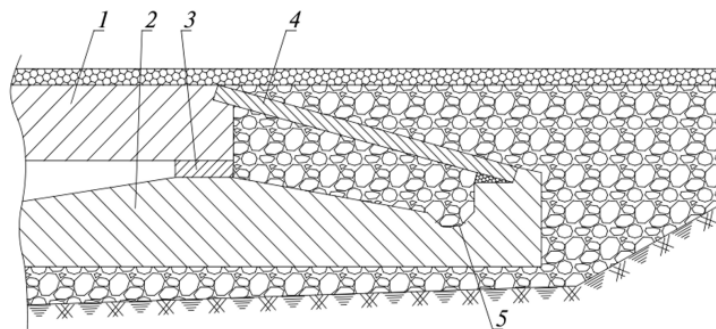
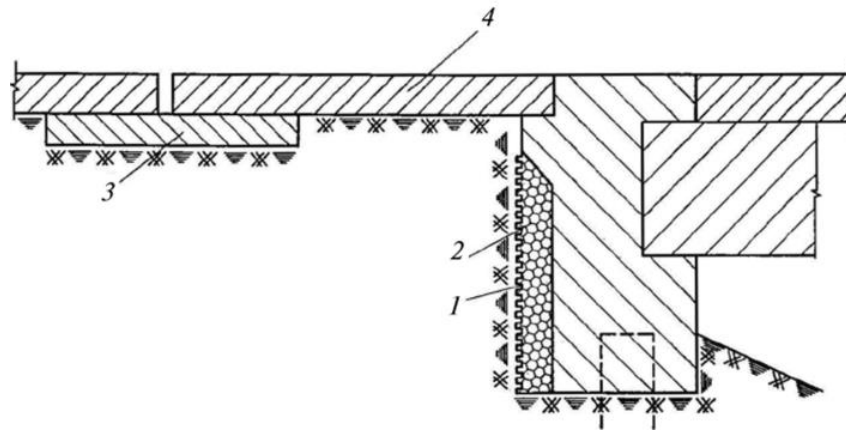


Рисунок А.6 – Схема сполучення мосту і насипу без перехідної плити



1 – сталезалізобетонна балка; 2 – лежень; 3 – опорна частина;
4 – перехідна плита; 5 – дренаж

Рисунок А.7 – Схема сполучення мосту і насипу з проекту Київського філіалу
Союздорпроекту (1983 р.)



1 – лист гофрованого металу 2 – пружний матеріал; 3 – плита для ковзання;
4 – сполучаюча плита

Рисунок А.8 – Сполучення з плитами поверхневого типу довжиною 8 м

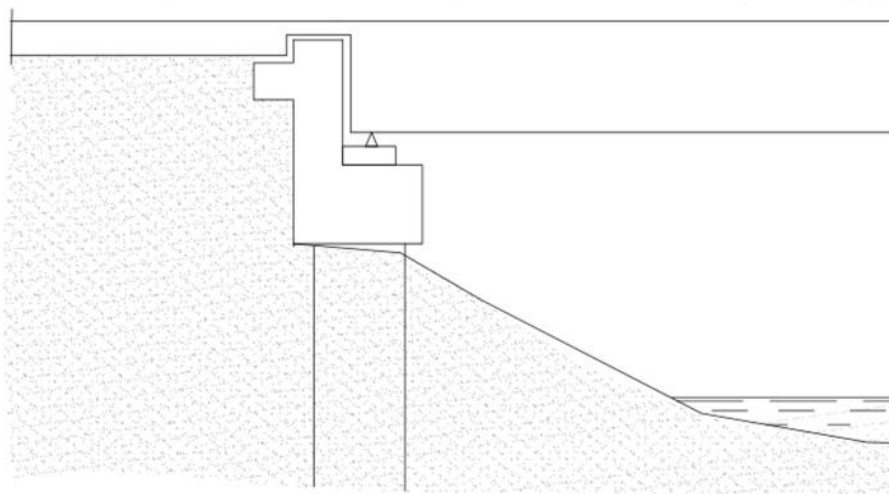
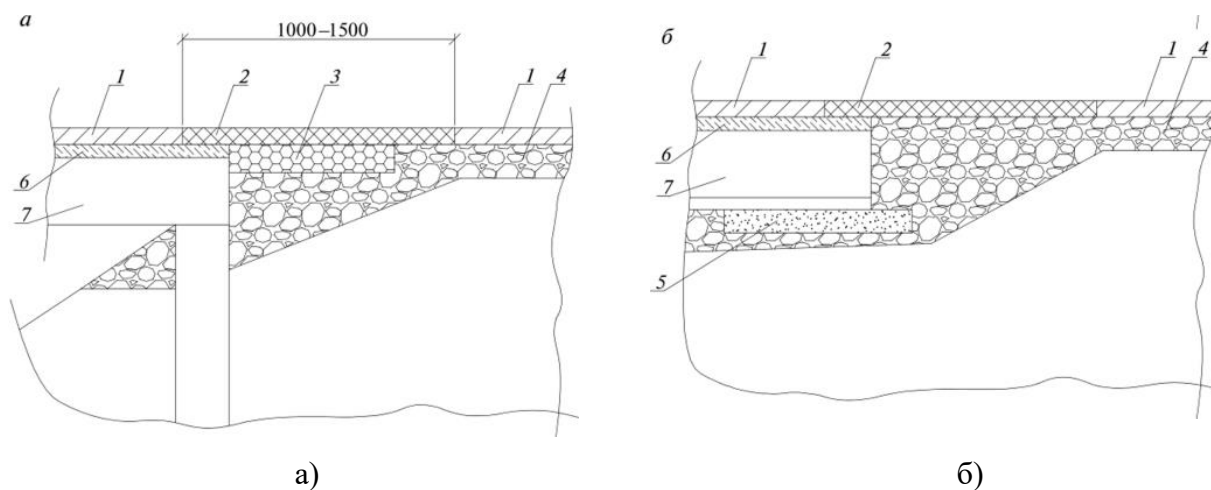


Рисунок А.9 – Схема сполучення мосту і насипу

[https://studref.com/385733/stroitelstvo/sopryazhenie_malyh_mostov_nasypey]



1 – асфальтобетон; 2 – армований асфальтобетон; 3 – щебенева засипка, просочена мастикою;
 4 – щільна кам'яно-щебенева суміш; 5 – лежень;
 6 – покриття проїжджої частини моста; 7 – прогонова будова

Рисунок А.10 – Схема сполучення мосту і насипу: а – опора пальового типу; б – опора лежневого типу

[<http://patents.su/2-979568-ustrojstvo-sopryazheniya-mosta-s-nasypyu-podkhodov.html>]

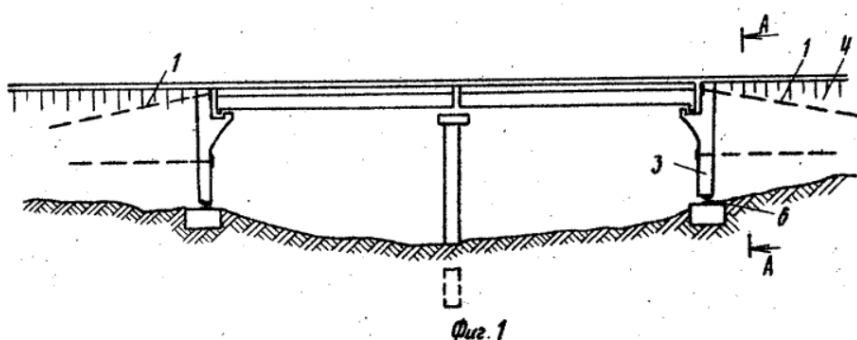


Рисунок А.11 – Схема сполучення мосту і насипу з системою анкерів.

[<http://patents.su/2-979568-ustrojstvo-sopryazheniya-mosta-s-nasypyu-podkhodov.html>]

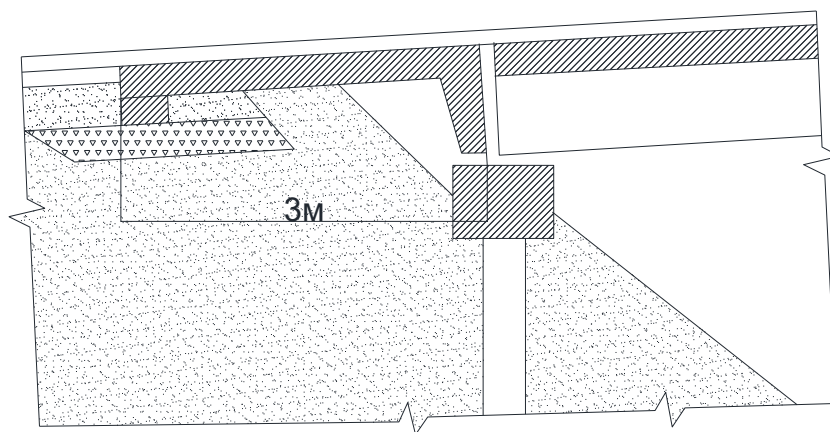
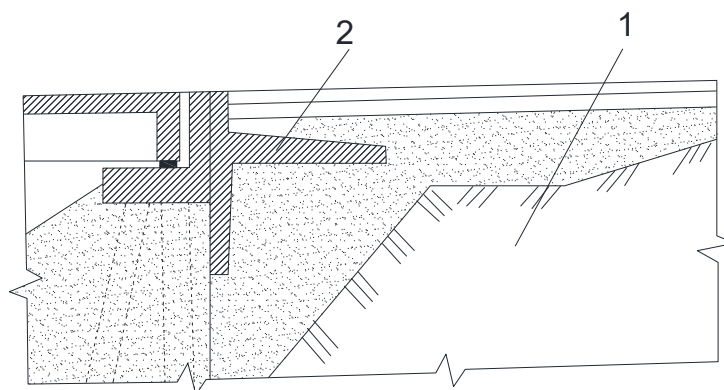


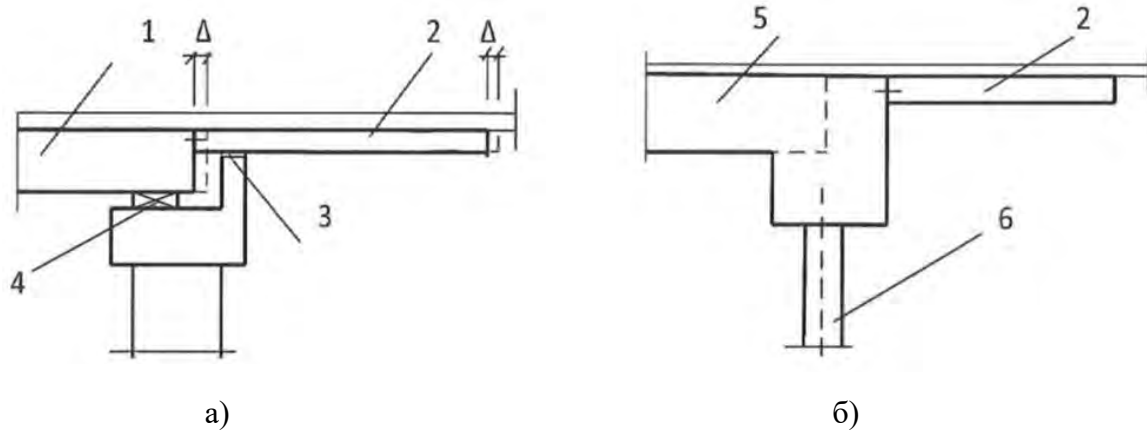
Рисунок А.12 – Схема сполучення мосту і насипу з перехідною плитою
подібного типу

Г-



1 – ґрунт насипу підходів; 2 – перехідна плита жорсткої консольної конструкції

Рисунок А.13 – Схема сполучення мосту і насипу – інтегральна перехідна плита



- 1 – балочна прогонова будова; 2 – перехідна плита; 3 – поверхня ковзання;
 4 – опорна частина; 5 – балки прогонової будови, закладені в устої;
 6 – сталеві паля

Рисунок А.14 – Сучасне рішення щодо стоянів [18]: а – напівінтегрального типу;
 б – інтегрального типу

ДОДАТОК Б

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕЖОРСТКОГО
ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Можливості сучасної обчислювальної техніки, що безперервно удосконалюються, можливості операційних середовищ і сучасні методи будівельної механіки (метод скінченних елементів, врахування фізичної і геометричної нелінійності) дозволяють врахувати всі конструктивні особливості споруди і властивості матеріалу безпосередньо в дискретній розрахунковій схемі, що відкриває необмежені можливості в комп'ютерному моделюванні. Комп'ютерні моделі дозволяють ставити і вирішувати значно ширші завдання, пов'язані з моделюванням процесів.

Так само, як зростають можливості обчислювальної техніки, покращуються і удосконалюються програмні комплекси, які використовують для проведення чисельних розрахунків різними методами, зокрема такі як ABAQUS, NASTRAN, Robot, ANSYS, SCAD Office, ЛИРА-САПР та ін. В вітчизняній інженерній практиці та наукових дослідженнях при розрахунках будівельних конструкцій використовують останні чотири [83, 86, 99].

Комп'ютерні моделі дозволяють ставити та вирішувати значно ширші завдання, пов'язані з моделюванням процесів навантаження конструкцій (шарів) нежорсткого дорожнього одягу, що в свою чергу дозволяє дослідити зміни напружено-деформованого стану які відбуваються в шарах дорожнього одягу і у всій дорожній конструкції під дією транспортного навантаження у зоні розташування перехідної плити вузла спряження насипу автомобільної дороги зі стояном мосту або шляхопроводу. Для досліджень можна приймати різні конструкції дорожнього одягу характерні для автомобільних доріг з різним вантажопасажирським рухом.

Використання програмних комплексів для моделювання конструкцій, робота яких ґрунтується на застосуванні методу скінченних елементів є найбільш перспективним.

Моделювання роботи асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в зоні підходу до мосту (в якій можливе руйнування від дії поперечної сили) за допомогою методів скінченних елементів (МСЕ) ще не проводились і є не достатньо вивченими задачею.

Для площин скінченні елементи можуть бути у вигляді трикутника, прямокутника та інших фігур.

Умовами об'єднання скінченних елементів у загальну систему є рівняння рівноваги у вузлах реакцій в'язей та зовнішніх вузлових навантажень, а також умови суцільності переміщень у вузлах. Останні задовольняються автоматично. Кількість рівнянь рівноваги визначається спільною кількістю ступенів вільності цієї системи чи кількістю шуканих переміщень у вузлах.

Замість диференціального рівняння задача зводиться до системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Розв'язавши систему рівнянь, визначають вузлові переміщення, а через них – усі компоненти напружено-деформованого стану.

Розрахунок МСЕ складається з таких операцій [99]:

- 1) побудова функціонала;
- 2) розбиття конструкції на скінченні елементи та вибір координатних функцій;
- 3) побудова матриць жорсткості;
- 4) заміна місцевого навантаження вузловим для кожного скінченного елемента;
- 5) побудова системи розв'язувальних рівнянь;
- 6) визначення переміщень у вузлах;
- 7) визначення компонентів напружено-деформованого стану.

Загальноприйняте формулювання методу скінченних елементів припускає відшукування поля переміщень і тим самим пов'язане з мінімізацією потенціальної енергії системи при пошуку вузлових значень вектора переміщень. Після того як переміщення будуть визначені, можна обчислити компоненти тензорів деформацій і напружень.

Б.1 Методичні аспекти числового аналізу

За допомогою числового аналізу було досліджено особливості напружено-деформованого стану та граничного стану асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження за різних температурних умов на підході до

автодорожного мосту. Для цього використовували отримані у розділі 2 та відомі аналітичні рішення, номограми, скінченно-елементні програмні комплекси, літературні дані для встановлення впливу дії комплексу різних факторів на довговічність асфальтобетонного покриття підходів до автодорожніх мостів. В розрахунках використовували термо-в'язко-пружні, термомеханічні та теплофізичні характеристики дорожньо-будівельних матеріалів і ґрунтів, що встановлювались за методикою пп 3.1 і 3.2, а також за довідковими та літературними даними.

В дисертаційній роботі для проведення числового аналізу, основну увагу було приділено найбільш типовим конструкціям дорожнього одягу і матеріалам, які набули широкого використання в останні роки. Також для використання в шарах основи ділянки І на пойменній частині було передбаченою безавтоклавний пінобетон. Сучасні технології дозволяють його приготування в дорожніх умовах, а характеристики більш низької густини в порівнянні з традиційними матеріалами мають високі теплоізоляційні властивості. Матеріали шарів конструкцій дорожнього одягу та характеристики матеріалів, які використовували для розрахунку, представлені в таблиці 3.7. В ній наведені матеріали і товщини шарів, що використовували для числового аналізу. Конструкціям нежорсткого дорожнього одягу, які використовували в числовому аналізі присвоювався код у вигляді ДОхуyzqwrtp, де хуyzqwrtp номери шарів згідно колонки «№ шару» таблиці Б.1, що відповідають певним цифрам від 1 до 8. Наприклад: шифру ДО12458 відповідає конструкція дорожнього одягу, що наведена у таблиці Б.2.

Усереднені модулі пружності шарів конструкцій дорожнього одягу при статичній дії навантаження за різних розрахункових температур наведено у таблиці Б.3.

Таблиця Б.1 - Матеріали шарів дорожнього одягу та їх характеристики, прийняті для аналізу

№ шару.	Найменування матеріалу шара	Товщина шару для порівняння, що часто застосовується, см	Модуль пружності для розрахунку (+10 °C) Епр., МПа	Міцність на розтягу при згині R _o , МПа	Показник втрати m	Густина, кг/м³	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)
1	Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15 на БМПА 60/90-53) (Тип А, Марка І)	5	3100	9.80	6.5	2.4	1.4
2	Щільний гарячий асфальтобетон на битумі БНД 60/90 (Тип А, Марка І)	10	3200	9.80	5.5	2.4	1.4
3	Пористий гарячий асфальтобетон на бітумі БНД 60/90 (Крупнозернистий, Марка І)	10	2000	8.0	8.2	2.4	1.25
4	Щебенево-піщана суміш С-7, оброблена цементом, марки М20 згідно з ГБН В.2.3-37641918-554	20	400	0.5	0,06	2.0	2.1
5	Щебенево-піщана суміш С-5 згідно з ДСТУ Б В.2.7-30	20	240	-	-	2.0	1.9
6	Неавтоклавний пінобетон П-1000 згідно з ДСТУ Б В.2.7-45	30	230	0,25	0.06	1.0	0,27
7	Неавтоклавний пінобетон П-1200 згідно з ДСТУ Б В.2.7-45	30	280	0.4	0.06	1.2	0,34
8	Грунт робочого шару - Пісок дрібний	-	100	-	-	1.9	1.91
9	Неавтоклавний пінобетон П-800 згідно з ДСТУ Б В.2.7-45	20	170	0.1	0.06	0.8	0,20

Таблиця Б.2 - Конструкція дорожнього одягу шифр ДО12458

Ч.ч.	Конструктивні шари дорожнього одягу	Товщина, см	Модуль пружності по пружному прогину (+10 °C) $E_{пр.}$, МПа
1	Щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА-15) на бітумі БМПА60/90-53	5	3100
2	Щільний гарячий асфальтобетон на БНД60/90 (Тип А, Марка І)	11	3200
3	Щебенево-піщана суміш С-7 оптимального складу, укріплена цементом М 20	20	400
4	Щебенево-піщана суміш С-5 оптимального складу	20	240
5	Ґрунт земляного полотна - пісок		100

Таблиця Б.3 - Усереднені модулі пружності шарів конструкцій дорожнього одягу $E_{ср}$ при статичній дії навантаження, МПа, при різних розрахункових температурах, °C

Код	$E_{ср}$, МПа (+0 °C)	$E_{ср}$, МПа (+10 °C)	$E_{ср}$, МПа (+20 °C)	$E_{ср}$, МПа (+30 °C)
ДО123458	1235	812	415	406
ДО 12458	1096	742	363	396
ДО 1258	1494	1029	433	486
ДО 1248	1586	937	158	394
ДО 1278	1242	809	203	387
ДО 1268	1209	776	312	353
ДО 1298	1169	736	272	313

Б.2 Візуалізація напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття на підходах до мостів

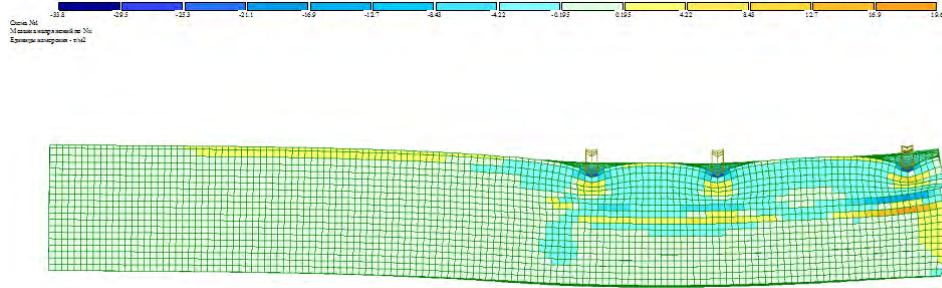


Рисунок Б.1 – Схема навантаження №1, положення перехідної плити горизонтально, ДО123458.
Мозаїка напружень σ_x , т/м²

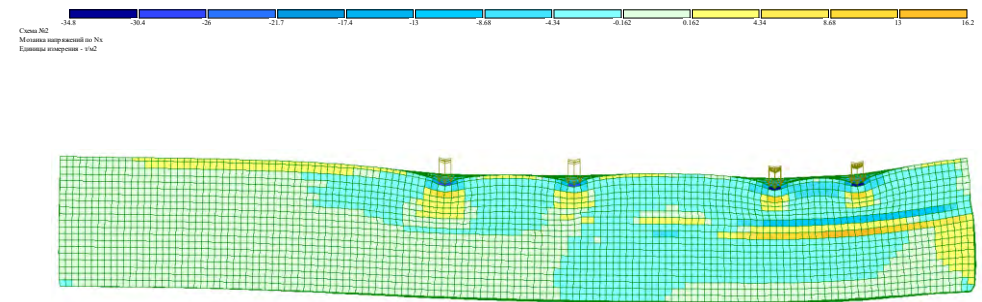


Рисунок Б.2 – Схема навантаження №2, положення перехідної плити горизонтально, ДО123458.
Мозаїка напружень σ_x , т/м²

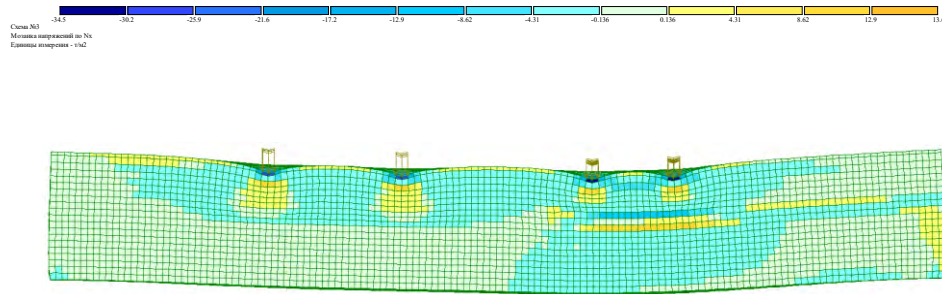


Рисунок Б.3 – Схема навантаження №3, положення перехідної плити горизонтально, ДО123458.
Мозаїка напружень σ_x , т/м²

