

Міністерства освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОСТІН ДМИТРО ЮРІЙОВИЧ

УДК 625.7/8

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО НАКОПИЧЕННЯ ПЛАСТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

19 – 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
_____ Д.Ю. Костін

Науковий керівник –
Жданюк Валерій Кузьмович
доктор технічних наук,
професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д 64.059.01
_____ Р.В. Смолянчук

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Костін Д.Ю. Підвищення стійкості до накопичення пластичних деформацій щебенево-мастикових асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Харківський національний автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021 р.

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача, що полягає у підвищенні довговічності покриттів дорожніх одягів влаштованих з щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей за критеріями міцності та стійкості до утворення колії.

В роботі теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що просторовий мінеральний кістяк в щебенево-мастикових асфальтобетонах відіграє провідну роль в забезпеченні їхньої стійкості до накопичення пластичних деформацій.

Наведені результати експериментальних досліджень впливу марочної в'язкості дорожніх бітумів на фізико-механічні властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів різних гранулометричних типів. Показано, що зі зменшенням максимального розміру зерен щебеню у складі мінеральної частини щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей та зростанням марочної в'язкості бітуму, використаного для їх приготування, показники міцності щебенево-мастикових асфальтобетонів зростають. Встановлено, що більші значення коефіцієнта внутрішнього тертя властиві щебенево-мастиковим асфальтобетонам з більшим розміром зерен щебеню.

Показано, що додавання полімерних добавок до бітумів та природніх бітумів безпосередньо у асфальтозмішувач під час приготування щебенево-мастикової суміші, сприяє зменшенню показника стікання вязучого з поверхні

мінеральних зерен та підвищенню показників міцності щебенево-мастикових асфальтобетонів всіх гранулометричних видів.

За результатами порівняльних досліджень колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів різних гранулометричних видів в умовах багаторазових циклічних навантажень при різних температурах та рівнях навантаження на колесо встановлено, що зі збільшенням розміру зерен щебеню та їхнього вмісту у складі мінеральної частини глибина колії зменшується. Експериментально встановлено, що серед дрібнозернистих щебенево-мастикових асфальтобетонів колієстійкість найбільш інтенсивно зростає за умови збільшення у складі мінеральної частини максимального розміру зерен щебеню від 5 мм до 10 мм (глибина колії за температури 60 °С в ЩМА-10 на бітумі БНД 60/90 зменшується в 2,4 см, порівняно з ЩМА-5).

В дисертаційній роботі наведені результати порівняльних експериментальних досліджень стійкості до колієутворення дрібнозернистих та крупнозернистого щебенево-мастикового асфальтобетонів. Показано, що щебенево-мастиковим асфальтобетонам на бітумах більшої марочної в'язкості властиві більша колієстійкість.

Показано, що за температури 50 °С всім видам щебенево-мастикових асфальтобетонів властива достатньо висока стійкість до накопичення пластичних деформацій у вигляді колії (після 30000 проходів колеса глибина колії коливається в межах від 2,75 мм до 3,75 мм). Встановлено, що зі зростанням температури асфальтобетонного покриття вище 50 °С щебенево-мастикові асфальтобетони різних гранулометричних видів за критерієм колієстійкості відрізняються один від одного більш суттєво. Експериментально встановлено, що більш інтенсивне наростання глибини колії за підвищення температури асфальтобетонного покриття від 50 °С до 65 °С властиве щебенево-мастиковим асфальтобетонам з меншим розміром зерен щебеню. Отримані результати експериментальних досліджень свідчать про більший опір колієутворенню в експлуатаційному діапазоні температур щебенево-мастикових асфальтобетонів з більшим максимальним розміром зерен щебеню, порівняно з ЩМА з мінімальним

розміром зерен щебеню. Порівняльні дослідження колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів різних гранулометричних видів показали, що збільшення у складі мінеральної частини максимального розміру зерен щебеню з 10 мм до 40 мм викликає зменшення глибини колії у 1,8 рази.

При цьому експериментально встановлено, що більш інтенсивному наростанню глибини колії зі збільшенням температури покриття додатково сприяє зростання величини тиску колеса транспортного засобу на поверхню шару щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття дорожньої конструкції.

Встановлено, що використання для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей бітумів, модифікованих полімерами класу термоеластопластів, більше позначається на підвищенні колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів з меншим розміром щебеню.

Експериментально доведено, що використання природних бітумів для модифікації бітумів та щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей безпосередньо у асфальтозмішувачі на етапі їхнього приготування, викликає зростання показників міцності та колієстійкості, порівняно з ЩМАС, приготовлених на вихідному бітумі.

Визначено залежності розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів різних гранулометричних видів від марочної в'язкості бітумів, використаних для їхнього приготування. Експериментально підтверджено зростання значень модуля пружності та границі міцності за згину щебенево-мастикових асфальтобетонів на основі модифікованих полімерами бітумів, які є розрахунковими характеристиками, що необхідні для розрахунку конструкцій нежорстких дорожніх одягів. Встановлено, що зі зменшенням максимального розміру зерен щебеню у складі щебенево-мастикового асфальтобетону та збільшенням марочної в'язкості бітуму, використаного для приготування суміші, значення розрахункових модулів пружності та границі міцності за згину зростають.

Здійснено дослідно-виробничу перевірку результатів досліджень в дорожньо-будівельних організаціях при будівництві шарів покриттів дорожніх

одягів підвищеної довговічності за критерієм колієстійкості. Результати досліджень впроваджені у виробничих умовах під час ремонтів дорожніх одягів на автомобільних дорогах у межах Харківської, Волинської та Івано-Франківської областей шляхом влаштування стійких до накопичення пластичних деформацій щебенево-мастикових асфальтобетонних шарів покриття. Результати дисертаційного дослідження впроваджено при розробленні трьох стандартів та двох галузевих рекомендацій.

Ключові слова: щебенево-мастиковий асфальтобетон, бітум, щебінь, фізико-механічні властивості, колієстійкість, розрахункові характеристики, полімерні добавки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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. Zhdaniuk V., Volovyk O., Kostin D., Lisovin S. An investigation of the effect of thermoplastic additives in asphalt concrete mixtures on the properties of different types of asphalt concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №2/6 (110). P. 61-70. DOI:1015587/1729-4061.2021.227806

Статті у фахових виданнях:

2. Жданюк В.К., Гнатенко Р.Г., Костін Д.Ю. Впровадження технології влаштування покриттів із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей на модифікованих бітумах *Автошляховик України*. 2009. №2. С.28-31.

3. Жданюк В.К., Чугуєнко С.А., Воловик О.О., Костін Д.Ю. Підвищення колієстійкості асфальтобетонних покриттів нежорстких дорожніх одягів. *Автошляховик України*. 2010. №5. С. 29-32.

4. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Результати порівняльних досліджень властивостей асфальтобетонів з добавкою “TRINIDAD EPURÉ Z0/8”. *Автошляховик України*. 2011. №5. С.38-43.

5. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Дослідження колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів при різних температурах. *Автошляховик України*. 2012. №2. С.25-29.

6. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Арінущкіна О.О. Властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів на модифікованих бітумах *Автошляховик України*. 2012. №6. С. 23-27.

7. Жданюк В.К. Костін Д.Ю. Вплив модифікації бітумів на властивості та колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів. *Науково-технічний збірник, «Автомобільні дороги та дорожнє будівництво»*. 2017. №100. С. 57-67.

8. Жданюк В.К. Костін Д.Ю. Дослідження довговічності щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів за критерієм морозостійкості. *Збірник наукових праць, «Дороги і мости»*. 2017. №17. С.61-66. DOI:10.36100/dorogimosti2017.17.061

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів. *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету*. Харків. 2010. С.98-102.

10. Жданюк В.К., Костін Д.Ю. Дослідження розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів. *Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції за участю молодих вчених «Еколого-правові і економічні аспекти екологічної безпеки регіонів»*. Харків. 2011. С.196-200.

11. Жданюк В.К., Циркунова К.В., Воловик О.О., Костін Д.Ю. Щодо факторів, які впливають на колієутворення в асфальтобетонних шарах дорожніх одягів. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве:*

Материалы X международной научно-технической интернет-конференции. Харьков. 2011. С.154-156.

12. Жданюк В.К., Макаrchев О.А., Костин Д.Ю., Воловик А.А. Исследование свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона на модифицированных битумах. *Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов: Материалы международной научно-практической конференции с участием студентов и молодых ученых.* Харьков. 2012. С.124-129.

13. Жданюк В.К. Костин Д.Ю. Исследование колееустойчивости щебеночно-мастичных асфальтобетонов при разных температурах. *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: Материалы международной научно-практической конференции.* Пермь. 2013. Том 3. С. 197-203.

14. Жданюк В.К., Костин Д.Ю., Воловик А.А., Аринушкина Е.А. Исследование влияния модифицированных битумов на свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонов. *Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России. Материалы VII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.* Волгоград. 2013. С.119-124.

15. Жданюк В.К., Костин Д.Ю., Макаrchев О.О. Дослідження впливу термопласти на властивості щебенево-мастикового асфальтобетону. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: Материалы XI международной научно-технической интернет-конференции.* Харьков. 2014. С.11-15.

16. Жданюк В.К. Костин Д.Ю. Дослідження властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЦМА-40 на основі бітумів різних марок. *Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг».* Харків. 2016. С. 132-135.

ABSTRACT

Kostin D. Increasing of the resistance to the plastic deformations accumulation of stone mastic asphalt pavements. – On the rights of the manuscript.

Thesis for a Candidate of Technical Sciences degree by speciality 05.22.11 – Motor Roads and Airfields (192 – Construction and Civil Engineering). – Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 2021.

The thesis covers an important scientific and practical problem which lies in the increase of the durability of the pavements made of stone mastic asphalt mixtures on the criteria of strength and rutting formation resistance.

The paper theoretically substantiates and experimentally confirms that the spatial mineral skeleton in stone mastic asphalt concretes plays a key role in ensuring their resistance to the accumulation of plastic deformations.

The results of experimental researches of grade viscosity influence of road bitumens on physical and mechanical properties of stone mastic asphalt concretes of various granulometric types are presented. It is shown that with the decrease of the maximum grain size of crushed stone in the mineral part of stone mastic asphalt concrete mixtures and the increase of the grade viscosity of bitumen used for their preparation the strength indexes of stone mastic asphalt concrete increase. It is established that higher values of the coefficient of internal friction are peculiar to stone mastic asphalt concretes with a larger grain size of crushed stone.

It is shown that the addition of polymer additives to bitumens and natural bitumens directly into the asphalt mixer during the preparation of stone mastic mixture reduces the draindown of binder from the surface of mineral grains and increases the strength of stone mastic asphalt concrete of all granulometric types.

According to the results of comparative studies of rutting resistance of stone mastic asphalt concretes of different granulometrical types in the conditions of repeated cyclic loadings at different temperatures and wheel load levels it is established that with increasing of the crushed stone grain size and their content in the mineral part the rut depth decreases. It is experimentally established that among fine-graded stone mastic

asphalt concretes the rutting resistance increases most intensively with increasing of the maximum grain size of crushed stone from 5 mm to 10 mm (rut depth at 60 °C in SMA-10 based on BND 60/90 bitumen decreases by 2,4 cm in comparison with SMA-5).

The thesis presents the results of comparative experimental studies of resistance to rutting formation of fine-graded and coarse-graded stone mastic asphalt concretes. It has been shown that stone mastic asphalt concretes based on bitumens of higher grade viscosity have higher rutting resistance.