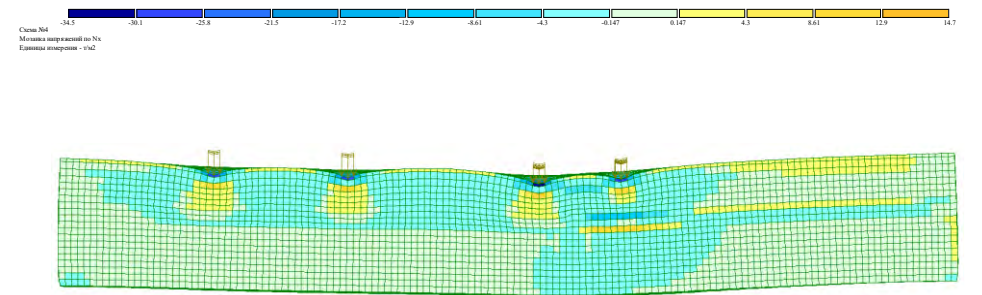


Рисунок Б.4 – Схема навантаження №4, положення перехідної плити горизонтально, ДО123458.
Мозаїка напружень σ_x , т/м²

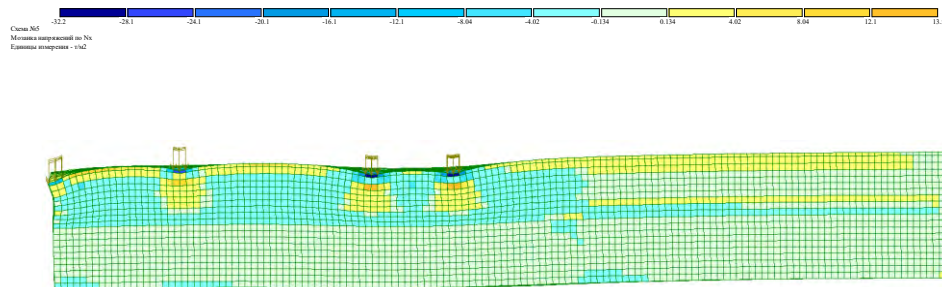


Рисунок Б.5 – Схема навантаження №5, положення
перехідної плити горизонтально, ДО123458.
Мозаїка напружень σ_x , т/м²

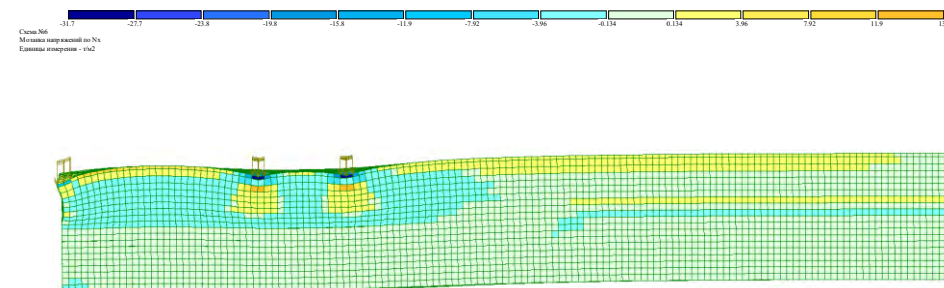


Рисунок Б.6 – Схема навантаження №6, положення
перехідної плити горизонтально, ДО123458.
Мозаїка напружень σ_x , т/м²

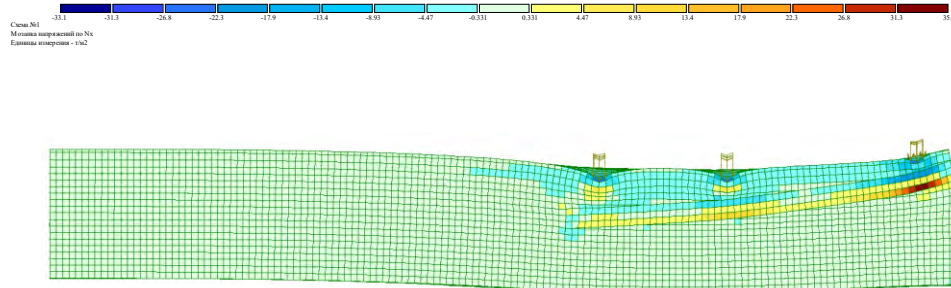


Рисунок Б.7 – Схема навантаження №1, положення
перехідної плити під кутом, ДО123458. Мозаїка напружень
 σ_x , т/м²

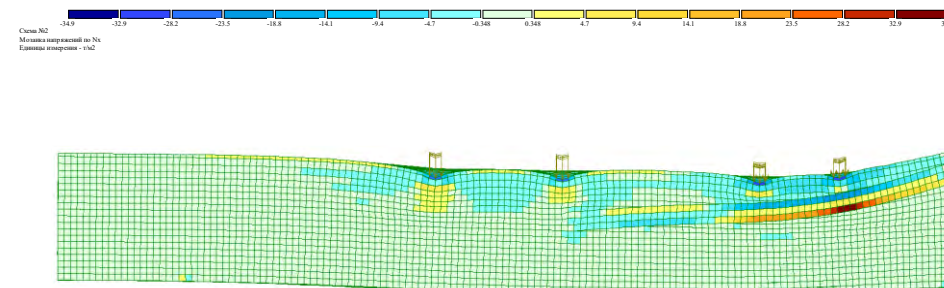


Рисунок Б.8 – Схема навантаження №2, положення
перехідної плити під кутом, ДО123458. Мозаїка напружень
 σ_x , т/м²

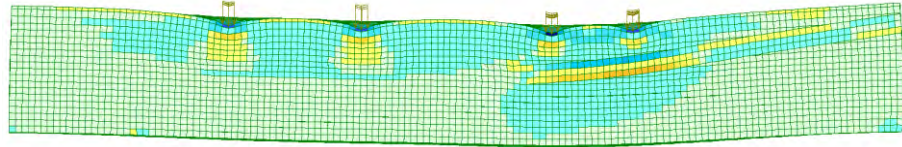
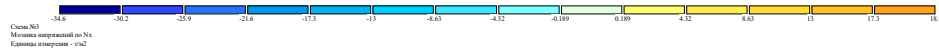


Рисунок Б.9 – Схема навантаження №3, положення перехідної плити під кутом, ДО123458. Мозаїка напружень $\sigma_x, \text{Т/М}^2$

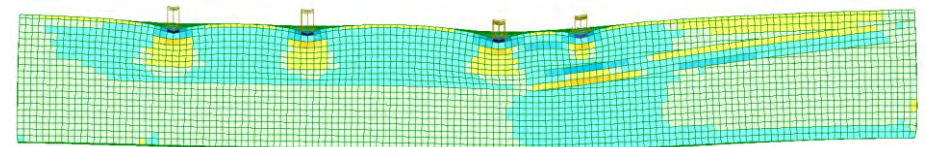
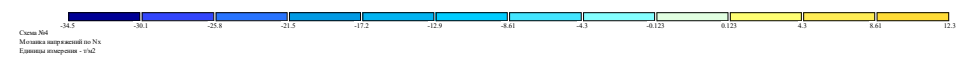


Рисунок Б.10 – Схема навантаження №4, положення перехідної плити під кутом, ДО123458. Мозаїка напружень $\sigma_x, \text{Т/М}^2$

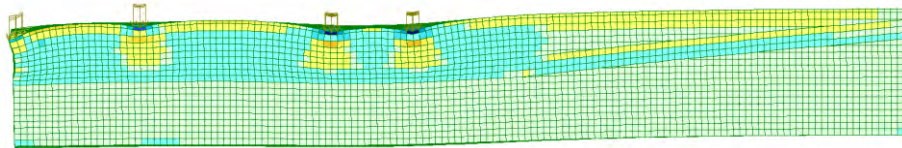


Рисунок Б.11 – Схема навантаження №5, положення перехідної плити під кутом, ДО123458. Мозаїка напружень $\sigma_x, \text{Т/М}^2$

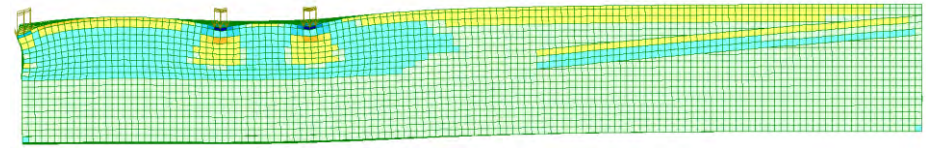


Рисунок Б.12 – Схема навантаження №6, положення перехідної плити під кутом, ДО123458. Мозаїка напружень $\sigma_x, \text{Т/М}^2$

Б.3 Результати числового аналізу

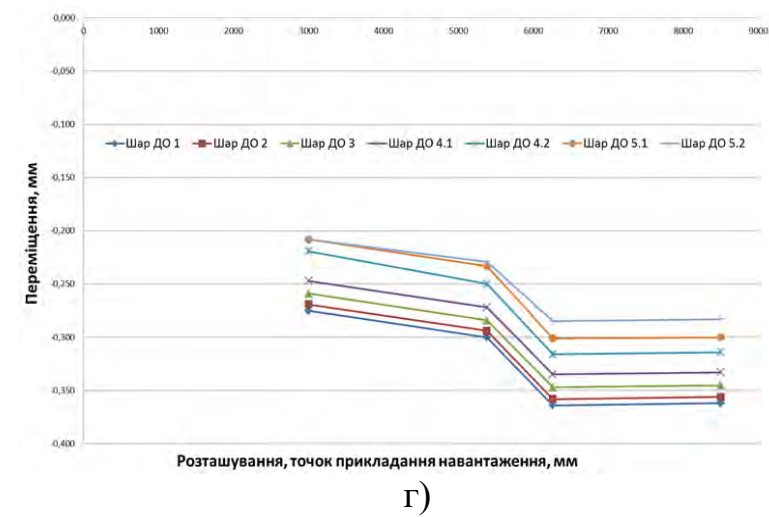
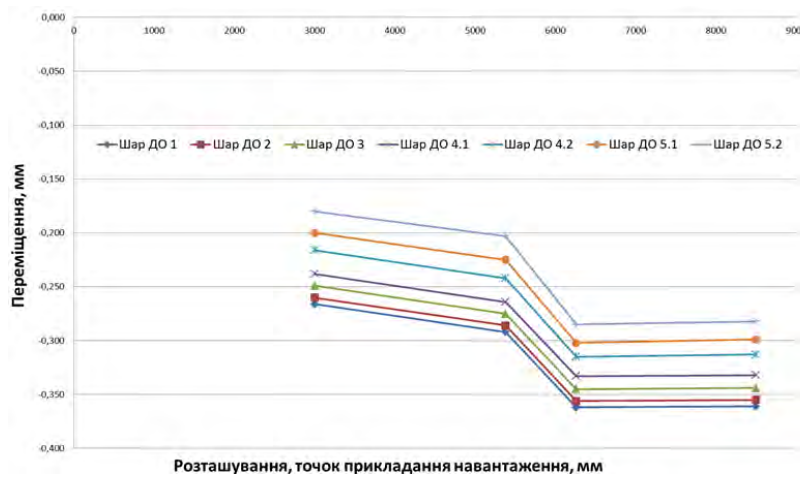
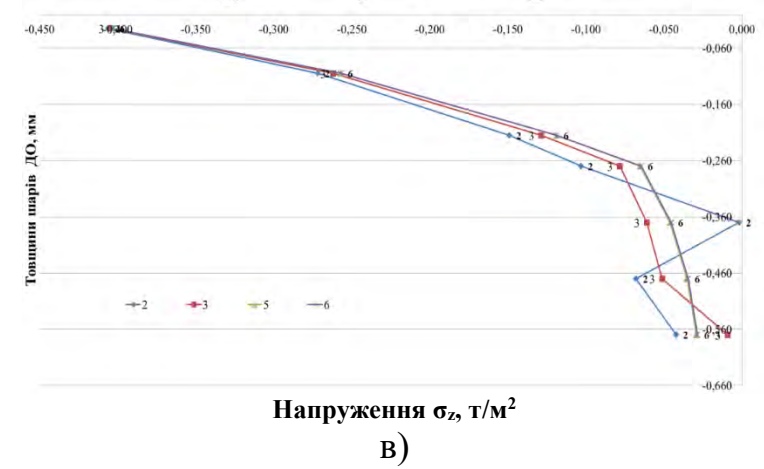
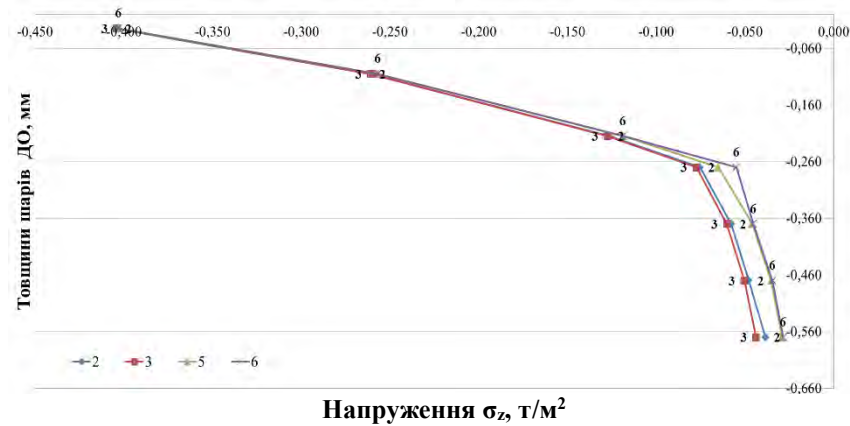


Рисунок Б.13 - Зміна переміщень та напружень σ_z в шарах ДО123458: а, б - положення перехідної плити горизонтальне; в, г - положення перехідної плити під кутом; 2, 3, 5, 6 - схеми навантаження, які відображають відстань розташування пневматика відносно стояна (3.5 Розділ 3).

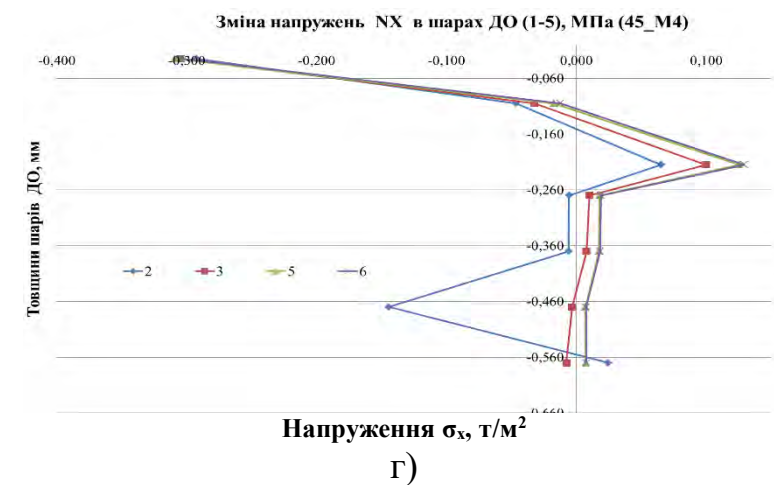
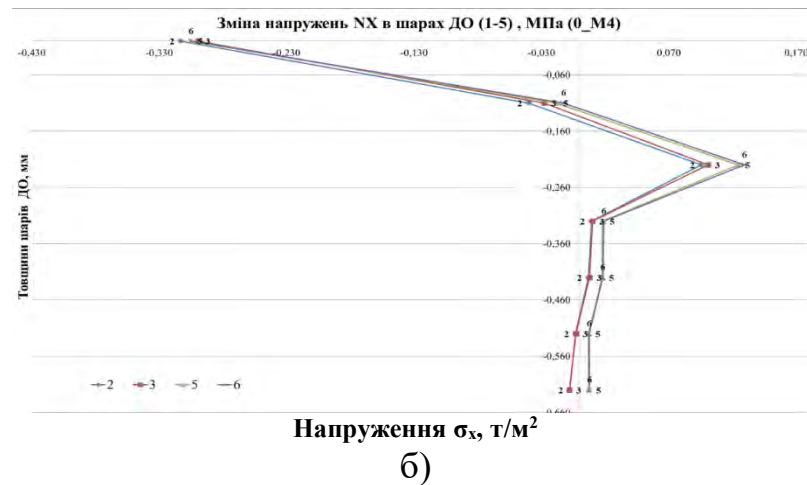
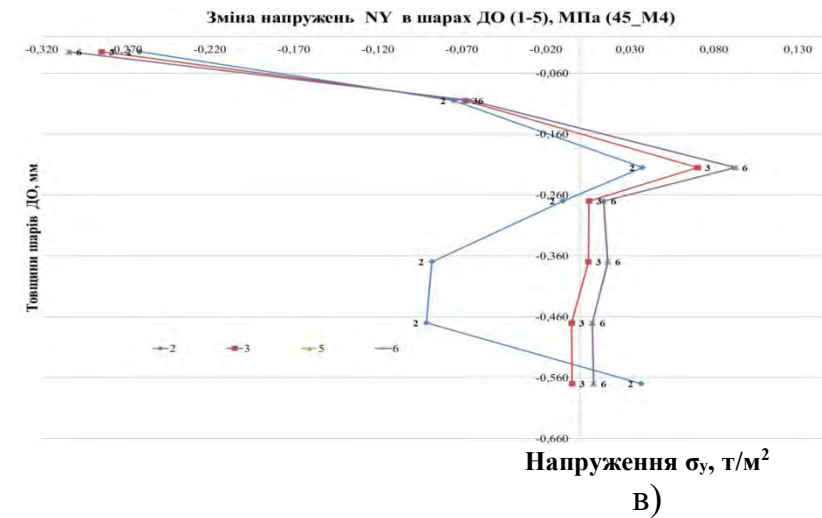
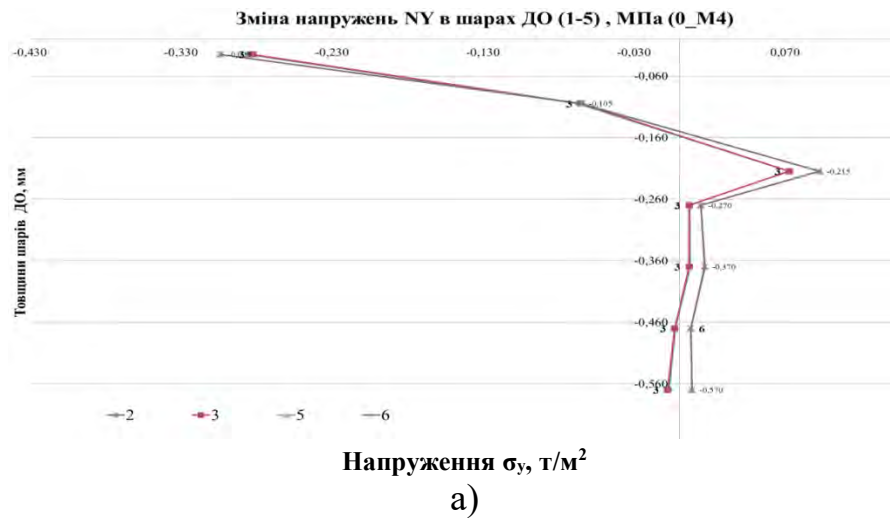


Рисунок Б.14 – Зміна переміщень та напружень в шарах ДО123458: а, б - напруження σ_y та σ_x при горизонтальному положенні перехідної плити; в, г - напруження σ_y та σ_x при положенні перехідної плити під кутом; 2, 3, 5, 6 - схеми навантаження, які відображають відстань розташування пневматика відносно стояна (3.5 Розділ 3).

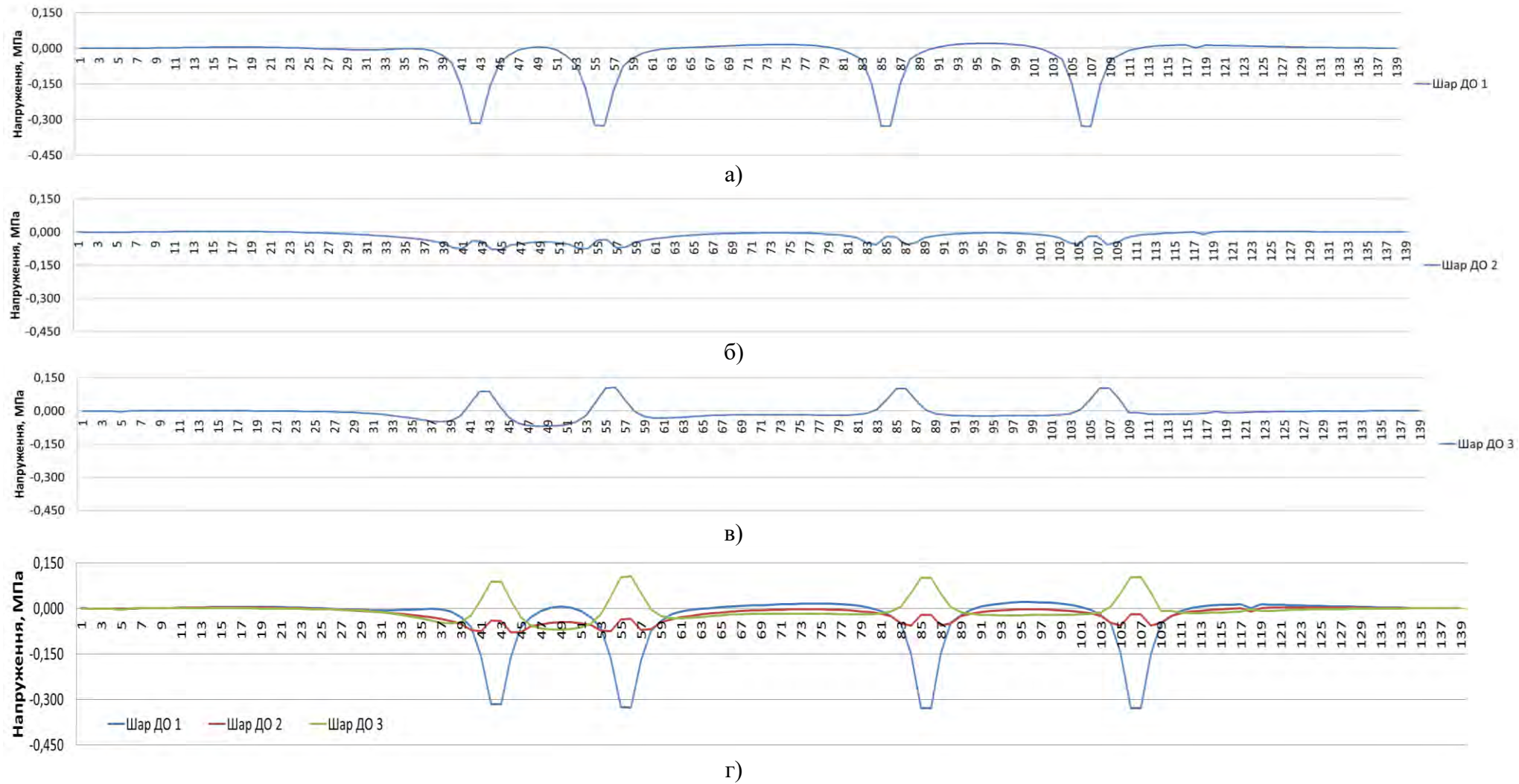
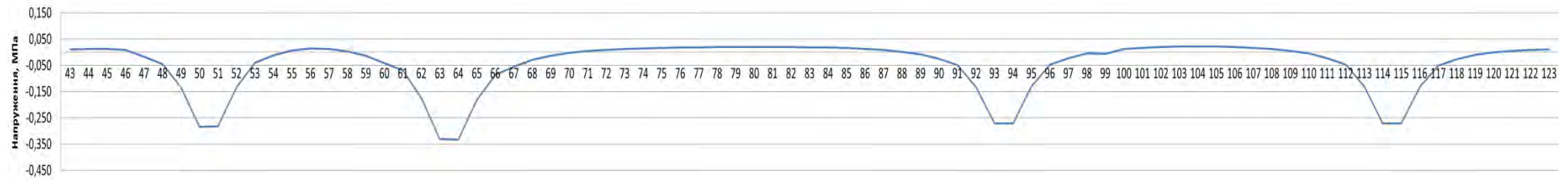
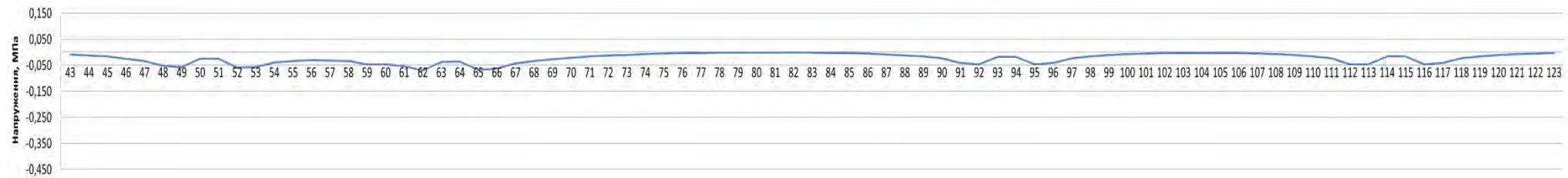


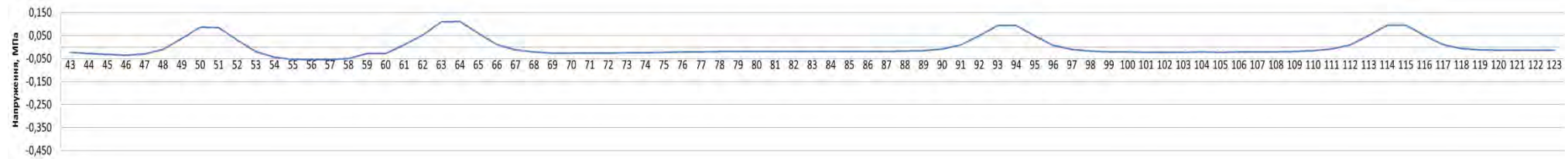
Рисунок Б.15 - Зміна напружень σ_x в шарах ДО123458 (пневматик на плиті), схема 3: а, б, в - напруження σ_x в шарі асфальтобетону 1, 2, 3, відповідно, г - зведений графік, три шари асфальтобетону.



а)

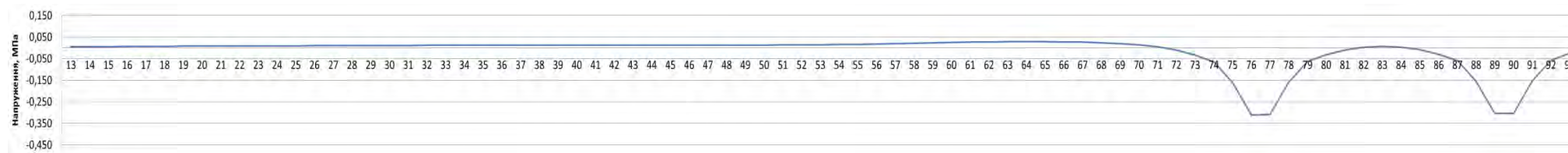


б)

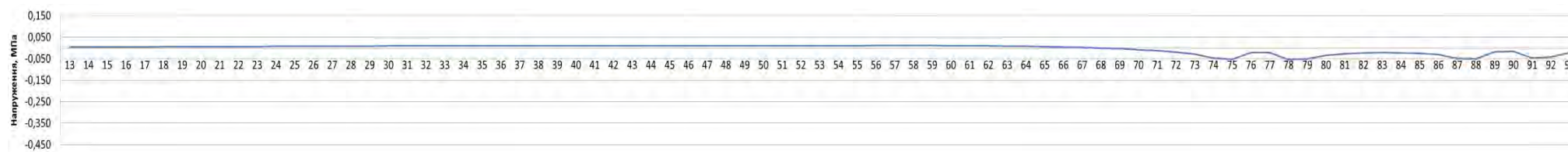


в)

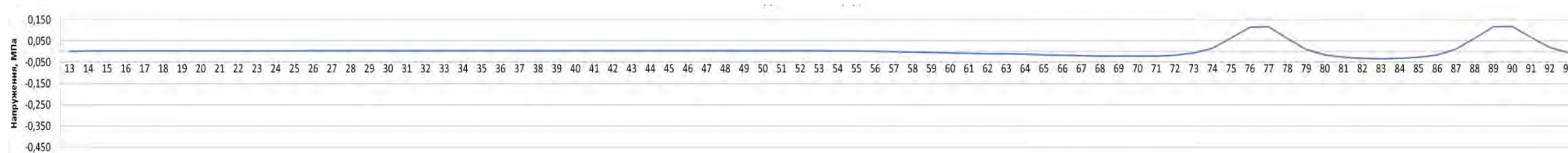
Рисунок Б.16 - Зміна напружень σ_x в шарах ДО123458 (1-3), схема 4 (пневматик поза плитою): а, б, в - напруження σ_x в шарі асфальтобетону 1, 2, 3, відповідно



а)

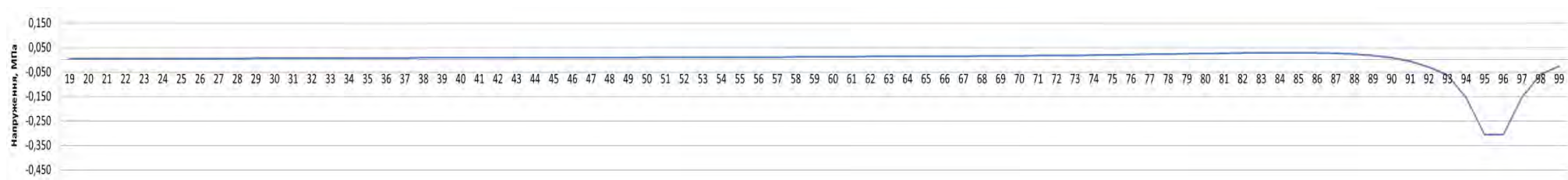


б)

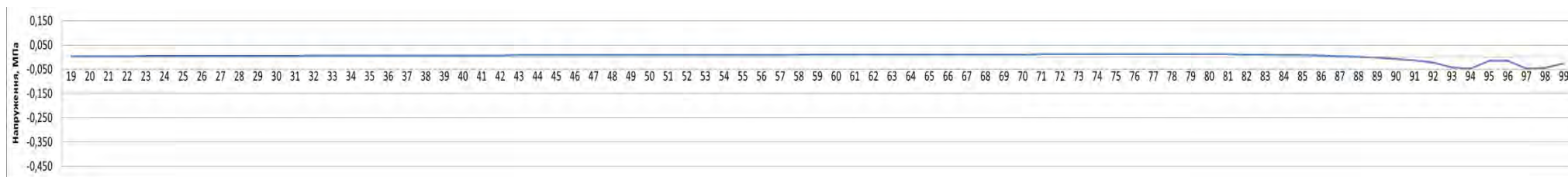


в)

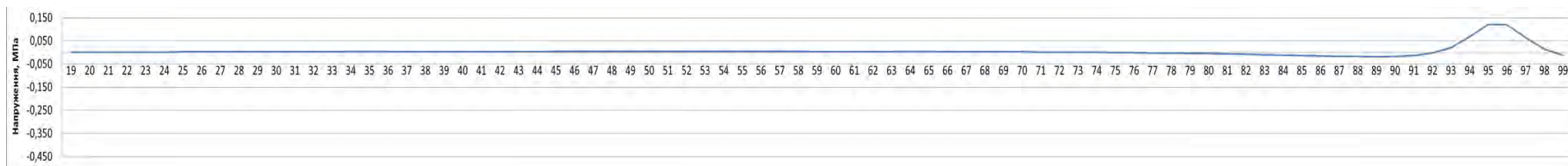
Рисунок Б.17 - Зміна напружень σ_x в шарах ДО123458 (1-3), схема 5: а, б, в - напруження σ_x в шарі асфальтобетону 1, 2, 3, відповідно



а)



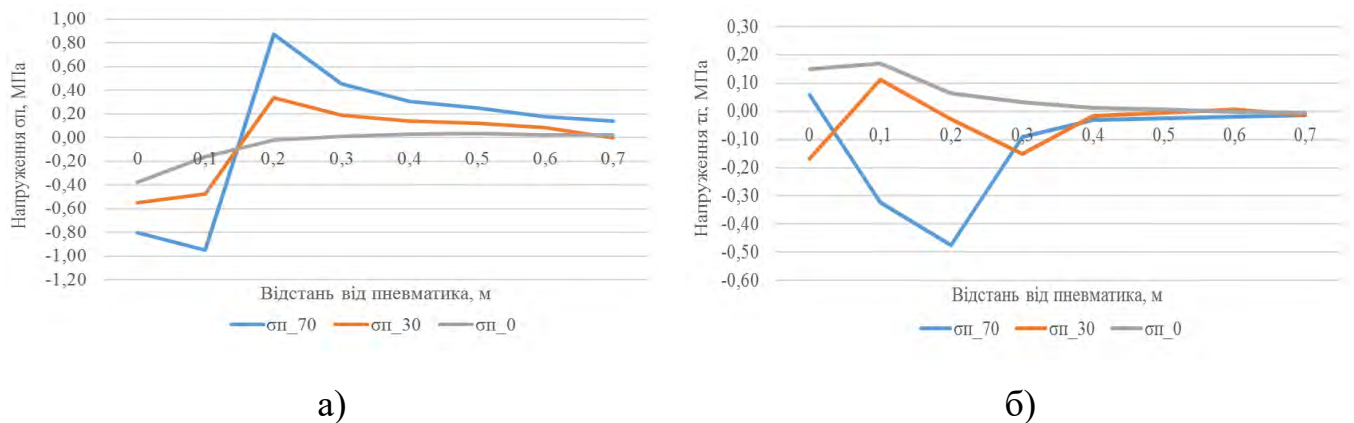
б)



в)

Рисунок Б.18 – Зміна напружень NX в шарах ДО (1-3), схема б: а, б, в – напруження σ_x в шарі асфальтобетону 1, 2, 3, відповідно

На основі проведеного числового аналізу встановлено, що при дії горизонтальних транспортних навантажень, зокрема гальмування (рис. Б.22) 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_v .



а - горизонтальні нормальні напруження σ_n ; б - дотичні вертикальні напруження τ_v

Рисунок Б.22 – Зміна напружень в асфальтобетонному покритті при навантаженні 130 кН на вісь і значеннях τ_v 0%, 30 % та 70% від p для конструкції дорожнього одягу ДО12458 (з двома шарами асфальтобетону, і двома шарами основи із ЩПС, де верхній шар укріплений цементом (M20)).

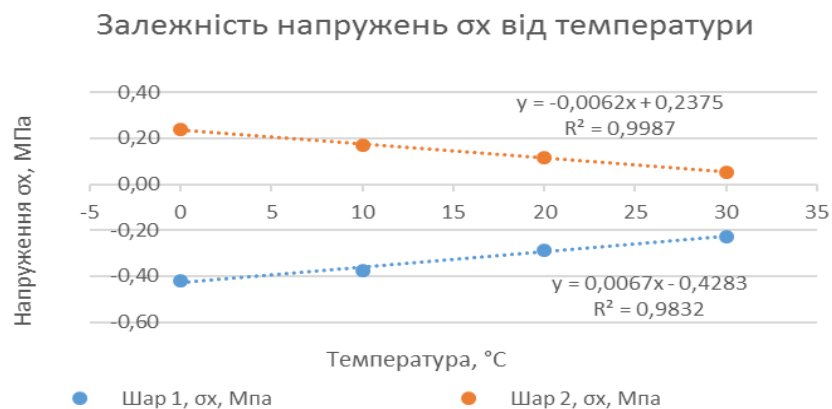


Рисунок Б.23 - Залежність напружень σ_x від температури в шарах ДО12458, схема 3

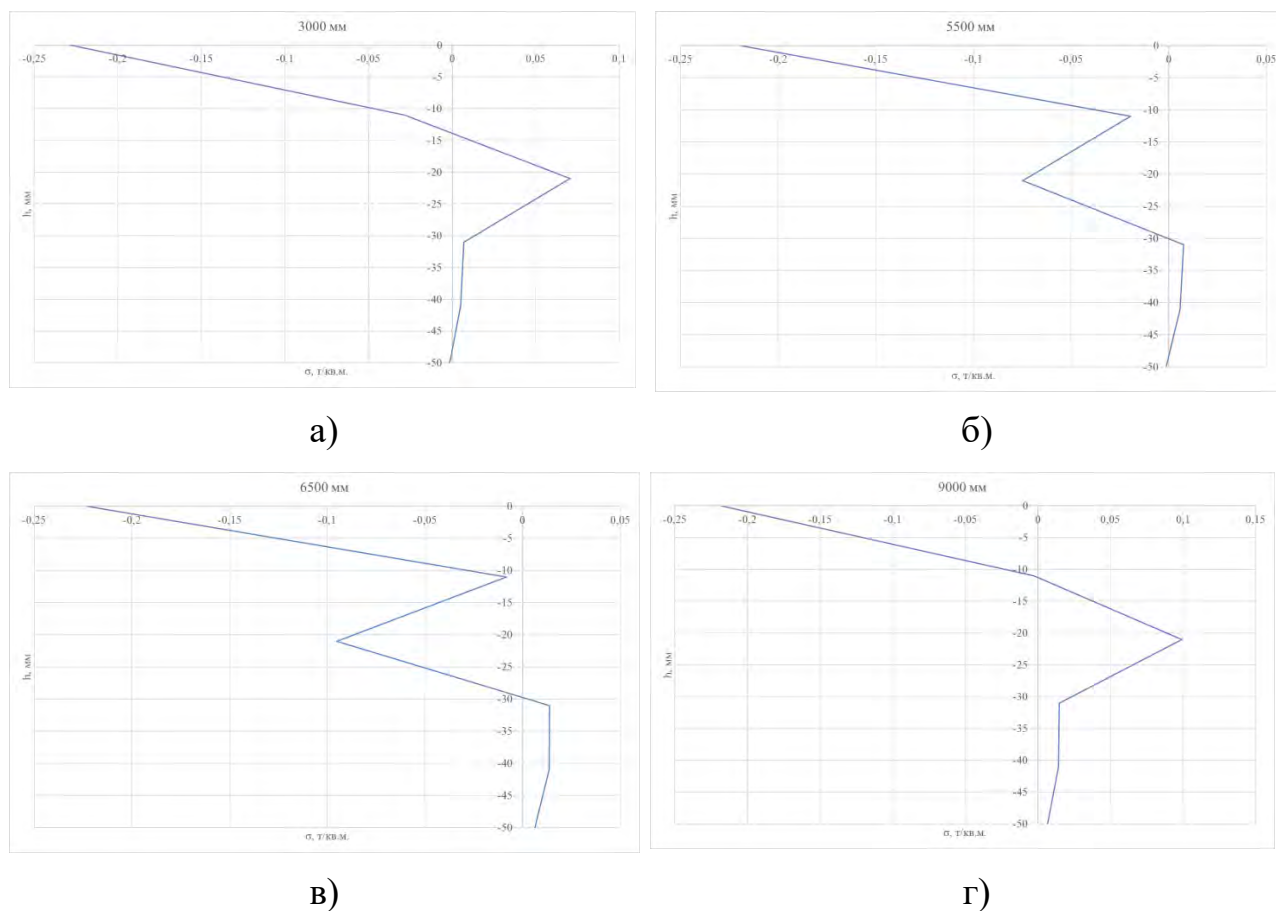


Рисунок Б.24 – Зміна напружень в асфальтобетонних шарах σ_x в залежності від розташування транспортного засобу, (ДО123458):

а - точка прикладання навантаження віддалений відносно початку споруди (ПК 0) на 3000 мм;

б - точка прикладання навантаження віддалена відносно початку споруди (ПК 0) на 5500 мм;

в - точка прикладання навантаження віддалена відносно початку споруди (ПК 0) на 6500 мм;

г - точка прикладання навантаження віддалена відносно початку споруди (ПК 0) на 9000 мм

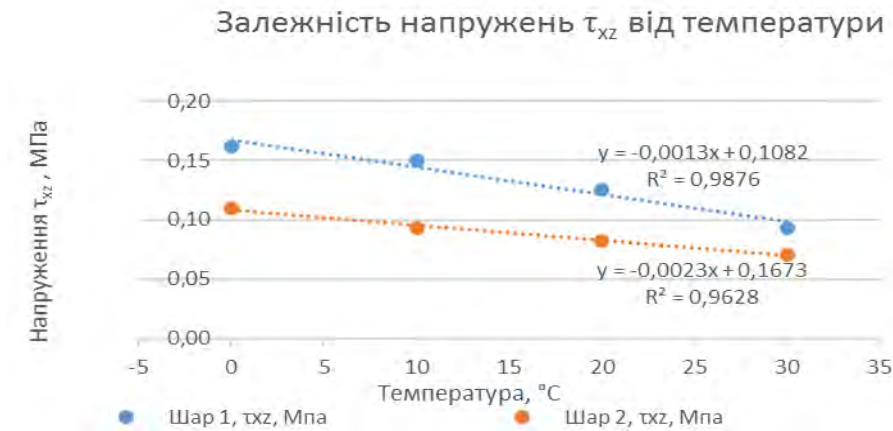


Рисунок Б.25 - Залежність напружень τ_{xz} від температури в шарах ДО12458, схема 3 (вісь 4)

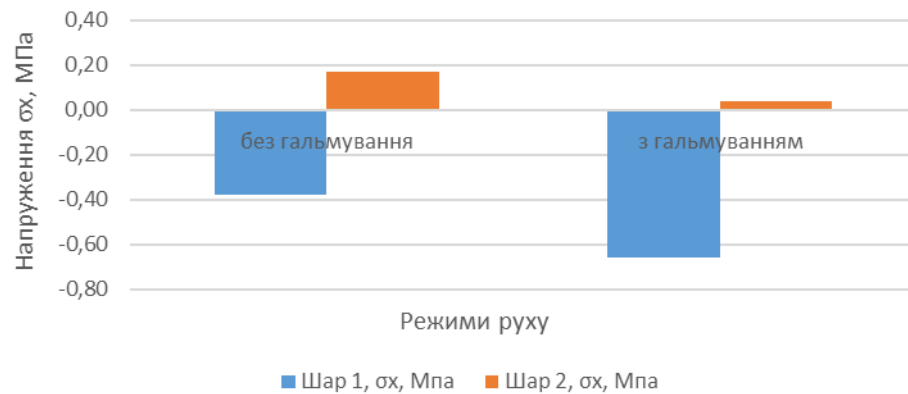


Рисунок Б.26 - Вплив сили гальмування автомобіля на горизонтальні напруження σ_x асфальтобетонних шарів ДО12458, схема 3 (вісь 4, під відбитком пневматика)

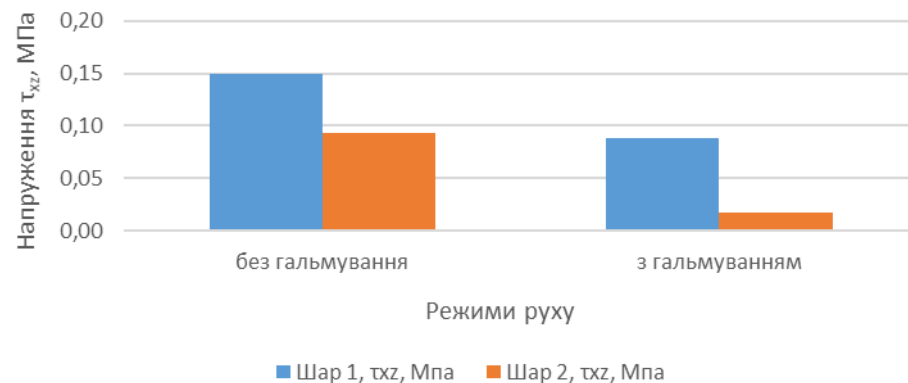


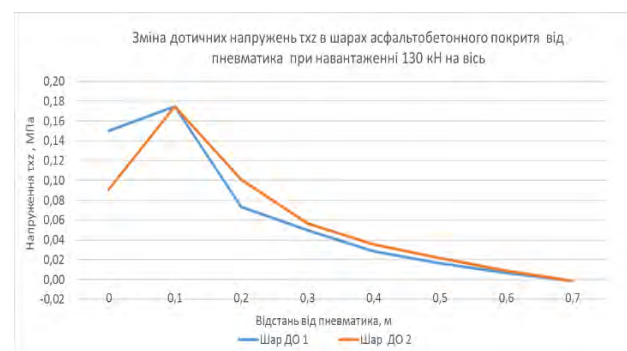
Рисунок Б.27 - Вплив сили гальмування автомобіля на вертикальні дотичні напруження τ_{xz} асфальтобетонних шарів ДО12458, схема 3 (вісь 4, під відбитком пневматика)



Рисунок Б.28 – Вплив схеми навантаження та розташування осей ТЗ щодо розміщення над перехідною плитою на зміну напружень σ_x , ДО12458

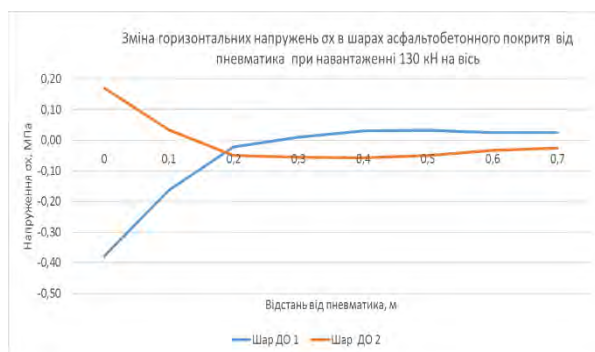


а)