It is shown that at a temperature of 50 °C all types of stone mastic asphalt concretes are characterized by a sufficiently high resistance to the accumulation of plastic deformations in the form of rut (after 30000 passes of the wheel rut depth varies from 2,75 mm to 3,75 mm). It is established that with the increase of asphalt concrete pavement temperature above 50 °C the stone mastic asphalt concretes of different granulometric types differ more significantly from each other by the criterion of rutting resistance. It has been experimentally established that a more intensive increase of rut depth with the increase of asphalt pavement temperature from 50 °C to 65 °C is proper to stone mastic asphalt concretes with smaller crushed stone grain size. The obtained results of experimental researches testify to bigger resistance to rutting formation in the operational range of temperatures of stone mastic asphalt concretes with the bigger maximum size of grains of crushed stone in comparison with SMA with the minimum size of grains of crushed stone. Comparative studies of rutting resistance of stone mastic asphalt concretes of different granulometric types showed that the increase in the composition of the mineral part of the maximum grain size of crushed stone from 10 mm to 40 mm causes a decrease of rut depth by 1,8 times.

It was experimentally established that more intense increase of the rut depth with increasing of pavement temperature is further facilitated by the increase of the vehicle wheel pressure on the surface of the layer of stone mastic asphalt pavement.

It is established that the use of bitumen modified by polymers of the thermoelastoplast class for the preparation of stone mastic asphalt concrete mixtures has a greater effect on the increasing of the rutting resistance of stone mastic asphalt concrete with a smaller crushed stone size.

It is experimentally proved that the usage of natural bitumens for modification of bitumens and stone mastic asphalt mixtures directly in the asphalt mixer at the stage of their preparation causes an increase of strength and rutting resistance in comparison with SMAS prepared on the initial bitumen.

The dependences of the design characteristics of stone mastic asphalt concrete of different granulometric types on the grade viscosity of bitumens used for their preparation are determined. The growth of the values of the modulus of elasticity and bending tensile strength of stone mastic asphalt concretes based on the polymer-modified bitumens, which are the design characteristics required for the calculation of non-rigid pavement structures, has been experimentally confirmed. It is established that with the decrease of the maximum grain size of crushed stone in the composition of stone mastic asphalt concrete and the increase of the grade viscosity of bitumen used for preparation of the mixture the values of calculated modulus of elasticity and bending tensile strength increase.

The research and production check of the research results in the road-building organizations during the construction of pavement layers of the increased durability by criterion of rutting stability is carried out. The results of the research are implemented in production conditions during road maintenance on highways in Kharkiv, Volyn and Ivano-Frankivsk regions by arrangement resistant to accumulation of plastic deformations of stone mastic asphalt concrete pavement layers. The results of the thesis research were implemented during the development of three standards and two industry recommendations.

Key words: stone mastic asphalt concrete, bitumen, crushed stone, physical and mechanical properties, rutting resistance, design characteristics, polymer additives

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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. Zhdaniuk V., Volovyk O., Kostin D., Lisovin S. An investigation of the effect of thermoplastic additives in asphalt concrete mixtures on the properties of different types of asphalt concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №2/6 (110). P. 61-70. DOI:1015587/1729-4061.2021.227806

Статті у фахових виданнях:

2. Жданюк В.К., Гнатенко Р.Г., Костін Д.Ю. Впровадження технології влаштування покриттів із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей на модифікованих бітумах *Автошляховик України*. 2009. №2. С.28-31.

3. Жданюк В.К., Чугуєнко С.А., Воловик О.О., Костін Д.Ю. Підвищення колієстійкості асфальтобетонних покриттів нежорстких дорожніх одягів. *Автошляховик України*. 2010. №5. С. 29-32.

4. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Результати порівняльних досліджень властивостей асфальтобетонів з добавкою “TRINIDAD EPURÉ Z0/8”. *Автошляховик України*. 2011. №5. С.38-43.

5. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Дослідження колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів при різних температурах. *Автошляховик України*. 2012. №2. С.25-29.

6. Жданюк В.К., Костин Д.Ю., Арінушкіна О.О. Властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів на модифікованих бітумах *Автошляховик України*. 2012. №6. С. 23-27.

7. Жданюк В.К. Костін Д.Ю. Вплив модифікації бітумів на властивості та колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів. *Науково-технічний збірник, «Автомобільні дороги та дорожнє будівництво»*. 2017. №100. С. 57-67.

8. Жданюк В.К. Костін Д.Ю. Дослідження довговічності щебеневомастикових асфальтобетонів різних видів за критерієм морозостійкості. *Збірник наукових праць, «Дороги і мости»*. 2017. №17. С.61-66. DOI:10.36100/dorogimosti2017.17.061

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Колієстійкість щебеневомастикових асфальтобетонів різних видів. *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету*. Харків. 2010. С.98-102.

10. Жданюк В.К., Костін Д.Ю. Дослідження розрахункових характеристик щебеневомастикових асфальтобетонів. *Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції за участю молодих вчених «Еколого-правові і економічні аспекти екологічної безпеки регіонів»*. Харків. 2011. С.196-200.

11. Жданюк В.К., Циркунова К.В., Воловик О.О., Костін Д.Ю. Щодо факторів, які впливають на колієутворення в асфальтобетонних шарах дорожніх одягів. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: Материалы X международной научно-технической интернет-конференции*. Харьков. 2011. С.154-156.

12. Жданюк В.К., Макарьев О.А., Костин Д.Ю., Воловик А.А. Исследование свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона на модифицированных битумах. *Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов: Материалы международной научно-практической конференции с участием студентов и молодых ученых*. Харьков. 2012. С.124-129.

13. Жданюк В.К. Костин Д.Ю. Исследование колееустойчивости щебеночно-мастичных асфальтобетонов при разных температурах. *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: Материалы международной научно-практической конференции*. Пермь. 2013. Том 3. С. 197-203.

14. Жданюк В.К., Костин Д.Ю., Воловик А.А., Аринушкина Е.А. Исследование влияния модифицированных битумов на свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонів. *Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России. Материалы VII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Волгоград. 2013. С.119-124.

15. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Макарчев О.О Дослідження впливу термопласти на властивості щебенево-мастикового асфальтобетону. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: Материалы XI международной научно-технической интернет-конференции*. Харьков. 2014. С.11-15.

16. Жданюк В.К. Костін Д.Ю. Дослідження властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЦМА-40 на основі бітумів різних марок. *Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг»*. Харків. 2016. С. 132-135.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТЯННЯ ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ....	23
1.1 Вплив внутрішніх та зовнішніх чинників на зсувостійкість асфальтобетонних шарів дорожніх одягів	23
1.2 Досвід та переваги використання щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей під час дорожнього будівництва в різних країнах світу.....	28
1.3 Висновки по розділу. Мета та задачі дослідження.....	44
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	47
2.1 Вплив складників асфальтобетону на стійкість до колієутворення.....	47
2.2 Програма експериментальних досліджень.....	53
2.3 Висновки по розділу.....	54
РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ....	56
3.1 Властивості мінеральних матеріалів.....	56
3.2 Властивості органічних в'язучих.....	60
3.3 Методи та обладнання, прийняті для досліджень	64
3.4 Фізико-механічні властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів, прийнятих для досліджень.....	67
3.5 Висновки по розділу.....	74
Розділ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	75
4.1 Дослідження впливу температури та величини тиску колеса на колієстійкість дрібнозернистих щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів.....	75
4.2 Дослідження впливу природних бітумів на колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів.....	81
4.3 Підвищення колієстійкості дрібнозернистих щебенево-мастикових асфальтобетонів модифікацією бітумів полімерами.....	85
4.4 Результати визначення розрахункових характеристик дрібнозернистих щебенево-мастикових асфальтобетонів.....	89
4.5 Результати дослідження властивостей крупнозернистого щебенево-	

мастикового асфальтобетону	91
4.6 Висновки по розділу.....	98
РОЗДІЛ 5 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЧОЇ ПЕРЕВІРКИ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	101
5.1 Рекомендації щодо раціонального використання асфальтобетонних сумішей різних типів і видів при будівництві колієстійких шарів дорожніх одягів автомобільних доріг загального користування.....	101
5.2 Результати будівництва стійких до накопичення пластичних деформацій щебенево-мастикових асфальтобетонних покриттів	110
5.3 Розробка нормативно-технічних документів.....	128
5.4 Техніко-економічна ефективність використання щебенево-мастикових асфальтобетонів в шарах покриття.....	130
5.5 Висновки по розділу.....	135
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	137
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	140
ДОДАТОК А РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ ТА МИТТЄВОГО ЗЧЕПЛЕННЯ ДЛЯ ОКРЕМО ВИДІЛЕНИХ ФРАКЦІЙ З МІНЕРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ЦМА ТА РОЗРАХУНКУ ЗСУВНИХ НАПРУЖЕНЬ В ЦМА.....	153
ДОДАТОК Б ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	159
ДОДАТОК В ВІДОМОСТІ РЕСУРСІВ.....	168
ДОДАТОК Г СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....	173

ВСТУП

Актуальність роботи. Значне зростання в останні десятиліття частки великовагових вантажівок у транспортному потоці та інтенсивності їх руху викликають пластичне деформування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу влітку за високих експлуатаційних температур. Наслідком пластичного деформування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу є утворення колій, напливів, хвилястості, які спостерігаються на поверхні шару покриття. Результати обстежень стану автомобільних доріг вказують на те, що найбільш враженими пластичними деформаціями є ділянки перехідно-швидкісних смуг на крутих підйомах, ділянки перед світлофорами та з уповільненим рухом багатотоннажних вантажівок.

Вітчизняний та закордонний досвід показує, що використання для будівництва нежорстких дорожніх одягів асфальтобетонних сумішей з високим вмістом зерен щебеню на бітумі високої теплостійкості підвищує опір асфальтобетонних шарів накопиченню пластичних деформацій.

Яскравим представником асфальтових бетонів з високим вмістом зерен щебеню є щебенево-мастикові асфальтобетони (ЩМА). Шарам покриття дорожнього одягу з таких асфальтобетонів властива більша зсувостійкість, тривала водостійкість і морозостійкість, порівняно з традиційними щільними дрібнозернистими асфальтобетонами. В Україні вимоги до властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів нормовані ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови».

Попри все на сьогодні недостатньо вивченою залишається стійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів різних гранулометричних видів до накопичення залишкових пластичних деформацій у вигляді колії та вплив на неї різних зовнішніх та внутрішніх чинників. Відсутність значень модулів пружності, а також границі міцності за згину, як розрахункових характеристик ЩМА, не дозволяє здійснювати розрахунок конструкцій дорожніх одягів з щебенево-

мастиковим асфальтобетонним шаром покриття. Зазначені обставини вимагають проведення комплексних досліджень властивостей ЩМА різних видів, приготовлених на бітумах різної марочної в'язкості.