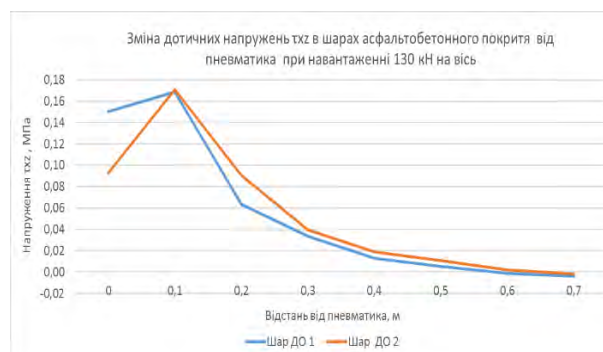


б)

Рисунок Б.29 – Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття від пневматика осі 3 при навантаженні 130 кН для конструкції ДО12458, схеми №3 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а – для горизонтальних напружень σ_x ; б – для дотичних напружень τ_{xz}



а)



б)

Рисунок Б.30 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття від пневматика осі 4 при навантаженні 130 кН для конструкції ДО12458, схеми №3 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - для дотичних напружень τ_{xz}



а)



б)

Рисунок Б.31 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття: а - від пневматика осі 3 при навантаженні 130 кН для конструкції ДО12458 (2АБ2О), схеми №4 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - від пневматика осі 3 при навантаженні 100 кН для конструкції ДО1258 (ЩПС-5, гальмування), схеми №3 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень

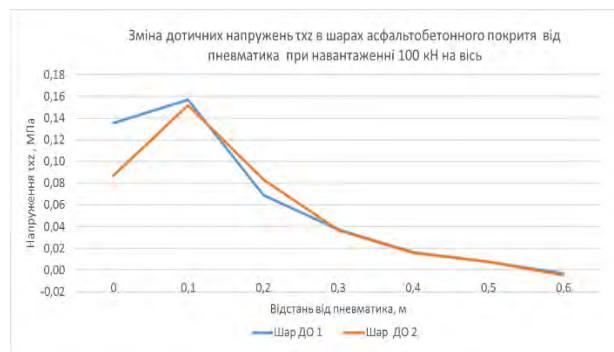
 σ_x



Рисунок Б.32 – Зміна горизонтальних гальмівних напружень σ_x в шарах асфальтобетонного покриття від пневматика осі 4 при навантаженні 100 кН для конструкції ДО1258, схеми №3 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити



а)



б)

Рисунок Б.33 – Зміна напружень при гальмуванні в шарах асфальтобетонного покриття від пневматика осі 3 при навантаженні 100 кН для конструкції ДО1258, схеми №4 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а – для горизонтальних напружень σ_x ; б – для дотичних напружень τ_{xz}



а)



б)

Рисунок Б.34 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття при гальмуванні від пневматика осі 4 при навантаженні 100 кН для конструкції ДО1258, схеми №4 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - для дотичних напружень τ_{xz}

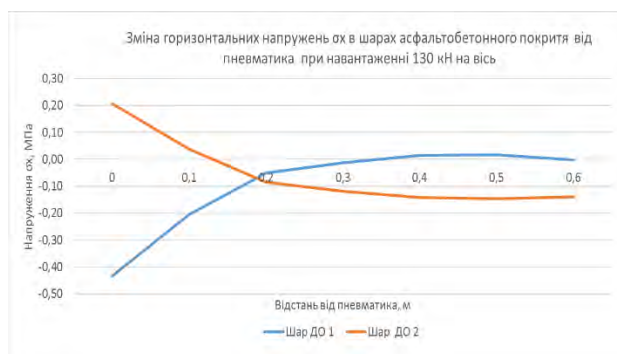


а)

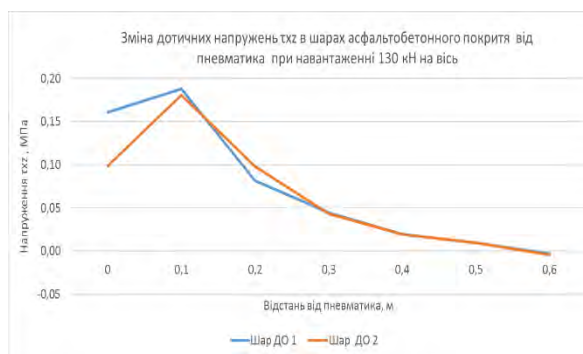


б)

Рисунок Б.35 - Зміна горизонтальних напружень σ_x в шарах асфальтобетонного покриття при гальмуванні: а - від пневматика осі 3 при навантаженні 130 кН для конструкції ДО1258, схеми №3 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити; б - від пневматика осі 4 при навантаженні 130 кН для конструкції ДО1258, схеми №3 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити



а)



б)

Рисунок Б.36 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття при гальмуванні від пневматика осі 3 при навантаженні 130 кН для конструкції ДО1258, схеми №4 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - для дотичних напружень τ_{xz}



а)

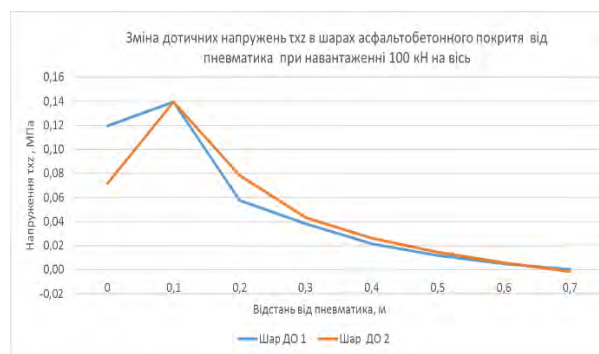


б)

Рисунок Б.37 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття при гальмуванні від пневматика осі 4 при навантаженні 130 кН для конструкції ДО1258, схеми №4 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - для дотичних напружень τ_{xz}

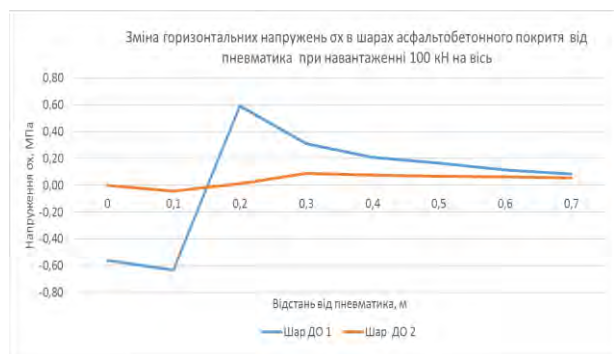


а)



б)

Рисунок Б.38 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття при гальмуванні від пневматика осі 3 при навантаженні 100 кН для конструкції ДО1248, схеми №3 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - для дотичних напружень τ_{xz}



а)

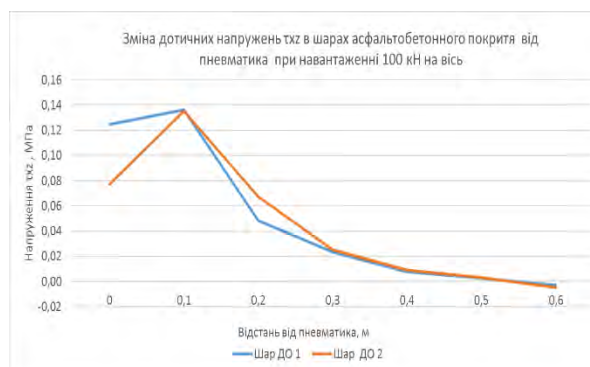


б)

Рисунок Б.39 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття при гальмуванні від пневматика осі 4 при навантаженні 100 кН для конструкції ДО1248, схеми №3 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - для дотичних напружень τ_{xz}



а)



б)

Рисунок Б.40 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття при гальмуванні від пневматика осі 3 при навантаженні 100 кН для конструкції ДО1248, схеми №4 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - для дотичних напружень τ_{xz}



а)

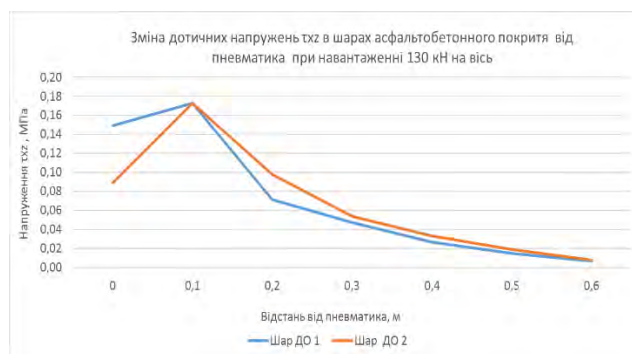


б)

Рисунок Б.41 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття при гальмуванні від пневматика осі 4 при навантаженні 100 кН для конструкції ДО1248, схеми №4 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - для дотичних напружень τ_{xz}



а)



б)

Рисунок Б.42 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття при гальмуванні від пневматика осі 3 при навантаженні 130 кН для конструкції ДО1248, схеми №3 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - для дотичних напружень τ_{xz}



а)

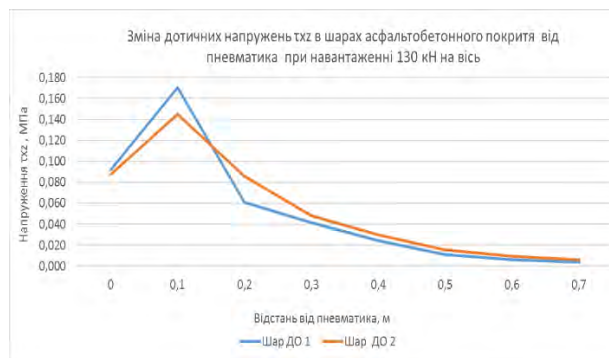


б)

Рисунок Б.43 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття при гальмуванні від пневматика осі 4 при навантаженні 130 кН для конструкції ДО1248, схеми №3 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - для дотичних напружень τ_{xz}



а)



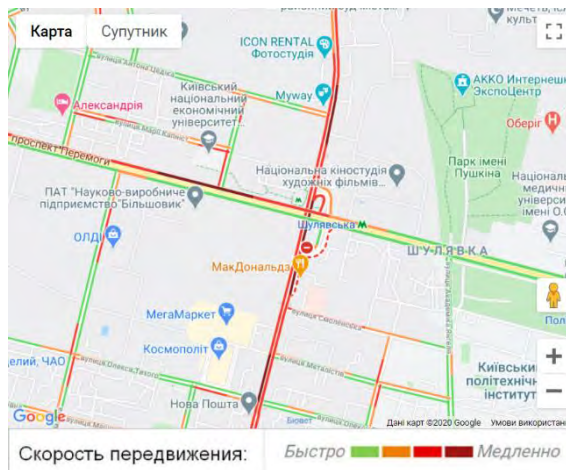
б)

Рисунок Б.44 - Зміна напружень в шарах асфальтобетонного покриття при гальмуванні від пневматика осі 4 при навантаженні 130 кН для конструкції ДО1248, схеми №4 щодо розташування пневматика по відношенню до перехідної плити: а - для горизонтальних напружень σ_x ; б - для дотичних напружень τ_{xz}

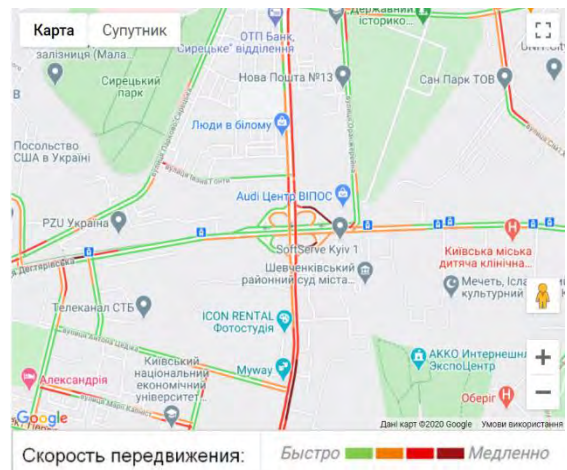
ДОДАТОК В

ДАНІ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ТРАНСПОРТНИМ РУХОМ ПІДХОДІВ ДО
АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

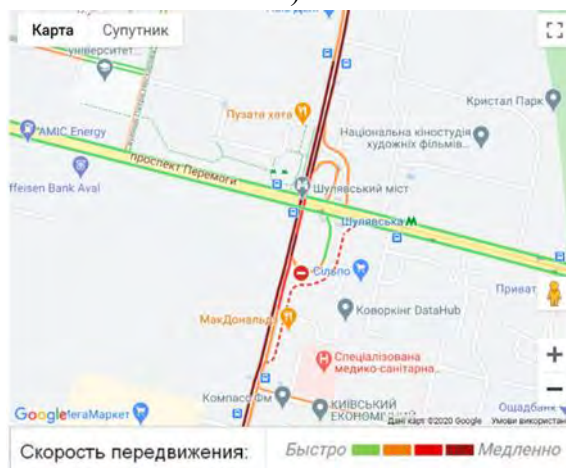
На ресурсах в Інтернеті, за оперативними даними, що надходять можна дізнатися приблизну довжину пробки, тягучки, затору. Автодороги позначені різними кольорами в залежності від завантаженості: зелений (проїзд вільний, пробок немає), жовтий (дорога майже вільна), червоний (тягучка), темно-червоний (пробка). При наведенні курсору на відрізок шляху, який цікавить, з'явиться інформація про те, яка швидкість пересування транспорту на цій ділянці в даний момент. Ресурси: <https://www.waze.com>; <http://infoportal.kiev.ua>; <https://bestmaps.ru>



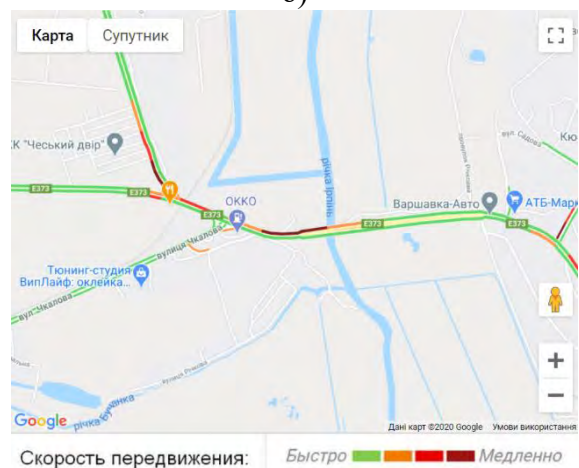
а)



б)

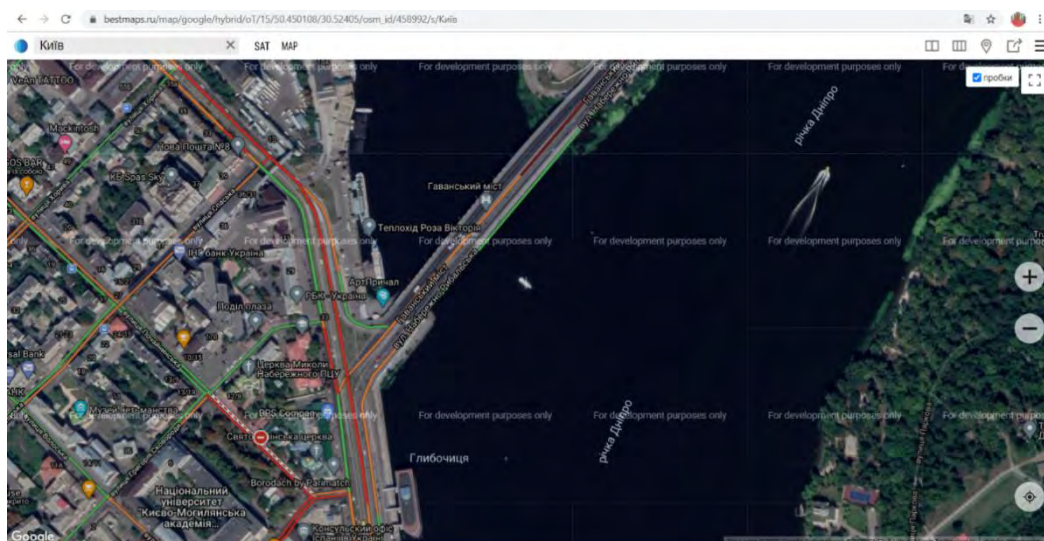


в)

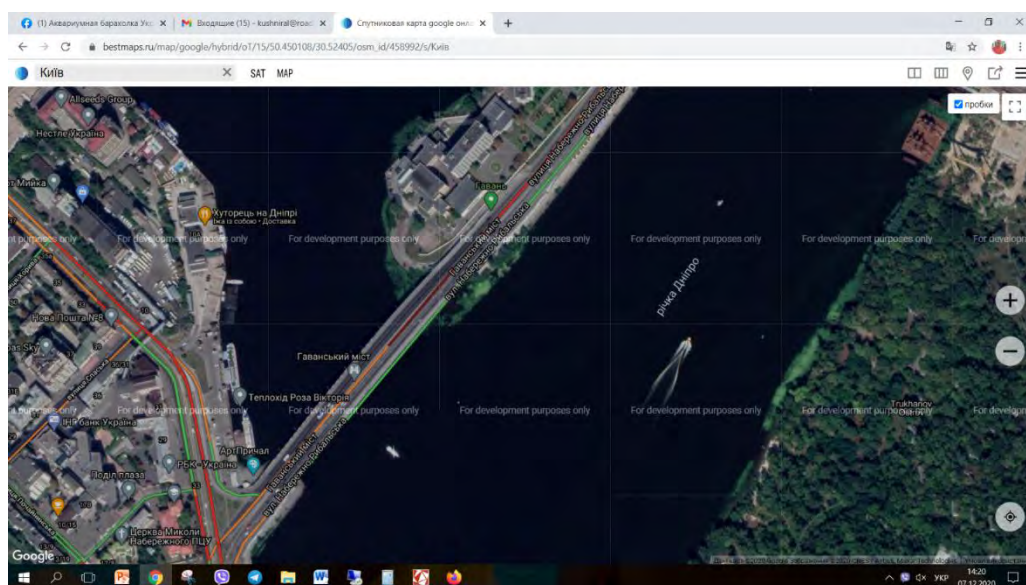


г)

Рисунок В.1 – Дані щодо швидкості пересування автомобілів по транспортним спорудам з інформаційного ресурсу <https://www.waze.com>



a)



a)

Рисунок В.2 – Дані щодо швидкості пересування автомобілів по транспортним спорудам з інформаційного ресурсу <http://infoportal.kiev.ua>

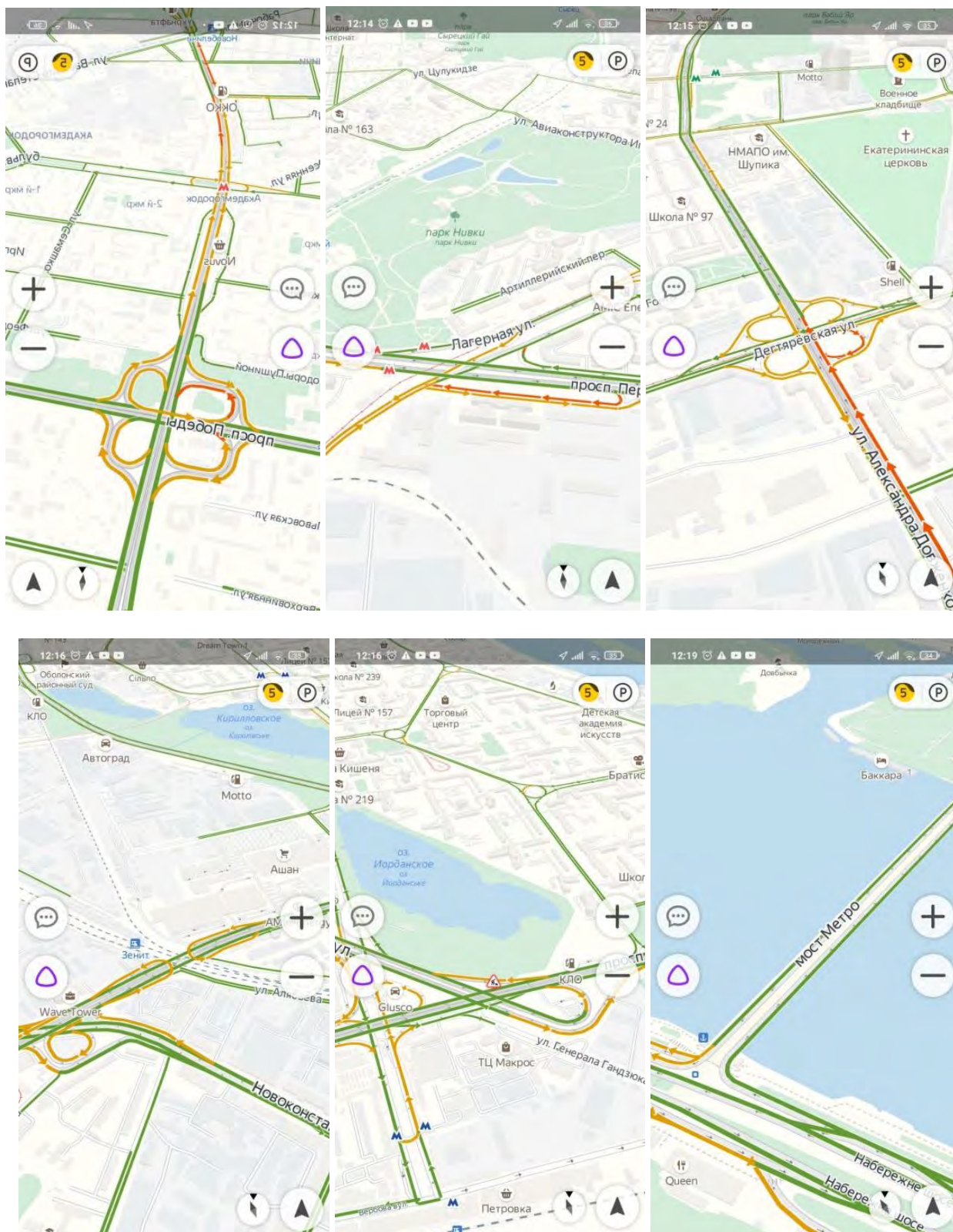


Рисунок В.3 – Дані щодо швидкості пересування автомобілів по транспортним спорудам з інформаційного ресурсу <https://bestmaps.ru>

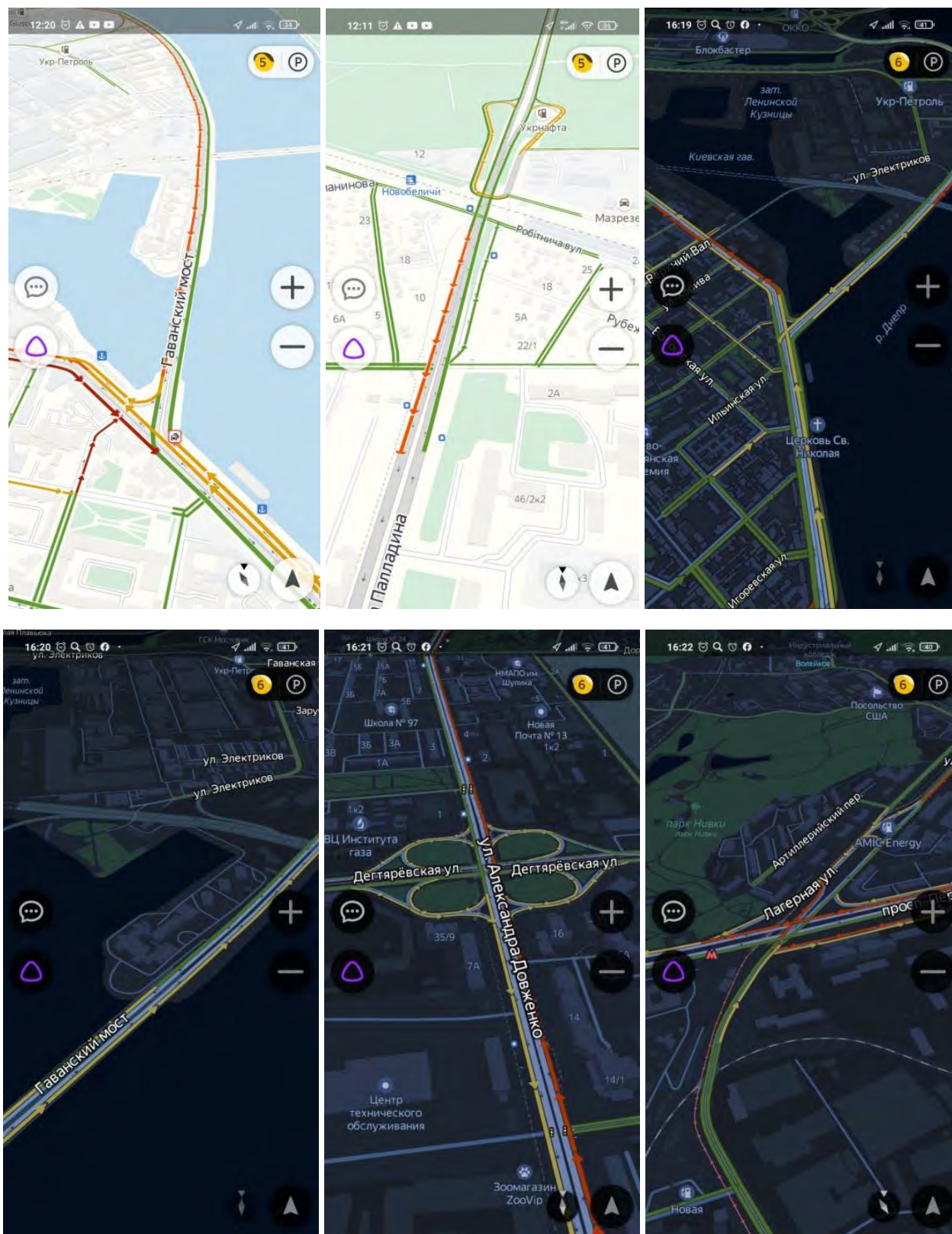


Рисунок В.4 – Дані щодо швидкості пересування автомобілів по транспортним спорудам з інформаційного ресурсу <https://bestmaps.ru>

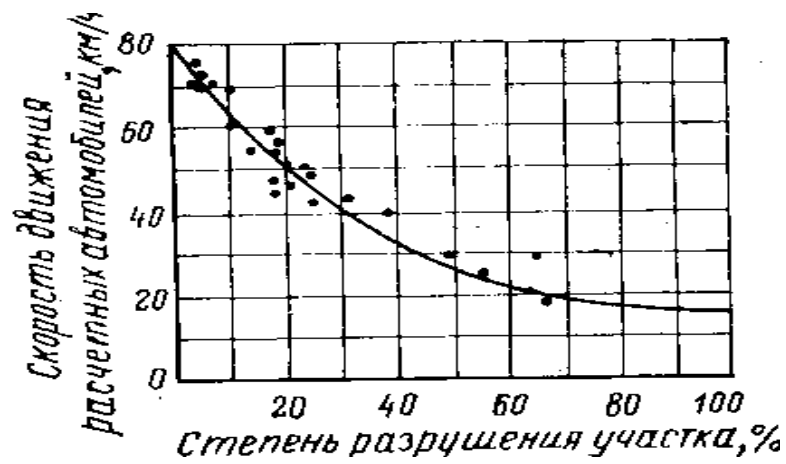


Рисунок В.5 – Залежність між швидкістю руху розрахункових автомобілів і ступенем руйнування ділянки дороги [59]



а)



б)

Рисунок В.6 – Сітка тріщин на асфальтобетонному покритті в м. Шарлотта (США) з початком утворення вибоїн у місцях зупинки транспорту: а – в зоні світлофору перед під'їздом до готелю Маріотте; б – в місці зупинки автобусів навпроти входу у готель Маріотте

ДОДАТОК Г
РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОНУ
ТА АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ

Г.1 Випробувань щебеню на зчеплення з бітумами

В лабораторії відділу експлуатації доріг ДерждорНДІ виконані дослідження зчеплення поширених в Україні бітумів зі щебенем найбільших кар'єрів.

В таблиці Г.2 представлені результати випробувань, які проводились згідно з ДСТУ Б В.2.7-89 (ГОСТ 12801) п. 28 “Визначення якості зчеплення бітумного в'язучого з поверхнею щебеню”.

Показник зчеплення оцінювався у відсотках та за п'ятибальною шкалою в залежності від розміру площі, що залишилася вкритою бітумною плівкою після кип'ятіння щебінок фракції (20-40) мм.

Запропонована шкала, що встановлює співвідношення між частиною мінеральної поверхні, вкритої бітумом (у відсотках), та балами з кроком 0,5 бала (табл. Г.1).

Таблиця Г.1 – Співвідношення між балами та відсотками площі мінеральної поверхні, що залишилась вкритою бітумом після кип'ятіння

Показник зчеплення бітумів з мінеральним матеріалом	
бали	% площі
2	не більше 30
2,5	31-50
3	51-65
3,5	66-75
4	76-85
4,5	86-95
5	96-100

При проведенні випробувань використовувались білоруський бітум Мозирського НПЗ, російський “Лукойл – Нижнегороднефтеоргсинтез” та українські бітуми Одеського НПЗ та БФ “Центр ЛТД (Кременчуцького НПЗ).

Пенетрація бітумів при 25 °С складала 80-86·0,1 мм, тобто, така, що рекомендується для приготування асфальтобетонних сумішей, та більше 100 мм, що краще підходить для влаштування поверхневої обробки.

В таблиці Г.2 представлені результати випробування 5 бітумів з гранітним щебнем 25 кар'єрів. Нумерація кар'єрів наведена за погіршенням показника зчеплення з бітумом.

Таблиця Г.2 - Результати випробувань щебеню на зчеплення з бітумами

№ п/п	Назва кар'єру	Зчеплення бітумів, бали/%									
		Мозирський НПЗ (КіК-45, П ₂₅ -85)		Лукойл- Нижегород- нефтеоргсинтез (КіК-46,5, П ₂₅ -80)		Лукойл- Одеський НПЗ (КіК-45, П ₂₅ -83)		Будівельна фірма "Центр Лтд" (КіК-47,0, П ₂₅ -86)		Лукойл- Нижегород- нефтеоргсинтез (КіК-43,5, П ₂₅ -110)	
		бали	%	бали	%	бали	%	бали	%	бали	%
1	Клесівський	4,5	85-90	4,5	85-90	4,5	85-90	4,5	90-100	4-5	75-100
2	Тальновський	3,0	55-65	3,5	65-70	2,5	45-55	3,0	60-65	2,5	40-45
3	Гніванський	2,5	40-45	3,0	50-55	2,0	20-30	2,5	45-50	2,5	40-45
4	Крюківський	2,5	4-45	3,0	55-60	2,0	10-20	3,5	70-80	3,0	50-60
5	Іванівський	2,5	40-45	2,5	40-50	2,0-2,5	25-30	3,0	50-55	2,5	45-50
6	Малинський № 31	3,0	50-60	3,0	50-60	2,0-2,5	25-30	3,5	70-75	3,0	60-65
7	Полонський	2,5-3,0	40-60	2,5-3,0	40-50	2,0	20-30	3,0	50-60	2,5	30-40
8	Коростеньський	2,5	30-40	2,0	20-30	2,0-2,5	25-30	2,5	30-40	2,5	30-40
9	Томашгородський	2,5	40-45	2,5	40-45	2,0	10-20	3,0	50-60	2,0-2,5	20-35
10	Гайворонівський	2,5	35-40	2,5	35-45	2,0	15	2,5	40-45	2,5	35-40
11	Бехівський	2,5	25-35	2,5	40-45	2,0	10-20	2,5	40-45	2,0	15-20
12	Пенізевецький	2,0	15-20	2,5	40-45	2,0	15-20	2,5	40-50	2,5	30-40
13	Овруцький	2,5	40-50	2,5	40-45	2,0	20-30	2,5	40	2,0	25-35
14	Передаточнянський	2,5	30-35	2,5	35-40	2,0	25-30	2,5	40-45	2,0	20-25
15	Токмаківський	2,5	30-35	2,5	25-30	2,0	10	2,0	25-30	2,0	20-25
16	Ладжинський	2,0	20	2,5	30-40	2,0	5-10	2,0	30-40	2,0	10-15
17	Єрківський	2,0	20	2,0	25-30	2,0	25-30	2,0	25-30	2,0	25-30
18	Норинський	2,0	10-20	2,5	30-40	2,0	5-10	2,5	30-35	2,5	40-45
19	Адабаський	2,0	15-20	2,0	25-30	2,0	10-15	2,0	25-30	2,5	25-30
20	Самчинецький	2,0	5-10	2,0	25-30	2,0	15-20	2,0	15-20	2,0-2,5	20-40
21	Знам'янський	2,0	10	2,0	30	2,0	10	2,0	15-20	2,0	25-30
22	Малинський № 3	2,0	10-20	2,0	5-10	2,0	10-20	2,0	15-20	2,0	10
23	Хлистунівський	2,0	10	2,0	15-20	2,0	15-20	2,0	15-20	2,0	20-30
24	Редутський	2,0	10-15	2,0	10-15	2,0	5-10	2,0	15-20	2,0	10-15
25	Мокрянський	2,0	15	2,0	15	2,0	15	2,5	30-35	2,0	10-15

Як видно з таблиці Г.2 тільки два кар'єри мають з усіма бітумами показник зчеплення більше 3 балів або більше 50 %. Це Клесівський гранітний кр'єр (показник зчеплення 4,5-5 балів або 85-100 %), та Тальнянський кар'єр (3-3,5 бали або 50-70 %).

Зчеплення близьке до задовільного (40-50 % або 2,5-3 бали) мають 6 кар'єрів: Гніванський, Крюківський, Іванівський, Малинський № 31, Полонський та Коростеньський.

Найгірший показник зчеплення (не більше 2 балів або 30 %) мають щебені 9 кар'єрів: Токмаківський, Ладижинський, Єрківський, Адабаський, Самчинецький, Знам'янський, Хлистунівський, Редутський, Мокрянський.

Щебені інших кар'єрів мають зчеплення 2-2,5 бали або 30–40 %.

На зчеплення значно впливає адгезійна активність бітумів. (Наприклад, зчеплення бітумів зі щебенем Крюківського кар'єру № 4). Більшу адгезійну активність має бітум БФ “Центр ЛТД”, потім йдуть бітуми виробництва “Лукойл-Нижегороднефтеоргсинтез” та Мозирського НПЗ. Найнижчу адгезійну активність має бітум Одеського НПЗ.

Менш в'язкий бітум має дещо гірший показник зчеплення з кам'яним матеріалом, ніж більш в'язкий.

Результати випробування показали, що зчеплення бітумів зі щебенем більше 90 % кар'єрів є незадовільним.

Погане зчеплення призводить до різкого падіння водостійкості асфальтобетону, утворенню на покриттях таких деформацій як: лущення, ями, вибоїни, викришування. Це обумовлює при влаштуванні верхніх шарів покриття необхідність застосування адгезійних добавок – поверхнево-активних речовин (ПАР).

ПАР значно поліпшують процеси змочування та зчеплення бітуму з поверхнею мінерального матеріалу.

Молекули ПАР складаються з двох головних частин: неполярної – радикала та полярної – функціональної групи.

При введенні в бітум молекули ПАР адсорбуються на поверхні розділу фаз і орієнтуються неполярною частиною в бітум, а полярною – назовні. Катионоактивні ПАР утворюють на поверхні бітуму позитивно заряджений адсорбційний шар, аніоноактивні – негативно заряджений.

Завдяки поляризації поверхні бітуму поліпшуються процеси змочування. ПАР витісняють воду і сприяють рівномірному розподілу в'язучого по поверхні мінерального матеріалу. Навіть на мокрій мінеральній поверхні бітум в присутності ПАР розподіляється у вигляді плівки, тоді як без ПАР він збирається в краплі.

При контакті бітуму з поверхнею мінеральних матеріалів молекули ПАР притягуються та адсорбуються протилежно зарядженими активними центрами мінералів і вступають з ними в хімічну реакцію з утворенням водонерозчинних сполук (хемосорбційних сполук типу мил). Завдяки цьому забезпечується міцний зв'язок між бітумом та мінеральним матеріалом.

Поверхнево-активні речовини застосовуються:

- при використанні неактивних бітумів – для підвищення зчеплення з мінеральними матеріалами основних та кислих порід;
- при використанні активних бітумів – для поліпшення адгезії до мінеральних матеріалів кислих та ультракислих порід (граніти, кварцити, сієніти і т.п.);
- при роботі з вологими мінеральними матеріалами.

ПАР аніонного типу застосовуються для підсилення прилипання бітуму до мінеральних матеріалів основних порід (у випадку недостатнього вмісту у бітумі своїх аніоноактивних речовин), а також кислих порід при умові попередньої активації мінеральної поверхні вапном або цементом. Вміст аніоноактивних добавок складає (3-10) % від маси бітуму, активаторів – (1-3) % від маси мінерального матеріалу. В ролі аніоноактивних добавок застосовують високомолекулярні органічні кислоти та їх солі, а також речовини, що їх вміщують: кубові залишки синтетичних жирних кислот, окислений петролатум, соапсток, деревні смоли та інші.

Застосування катіоноактивних ПАР є найбільш ефективним засобом підвищення зчеплення бітумів з мінеральними матеріалами. Це такі речовини, як: аліфатичні (жирні) аміни, амідоміни або їх солі, а також четвертинні амонієві основи.

Катіоноактивні ПАР значно покращують зчеплення бітуму зі щебенем як кислих, так і основних порід, утворюючи в першому випадку хемосорбційні сполуки типу силікатамінів, у другому – карбонатамінів. Вони також поліпшують технологічні параметри приготування та укладання асфальтобетонних сумішей, прискорюють формування дорожніх покриттів, що влаштовуються з використанням малов'язких бітумів та бітумних емульсій, уповільнюють процеси старіння в'язких бітумів.

Г.2 Підбір та коригування складів асфальтобетонних сумішей

Всі матеріали для підбору складу асфальтобетонної суміші повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-119.

Для приготування гарячих асфальтобетонних сумішей необхідно використовувати в'язкі нафтові дорожні бітуми марок БНД 60/90; БНД 90/130 згідно з ДСТУ 4044.

У випадку незадовільного зчеплення бітуму з поверхнею кислих кам'яних матеріалів, яке не дозволяє забезпечити необхідне значення коефіцієнта водостійкості, потрібно використовувати катіонні поверхнево-активні речовини, активацію поверхні кам'яних матеріалів або інші технологічні способи.

Підбір зернового складу суміші є важливою частиною процесу забезпечення високих транспортно-експлуатаційних показників дорожнього одягу і являє собою найбільш ефективний метод визначення характеристик матеріалів.

Дослідження по визначенню фізико-механічних властивостей суміші містять наступні етапи:

- визначався гранулометричний склад окремих матеріалів;

- мінеральну частину асфальтобетонної суміші підбирали таким чином, щоб крива гранулометричного складу була оптимальною для даного типу асфальтобетонної суміші;

- проводився підбір кількості частин фракцією $<0,071\text{мм}$ та мінерального порошку;

- для кожного гранулометричного складу проводився підбір кількості в'язучого ;

- 5 за результатами випробувань зразків заформованих у лабораторних умовах було визначено оптимальний гранулометричний склад та оптимальну кількість в'язучого для різних типів асфальтобетону.

Для нижніх шарів дорожнього покриття слід застосовувати асфальтобетони I та II марок та призначати гранулометричні склади, які містять не менше 45% щебеню на в'язких бітумах марки БНД або бітумах із застосуванням поверхнево-активних речовин.

Підбір оптимального складу асфальтобетонної суміші на матеріалах ТОВ “Уманьавтодор”(Склад №У_Г.4 – Г.10)

Таблиця Г.4 - Крупнозерниста пориста асфальтобетонна суміш

Найменування матеріалу	% склад	Залишки на ситах, %											
		40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Інші
Кар'єр Тальне													
Щебінь 20-40		2,6	76,5	13,6	4,3	2,2							0,8
Щебінь 5-20			3,7	22,5	30,3	30,4	5,4	3,1					4,6
Відсів 0-5					0,4	22,3	15,3	20,2	14,0	6,2	7,0	7,0	7,6
Щебінь 20-40	20	0,5	15,3	2,7	0,9	0,4							0,2
Щебінь 5-20	25		0,9	5,6	7,6	7,6	1,4	0,8					1,1
Відсів 0-5	55				0,2	12,3	8,4	11,1	7,7	3,4	3,9	3,9	4,1
		0,5	16,2	8,3	8,7	20,3	9,8	11,9	7,7	3,4	3,9	3,9	5,4
	100	99,5	83,3	75,0	66,3	46,0	36,2	24,3	16,6	13,2	9,3	5,4	
Вимоги за ДСТУ Б.В.2.7-119		95/100	70/100	57/100	45/76	27/65	18/50	10/38	7/28	4/22	3/15	2/8	

Таблиця Г.5 - Склад оптимальної пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Склад, %
Щебінь 20-40	20
Щебінь 5-20	25
Відсів 0-5	55
Бітум	5,8

Таблиця Г.6 – Крупнозерниста щільна асфальтобетонна суміш

Найменування матеріалу	% склад	Залишки на ситах, %											
		40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Інші
Кар'єр Тальне													
Щебінь 20-40		2,6	76,5	13,6	4,3	2,5							0,8
Щебінь 5-20			3,7	22,5	30,3	30,4	5,4	3,1					4,6
Відсів 0-5					0,4	22,3	15,3	20,2	14,0	6,2	7,0	7,0	7,6
Мін. порошок								0,1	0,2	0,6	3,3	13,4	82,4
Щебінь 20-40	20	0,5	15,3	2,7	0,9	0,5							0,1
Щебінь 5-20	20		0,7	4,5	6,1	6,1	1,1	0,6					0,9
Відсів 0-5	55				0,2	12,3	8,4	11,1	7,7	3,4	3,9	3,9	4,1
Мін. порошок	5										0,2	0,7	4,1
Залишки		0,5	16,0	7,2	7,2	18,9	9,5	11,7	7,7	3,4	4,1	4,6	9,2
	100	99,5	83,5	76,3	69,1	50,2	40,7	29,0	21,3	17,9	13,8	9,2	
Вимоги за ДСТУ Б.В.2.7-119		95/100	78/86	70/80	62/74	50/65	38/52	28/39	20/29	22/14	9/16	6/12	

Таблиця Г.7 – Склад оптимальної щільної крупнозернистої асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Склад, %
Щебінь 20-40	20
Щебінь 5-20	20
Відсів 0-5	55
Мін. порошок	5
Бітум	5,7

Таблиця Г.8 - Дрібнозерниста щільна асфальтобетонна суміш

Найменування матеріалу	% склад	Залишки на ситах, %											
		40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Інші
Кар'єр Тальне													
Щебінь 5-20			3,7	22,5	30,3	30,4	5,4	3,1					4,6
Кар'єр Гнівань													
Відсів 0-5					0,3	5,1	13,0	23,6	21,4	8,8	9,6	8,8	9,4
Мін. порошок								0,1	0,2	0,6	3,3	13,4	82,4
Щебінь 5-20	40		1,4	9,0	12,2	12,2	2,2	1,2					1,8
Відсів 0-5	57				0,2	2,9	7,4	13,4	12,1	5,0	5,5	5,0	5,5
Мін. порошок	3										0,1	0,4	2,5
			1,4	9,0	12,4	15,1	9,6	14,6	12,1	5,0	5,6	5,4	9,8
		100	98,6	89,6	77,2	62,1	52,5	37,9	25,8	20,8	15,2	9,8	
Вимоги за ДСТУ Б.В.2.7-119			100/95	93/84	82/69	65/55	53/41	42/31	33/23	25/16	18/11	14/8	

Таблиця Г.9 - Склад оптимальної щільної дрібнозернистої асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Склад, %
Щебінь 5-20	40
Відсів 0-5	57
Мін. порошок	3
Бітум	5,0

Таблиця Г.10 – Дрібнозерниста щільна асфальтобетонна суміш

Найменування матеріалу	% склад	Залишки на ситах, %											
		40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Інші
Кар'єр Гнівань													
Щебінь 5-10				0,1	7,7	81,1	8,3	1,7					1,1
Відсів 0-5					0,3	5,1	13,0	23,6	21,4	8,8	9,6	8,8	9,4
Мін. порошок								0,1	0,2	0,6	3,3	13,4	82,4
Щебінь 5-10	40				3,1	32,4	3,3	0,8					0,4
Відсів 0-5	57				0,2	2,9	7,4	13,4	12,1	5,0	5,5	5,0	5,5
Мін. порошок	3										0,1	0,4	2,5
					3,3	35,3	10,7	14,2	12,1	5,0	5,6	5,4	8,4
				100	96,7	61,4	50,7	36,5	24,4	19,4	13,8	8,4	
Вимоги за ДСТУ Б.В.2.7-119				100	100/90	65/55	53/43	43/33	33/23	25/16	18/11	14/8	

Таблиця Г.11 – Склад оптимальної щільної дрібнозернистої асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Склад, %
Щебінь 5-10	40
Відсів 0-5	57
Мін. порошок	3
Бітум	6,2

Таблиця Г.12 - Фізико-механічні властивості асфальтобетонних сумішей та асфальтобетону

№ складу	Пористість мінерально-го кістяка	Залишкова пористість	Водонаси-чення у %	Набряка-ння у %	Коефіцієнт водостійкості	Середня щільність, г/см ³	Границя міцності при стиску, Мпа при		Кількість бітуму, %	Кіль-кість мін.пор., %
							20 °C	50 °C		
У В.4	15,36		2,53		0,84	2,42	7,7	3,8	5,8	
У В.6	13,95	0,02	0,86	0,34	0,85	2,46	6,9	4,7	5,7	5,0
У В.8	18,14	4,88	3,36	0,27	0,90	2,34	5,5	4,5	6,2	3,0
У В.10	15,98	2,37	3,73	0,06	0,90	2,40	6,6	2,0	5,0	3,0
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119	15-19/≤23	2-5	1,5-3,5/≤10	≤0,5	≥0,9/0,85/≥0,7		≥2,5/2,2/≥1,8	≥1,2/1,0		

Примітка: У_Г.4 - Пористий крупнозернистий асфальтобетон.