Зазначені вище чинники суттєво впливають на довговічність щебенево-мастикових асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів та безпеку руху і свідчать про актуальність дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно основних положень «Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» (розпорядження Кабінету міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), «Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки» (постанова Кабінету міністрів України від 21.03.2018 р. № 382), а також згідно планів науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України та тематики виконання науково-дослідних робіт Харківського національного автомобільно-дорожнього університету під час виконання наступних тем: № 35-13-08 (державний реєстраційний № 0108U007432) «За результатами досліджень надати пропозиції до розробки відомчого нормативного документу щодо оцінки стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії», № 110/35-84-09 (державний реєстраційний № 0112U004739) «Розробити зміну №2 до ВБН В.2.3-218-186-2004 «Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу» стосовно розрахункових характеристик ЩМА», № 130/35-89-09 (державний реєстраційний № 0110U006019) «Дослідити вплив великовагових автотранспортних засобів на дорожні конструкції та розробити рекомендації щодо їх збереження від руйнувань», № 76/35-12-10 (державний реєстраційний № 0110U006019) «Провести наукові дослідження колієстійкості асфальтобетонів різних типів і видів та розробити рекомендації щодо їх оптимального використання при будівництві асфальтобетонних покриттів», № 35-24-10 (державний реєстраційний № 0110U005851) «Науково-технічний супровід виконання робіт з поточного ремонту об'їзної автомобільної дороги

навколо м. Харкова, № 28/35-42-11 (державний реєстраційний № 0111U003851) «Розробити рекомендації щодо підвищення довговічності асфальтобетонних сумішей з врахуванням впливу вмісту та форми зерен щебеню в складі асфальтобетонів на їх колієстійкість», № 35-52-11 (державний реєстраційний № 0111U009020) «Науково-технічний супровід виконання робіт з поточного ремонту автомобільної дороги державного значення М-07 «Київ-Ковель-Ягодин» в межах Волинської області», №35-45-11 (державний реєстраційний № 0111U003850) «Взяти участь у розробці Зміни № 1 до ДСТУ Б В.2.7-127:2006 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові» стосовно якості щебеню», № 35-60-15 (державний реєстраційний № 0106U006068) «Провести дослідження та розробити нормативний документ щодо влаштування шарів дорожніх одягів з використанням щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей», № 35-13-17 (державний реєстраційний № 0117U003616) «Переглянути ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови».

Мета роботи і задачі дослідження. Мета роботи полягає у підвищенні довговічності покриттів дорожніх одягів влаштованих з щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей за критеріями міцності та стійкості до утворення колії. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Виконати аналіз: умов роботи нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг в процесі експлуатації; сучасних уявлень про вплив складників на структуру та властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів; технологічних способів підвищення властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів.

2. Теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити роль мінерального кістяка щебенево-мастикових асфальтобетонів та органічного в'язучого у забезпеченні стійкості до накопичення пластичних деформацій.

3. Дослідити закономірності процесів колієутворення в щебенево-мастикових асфальтобетонах різних гранулометричних видів за умов прикладання циклічних багаторазових навантажень за різних температур та рівнях навантаження на колесо.

4. Дослідити вплив марочної в'язкості дорожніх бітумів, а також модифікуючих полімерних добавок до бітумів, на властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів, їхні розрахункові характеристики за різних температур та особливості колієутворення.

5. Розробити рекомендації щодо раціонального використання асфальтобетонних сумішей різних типів і видів під час будівництва колієстійких шарів дорожніх одягів, виконати дослідно-виробничу перевірку та впровадження результатів досліджень.

Об'єкт дослідження – процеси накопичення пластичних деформацій в щебенево-мастикових асфальтобетонних шарах дорожніх одягів.

Предмет дослідження – закономірності впливу складників та модифікуючих добавок до бітумів на властивості, розрахункові характеристики та колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів.

Методи дослідження: у роботі використані стандартні методи експериментальних досліджень фізичних і механічних властивостей мінеральних матеріалів, бітумів та бетонів на основі органічних в'язучих. Для визначення розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів використано метод експериментального визначення деформаційних і міцнісних властивостей. Для дослідження закономірностей стійкості до утворення колії щебенево-мастикових асфальтобетонів застосовували прилад-коліємір, який був створений на кафедрі будівництва та експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ. Результати експериментальних досліджень обробляли статистичними методами з використанням ПК.

Наукова новизна одержаних результатів:

– дістали подальшого розвитку теоретичні і експериментальні дослідження закономірностей накопичення пластичних деформацій в щебенево-мастикових асфальтобетонах, нормованих ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови» для будівництва покриттів дорожніх одягів;

– вперше комплексно досліджено вплив виду гранулометрії мінеральної частини, марочної в'язкості бітумів, полімерних модифікуючих добавок до бітуму та безпосередньо в суміш на фізико-механічні властивості та стійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів до накопичення пластичних деформацій за різних температур та рівнів навантаження. Встановлено, що збільшення максимального розміру зерен щебеню та його вмісту у складі ЩМА, а також концентрації полімерних модифікуючих добавок, призводить до зростання колієстійкості;

– вперше встановлені залежності розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів від марочної в'язкості бітумів та гранулометрії мінеральної частини за різних температур, використання яких дозволяє виконувати розрахунки конструкцій нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг.

Практичне значення одержаних результатів:

– результати досліджень були використані при розробленні стандартів ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови», ДСТУ-Н Б В.2.7-40:2016 «Настанова з влаштування покриття дорожнього одягу з використанням щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей», СОУ 45.2-00018112-039:2009 «Способи оцінки стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії. Методи випробувань», а також рекомендацій Р В.2.7-02071168-799:2012 «Рекомендації щодо підвищення довговічності асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів за критерієм колієстійкості», Р В.2.7-02071168/03450778-808:2012 «Рекомендації щодо раціонального використання асфальтобетонних сумішей різних типів і видів при будівництві колієстійких шарів дорожніх одягів автомобільних доріг загального користування», що увійшли у фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор);

– виконано впровадження результатів досліджень у виробничих умовах під час ремонтів дорожніх одягів на автомобільних дорогах, М-03 «Київ-Харків-Довжанський», Р-46 «Харків – Охтирка», Н-26 «Чугуїв – Мілове» у Харківській області та М-07 «Київ-Ковель-Ягодин» у Волинській області.

– результати дисертаційного дослідження впроваджені у навчальний процес за спеціальністю «192 Будівництво та цивільна інженерія» у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті в лекційних курсах за дисциплінами «Технологія будівництва автомобільних доріг», «Інноваційні технології будівництва автомобільних доріг» та дипломному проектуванні.

Особистий внесок здобувача. Наведені у дисертаційному дослідженні результати отримані особисто здобувачем або безпосередньою за його участю. В опублікованих працях належать здобувачу: експериментальні порівняльні дослідження впливу на властивості та стійкість до утворення колії гранулометричного складу мінеральної частини ЦМА; визначення впливу марочної в'язкості бітуму на властивості та закономірності колієутворення в щебенево-мастикових асфальтобетонах при різних температурах та рівнях навантаження; дослідження впливу модифікованих бітумних в'язучих на властивості та стійкість до колієутворення ЦМА; визначення розрахункових характеристик ЦМА різних видів приготовлених на основі бітумів різної в'язкості та модифікованих бітумах.

Обґрунтованість та достовірність отриманих в роботі результатів: отриманих в роботі результатів: підтверджується достатнім обсягом експериментальних досліджень, що отримані з використанням сучасного лабораторного обладнання; апробацією результатів роботи та виробничим впровадженням.

Апробація роботи. Основні результати досліджень доповідались та обговорювались на: міжнародній науково-технічній конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету «Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів» (Харків, 2010 р.); міжнародній науково-практичній конференції за участю молодих вчених «Еколого-правові і економічні аспекти екологічної безпеки регіонів» (Харків, 2011 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг» (Харків, 2013 р.); міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. —

(Волгоград, 2013 р.); X та XI міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве» (Харків, 2011 р., 2014 р.); всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг» (Харків, 2016 р.) та щорічних науково-методичних конференціях викладачів та наукових співробітників ХНАДУ (2009-2020 р.р.).

Публікації. Результати наукових досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковані в 16 друкованих працях, із них: 7 у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України (включені до міжнародної наукометричної бази Scholar Google); 1 стаття у виданні, що включене до наукометричної бази SCOPUS; 8 у збірниках праць за матеріалами наукових конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, бібліографії з 135 найменувань і 4 додатків. Загальний обсяг роботи складає 176 сторінок, в тому числі 152 сторінок основного тексту, 61 рисунок, 43 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТЯННЯ ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Вплив внутрішніх та зовнішніх чинників на зсувостійкість асфальтобетонних шарів дорожніх одягів

Відомо, що під час експлуатації нежорстких дорожніх одягів, влаштованих з використанням асфальтобетонних сумішей, в літній період за високих температур та великих осьових навантажень транспортних засобів, в асфальтобетонних шарах можуть утворюватися пластичні деформації у вигляді колії. Наявність колій на поверхні проїзної частини негативно впливає на безпеку руху автомобілів.

Значному внеску у розвиток технологій влаштування асфальтобетонних шарів дорожніх одягів підвищеної довговічності сприяли наукові праці багатьох вітчизняних та закордонних дослідників, таких як І.М. Борщ, В.А. Веренько, М.І. Волков, О.О. Воловик, І.П. Гамеляк, Л.Б. Гезенцевей, В.М. Гоглідзе, М.В. Горєлишев, Л.М. Гохман, С.К. Головка, В.М. Даценко, В.К. Жданюк, В.О. Золотарьов, М.М. Іванов, І.В. Корольов, М.М. Короткевич, В.В. Мозговий, А.М. Онищенко, М.Ф. Почапський, Б.С. Радовський, А.В. Руденський, І.О. Риб'єв, В.Я. Савенко, В.М. Смірнов, Г.К. Сюньї, С.А. Чугуєнко, А. Еппс, Г. Зіхнер, Р. Коллінз, С. Монісміт, Д. Сибільски, А. Хілмер та ін.

Відомо, що структурні особливості асфальтобетонів впливають на їхню здатність чинити опір колієутворенню. В асфальтобетонах виділяють три типи структур [1 - 5]:

- мікроструктура, яка складається із бітуму та дрібнодисперсного наповнювача (мінерального порошку), виконує роль сполучної речовини (асфальтове в'язуче) та з'єднує в моноліт дрібний та крупний заповнювачі;

- мезоструктура, яка складається з піску та сполучної речовини, заповнює порожнечу в щебеневому кістяку та забезпечує потрібну щільність матеріалу;

– макроструктура, яка формується з крупного та дрібного заповнювачів, забезпечує міцність матеріалу та зумовлює структуру та текстуру асфальтобетону.

Багатьма дослідженнями встановлено, що щебінь в складі асфальтобетону створює міцний просторовий каркас, який сприймає зовнішні навантаження, що діють на асфальтобетонне покриття дорожнього одягу [6 - 10].

Н.Ф. Почапский [11] підкреслював, що роль щебеню може змінюватися в залежності від його вмісту в асфальтобетоні. Якщо зерна щебеню не мають взаємних контактів, то властивості асфальтобетону обумовлюються властивостями асфальтового розчину, що приводить до недостатньої зсувостійкості.

Пісок виконує роль структуроутворюючого елементу в розчинній частині асфальтобетону. Його вміст та форма зерен істотно впливають на міцність системи. Введення піску дозволяє збільшити поверхню зчеплення бітуму с крупними зернами мінерального матеріалу та заповнити пустоти між ним [1, 12 - 14].

Згідно [5, 7, 9, 12, 15] мінеральний порошок структурує плівки бітуму, створює асфальтове в'язуче, збільшує щільність, водо- та теплостійкість асфальтобетону.

Згідно [1, 2, 9, 12, 13, 16, 17] роль бітуму в складі асфальтобетону полягає в наступному:

- об'єднання в моноліт зерен мінеральних матеріалів, для чого бітум повинен володіти високою адгезією та когезією;
- утворення на поверхні мінеральних матеріалів тонкої плівки в'язучого, що досягається його укривною здатністю;
- заповнення простору між зернами мінерального матеріалу.