У_Г.6 - Щільний крупнозернистий асфальтобетон.

У_Г.8 - Дрібнозернистий асфальтобетон 5-10.

У_Г.10 - Дрібнозернистий асфальтобетон 5-20.

Підбір оптимального складу асфальтобетонної суміші на матеріалах ВАТ “ТРАКТ” (Склад №Т_Г.13)

Таблиця Г.13 - Крупнозерниста пориста асфальтобетонна суміш

Найменування матеріалу	% склад	Вміст в % зерен матеріалу дрібніше, мм											
		40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Бітум в % зверх 100 %
Кар'єр Кошик													
Щебінь 20-40		93,7	5,0										
Кар'єр Рокитне													
Щебінь 10-20		100	66,6	26,5	8,0								
Відсів 0-5		100	100	100	100	97,4	74,8	56,2	38,1	26,1	13,9	8,2	
Щебінь 20-40	20	18,7	1,0										
Щебінь 10-20	20	20	13,3	5,3	1,6								
Відсів 0-5	60	60	60	60	60	58,4	44,9	33,7	22,9	15,7	8,3	4,9	
Гот. суміш 100%		98,7	74,3	65,3	61,6	58,4	44,9	33,7	22,9	15,7	8,3	4,9	5,3
Вимоги за ДСТУ Б.В.2.7-119		95/100	70/100	57/100	45/76	27/65	18/50	10/38	7/28	4/22	3/15	2/8	4/6

Таблиця Г.14 - Склад оптимальної пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Склад, %
Щебінь 20-40	20
Щебінь 5-20	20
Відсів 0-5	60
Бітум	5,3

Таблиця Г.15 - Фізико-механічні властивості асфальтобетонної суміші та асфальтобетону

№ складу	Пористість мінерального кістяка	Залишкова пористість	Водонасичення у %	Набрякання у %	Коефіцієнт водостійкості	Середня щільність, г/см ³	Границя міцності при стиску, Мпа при		Кількість бітуму, %	Кількість мін.пор., %
							20 °C	50 °C		
Т_В.13	18,72	5,56	4,69	0,13	0,89	2,33	2,8	1,6	5,3	
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119	≤23	не нормується	≤10	не нормується	≥0,7		≥1,8	не нормується		

Примітка: Т_В.13 - Пористий крупнозернистий асфальтобетон.

Підбір оптимального складу асфальтобетонної суміші на матеріалах ВАТ “ПІВДЕНЬЗАХІДШЛЯХБУД” (Склад №П_Г.16 – Г.20)

Таблиця Г.16 - Крупнозерниста пориста асфальтобетонна суміш

Найменування матеріалу	% склад	Вміст в % зерен матеріалу дрібніше, мм											
		40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Бітум в % зверх 100 %
Кар'єр Старі Бабани													
Щебінь 20-40		98,8	10,0										
Щебінь 5-20			93,2	54,9	14,8	0,3							
Відсів 0-5					98,0	90,0	64,0	53,5	38,0	22,0	14,0	9,0	
Щебінь 20-40	20	19,8	2,0										
Щебінь 5-20	30	30,0	28,0	16,5	4,4	0,1							
Відсів 0-5	50	50,0	50,0	50,0	49,0	45,0	32,0	26,8	19,0	11,0	7,0	4,5	
Готова суміш	100	99,8	80,0	66,5	53,4	45,1	32,0	26,8	19,0	11,0	7,0	4,5	4,3
Вимоги за ДСТУ Б.В.2.7-119-2003		95/100	70/100	57/100	45/76	27/65	18/50	10/38	7/28	4/22	3/15	2/8	4/6

Таблиця Г.17 - Склад оптимальної пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Склад, %
Щебінь 20-40	20
Щебінь 5-20	30
Відсів 0-5	50
Бітум	4,3

Таблиця Г.18 - Крупнозерниста щільна асфальтобетонна суміш

Найменування матеріалу	% склад	Вміст в % зерен матеріалу дрібніше, мм											
		40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Бітум в % зверх 100 %
Кар'єр Старі Бабани													
Щебінь 20-40		98,8	10,0										
Щебінь 5-20			93,2	54,9	14,8	0,3							
Відсів 0-5					98,0	90,0	64,0	53,5	38,0	22,0	14,0	9,0	
Кар'єр Скала Подільська													
Мін. порошок								100	99,9	98,9	98,1	88,7	
Щебінь 20-40	18	17,8	1,8										
Щебінь 5-20	20	20,0	18,6	11,0	3,0	0,1							
Відсів 0-5	57	57,0	57,0	57,0	55,9	51,3	36,5	30,5	21,7	12,5	8,0	5,1	
Мін. порошок	5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,4	
Готова суміш	100	99,8	82,4	73,0	63,9	56,4	41,5	35,5	26,7	17,4	12,9	9,5	6,0
Вимоги за ДСТУ Б.В.2.7-119-2003		95/100	78/86	70/80	62/74	50/65	38/52	28/39	20/29	22/14	9/16	6/12	5/6,5

Таблиця Г.19 - Склад оптимальної щільної крупнозернистої асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Склад, %
Щебінь 20-40	18
Щебінь 5-20	20
Відсів 0-5	57
Мін. порошок	5
Бітум	6,0

Таблиця Г.20 - Дрібнозерниста щільна асфальтобетонна суміш на бітумі модифікованому добавкою “Елвалой”

Найменування матеріалу	% склад	Вміст в % зерен матеріалу дрібніше, мм											
		25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Бітум в % зверх 100 %
Кар'єр Старі Бабани													
Щебінь 5-20		100,0	93,2	54,9	14,8	0,3							
Відсів 0-5					98,0	90,0	64,0	53,5	38,0	22,0	14,0	9,0	
Кар'єр Скала Подільська													
Мін. порошок								100	99,9	98,9	98,1	88,7	
Щебінь 5-20	30	30,0	28,0	16,5	4,4	0,1							
Відсів 0-5	65	65,0	65,0	65,0	63,7	58,5	41,6	34,8	24,7	14,3	9,1	5,8	
Мін. порошок	5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,4	
Готова суміш	100	100,0	98,0	86,5	73,1	63,6	46,6	39,8	29,7	19,2	14,0	10,2	6,1
Вимоги за ДСТУ Б.В.2.7-119-2003		100,0	95/100	84/93	69/82	55/65	41/53	31/42	23/33	16/25	11/18	8/14	5,5/7,0

Таблиця Г.21 - Склад оптимальної щільної дрібнозерниста асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Склад, %
Щебінь 5-20	30
Відсів 0-5	65
Мін. порошок	5
Бітум	6,1

Таблиця Г.22 - Фізико-механічні властивості асфальтобетонних сумішей та асфальтобетону

№ складу	Пористість мінерально-го кістяка	Залишкова пористість	Водонаси-чення у %	Набряка-ння у %	Коефіцієнт водостійкос-ті	Середня щільність, г/см ³	Границя міцності при стиску, Мпа при		Кіль-кість бітуму, %	Кіль-кість мін.пор. , %
							20 °С	50 °С		
П В.16	18,47		4,58		0,89	2,33	2,8		4,3	
П В.18	16,46	2,93	3,23	0,07	0,97	2,39	6,5	3,1	6,0	5,0
П В.20	12,12	1,03	0,74	0,17	0,95	2,52	5,4	1,8	6,1	5,0
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119-2003	15-19/≤23	2-5	1,5-3,5/≤10	≤0,5	≥0,9/0,85/≥0,7		≥2,5/2,2/≥1,8	≥1,2/1,0		

Примітка: П_Г.16 - Пористий крупнозернистий асфальтобетон.

П_Г.18 - Щільний крупнозернистий асфальтобетон.

П_Г.20 - Дрібнозернистий асфальтобетон (модифікований).

Підбір оптимального складу асфальтобетонної суміші на матеріалах ТОВ “ДОРБУД” (Склад №Д_Г.23 – Г.27)

Таблиця Г.23 – Крупнозерниста пориста асфальтобетонна суміш

Найменування матеріалу	% склад	Залишки на ситах, %											
		40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Інші
Кар'єр Тальне													
Щебінь 20-40			86,7	11,0	2,1								0,2
Щебінь 5-20			5,0	28,7	30,9	28,7	3,3	0,5	0,5	0,4	0,4	1,1	0,5
Відсів 0-5					0,4	12,0	24,0	8,2	12,2	10,4	11,6	12,6	8,6
Щебінь 20-40	20		17,3	2,2	0,4								0,1
Щебінь 5-20	50		2,5	14,4	15,5	14,4	1,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2
Відсів 0-5	30				0,1	3,6	7,2	2,5	3,6	3,1	3,5	3,8	2,6
			19,8	16,6	16,0	18,0	8,9	2,7	3,8	3,3	3,7	4,3	2,9
			19,8	36,4	52,4	70,4	79,3	82,0	85,8	89,1	92,8	97,1	100
			80,2	63,6	47,6	29,6	20,7	18,0	14,2	10,9	7,2	2,9	0
Вимоги за ДСТУ Б.В.2.7-119-2003		95/100	70/100	57/100	45/76	27/65	18/50	10/38	7/28	4/22	3/15	2/8	4/6

Таблиця Г.24 – Склад оптимальної пористої крупнозернистої асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Склад, %
Щебінь 20-40	20
Щебінь 5-20	50
Відсів 0-5	30
Бітум	6,0

Таблиця Г.25 - Крупнозерниста щільна асфальтобетонна суміш

Найменування матеріалу	% склад	Залишки на ситах, %											
		40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Інші
Кар'єр Тальне													
Щебінь 20-40			86,7	11,0	2,1								0,2
Щебінь 5-20			5,0	28,7	30,9	28,7	3,3	0,5	0,5	0,4	0,4	1,1	0,5
Відсів 0-5					0,4	12,0	24,0	8,2	12,2	10,4	11,6	12,6	8,6
Мін. порошок									0,3	0,6	13,9	12,5	72,7
Щебінь 20-40	20		17,3	2,2	0,4								0,1
Щебінь 5-20	20		1,0	5,7	6,2	5,7	0,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Відсів 0-5	57,5				0,2	6,9	13,8	4,7	7,0	6,0	6,7	7,2	4,9
Мін. порошок	2,5								0,0	0,0	0,3	0,3	1,8
			18,3	7,9	6,8	12,6	14,5	4,8	7,1	6,1	7,1	7,8	7,0
			18,3	26,2	33,0	45,6	60,1	64,9	72,1	78,2	85,3	93,0	100,0
			81,7	73,8	67,0	54,4	39,9	35,1	27,9	21,8	14,7	7,0	0
Вимоги за ДСТУ Б.В.2.7-119-2003		95/100	78/86	70/80	62/74	50/65	38/52	28/39	20/29	22/14	9/16	6/12	5/6,5

Таблиця Г.26 - Склад оптимальної щільної крупнозернистої асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Склад, %
Щебінь 20-40	20
Щебінь 5-20	20
Відсів 0-5	57,5
Мін. порошок	2,5
Бітум	6,5

Таблиця Г.27 - Дрібнозерниста щільна асфальтобетонна суміш

Найменування матеріалу	% склад	Залишки на ситах, %											
		25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	Інші
Кар'єр Тальне													
Щебінь 5-20			5,0	28,7	30,9	28,7	3,3	0,5	0,5	0,4	0,4	1,1	0,5
Відсів 0-5					0,4	12,0	24,0	8,2	12,2	10,4	11,6	12,6	8,6
Мін. порошок									0,3	0,6	13,9	12,5	72,7
Щебінь 5-20	40		2,0	11,5	12,4	11,5	1,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2
Відсів 0-5	57				0,2	6,8	13,7	4,7	7,0	5,9	6,6	7,2	4,9
Мін. порошок	3								0,0	0,0	0,4	0,4	2,2
			2,0	11,5	12,6	18,3	15,0	4,9	7,2	6,1	7,2	8,0	7,3
			2,0	13,5	26,1	44,4	59,4	64,3	71,4	77,5	84,7	92,7	100
			98,0	86,5	73,9	55,6	40,6	35,7	28,6	22,5	15,3	7,3	0
Вимоги за ГОСТ 9128			95/100	85/100	70/100	50/65	38/52	28/39	20/29	14/22	9/16	6/12	

Таблиця Г.27 - Склад оптимальної щільної крупнозернистої асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Склад, %
Щебінь 5-20	40
Відсів 0-5	57
Мін. порошок	3
Бітум	7

Таблиця Г.28 - Фізико-механічні властивості асфальтобетонних сумішей та асфальтобетону

№ п/п	Пористість мінерального кістяка	Залишкова пористість	Водонасичення в %	Набрякання в %	Коефіцієнт водостійкості	Середня щільність, г/см ³	Границя міцності при стиску, МПа при температурі		Кількість бітуму, %	Кількість МП, %
							20 ⁰ С	50 ⁰ С		
Д_В.23	16,93		2,75		0,61	2,38	2,8		6,0	
Д_В.25	16,25	2,69	0,59	0,04	0,96	2,40	3,6	0,8	6,5	2,5
Д_В.27	16,81	3,34	2,00	0,05	0,81	2,38	4,6	0,5	5,7	3,0
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119	≤23/ 15-19	не нормується/ 2-5	≤10/ 1,5-3,5	не нормується/ ≤0,5	≥0,7/ ≥0,9/0,85		≥1,8/ ≥2,5/2,2	не нормується / ≥1,2/1,0		

Примітка: Д_Г.23 - Пористий крупнозернистий асфальтобетон.

Д_Г.25 - Щільний крупнозернистий асфальтобетон.

Д_Г.27 - Дрібнозернистий асфальтобетон (модифікований)

Аналізуючи та виконуючи уточнюючі лабораторні випробування, що наведені в таблиці Г.28 можна зробити висновок, що запропоновані склади гарячих асфальтобетонних сумішей з таким вмістом бітуму не відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119. Тому був проведений підбір оптимального складу асфальтобетонних сумішей з меншим вмістом бітуму, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-119.

Оптимальні склади гарячих асфальтобетонних сумішей, що були підібрані в лабораторії відділу експлуатації доріг та пропонувалися для використання при реконструкції автомобільної дороги Київ - Одеса наведені в таблиці Г.29.

Таблиця Г.29 - Склади оптимально підібраної асфальтобетонної суміші

Найменування матеріалу	Пористі крупнозернисті асфальтобетонні суміші (Д В.29_1)	Щільні крупнозернисті асфальтобетонні суміші (Д В.29_2)	Щільні дрібнозернисті асфальтобетонні суміші (Д В.29_3)
Щебінь 20-40	20	20	-
Щебінь 5-20	25	20	40
Відсів 0-5	55	57,5	57
Мінеральний порошок	-	2,5	3
Бітум	5,8	5,8	5,6

Результати проведених досліджень по визначенню фізико-механічних властивостей асфальтобетонних сумішей запропонованих складів наведені в таблиці Г.30.

Таблиця Г.30 Фізико-механічні властивості асфальтобетонних сумішей та асфальтобетону

№ п/п	Пористість мінерального кістяка	Залишкова пористість	Водонасичення в %	Набрякання в %	Коефіцієнт водостійкості	Середня щільність, г/см ³	Границя міцності при стиску, МПа при температурі		Кількість бітуму, %	Кількість МП, %
							20°C	50°C		
Д_В.29_1	15,36		2,53		0,84	2,42	7,7		5,8	
Д_В.29_2	16,42	2,88	2,48	0,11	0,90	2,39	3,8	1,3	5,8	2,5
Д_В.29_3	16,99	3,55	3,08	0,24	0,96	2,38	5,5	2,0	5,6	3,0
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119	≤23/ 15-19	не нормується/ 2-5	≤10/ 1,5-3,5	не нормується/ ≤0,5	≥0,7/ ≥0,9/0,85		≥1,8/ ≥2,5/2,2	не нормується/ ≥1,2/1,0		

Примітка: Д_Г.29_1 - Пористий крупнозернистий асфальтобетон.

Д_Г.29_2 - Щільний крупнозернистий асфальтобетон.

Д_Г.29_3 - Дрібнозернистий асфальтобетон (модифікований

ДОДАТОК Д
РОЗРАХУНОК СКЛАДУ ПІНОБЕТОНУ

Д.1 Розрахунок складу пінобетону

Розрахунок складу, що забезпечує отримання пінобетону необхідної міцності, проводиться на підставі математичної моделі логарифма міцності пінобетону середньою густиною в сухому стані – 600 кг/м^3 , яка має вигляд:

$$\ln(R) = 1,011 - 0,157b_1 + 0,245b_2 + 0,271b_3 - 0,118b_{12} + 0,118b_{13} - 0,16b_{23} + 0,148b_{11}^2 - 0,181b_{22}^2 - 0,181b_{33}^2 \quad (\text{Д.1})$$

Далі на підставі математичної моделі проводять побудову ізоліній міцності пінобетону (рис. Д.1).

Ізолінії міцності побудовані при фіксованому значенні чинника X_3 – часу активації суміші розчину в зоні оптимуму цього чинника.

Далі по ізолінії необхідній міцності призначається склад компонентів пінобетонної суміші, що забезпечує отримання цієї міцності.

Заздалегідь по ізолініям водопотреби суміші розчину визначають значення В/Т відношення.

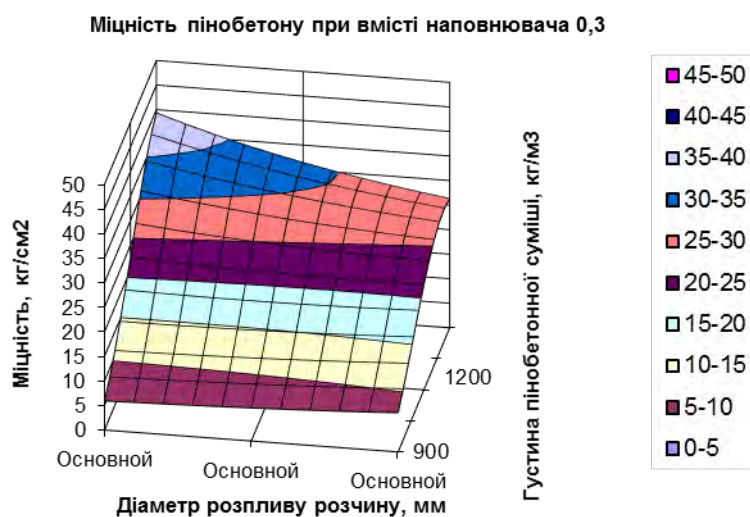


Рисунок Д.1 – Ізолінії міцності пінобетону

Наприклад, необхідно запроектувати пінобетон міцністю 2,5 МПа. По ізолініям міцності можна бачити, що такій міцності відповідає достатньо велика сукупність точок простору чинника і, відповідно, безліч різних складів. Враховуючи економічні параметри, вибираємо область простору чинника з максимальним змістом наповнювача і мінімальним змістом добавки. Ці умови виконуються при змісті наповнювача 30% і добавки – прискорювача тверднення – 0,85%. Таким чином, є всі необхідні дані для розрахунку складу пінобетону. Витрату компонентів пінобетонної суміші розраховують по формулах (Д.2 – Д.9).

Приклад розрахунку

Витрата цементу:

$$Ц=600 \cdot 0,7 \cdot 0,85=357 \text{ (кг)} \quad (\text{Д.2})$$

Витрата наповнювача:

$$Н=600-357=243 \text{ (кг)} \quad (\text{Д.6})$$

Витрата рідини зачинення:

$$Ж=600 \cdot 0,41=246 \text{ (кг)} \quad (\text{Д.7})$$

Витрата добавки «Релаксол-універсал В»:

$$А = \frac{357 \cdot 0,85}{20 \cdot 1,12} = 13,5 \text{ (л)} \quad (\text{Д.8})$$

Бракуюча кількість води:

$$B = 246 - 13.5 \cdot 1.12 \left(1 - \frac{20}{100} \right) = 234 \text{ (л)} \quad (\text{Д.9})$$

ЕОМ розраховує найбільш економний склад пінобетону, що забезпечує необхідні показники міцності (Рис. Д.2).

На рисунку Д.2 приведений загальний вид екрану дисплея оператора ЕОМ з прикладом розрахунку складу пінобетону середньою густиною 600 кг/м^3 і міцністю $2,5 \text{ МПа}$. ЕОМ розрахувала найбільш економний склад, вартість якого також приведена.

Рисунок Д.2 – Вид робочої панелі програми “Розрахунок складів пінобетону”

Перед приготуванням пінобетонних сумішей, згідно матриці планування експерименту, проводили розрахунок складу з метою отримання пінобетону середньої густини в сухому стані $600 - 1200 \text{ кг/м}^3$.

Згідно розрахованому складу, пінобетонну суміш готували в наступній послідовності.

Як сировинні матеріали, в експериментальних роботах використовували: портландцемент, наповнювач, піноутворювач і воду.

В якості в'язучого в експерименті використовували портландцемент Одеського цементного заводу – ПЦ II/A–III-400.

У вигляді заповнювача застосовували висушений до постійної маси кварцовий пісок фракції менше 0,63 мм. Фізико-механічні характеристики піску приведені в таблиці Д.1.

Піноутворювач синтетичний ПБ-2000, виробництво ВАТ «Івхімпром» (Росія, м. Іваново). Коефіцієнт стійкості піни з піноутворювача ПБ-2000 в цементному тісті перевищує 0,9. Стійкість поризованої суміші з використанням піни з піноутворювача ПБ-2000 цілком достатня для запобігання осаду пінобетонної маси аж до початку її твердіння.

Водою затворення служила водопровідна вода міського водопроводу температурою 20 ± 2 °С.

Згідно розрахованому складу, пінобетонну суміш готували в наступній послідовності.

Таблиця Д.1 - Фізико-механічні характеристики піску

Заповнювач	Дійсна густина, г/см ³	Густина, кг/л	Пустотність, %	Модуль крупності, Мкр	Водо-потреба, %	Коеф. міцності, А
Будівельний пісок	2,53	1,51	42,5	2,79	7	0,53

Сухі складові – цемент і наповнювач зважували на торгових вагах з точністю до 5 г (рис. Д.3). Воду дозували за об'ємом в мірному циліндрі, після чого її заливали в лабораторну розчиномішалку (бетономішалку) (рис. Д.6). Бетономішалка є півциліндричною місткістю, об'ємом 20 л, з вертикально розташованим валом, з закріпленими на ньому лопатями. Швидкість обертання валу бетономішалки 60 об/хв. Одночасно з включенням приводу бетономішалки починали подавати тверді складові. Перемішування продовжували до отримання однорідної маси. З приготованого розчину відбирали пробу і визначали водопотребу суміші розчину по діаметру розпливу розчину (по віскозиметру Суттарда (рис. Д.3 а, б). У разі недотримання цієї умови проводили коректування складу сумішей до отримання необхідного діаметру розпливу розчину. Після

отримання необхідного діаметра розпливу розчину по віскозиметру Суттарда, відбирали пробу суміші розчину і заповнювали 3-х гніздові форми-балочки з розмірами 40x40x160 мм.