Багато дослідників [9, 10, 16, 18 - 27] вказують на залежність міцності асфальтового в'язучого і асфальтобетону від кількості, в'язкості, типу та походження бітуму. Чим вище в'язкість бітуму, тим вище міцність асфальтобетону, але надмірна в'язкість бітуму в асфальтобетоні призводить до зниження тріщиностійкості. Кількість бітуму в суміші має бути оптимальною, що

забезпечує максимальну міцність асфальтобетону при заданому зерновому складі і оптимальну залишкову пористість. Надлишок бітуму знижує міцність, зсувостійкість і підвищує пластичність асфальтобетону. Нестача бітуму призводить до зниження міцності, водо- і морозостійкості.

Спостереженнями встановлено, що іноді за достатньої міцності асфальтобетонів, покриття із них виявляються недостатньо зсувостійкими. Згідно [28], зсувостійкість – здатність матеріалу в шарі чинити опір появі залишкових деформацій, зв'язаних з відносним зсувом площин, паралельних основі шару, і які приводять до появи мікрорельєфу (хвиль) під дією багаторазових малих імпульсних навантажень на поверхні шару в умовах кліматичних змін температури та вологості. Інші дослідники [13, 29] під критерієм зсувостійкості розуміють цілком певне граничне значення деформації, яке характерне для даного типу асфальтобетону і дорівнює сумарній пластичній деформації, при якій на дорожньому покритті виникає нерівність.

В останні роки проблема боротьби з пластичними деформаціями стала однією з найважливіших задач на дорогах України. Це пояснюється тим, що у складі транспортного потоку збільшується частка важких багатовісних автомобілів, які прискорюють процес утворення колій, і частка легкових швидкісних автомобілів, для яких колії представляють найбільшу небезпеку.

В роботі [31] наведена класифікація дефектів дорожнього покриття за признаками залишкових деформацій, які спостерігаються на покриттях. До них відносять:

- зсув по всій товщині шару покриття без порушення його рівності – характерний для відносно зсувостійких покриттів; може бути викликаний втомою матеріалу, що призводить до зміни структури;

- зсув поверхневого шару покриття без порушення рівності – характерний для ділянок, на яких, наприклад, внаслідок витискування бітуму з нижніх шарів у верхньому шарі покриття глибиною до 20-30 мм накопичується зайва його кількість; такі ділянки відрізняються чорним кольором поверхні покриття;

– поперечні хвилі певної закономірності (довжина хвилі зазвичай не перевищує 700 мм; дефект часто охоплює всю ширину проїзної частини) – характерні для ділянок гальмування і ділянок з ухилами; обумовлені недостатньою зсувостійкістю покриття за високих температур;

– окремі нерівності та горби – призводять згодом до утворення хвиль;

– колії – утворюються під впливом вантажного і важкого пасажирського транспорту на певних смугах дорожнього покриття;

– вплив поверхневого шару покриття вздовж кромки проїзної частини – характерний для прямих ділянок при наявності поперечного ухилу.

На сьогодні особливого значення набуває забезпечення здатності асфальтобетонним шарам дорожнього одягу не накопичувати незворотні деформації у вигляді колії, що виникають при повторних навантаженнях за високих літніх температур експлуатації.

Основні чинники, що є причинами утворення та подальшого накопичення деформацій з наступною появою руйнувань покриттів дорожнього одягу в процесі експлуатації, можна розділити на зовнішні та внутрішні. Внутрішні чинники це матеріалознавчі та конструкторські інженерні рішення, прийняття яких під час проектування та будівництва дорожнього одягу впливатиме на стійкість колієутворенню асфальтобетонних шарів дорожньої конструкції. До основних зовнішніх чинників, що впливають на колієутворення в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу, відносяться погодно-кліматичні фактори зовнішнього середовища, інтенсивність руху автомобілів та склад транспортного потоку.

До внутрішніх чинників [30] відносять структурні особливості та фізико-механічні характеристики матеріалів в шарах дорожньої конструкції, а також показники напружено-деформованого стану цих шарів і матеріалів під дією навантаження від коліс автомобілів за змінного водно-теплового режиму.

Стійкість проти утворення пластичних деформацій тісно пов'язують безпосередньо з міцністю асфальтобетонів. Роботами професора М.М. Іванова [32] показано, що стійкість покриття до утворення пластичних деформацій буде досягнута, якщо міцність асфальтобетону задовольняє умові:

$$R_{\text{расч}} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot h \cdot \lambda}{D \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi + \varphi}{4}\right)}, \quad (1.1)$$

де σ – розрахункове напруження, яке діє на покриття;

h – товщина шару асфальтобетону;

λ – коефіцієнт, який ураховує сумісну дію вертикальних та горизонтальних напружень;

D – діаметр сліду колеса;

φ – кут внутрішнього тертя асфальтобетону.

З наведеної формули видно, що збільшення товщини асфальтобетонного шару призводить до збільшення зсувостійкості. Однак роботами Гевітта [33] встановлено, що ця умова зберігається до певної товщини асфальтобетонного шару, що становить орієнтовно 10 - 12 см. При подальшому збільшенні товщини шару його стійкість до утворення зсувних деформацій зменшується.

Підвищенню зсувостійкості за рахунок збільшення кута внутрішнього тертя φ та зачеплення мінеральних зерен C (іноді іменується «структурним зчепленням») присвячені роботи багатьох дослідників [11, 34 - 40]. Проведені в цій області дослідження показують, що підвищення зсувостійкості може бути досягнуто шляхом збільшення кількості щебеню, завдяки чому утворюється жорсткий просторовий кістяк.

Іншим напрямком досліджень асфальтобетону, які відносяться до підвищення його зсувостійкості, є роботи, що пов'язані з встановленням структуроутворюючої ролі системи «бітум – мінеральний порошок» [13, 18, 37, 41]. В роботах [13, 42 - 44] стверджується, що одним із напрямків підвищення стійкості до зсуву асфальтобетонних шарів дорожнього одягу є використання активованих мінеральних порошоків для приготування асфальтобетонних сумішей. В результаті активації змінюються умови взаємодії мінерального порошку з бітумом, покращуються властивості бітуму в адсорбційних шарах. Застосування активованих мінеральних порошоків дозволяє істотно знизити кількість вільного бітуму в асфальтобетоні та підсилити його структурні зв'язки, тим самим

забезпечуючи різке підвищення зсувостійкості в умовах високих літніх температур.

Ще одним напрямком підвищення зсувостійкості асфальтобетону є покращення властивостей бітуму шляхом введення до його складу відповідних модифікаторів. Традиційно для модифікації бітумів використовують наступні найбільш поширені класи полімерів: еластомери (качуки); різні латекси (дивінілстирольні, дивінілнитрільні); термореактивні полімери (епоксидні і фенолформальдегідні смоли); термопласти (поліетилен, етилен-вініл-ацетат); термоеластоласти (стирол-бутадієн-стирол); природні бітуми та ін. Всі вони призначені для покращення властивостей бітумів та асфальтобетонів на їх основі. Найчастіше використовують полімери класу термоеластоластів. Зараз цей напрямок набув достатньо широкого розповсюдження, навіть не зважаючи на збільшення собівартості таких сумішей. Із багатьох модифікуючих речовин, наприклад, полімерів [45 - 64], асфальтенів [65], використаної гумової крихти [66 - 68], сірки [69 - 72], різних реагентів [73 - 76], найбільшого використання набули полімери.

Відомо, що модифікацією бітумів додаванням до їхнього складу речовин різного походження досягається суттєве підвищення теплостійкості, тривалої водостійкості та морозостійкості. Асфальтобетонам на основі модифікованих бітумів властива менша температурна чутливість показників міцності [77 - 83].

1.2 Досвід та переваги використання щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей під час дорожнього будівництва в різних країнах світу

В 60-70-х роках ХХ сторіччя німецьким інженером, доктором Герхардом Зіхнером була розроблена та запатентована асфальтобетонна суміш [84 - 85] з вмістом щебеню 70 %, яка в подальшому отримала назву – щебенево-мастикова (ЩМАС). Ця суміш була розроблена для вирішення проблеми передчасного руйнування шарів покриття німецьких доріг, викликаних дією шин з шипами.

В процесі досліджень виявилось, що щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА) був стійким не тільки до цих видів руйнувань, він володів високою стійкістю до накопичення різноманітних видів деформацій, в тому числі і до колієутворення. Сьогодні щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші використовують в більшості країн світу для влаштування шару покриття дорожнього одягу на автомобільних дорогах та автомагістралях [86 - 96].

В Україні щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші і щебенево-мастиковий асфальтобетон почали використовувати з 2002 року, однак перший національний стандарт [97] на ці асфальтобетони з'явився лише у 2006 році. Сьогодні, згідно чинного стандарту [98] щебенево-мастикові асфальтобетони класифікують залежно від максимального розміру зерен щебеню і поділяють на 5 видів, з максимальним розміром зерен щебеню від 5 мм до 40 мм.

В стандартах більшості країн світу щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші виготовляються з максимальним розміром зерен щебеню 8 мм, на другому місці за поширеністю стоїть ЩМАС з максимальним розміром зерен щебеню 11 мм. В Німеччині щебенево-мастикові асфальтобетонні шари покриття влаштовують майже на всіх автомагістралях з нежорсткого типу. Особливості німецької технології:

- максимальна температура приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей 180 °С, мінімальна температура укладання – 150 °С;
- пневмоковки для ущільнення використовувати не допускається;
- вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми у щебені повинен бути до 10 % за масою щебеню [99].

В таблиці 1.1 та на рис. 1.1 - 1.3 приведені вимоги до зернових складів щебенево-мастикових сумішей в Німеччині та Україні.

Таблиця 1.1 – Вимоги до складу ЩМА та залишкової пористості згідно стандарту Німеччини [99]

ЩМА	0/11S*	0/8S*	0/5S*	0/8	0/5
< 16 мм	100	–	–	–	–
< 11,2 мм	90-100	100	–	100	–
< 8,0 мм	50-65	90-100	100	90-100	100
< 5,6 мм	35-45	35-55	90-10	35-60	90-100
< 2 мм	20-30	20-30	30-40	20-30	30-40
< 0,63 мм	8-12	8-12	7-12	7-12	7-12
Тип в'язучого	25/55-55 50/70	25/55-55 50/70	45/80-50 50/70 25/55-55	50/70 70/100 45/80-50	50/70 70/100
Вміст в'язучого, %	6,6	7,2	7,4	7,2	7,4
Залишкова пористість, % за об'ємом	2,5-3,0	2,5-3,0	2,0-3,0	1,5-3,0	1,5-3,0
Товщина шару, мм	35-40	30-40	20-30	20-35	20-30

Примітка. SMA S – для доріг з великою інтенсивністю вантажних транспортних засобів.

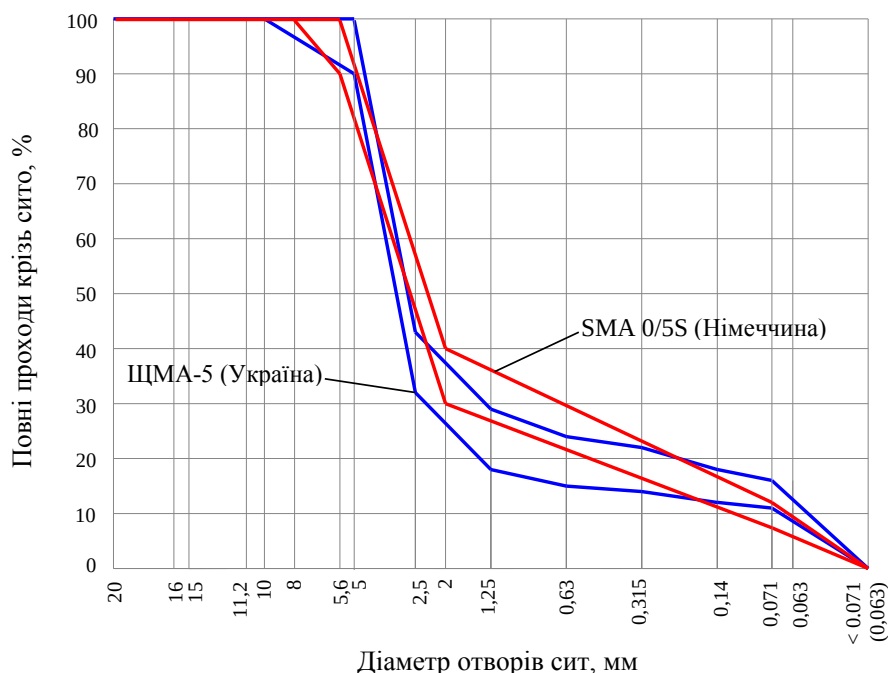


Рис. 1.1 – Порівняння граничних кривих для сумішей SMA 0/5S і ЩМАС-5, які застосовують в Німеччині та в Україні [98, 99]

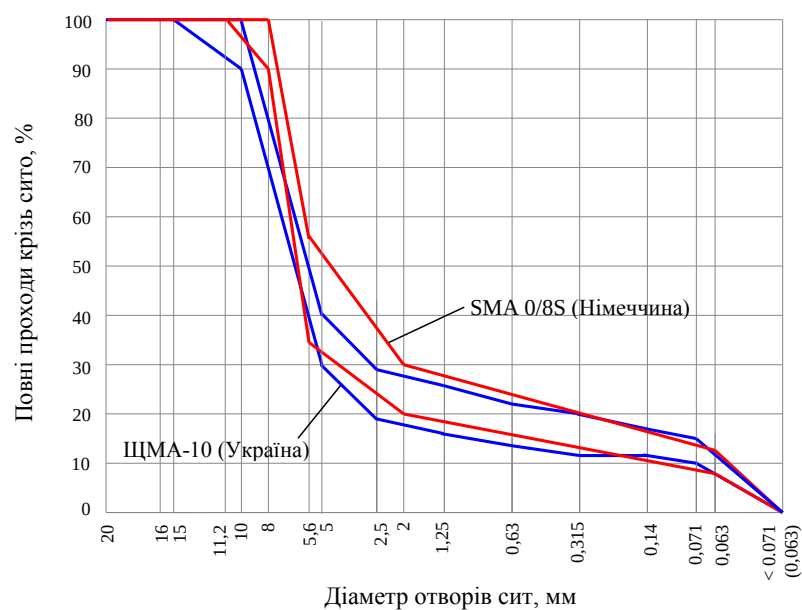


Рис. 1.2 – Порівняння граничних кривих для сумішей SMA 0/8S і ЩМАС-10, які застосовуються в Німеччині та в Україні [98, 99]

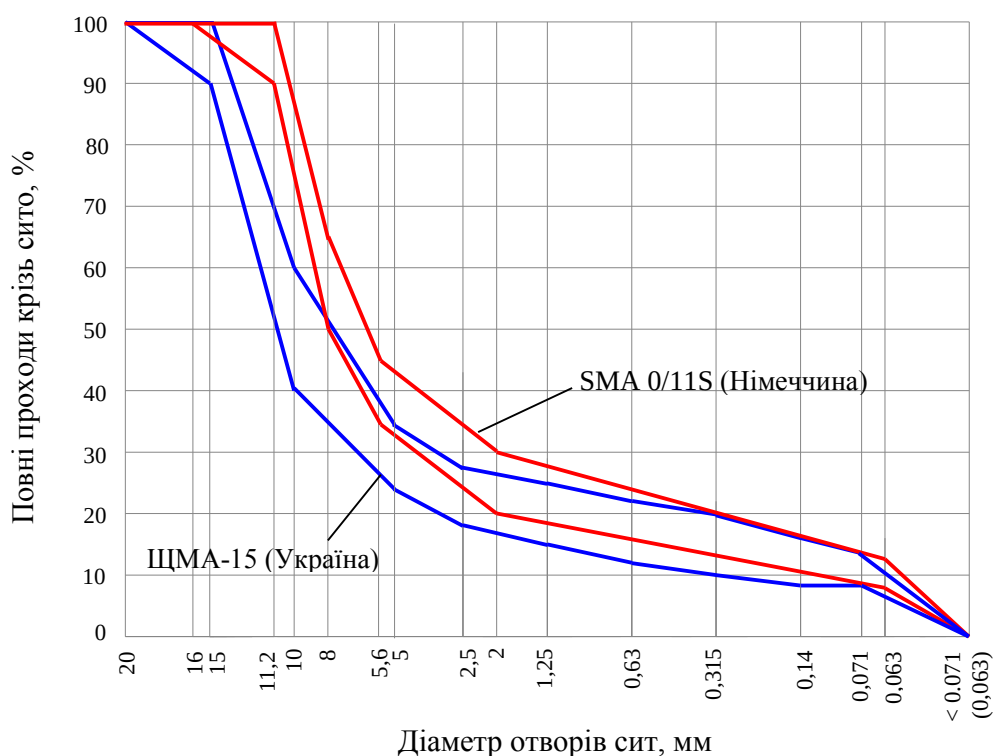


Рис. 1.3 – Порівняння граничних кривих для сумішей SMA 0/11S і ЩМАС-15, які застосовуються в Німеччині та в Україні [98, 99]

В Данії ЩМА почали використовувати з 1982 року, як верхній шар покриття на дорогах з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів,

на промислових об'єктах, аеродромах та інших дорогах з великою інтенсивністю руху. Найбільш розповсюджений вид SMA 0/11, а на автомобільних дорогах з дуже великою кількістю великовантажних транспортних засобів в потоці – SMA 0/16. Для тонких шарів зазвичай використовують SMA 0/8 [100]. В таблиці 1.2 приведені зернові склади мінеральної частини щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, що використовуються в Данії.

Для виробництва щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей використовують бітуми марки В60 або бітумно-полімерні в'язучі. Товщина шару покриття дорожнього одягу, що влаштовується з використанням SMA 0/8 становить 20 - 30 мм, з SMA 0/11 – 30 - 40 мм, з SMA 16 – 40 - 50 мм.

Таблиця 1.2 – Зернові склади ЦМА згідно національного стандарту Данії [100]

Розмір зерен, мм	Вміст, % за масою мінеральних зерен		
	SMA 8	SMA 11	SMA 16
16,0	–	–	90-100
11,2	–	90-100	< 90
8,0	90-100	< 90	–
5,6	90	30-50	24-45
2,0	21-35	18-30	15-25
0,074	> 4	> 4	> 4

В Італії згідно [100] використовують два види ЦМА, SMA-10 та SMA-15. В таблиці 1.3 приведені вимоги до гранулометричного складу мінеральної частини ЦМА та залишкової пористості згідно стандарту Італії. На рис. 1.4 та 1.5 наведено порівняння гранулометричних складів ЦМАС, що нормуються стандартами Італії та України.

Таблиця 1.3 – Вимоги до складу ЩМА та залишкової пористості згідно стандарту Італії [100]

ЩМА	SMA-10	SMA-15
Повні проходи крізь сито діаметром	% (m/m)	% (m/m)
15 мм	100	80-100
10 мм	80-100	46-66
5 мм	47-64	30-44
2 мм	30-45	20-36
0,42 мм	12-20	10-17
0,18 мм	10-16	9-15
0,075 мм	9-14	8-13
Тип в'язучого	PmB 50	
Вміст в'язучого, %	5,5-7,0	
Залишкова пористість, %	1,0-4,0	
Товщина шару, мм	20-30	40-50

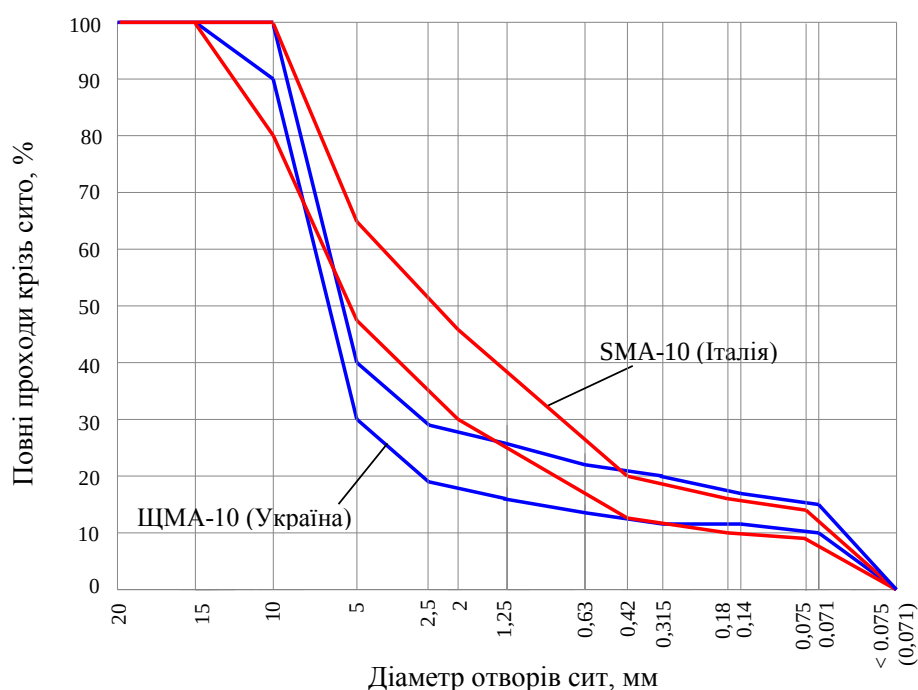


Рис. 1.4 – Порівняння граничних кривих для сумішей SMA-10 і ЩМА-10, які застосовуються в Італії та в Україні [98, 100]

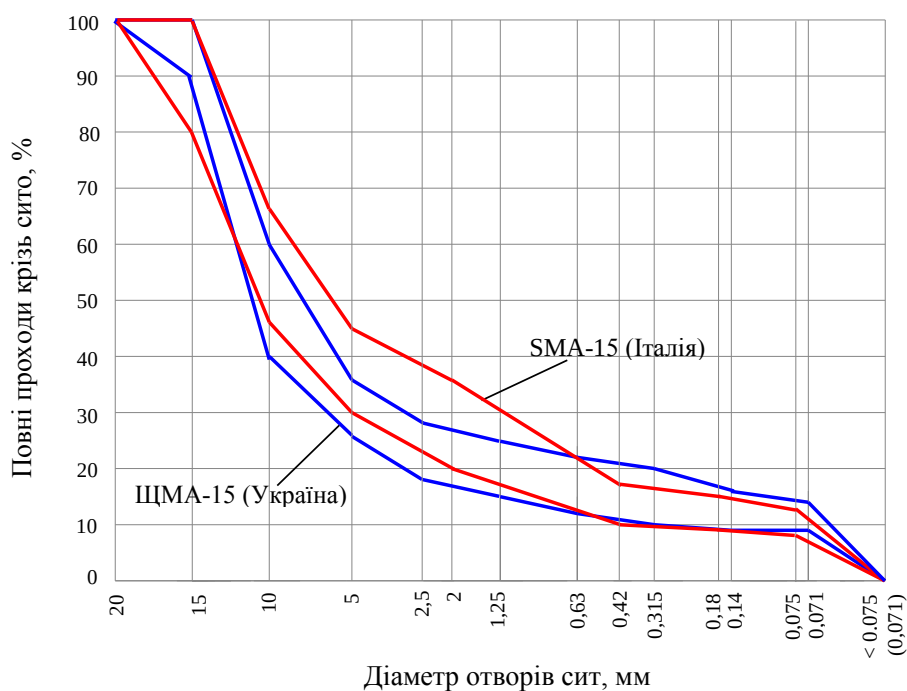


Рис. 1.5 – Порівняння граничних кривих для сумішей SMA-15 і ЦМАС-15, які застосовуються в Італії та в Україні [98, 100]