Технічну піну одержували в лабораторному піногенераторі механічної дії – диспергаційним способом, при русі сітчастої рамки з розмірами осередку сітки 10x10 мм, на розчин піноутворювача (рис. Д.4). Робочий розчин піноутворювача ПБ-2000 готували шляхом розбавлення концентрованого розчину щільністю $\rho = 1,1$ г/см³ водопровідною водою температурою $20 \pm 2^\circ\text{C}$ в співвідношенні 1:25. 700 мл приготованого розчину поміщали в піногенератор і включали привід (рис. Д.5). Швидкість обертання сітчастих лопатей 250 об/хв. Робочий розчин піноутворювача «збивали» протягом 7 хвилин до отримання стійкої піни щільністю 70 ± 5 кг/м³.

Кількість піни, що дозується, контролювали по густині пінобетонної суміші, згідно рівню варіювання цього чинника. Після отримання пінобетонної суміші її поміщали в пластмасові форми-циліндри висотою 650 мм і діаметром 100 мм (рис. Д.6).



Рисунок Д.3 – Зважування матеріалу на торгових вагах



Рисунок Д.4 – Піногенератор і вже приготовлена технічна піна



Рисунок Д.5 – Заливання
піноконцентрату в піногенератор



Рисунок Д.6 – Бетономішалка об'ємом
20 л, з вертикально розташованим
валом та пластмасові форми-циліндри
висотою 650 мм і діаметром 100 мм.



а)



б)

Рисунок Д.7 – Визначення водопотреби суміші розчину по діаметру розпливу
розчину

Д.2 Встановлення розрахункових характеристик пінобетону

Випробування по встановленню розрахункових характеристик пінобетону проводили за стандартними методиками в лабораторії кафедри «Будівельні

конструкції та мости» ОДАБА м. Одеса за участі д.т.н., доцента Мартинова Володимира Івановича та у лабораторії «відділу дорожньо-будівельних матеріалів» ДП «ДерждорНДІ» під керівництвом к.т.н. Коваля Петра Миколайовича та к.т.н. Фаля Андрія Миколайовича.

Паралельно з нами подібні дослідження проводились в НУ “Львівська політехніка” [100, 129-133].

При влаштуванні дослідної ділянки заливали плити та куби розміром 150x150x150 мм. З плит потім вирізали зразки-призми розміром 40x40x160 та 150x150x600 мм з метою визначення механічних характеристик пінобетону на стиск різної марки за густиною.

Згідно ГОСТ 10180-90 на визначення міцності пінобетону на розтяг при розколюванні циліндрів були проведені випробування циліндрів з пінобетону діаметром 150 мм висотою 150 мм.



Рисунок Д.8 – Зовнішній вигляд зразків-кубиків після руйнування.



Рисунок Д.9 – Зовнішній вигляд зразка-циліндра після руйнування.

На піноутворювачі фірми “Handmar”, піску Ясинецького кар’єру Львівської області та польському портландцементі марки SEMI-32,5R вдалося одержати середню міцність на стиск неавтоклавного пінобетону 1,65 МПа, при середній густині 1000 кг/м³. На портландцементі Одеського цементного заводу, кварцовому

піску фракції менше 0,63 мм і синтетичному піноутворювачі ПБ-2000 при середній густині 1000 кг/м³, ми уже одержали міцність на стиск 3,0 МПа.

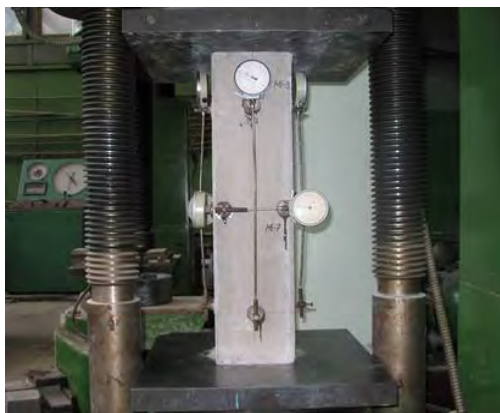


Рисунок Д.10 – Зовнішній вигляд дослідної установки для випробування пінобетонних призм.

Підбір складу пінобетонної суміші і розробка технологічних параметрів дозволили отримати пінобетон з міцністю на стиск 5,1 МПа, вологістю 11%, водопоглинанням 10,7%.

Використання форм-циліндрів висотою 650 мм і діаметром 100 мм, показало, що усадка пінобетону незначна навіть для товщини шару 0,65 м.

Д.3 Випробування дисперсно-армованого пінобетону

В роботі [100] значну увагу приділено дисперсно-армованому пінобетону. Аналіз цих результатів (рис. Д.11 - Д.14) дозволяє стверджувати, що введення в пінобетонну суміш під час бетонування поліпропіленової фібри дозволяє покращити міцнісні характеристики пінобетону на розтяг при згині в діапазоні марок пінобетону від D800 до D1200 в 3,71 – 1,68 разів.

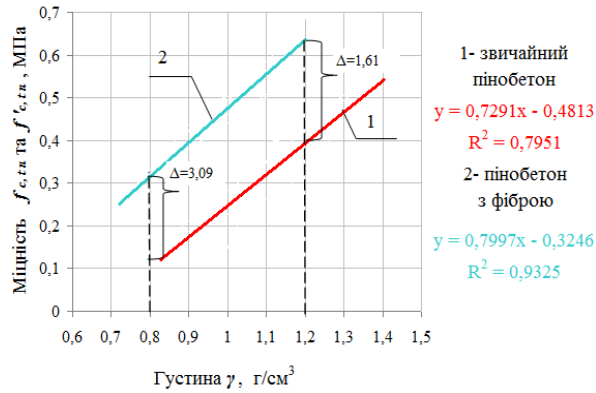


Рисунок Д.11 – Залежність міцності звичайного пінобетону на розтяг при розколюванні $f_{c,tn}$ та пінобетону з фіброю $f'_{c,tn}$ від густини γ .

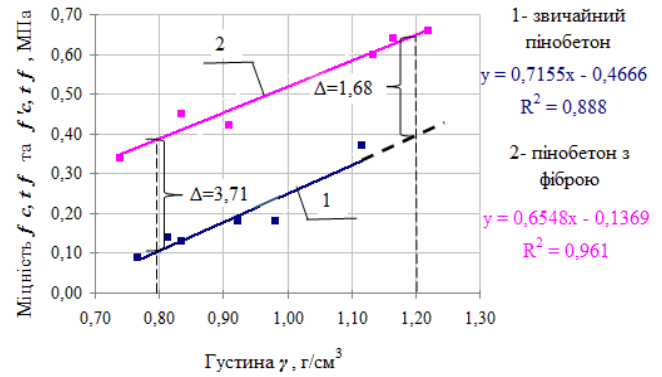


Рисунок Д.12 – Залежність міцності звичайного пінобетону на розтяг при згині $f_{c,tf}$ та пінобетону з фіброю $f'_{c,tf}$ від густини γ .

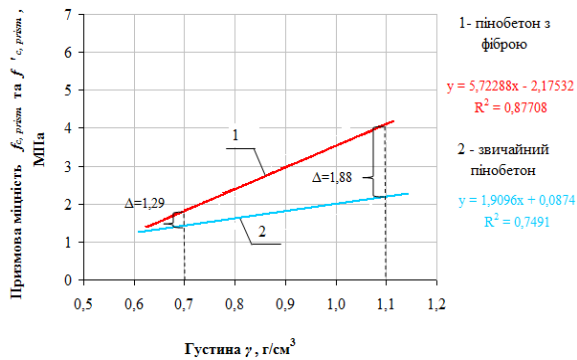


Рисунок Д.13 – Залежність призмової міцності звичайного пінобетону $f_{c,prism}$ та пінобетону з фіброю $f'_{c,prism}$ від густини γ .

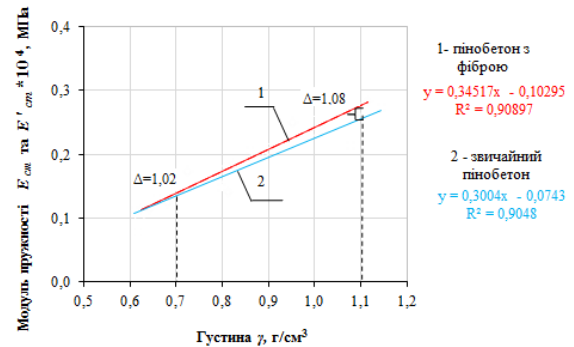


Рисунок Д.14 – Залежність модуля пружності звичайного пінобетону E_{cm} та пінобетону з фіброю E'_{cm} від густини γ .

ДОДАТОК Е

ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ТА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІЇ РЕЛАКСАЦІЇ

Е.1 Визначення температурного режиму асфальтобетонного покриття

Відомі результати теоретичних і експериментальних досліджень свідчать [47], що на температурний асфальтобетонного покриття впливають дві основні гармоніки: зміна температури в річному циклі коливань та зміна температури у добовому циклі коливань. У цьому випадку згідно рішення Фур'є на основі методики НТУ [42, 47, 83, 84] вираз для розрахунку температурного режиму покриття має вигляд:

$$\bar{T}(t) = T_{аб,ср} + \bar{A}_p(h) \cdot \cos \frac{2\pi}{t_p} t + \bar{A}_d(h) \cdot \cos \frac{2\pi}{t_d} t, \quad (E.1)$$

де $T_{аб,ср}$ – середня температура покриття;

$\bar{A}_p$ – середня по товщині покриття амплітуда коливань температури в річному циклі;

t_p – період коливань температури покриття в річному циклі;

$\bar{A}_d$ – середня по товщині покриття амплітуда коливань температури в добовому циклі;

t_d – період коливань температури покриття в добовому циклі.

Амплітуда річних і добових коливань температури покриття ($\bar{A}_p$ і $\bar{A}_d$) як середньо інтегральні по товщині величини визначається за виразом:

$$\bar{A} = \frac{1}{h} \int_0^h A(z) dz = \frac{A(z=0)}{h \sqrt{\pi / t_i \cdot a}} \cdot \left(1 - e^{-h \sqrt{\pi / t_i \cdot a}} \right), \quad (E.2)$$

де a – коефіцієнт температуропровідності покриття;

t_n – період коливання температури;

$A(z=0)$ – амплітуда коливань температури поверхні покриття.

Значення $T_{аб, ср}$ і $A(z=0)$ визначаються методикою М.Б. Корсунського [47, 84, 128].

Швидкість охолодження покриття визначається за виразами:

- при річних коливаннях температури:

$$k_p = \frac{2\bar{A}_p}{0,5t_p} = \frac{4\bar{A}_p}{t_p}, \quad (E.4)$$

- при добових коливаннях температури:

$$k_d = \frac{2\bar{A}_d}{0,5t_d} = \frac{4\bar{A}_d}{t_d}. \quad (E.5)$$

Е.2 Методика визначення параметрів функції релаксації на основі випробувань асфальтобетону на розтяг при постійній швидкості деформуванні

Для асфальтобетону як лінійного в'язкопружного тіла зв'язок між напруженням σ , деформацією ε і часом t для описується співвідношення Больцмана-Вольтера [85, 126, 127]:

$$\sigma(t) = \int_0^t R(t-\tau) d\varepsilon(\tau), \quad (E.6)$$

де t – момент часу, для якого визначається σ або ε ;

τ – попередній момент часу ($0 \leq \tau \leq t$).

Для опису функцій будемо застосовувати модифікований степеневий закон Р. Шепері:

$$R(t) = H + (B - H) \cdot (1 + t/r)^{-m}, \quad (\text{E.7})$$

Припустимо, що базові параметри функції релаксації (миттєвий модуль пружності (B) і довготривалий модуль пружності (H)) встановлюються на основі випробувань, відповідно, ультразвуком при низьких температурах і довготривалої повзучості при позитивних температурах. Тоді необхідно вирішити задачу по встановленню констант m і r .

Нехай при $V_\varepsilon = \text{const}$ будуть отримані результати випробувань зразків асфальтобетону у вигляді графіка $\sigma = f(t)$ (рисунок Е.1).

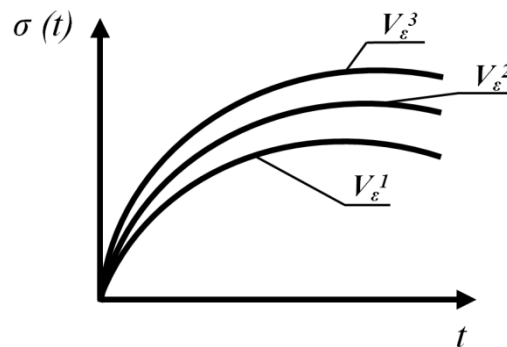


Рисунок Е.1 – Залежність зміни напруження в часі від швидкості деформування

На основі залежності $\sigma(t)$ від $\varepsilon(t)$ при використанні співвідношення Больцмана-Вольтера:

$$\sigma(t) = \int_0^t R(t - \tau) d\varepsilon(\tau), \quad (\text{E.8})$$

З врахуванням того, що $\varepsilon(t) = V_\varepsilon \times t$, а $V_\varepsilon = \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$, знаходимо $d\varepsilon(t)$:

$$d\varepsilon(t) = V_\varepsilon \times dt, \quad (\text{E.9})$$

Тоді, застосувавши (E.7) і (E.9) можна переписати залежність (E.8):

$$\sigma(t) = \int_0^t H + (B - H) \times \left(1 - \frac{t-\tau}{r}\right)^{-m} \times V_\varepsilon \times d\tau \quad (\text{E.10})$$

Виконаємо подальші математичні перетворення:

$$\sigma(t) = V_\varepsilon \times \int_0^t H \times d\tau + V_\varepsilon \times (B - H) \times \int_0^t \left(1 - \frac{t-\tau}{r}\right)^{-m} d\tau, \quad (\text{E.11})$$

Розглянемо кожен з інтегралів:

$$I_1 = \int_0^t H \times d\tau = H \times (t - 0) = H \times t, \quad (\text{E.12})$$

$$I_2 = \int_0^t \left(1 - \frac{t-\tau}{r}\right)^{-m} d\tau, \quad (\text{E.13})$$

Для (E.13) зробимо заміну змінних $1 - \frac{t-\tau}{r} = u$, тоді $\frac{du}{d\tau} = 0 - \frac{1}{r} \times (0 - 1)$, звідки

$$d\tau = r \times du, \quad (\text{E.14})$$

при $\tau = 0$ $u^{\text{н}} = 1 - \frac{t}{r}$, при $\tau = t$ $u^{\text{в}} = 1 - \frac{1}{r}$, тоді

$$I_2 = \int_{u^{\text{н}}}^{u^{\text{в}}} u^{-m} d\tau = r \times \int_{u^{\text{н}}}^{u^{\text{в}}} u^{-m} du \quad (\text{E.15})$$

Проінтегрувавши (2.38) отримаємо

$$I_2 = r \times \left(\frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t}{r}\right)^{1-m}}{1-m} \right) \quad (\text{E.16})$$

Підставивши значення знайдених інтегралів у (E.17) отримаємо

$$\sigma(t) = V_\varepsilon H t + V_\varepsilon (B - H) r \left(\frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t}{r}\right)^{1-m}}{1-m} \right), \quad (\text{E.17})$$

Таким чином, отримане рівняння з двома невідомими параметрами r і m .

Є можливість скористатись експериментальними даними при різних значеннях часу t_1 та t_2 , що дає можливість отримати два рівняння з двома невідомими:

$$\sigma(t_1) = V_\varepsilon H t_1 + V_\varepsilon (B - H) r \left(\frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t_1}{r}\right)^{1-m}}{1-m} \right), \quad (\text{E. 18})$$

$$\sigma(t_2) = V_\varepsilon H t_2 + V_\varepsilon (B - H) r \left(\frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t_2}{r}\right)^{1-m}}{1-m} \right). \quad (\text{E. 19})$$

Е.3 Чисельний аналіз впливу часу дії навантаження на довговічність асфальтобетонного покриття підходу до мосту на ділянці 2

Таблиця Е.1 - Розрахунок на міцність при часу дії навантаження 0,1 с.

	Матеріал шару	h шару, см	Розрах. за пружним прогином, E , МПа	Розрах. за умовою зсуво-стійкості, E , МПа	Розрахунок на розтяг при згині			
					E , МПа	R_o , МПа	α	m
1	Асфальтобетон щільний на БНД марки 60/90	4	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5
2	Асфальтобетон пористий на БНД марки 60/90	6	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
3	Асфальтобетон високопористий на БНД марки 60/90	14	2000	1200	2100	5,65	6,3	4,0

	Матеріал шару	h шару, см	Розрах. за пружним прогином, E , МПа	Розрах. за умовою зсуво-стійкості, E , МПа	Розрахунок на розтяг при згині			
					E , МПа	R_o , МПа	α	m
4	Щебенево-гравійно-піщана суміш ЦПС С-5	48	230	230		-	-	-
5	Супісок пилюватий $W_o = 0,7WT$	-	52	52		-	-	-

Таблиця Е.2 - Розрахунок на міцність при часі дії навантаження 1 с

№	Матеріал шару	h шару, см	Розрахунок на розтяг при згині			
			E , МПа	R_o , МПа	α	m
1.	Асфальтобетон щільний на БНД марки 60/90	4	2880	6,45	5,2	5,5
2.	Асфальтобетон пористий на БНД марки 60/90	6	1860	4,68	5,9	4,3
3.	Асфальтобетон високопористий на БНД марки 60/90	14	1510	3,18	6,3	4,0
4.	Щебенево-гравійно-піщана суміш	48	230	-	-	-
5.	Супісок пилюватий $W_o = 0,7WT$	-	46	-	-	-

Таблиця Е.3 - Повторний розрахунок на міцність при тривалості дії навантаження 1 сек. (Збільшення товщини шарів)

№	Матеріал шару	h шару, см	Розрахунок на розтяг при згині			
			E , МПа	R_o , МПа	α	m
1.	Асфальтобетон щільний на БНД марки 60/90	5	2880	6,45	5,2	5,5
2.	Асфальтобетон пористий на БНД марки 60/90	10	1860	4,68	5,9	4,3
3.	Асфальтобетон високопористий на БНД марки 60/90	22	1510	3,18	6,3	4,0
4.	Щебенево-піщана суміш	35	230	-	-	-
5.	Супісок пилюватий $W_o = 0,7WT$	-	46	-	-	-

Таблиця Е.4 - Повторний розрахунок на міцність при тривалості дії навантаження 1 сек. (Зміна матеріалів конструктивних шарів без зміни товщини)

№	Матеріал шару	h шару,	Розрахунок на розтяг при згині
---	---------------	--------------	-----------------------------------

		см	E , МПа	R_o , МПа	α	m
1.	Асфальтобетон щільний на БНД марки 60/90	4	2880	6,45	5,2	5,5
2.	Асфальтобетон пористий на БНД марки 60/90	8	1860	4,68	5,9	4,3
3.	Асфальтобетон пористий на БНД марки 60/90	22	1860	4,68	5,9	4,3
4.	Пінобетон	26	280	0,4	-	0,06
5.	Супісок пилюватий $W_o = 0,7WT$	-	46	-	-	-

Таблиця Е.5 - Розрахунок на міцність при часу дії навантаження 600 с.

№	Матеріал шару	h шару, см	Розрахунок на розтяг при згині			
			E , МПа	R_o , МПа	α	m
1	Асфальтобетон щільний на БНД марки 60/90	4	830	2,02	5,2	5,5
2	Асфальтобетон пористий на БНД марки 60/90	4	650	1,06	5,9	4,3
3	Асфальтобетон високопористий на БНД марки 60/90	14	510	0,64	6,3	4,0
4	Щебенево-піщана суміш	48	230	-	-	-
5	Супісок пилюватий $W_o = 0,7WT$	-	46	-	-	-

Таблиця Е.6 - Повторний розрахунок на міцність при тривалості дії навантаження 600 сек. (Збільшення товщини шарів)

№	Матеріал шару	h шару, см	Розрахунок на розтяг при згині			
			E , МПа	R_o , МПа	α	m
1	Асфальтобетон щільний на БНД марки 60/90	8	830	2,02	5,2	5,5
2	Асфальтобетон пористий на БНД марки 60/90	12	650	1,06	5,9	4,3
3	Асфальтобетон високопористий на БНД марки 60/90	18	510	0,64	6,3	4,0
4	Щебенево-піщана суміш	60	230	-	-	-
5	Супісок пилюватий $W_o = 0,7WT$	-	46	-	-	-

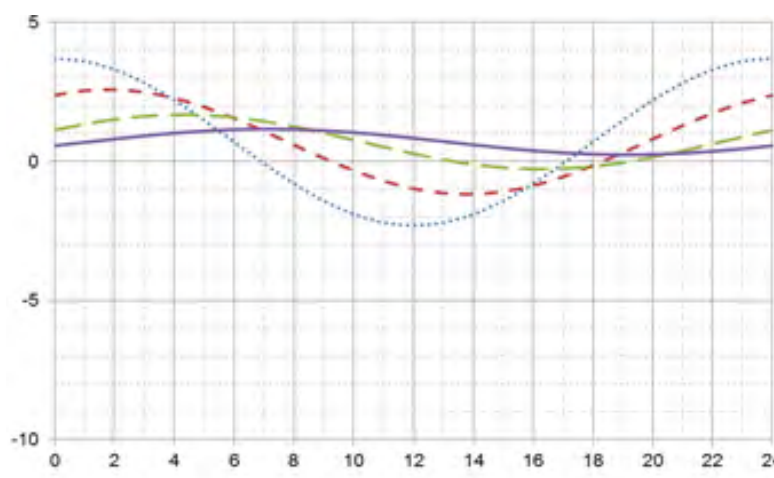
Таблиця Е.7 - Повторний розрахунок на міцність при тривалості дії навантаження 600 сек. (Зміна матеріалів конструктивних шарів)

№	Матеріал шару	h шару,	Розрахунок на розтяг при згині
---	---------------	--------------	-----------------------------------

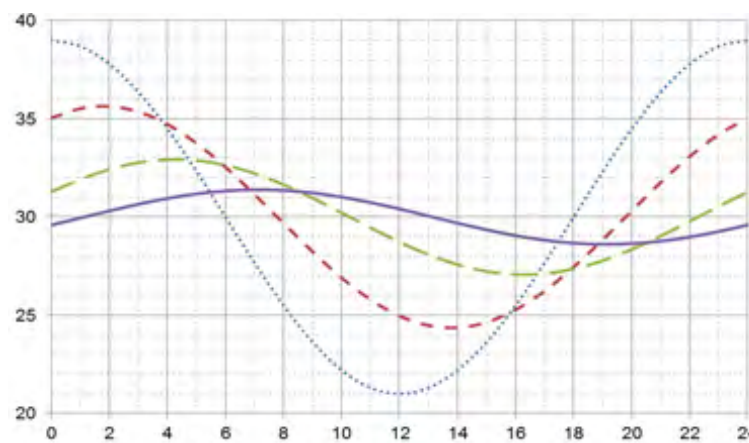
		см	E , МПа	R_o , МПа	α	m
1	Асфальтобетон щільний на БНД марки 60/90	5	830	2,02	5,2	5,5
2	Асфальтобетон пористий на БНД марки 60/90	5	650	1,06	5,9	4,3
3	Асфальтобетон пористий на БНД марки 60/90	12	650	1,06	5,9	4,3
4	Пінобетон	26	280	0,4	-	0,06
5	Супісок пиловатий $W_o = 0,7WT$	-	46	-	-	-

Е.4 Удосконалення методики вимірювання прогинів нежорсткого дорожнього одягу на поверхні асфальтобетонного покриття

Удосконалення полягають у врахуванні різниці температури на різній глибині покриття у добовому циклі зміни температури його поверхні. На прикладі рисунку Е.2 за даними [83] показано зміну температури в асфальтобетонних шарах нежорсткого дорожнього одягу у весняний та літній періоди.