Починаючи з 1987 року ЦМАС розпочали використовувати в Нідерландах [100]. Види та зернові склади мінеральної частини щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Зернові склади SMA у Нідерландах [100]

ЦМА	0/11 type 2*	0/11 type 1	0/8	0/6
< 0,063 мм	6-10	7-11	8-12	9,5-13,5
> 2,0 мм	72,5-82,5	70-80	67,5-77,5	62,5-72,5
> 5,6 мм	60-75	55-70	40-60	≤ 6
> 8,0 мм	40-55	35-50	≤ 6	–
> 11,2 мм	≤ 6	≤ 6	–	–
Тип в'язучого	Бітум В80	Бітум В80	Бітум В80	Бітум В80
Вміст в'язучого, %	7,0	7,0	7,4	8,0
Залишкова пористість, % за об'ємом (по Маршалу)	5,0	4,0	4,0	4,0
Товщина шару, мм	35	30-40	20-30	15-20

Примітка. Type 2 – для доріг з великою інтенсивністю вантажних транспортних засобів

В Нідерландах висувають такі вимоги до матеріалів:

- заповнювач: вапняк;
- вміст стабілізуючої добавки: для целюлозних волокон – 0,3 %; для інших добавок встановлюється експериментально;
- на дорогах з великою інтенсивністю: використання дробленої гірської породи (щебеню) та модифікованого бітуму.

В Норвегії [100] ЦМА почали використовувати з 1985 року як основний шар на дорогах з великою інтенсивністю, промислових дорогах, аеродромах й інших дорогах з великою навантаженістю. Використовують два види ЦМА: SKA 11 і SKA 16. Асфальтобетон SKA 16 використовується більше ніж SKA 11 (70 % : 30 %), тому що він має більш високу стійкість до дії шин з шипами.

Зерновий склад і вміст бітуму повинен відповідати вимогам таблиці 1.5. Марка бітуму визначається по ADT – Annual Daily Traffic (середньорічна добова інтенсивність) (таблиця 1.6).

Таблиця 1.5 – Зернові склади мінеральної частини ЦМА у Норвегії [100]

Розмір зерен, мм	Вміст за масою, % мінеральних зерен	
	SKA 11	SKA 16
22,4	–	100
16,0	100	80-100
11,2	80-100	46-66
8,0	47-64	30-44
4,0	30-45	20-36
2,0	20-32	15-30
1,0	16-27	12-24
0,5	14-24	11-21
0,25	12-20	10-17
0,125	10-16	9-15
0,075	9-14	8-13
Вміст бітуму, %	6,3	6,0
Вміст стабілізуючої добавки, % від маси в'язучого	4-10	

Таблиця 1.6 – Вид бітуму для ЦМА в залежності від ADT [100]

AnnualDailyTraffic (ADT)	3000	5000	15000
Марка бітуму	B80 - B180	B60 - B85 PmB	B40 - B85 PmB

На рис. 1.6 та 1.7 наведені гранулометричні склади мінеральної частини ЩМАС які застосовують в Норвегії та в Україні.

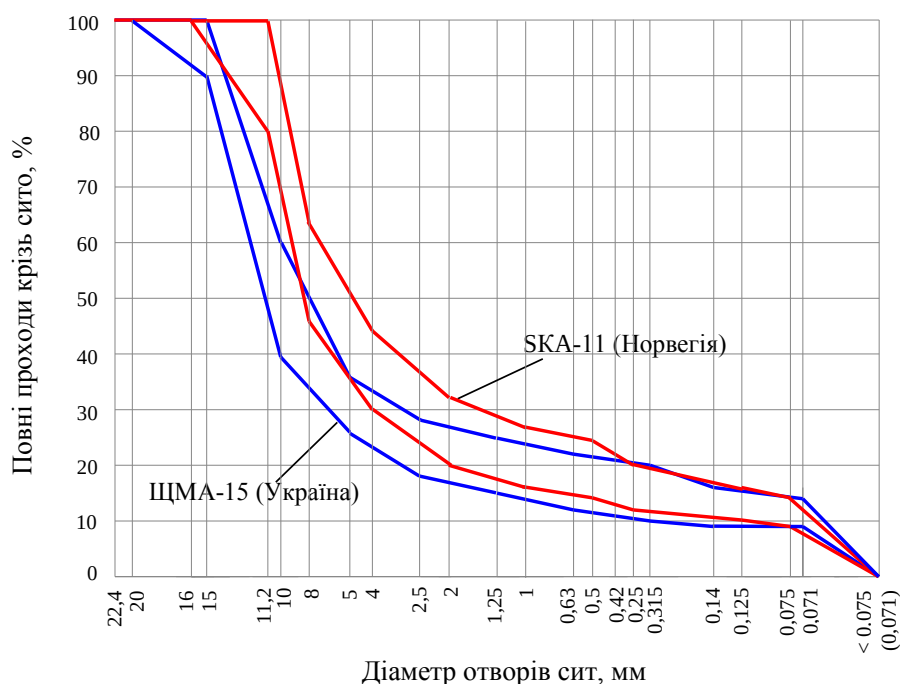


Рис. 1.6 – Порівняння граничних кривих для сумішей SKA-11 і ЩМАС-15, які застосовують в Норвегії та в Україні [98, 100]

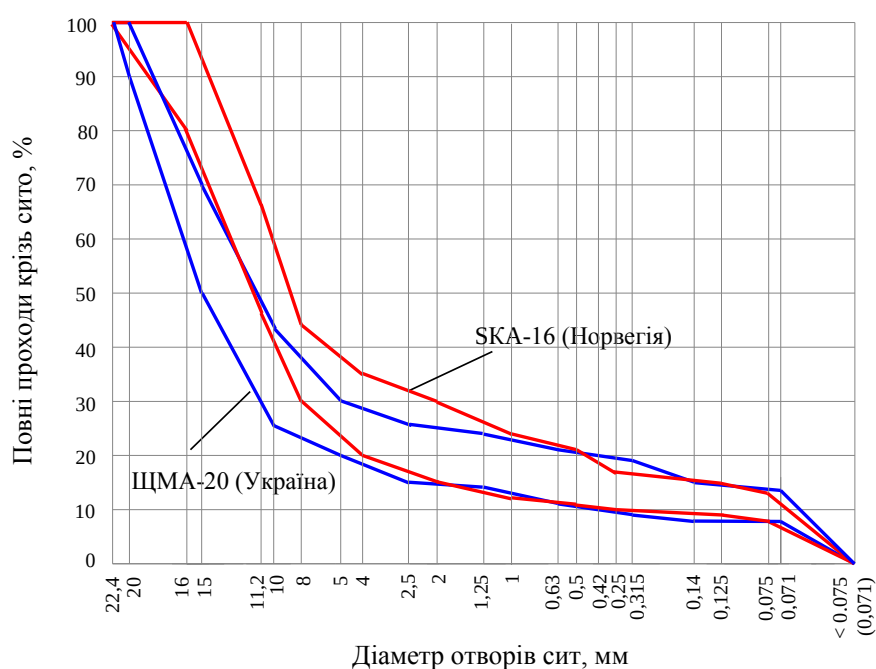


Рис. 1.7 – Порівняння граничних кривих для сумішей SKA-16 і ЩМАС-20, які застосовують в Норвегії та в Україні [98, 100]

В США щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші почали використовувати в 1991 року [100]. В США широко використовують SMA 0/12,5.

Для підбору складу ЩМАС в США не існує спеціальних державних норм. На основі рекомендацій, отриманих з європейського практичного досвіду, та результатів оцінки роботи в експлуатаційних умовах більше 100 ділянок дорожнього одягу з покриттям із ЩМА Національний Центр з Технології Асфальтобетону (the National Centre for Asphalt Technology) розробив наступні рекомендації:

- вміст в'язучої речовини: визначається виходячи з пустотності суміші, яка повинна бути 3,0 - 4,0 % (за об'ємом);

- для всіх видів ЩМАС вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми у щебені залежить від співвідношення сторін щебеню та повинен бути: при співвідношенні 3:1 – до 20 % (в деяких штатах дозволено до 40 %), при 5:1 – до 5 % (в деяких штатах дозволено до 10) % за масою щебеню;

- наявність стабілізуючих добавок.

На рис. 1.8 наведено порівняння гранулометричних складів мінеральної частини ЩМАС які найчастіше використовують в США з найбільш наближеними вимогами до ЩМАС згідно [100].

В Угорщині [61, 62] ЩМАС застосовують з 1983 року. Стандартизовані два види щебенево-мастикового асфальтобетону: ZMA-8 та ZMA-12. В таблиці 1.7 приведені основні характеристики щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей. На рис. 1.9 та 1.10 наведено порівняння гранулометричних складів мінеральної частини ЩМАС які використовують в Угорщині та в Україні.

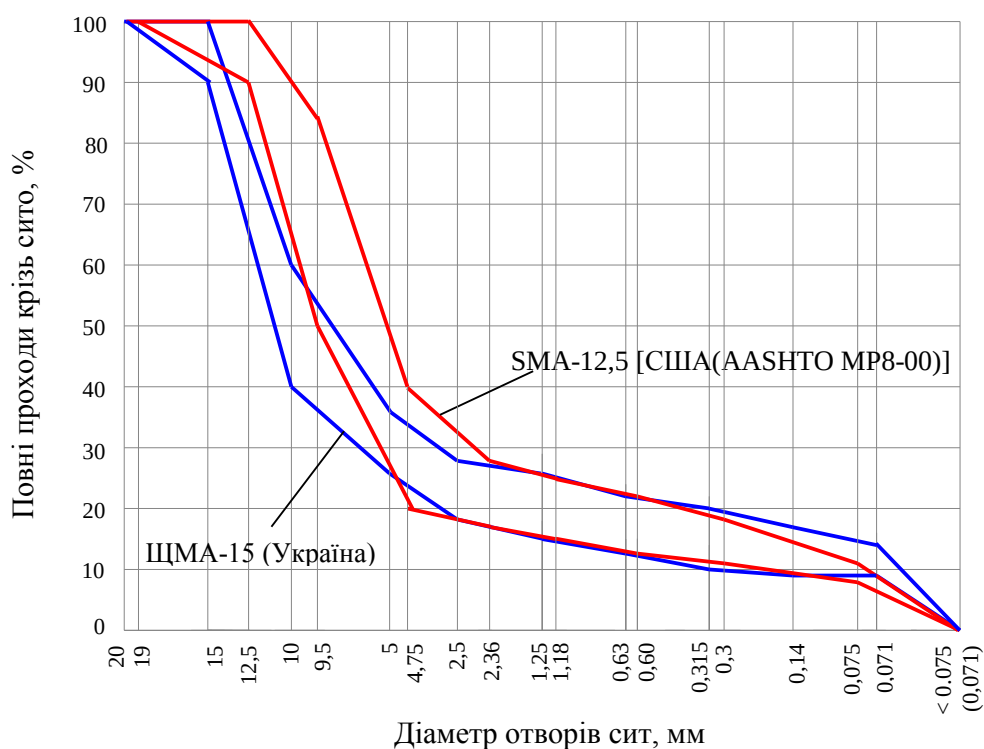


Рис 1.8 – Порівняння граничних кривих для сумішей SMA-12,5 і ЩМА-15, які використовуються в США та в Україні [98, 100]

Таблиця 1.7 – Вимоги до складу ЩМА та залишкової пористості згідно стандарту Угорщини [101]

ЩМА	ZMA-8	ZMA-12
Повні проходи крізь сито діаметром	% (m/m)	% (m/m)
16 мм	—	100
12,5 мм	100	90-100
8,0 мм	90-100	50-70
5,0 мм	30-50	30-53
2 мм	20-30	20-30
0,63 мм	14-24	14-24
0,20 мм	11-18	11-18
0,09 мм	8-13	8-13
Тип в'язучого	B-50, B-65, PmB-80A, PmB-80B	
Вміст в'язучого, %	6,5-7,5	6,0-7,5
Залишкова пористість, % (по Маршалу)	2,5-4,5	3,0-4,5
Товщина шару, мм	25-30	30-50

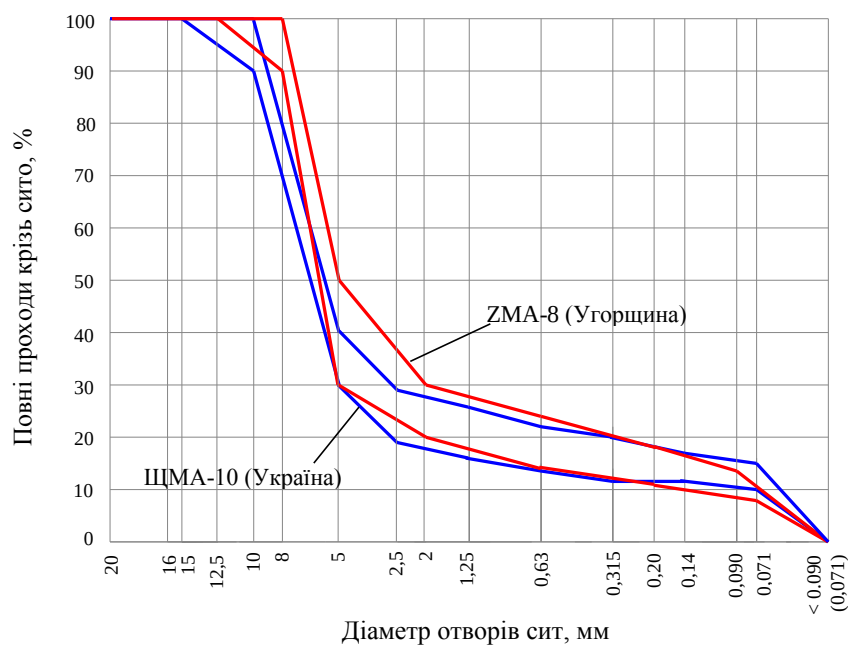


Рис. 1.9 – Порівняння граничних кривих для сумішей ZMA-8 і ЩМАС-10, які застосовуються в Угорщині та в Україні [98, 101]

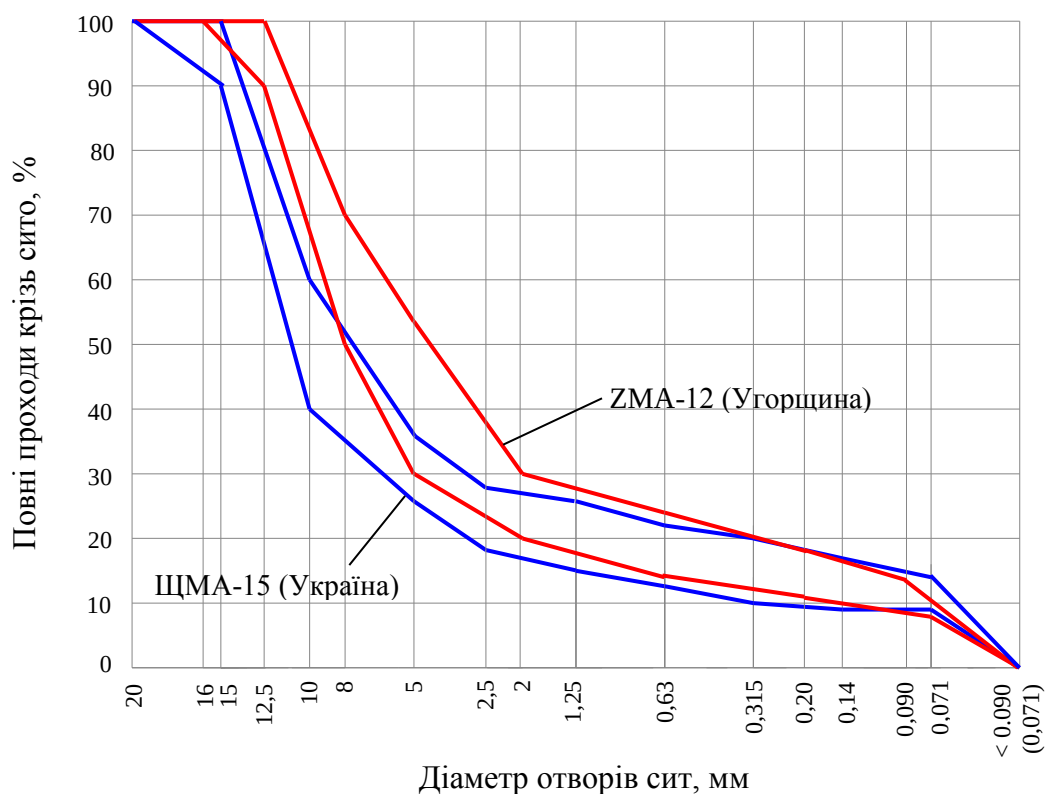


Рис. 1.10 – Порівняння граничних кривих для сумішей ZMA-12 і ЩМАС-15, які застосовуються в Угорщині та в Україні [98, 101]

В Фінляндії [102] для всіх видів ЩМАС вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми у щебені залежить від інтенсивності та швидкості руху. Дані щодо вимог до лещадності зерен щебеню приведені в таблиці 1.8. На рис. 1.11 показані гранулометричні склади мінеральної частини ЩМАС.

Таблиця 1.8 – Вміст зерен щебеню лещадної форми у ЩМА (Фінляндія) [102]

Швидкість руху, вміст зерен щебеню лещадної форми	Добове навантаження рухом АДТ (проїздів/добу)		
< 60 км/год	500-1500	1500-2500	2500-5000
> 60 км/год	500-2500	2500-5000	5000-10000
Вміст зерен щебеню лещадної форми, %	35	20	15

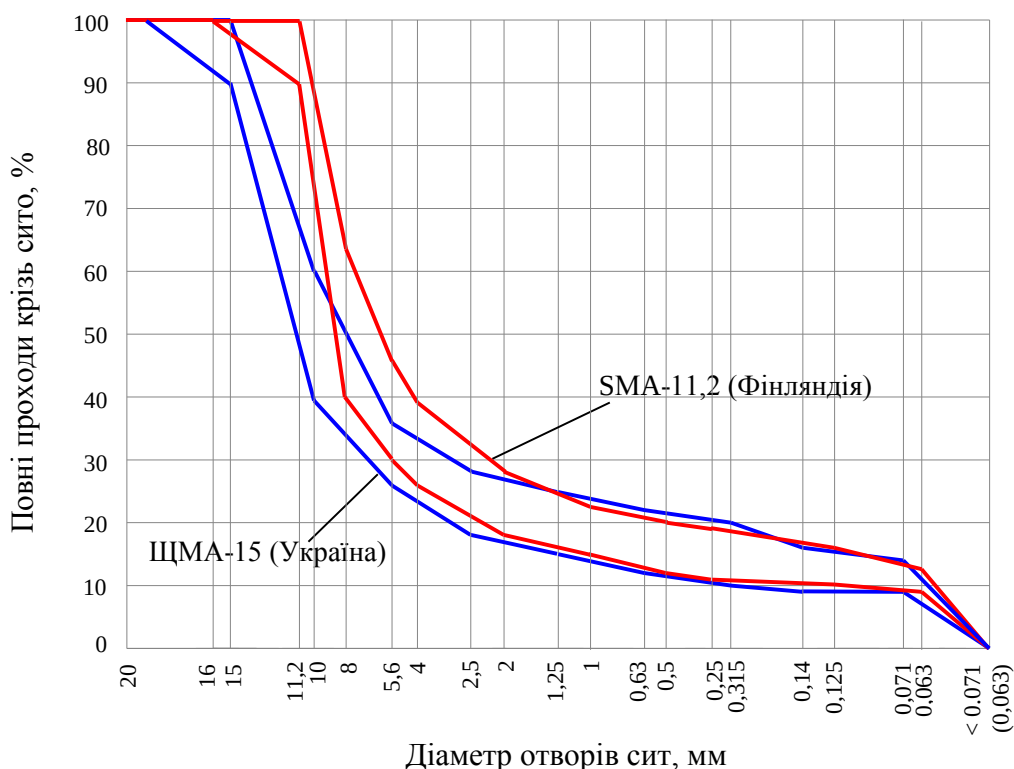


Рис. 1.11 – Порівняння граничних кривих для сумішей SMA-12,3 і ЩМАС-15, які застосовуються в Фінляндії та в Україні [56, 62]

На рис. 1.12-1.16 наведені вимоги до зернових гранулометричних складів мінеральної частини ЩМАС Польщі, Нової Зеландії, Індії та Австрії які порівнюються з вимогами українського стандарту.

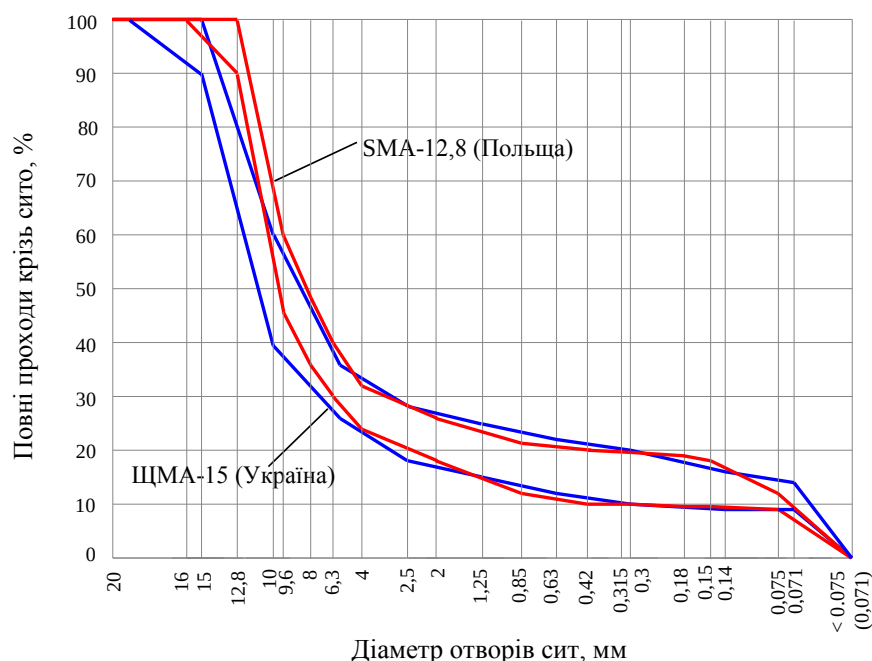


Рис. 1.12 – Порівняння граничних кривих для сумішей SMA-12,8 (PN-S-96025:2000) і ЩМАС-15, які застосовуються в Польщі та в Україні [98, 100]