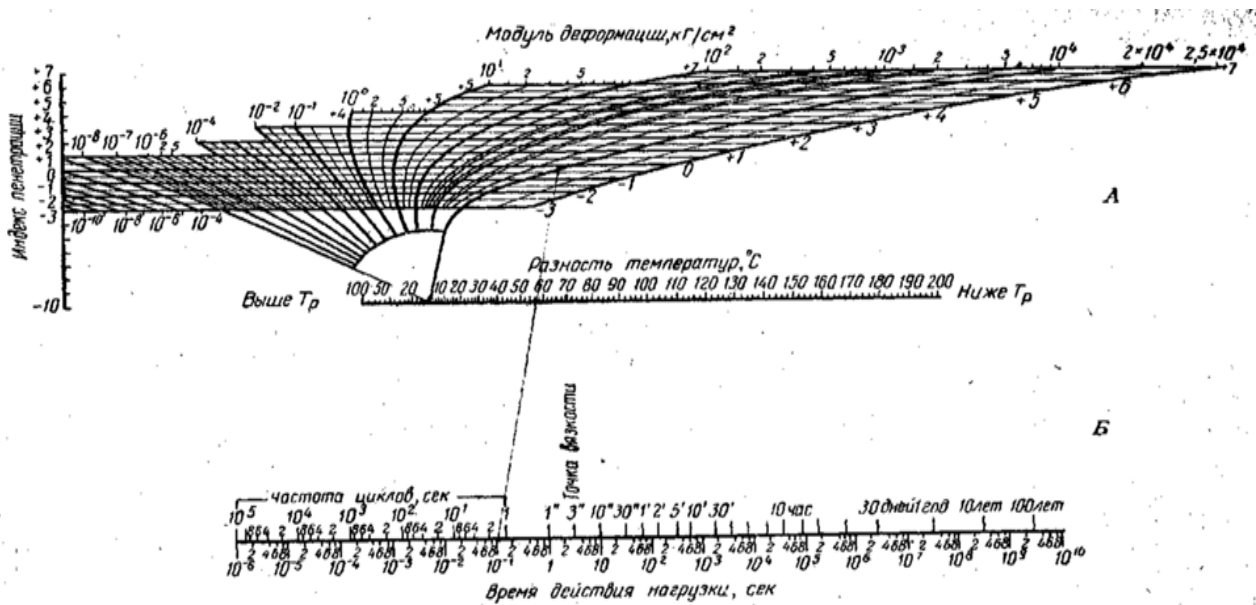
а)



б)

горизонтальна вісь – час, год; вертикальна вісь – температура асфальтобетонного покриття
 T , °C на глибині шару: 0 см, 5 см, 10 см, 20 см (графіки зображено в зазначеному порядку
 по лівому краю, зверху в низ)

Рисунок Е.2 – Коливання температури в асфальтобетонних шарах
 нежорсткого дорожнього одягу: а – весняний період; б – літній період

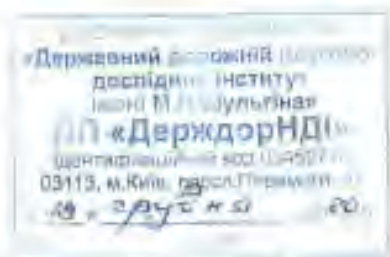


А (зверху) – шкала температур, Б (знизу) – шкала часу дії навантаження

Рисунок Е.3 – Номограма для визначення модуля пружності бітумів в залежності
 від часу дії навантаження і температури

ДОДАТОК Ж

ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРОБОК



ДОВІДКА

Видана здобувачу кафедри ДБМ і хімії Національного транспортного університету Кушніру Олександру Володимировичу в тому, що результати досліджень його дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеня кандидат технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми на тему: "Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів" було впроваджено і застосовано в багатьох роботах які виконувалися під його керівництвом та за його участю, зокрема:

- «Розробити методикку визначення ділянок автомобільних доріг, що значно знижують несучу здатність в розрахунковий період» (державний реєстраційний № 0108U004929);
- «Провести моніторинг дослідних ділянок автомобільних доріг, побудованих за наукоємними технологіями та з використанням нових матеріалів» (державний реєстраційний № 0109U006228);
- Розробити доповнення та зміни до ДСТУ Б В.2.7-119-2003 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний» з врахуванням зауважень виробників, накопиченого досвіду використання ДСТУ та сучасного стану виробництва (державний реєстраційний № 0109U004461);
- «Аналіз та формування попередніх даних щодо чинних термінів у стандартах, словниках та інш. технічній документації, що стосується автомобільних доріг, визначені поняття, що становитимуть об'єкт стандартизації. Розробка ДСТУ "Автомобільні дороги. Терміни та визначення"» (державний реєстраційний № 0110U007009);
- «Провести дослідження та розробити методикку випробування захисних та відновлюючих складів для асфальтобетонних покриттів (технологія просочення асфальтобетону)» (державний реєстраційний № 0112U004899);
- «Дослідити сучасні дорожньо-будівельні матеріали для влаштування асфальтобетонних покриттів та розробити рекомендації з ефективного їх використання в конструкціях дорожнього одягу» (державний реєстраційний № 0112U004900);
- «Розробити зміну до ДСТУ Б В.2.7-127:2006. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові» (державний реєстраційний № 0112U004355);
- «Переглянути ТУ У В.2.7-45.2-00018112-208-2002 «Суміші литі емульсійно-мінеральні та холодні асфальтобетонні. Технічні умови» та розробити на їх заміну СОУ» (державний реєстраційний № 0113U005442);
- «Провести дослідження та розробити галузевий стандарт на технічні умови на чорний щебінь для дорожніх робіт» (державний реєстраційний № 0114U006229);
- «Провести дослідження та розробити пропозиції щодо адаптації вимог EN 12697-30 та EN 12697-35 у національних стандартах на випробування дорожніх асфальтобетонів» (державний реєстраційний № 0114U003578).

Заступник директора з наукової роботи,
ДІП «ДерждорНД»,
кандидат технічних наук, доцент



Володимир КАСЬКІВ



Д о в і д к а

про впровадження результатів розробок здобувача кафедри ДБМ і хімії
Національного транспортного університету
Кушніра Олександра Володимировича

Даною довідкою підтверджується, що розробки здобувача Кушніра О.В. з підвищення довговічності асфальтобетонного покриття отримали практичне застосування при проектуванні, реконструкції, капітальному ремонті автомобільних доріг загального користування державного значення.

Здобувач Кушнір О.В. був керівником і співавтором національних стандартів, рекомендацій, методик та інших технічних документів у галузі дорожнього господарства, зокрема:

- «Провести моніторинг дослідних ділянок автомобільних доріг, побудованих за наукоємними технологіями та з використанням нових матеріалів» (0108U004029);
- «Розробити методику визначення ділянок автомобільних доріг, що значно знижують несучу здатність в розрахунковий період» (номер державної реєстрації 0108U004929);
- «Провести моніторинг дослідних ділянок автомобільних доріг, побудованих за наукоємними технологіями та з використанням нових матеріалів» (0109U006228);
- Розробити доповнення та зміни до ДСТУ Б В.2.7-119-2003 "Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний" з врахуванням зауважень виробників, накопиченого досвіду використання ДСТУ та сучасного стану виробництва (0109U004461);
- Створити і заповнити електронну аналітичну базу для збору та зберігання даних моніторингу нових технологій та матеріалів (0111U007308)
- «Провести дослідження та розробити методику випробування захисних та відновлюючих складів для асфальтобетонних покриттів (технологія просочення асфальтобетону)» (0112U004899);

- «Провести дослідження та розробити пропозиції щодо адаптації вимог EN 12697-30 та EN 12697-35 у національних стандартах на випробування дорожніх асфальтобетонів» (0114U003578);
- «Розробити зміну до ДСТУ Б В.2.7-127:2006. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові» (0112U004355);
- «Аналіз та формування попередніх даних щодо чинних термінів у стандартах, словниках та інш. технічній документації, що стосується автомобільних доріг, визначень понять, що становитимуть об'єкт стандартизації. Розробка ДСТУ "Автомобільні дороги. Терміни та визначення"» (0110U007009);
- «Переглянути ТУ У В.2.7-45.2-00018112-208-2002 «Суміші литі емульсійно-мінеральні та холодні асфальтобетонні. Технічні умови» та розробити на їх заміну СОУ» (0113U005442);
- «Провести дослідження та розробити галузевий стандарт на технічні умови на чорний щебінь для дорожніх робіт» (0114U006229);
- «Дослідити сучасні дорожньо-будівельні матеріали для влаштування асфальтобетонних покриттів та розробити рекомендації з ефективного їх використання в конструкціях дорожнього одягу» (0112U004900).

Начальник відділу
інноваційного розвитку
Департаменту технічного
забезпечення та інноваційного
розвитку



Олександр ТИМОЩУК

ДЕРЖАНЕ АГЕНСТАВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ



ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО – УКРАЇНСЬКИЙ
ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ З ПРОЕКТУВАННЯ
ОБ'ЄКТІВ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРДІПРОДОР



03680, м. Київ, Повітрофлотський пр-кт, 39/1
тел./факс: (044) 206-64-30
e-mail: okt@diprodor.com

"22" 12 2020 р.

№ 1790-01

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми
здобувача кафедри ДБМ і хімії Національного транспортного університету
Кушніра Олександра Володимировича

Цією довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи Кушніра Олександра Володимировича впроваджені у проектну діяльність підприємства під час виконання аналізу умов роботи конструкцій дорожнього одягу в добовому і річному циклах при зміні температури.

Розроблена під його керівництвом «методика визначення ділянок автомобільних доріг, що значно знижують несучу здатність в розрахунковий період» та різні підходи, щодо проектування варіантів дорожніх конструкцій мостового полотна були впроваджені при коригуванні проектно-кошторисної документації на будівництво автотранспортної магістралі через р. Дніпро в м. Запоріжжі (автомобільна дорога Н-08 Бориспіль-Дніпро-Запоріжжя (через м. Кременчук)-Маріуполь «Під'їзд до о. Хортиця (автотранспортна магістраль через р. Дніпро у м. Запоріжжі)») по договору № 310АМ-12/68-12 від 19.06.2012 року. (між Службою автомобільних доріг у Запорізькій області та ДП "Укрдінродор").

В.о. Директора



П.В. Майбородюк



INTERNATIONAL DESIGN INSTITUTE

ДОВІДКА

про впровадження результатів розробок здобувача
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
Кушніра Олександра Володимировича

Даною довідкою підтверджується, що розробки здобувача Кушніра О.В. з підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів отримали практичне застосування при виконанні роботи під керівництвом керівника НДР завідувача кафедрою дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, д.т.н., професора В.В. Мозгового: «Науково-технічний супровід влаштування конструкції дорожнього одягу на транспортних спорудах по об'єктах КП «Дирекція будівництва шляхово-транспортних споруд м. Києва»

Головний інженер
ТОВ «Міжнародний проєктний інститут»
к.т.н., ст.наук.співр.



А.Є. Фаль

ТОВ «АЙПІТІ ТРЕЙДІНГ»

вул. Куренівська, буд. 21, «Г»
04073, м. Київ,
Тел./факс: (044) 201-54-91
Код ЄДР 37371491,
ІПН 373714926548



IPT Traiding LTD

21G, Kurenivska str.,
04073 Kiev
tel/fax (044) 201-54-91
Code 37371491,
VAT N.373714926548

№ 135
від 18.12.2020

м. Київ

ДОВІДКА про впровадження результатів розробок

здобувача кафедри ДБМ і хімії Національного транспортного університету
Кушніра Олександра Володимировича

Видана Кушніру Олександрові Володимировичу в тому, що наукові розробки його дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеня кандидат технічних наук на тему: "Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів" та накопичений досвід знайшли своє практичне застосування при влаштуванні асфальтобетонних та щебеневих-мастикових покриттів на об'єктах таких наших замовників:

- Представництво «ОНУР ТААХХУТ ТАШИМАДЖИЛИК ПІШААТ ТІДЖАРЕТ ВЕ САНАІ Анонім ШІРКЕТІ», (дорога М-03, М-06);
- ТОВ «ОНУР КОНСТРУКЦІОН ІНТЕРНЕСНІЛІ», (в-ст Перемоги, в-ст Вернадського, вул. Ак. Заболотного, м. Київ);
- ТОВ «АВТОМАГІСТРАЛЬ ПІВДЕНЬ», м. Одеса (М-02, М-03, Р-31, М-11, М-14, Н-22, Р-15, М-05, Н-08, М-18, Р-52, М-07, М-06, Н-31, Р-51, Т-15-04, Н-11, М-04, Т-05-14);
- ТОВ «ДСУ-56», м. Хмельницький (дорога М-12, Н-03, Т-20-08 (обхід Дунаївців);
- ТОВ «СПЕЦАВТОІНВЕСТ», м. Тернопіль (М-19, М-09, М-12, М-06, Р-41 обхід Тернополя);
- ТОВ «ІНТЕРВІАС УКРАЇНА», м. Вінниця (М-12, М-21);
- ТОВ «ДРОГ-БУД УКРАЇНА», (Т-14-18, Т-14-04);
- ПрАТ «КОММУНТРАНС», м. Бровари (Н-01, Н-14 ділянки по Кіровоградській області);
- ТОВ «СЛАВДОРСТРОЙ», м. Слов'янськ (М-03);
- ТОВ «ШЛЯХБУД», м. Вінниця (М-21, М-12);
- ПрАТ «ДСУ-50», м. Бровари (М-07, реконструкція по Києву);
- ІПН «АВТОМАГІСТРАЛЬ», (М-21).

Директор

Калма В.М.

Вих. № 146
8.12.17.12.2020

ДОВІДКА

Видана здобувачу кафедри ДБМ і хімії Національного транспортного університету Кушніру Олександровичу Володимировичу в тому, що наукові розробки та практичні рекомендації його дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеня кандидат технічних наук на тему: "Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів" за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми знайшли своє практичне застосування при розробленні рецептур наших продуктів, рекомендацій, методик та технічних документів до них, безпосередньо у галузі дорожнього господарства.

Директор
ТОВ «АЙПІТІ ПРОДАКШН»



Кучеренко Н.В.

013762



УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, т.ф. +38 (044) 280 82 03, т. +38 (044) 280 87 65
 e-mail: general@ntu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070915

20.04.2021 № 1133/01
 на № _____

ДОВІДКА

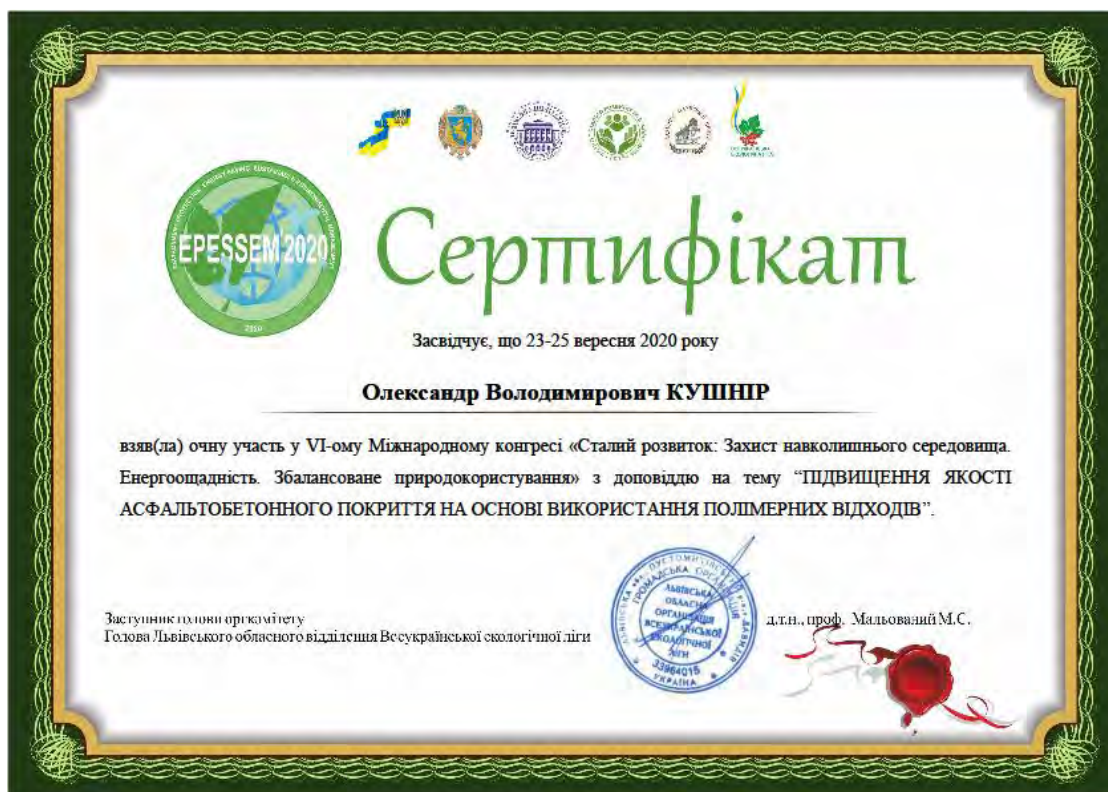
про впровадження результатів науково-дослідної роботи

Результати дисертаційної роботи Кушніра О.В. за темою «Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на підходах до автодорожніх мостів» впроваджено у навчальний процес на факультеті транспортного будівництва при читанні лекцій, проведенні лабораторних та практичних занять з дисциплін: «Механіка дорожніх одягів», «Сучасні матеріали для автомобільних доріг», а також при написанні дипломних проектів та магістерських робіт.

Проректор з навчальної роботи НТУ,
 професор



О.К. Грищук



ДОДАТОК 3

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати
дисертації:**

**Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які
включені до міжнародних наукометричних баз:**

1. Kushnir O.V., Hamelak I.P., Raikovsky V.F. Design of a design of road clothes for transportation of heavy and large-sized freights by roads of Ukrain. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VIII(30), Issue: 244, P. 53-62. Budapest, 2020 Dec URL: <https://doi.org/10.31174/SEND-NT2020-244VIII30>

Статті у фахових виданнях:

2. Кушнір О. В. Аналіз існуючих підходів проектування зон сполучення мостів з насипами. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2019. Вип. 106. С. 97-104. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/106/97.pdf

3. Кушнір О. В. Забезпечення довговічності дорожнього одягу на підходах до мостів з асфальтобетонним покриттям. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2020. Вип. 107. С. 63-70.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/107/63.pdf

4. Кушнір О. В. Солодкий С. Й. Особливості напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу на підходах до мостових споруд в зоні перехідних плит. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2020. Вип. 108. С. 46-58.

URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/108/46.pdf

5. Кушнір О. В., Коваль П. М., Боднар Л. П., Панібратець Л. Г. Робота асфальтобетонного покриття в зоні примикання деформаційних швів на автодорожніх мостах. *Дороги і мости*. Київ, 2015. Вип. 15. С. 87-93. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/robota-asfalytobetonno-go-pokrittya-v-zoni-primikannya-deformaciynih-shviv-na-avtodoroghnih-mostah>

6. Коваль П.М., Кушнір О.В., Мартинов В.І. Методика проектування складів пінобетону з необхідними властивостями на підставі експериментально-статистичних моделей. *Дороги і мости*. Київ, 2008. Вип. 10. С. 130-136. URL: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/%D0%A1%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA_10.pdf

7. Мартинов В.І., Фаль А.Є., Кушнір О.В. Пінобетон для будівництва основ дорожніх одягів. *Вісник*. Одеса, 2007. Вип. №27 С. 219-224 (с. 375).

8. Мартинов В.І., Коваль П.М., Кушнір О.В. Вплив водопотреби розчинної суміші та щільності пінобетону на його міцність. *Вісник*. Одеса, 2008. Вип. №31 С. 229-237. (с. 407).

9. Коваль П.М., Кушнір О. В., Фаль А.Є. Перспективи застосування пінобетону в дорожньому і мостовому будівництві. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2006. Вип. 73. С. 148-151.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

10. Кушнір О.В., Коваль П.М., Фаль А.Є. Перспективи застосування пінобетону в дорожньому будівництві. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*: збірн. наук. праць. Вип. 14. Рівне. 2006. С. 64-67.

11. Кушнір О.В., Коваль П.М., Фаль А.Є., Мартинов В.І. Пінобетон для дорожнього будівництва. *Компьютерное материаловедение и прогрессивные технологии*. Одеса. 2008. С. 204-207 (с. 227).

12. Кушнір О.В. Забезпечення довговічності дорожнього одягу на підходах до мостів з асфальтобетонним покриттям. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету Національного транспортного університету*: тези доповідей. К.: НТУ, 2020. С. 193.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. Кушнір О.В., Катукова В.М., Кулак Є.М. Моніторинг нових технологій і матеріалів для ремонту і утримання автомобільних доріг. *Дороги і мости*: зб. наук праць. Київ, 2010. Вип. 12. С. 74-80. URL: <http://dorogimosti.org.ua/ua/monitoring-novih-tehnologiy-i-materialiv-dlya-remontu-i-utrimannya-avtomobilynih-dorig>

14. Кушнір О.В. Катукова В.М., Закерничний О.В. Інформаційні технології в системі моніторингу сучасних технологій і матеріалів. *Автомобільні дороги*. Київ. 2012. Вип. № 4 С. 25-30.

15. Кушнір О.В., Катукова В.М. Інновації в дорожньому господарстві України. *Дороги і мости*. Київ. 2014. Вип. 14 С. 21-27.

URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2014_14_5

16. Кушнір О.В., Гончаренко В.В., Рудий В.В. Сучасні умови застосування чорного щебеню в шарах нежорстких дорожніх одягів. *Дороги і мости*. Київ, 2014. Вип. 14. С. 5-14. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2014_14_3

17. Кушнір О.В., Гончаренко В.В., Катукова В.М., Оксень Є.І. Моніторинг ефективності застосування нових матеріалів і технологій при реконструкції автомобільних доріг. *Автошляховик України*: наук.-виробн. журнал. Київ. 2015. № 6. С. 20-23. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2015_6_7

18. Кушнір О.В., Катукова В.М. Інновації в дорожньому господарстві України. *Дороги і мости*: зб. наук праць. Київ, 2015. Вип. 14 С. 21-28. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dim_2014_14_5