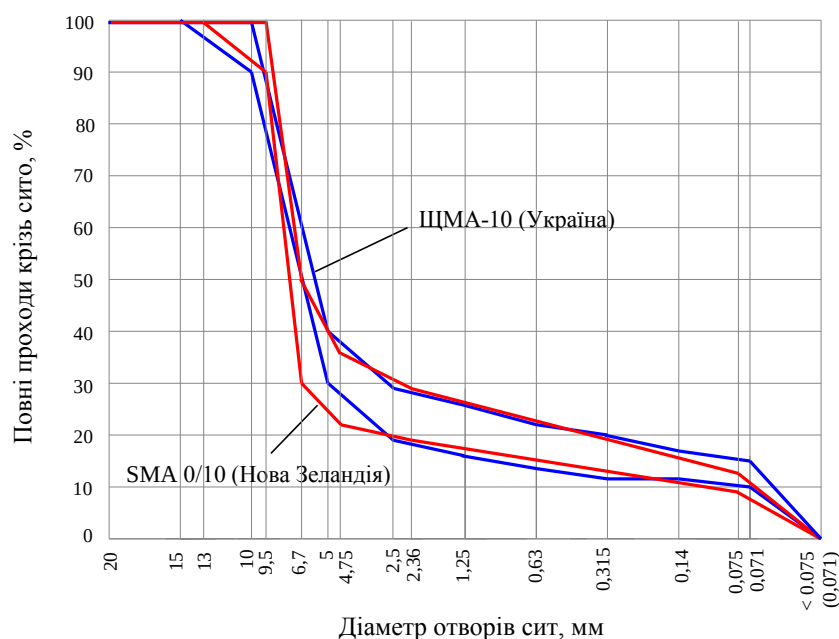


Рис. 1.13 – Порівняння гранулометричних кривих для сумішей SMA 0/10 [98, 100] і ЩМАС-10, які застосовуються в Новій Зеландії та в Україні

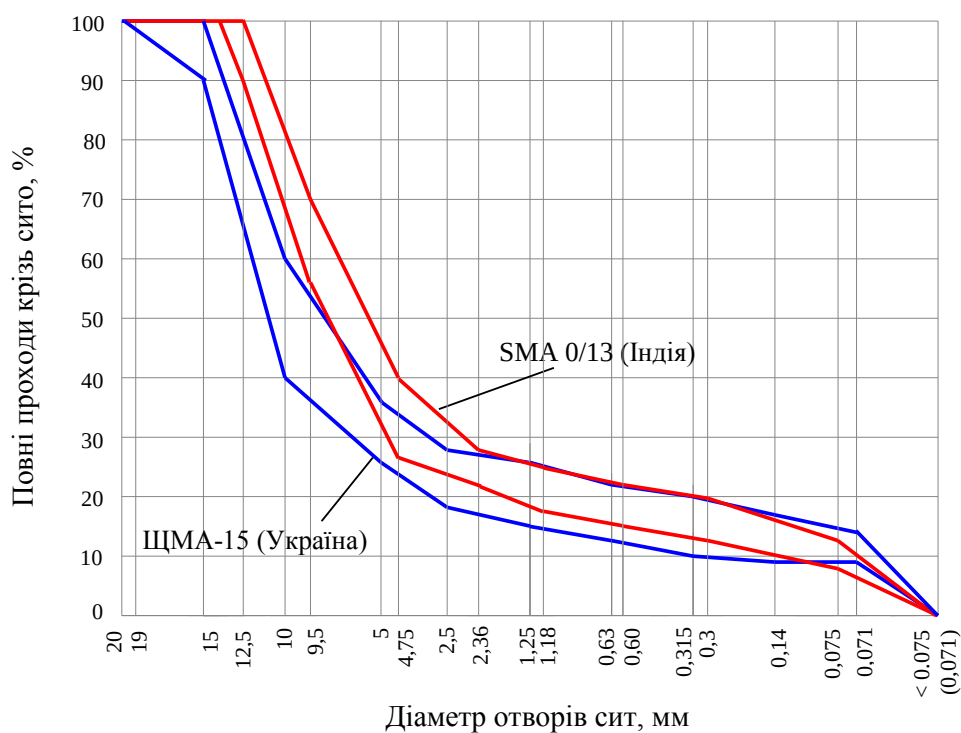


Рис. 1.14 – Порівняння гранулометричних кривих для сумішей SMA 0/13 [98, 104] і ЩМАС-15, які застосовуються в Індії та в Україні

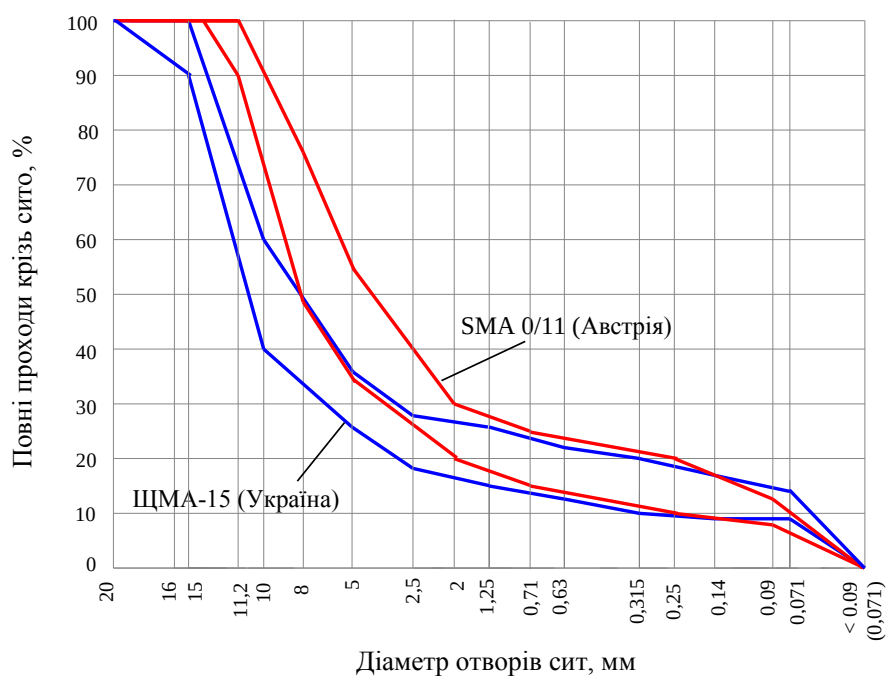


Рис. 1.14 – Порівняння граничних кривих для сумішей SMA 0/11 [98, 105] і ЩМАС-15, які застосовуються в Австрії та в Україні

Аналіз наведених зернових складів щебенево-мастикових асфальтобетонів, які нормовані в різних країнах світу, показує, що найбільш наближеними до вимог [100] з розповсюджених видів ЩМА є зернові склади з максимальним розміром зерен щебеню від 10 до 15 мм. Порівняно з нормованими в Україні зерновими складами майже всі, мають достатньо близькі вимоги до вмісту щебеню, проте у більшості випадків гранулометричні криві відхиляються у бік зменшення на 10 – 15 % від загального вмісту, крім зернового складу ЩМАС яку використовують в Новій Зеландії, де дозволяється вміст щебеню більшим на 5 %, порівняно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-127. Також, майже для всіх закордонних складів висуваються менші значення повних проходів через найменше сито, порівняно з вітчизняним стандартом, що свідчить про відносно менший (у більшості випадків до 5 %) вміст зерен мінерального порошку порівняно з вітчизняними вимогами, крім зернових складів Німеччини які мають практично ідентичні значення зазначених вимог. Варто зазначити, що всіма стандартами висуваються достатньо жорсткі вимоги до якості щебеню. Максимально дозволений вміст зерен щебеню лещадної форми в стандартах різних країн залежить від різних факторів та коливається від 10 % для випадку влаштування шару покриття дорожнього одягу з великою інтенсивністю руху та в окремих випадках може доходити до 40 %, для шару покриття дорожнього одягу з невеличкою інтенсивністю руху.

Специфіка складу і структури ЩМА передбачає присутність «об'ємного» бітуму і невеликої кількості стабілізуючої добавки. Під об'ємним бітумом прийнято розуміти ту частину в'язучого в щебенево-мастиковій асфальтобетонній суміші, яка не схильна до впливу далекодіючих поверхневих сил на межі розділу фаз [106].

1.3 Висновки за розділом. Мета роботи і задачі досліджень

За результатами аналізу літературних джерел, нормативних документів та фактичного стану асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів на вітчизняній мережі автомобільних доріг можна зробити наступні висновки:

1. Складники асфальтобетонної суміші суттєво впливають на структуру асфальтобетону, яка визначає властивості асфальтобетонів та їхню довговічність в шарах дорожніх одягів автомобільних доріг. Стійкість асфальтобетонів до накопичення пластичних деформацій залежить від гранулометрії мінеральної частини та властивостей бітумного в'язучого. Вважається, що макроструктура є визначальною у забезпеченні асфальтобетонам зсувостійкості в шарах дорожнього одягу. На сьогодні особливого значення набуває забезпечення здатності асфальтобетонним шарам дорожнього одягу не накопичувати незворотні деформації у вигляді колії, що виникають при багаторазових повторних навантаженнях за високих літніх температур експлуатації.

2. Основні чинники, що сприяють утворенню та подальшому накопиченню деформацій з наступною появою руйнувань асфальтобетонних шарів покриття дорожнього одягу в процесі експлуатації, можна розділити на зовнішні та внутрішні. Внутрішні чинники це матеріалознавчо-конструкторські інженерні рішення, прийняття яких впливає на колієстійкість асфальтобетонних шарів дорожньої конструкції. До внутрішніх чинників переважно відносять структурні особливості та фізико-механічні характеристики матеріалів в шарах дорожньої конструкції, а також показники напружено-деформованого стану матеріалів в цих шарах під дією навантаження від коліс автомобілів за змінного водно-теплового режиму. До основних зовнішніх чинників, що впливають на колієутворення в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу, відносять погодно-кліматичні фактори зовнішнього середовища, інтенсивність руху автомобілів та склад транспортного потоку.

3. Узагальненням результатів аналізу літературних джерел встановлено, що головними напрямками забезпечення високої зсувостійкості асфальтобетону є

підвищення внутрішнього тертя регулюванням зернового складу мінеральної частини, підвищення міцності його мікроструктурної складової шляхом активації поверхні дрібнодисперсної складової та підвищення властивостей бітуму шляхом введення до його складу модифікуючих добавок. Зазначені напрямки підвищення зсувостійкості та колієстійкості є достатньо вивченими для традиційних асфальтобетонів.

4. Закордонний досвід свідчить, що одним із напрямків підвищення зсувостійкості та колієстійкості асфальтобетонних шарів покриття дорожніх одягів є використання щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей для їхнього влаштування.

5. Аналіз літературних джерел вказує на те, що на сьогодні вплив тих чи інших чинників щодо підвищення колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів нормованих державним стандартом України є недостатньо дослідженим. Відсутні також результати комплексного дослідження впливу структурних особливостей щебенево-мастикових асфальтобетонів різних гранулометричних видів не тільки на їхню стійкість до колієутворення під впливом багаторазових навантажень за високих температур, але і на значення розрахункових характеристик, як основних вихідних даних для виконання розрахунків конструкцій дорожніх одягів на міцність.

З огляду на викладене вище **мета роботи** полягає у підвищенні довговічності покриттів дорожніх одягів влаштованих з щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей за критеріями міцності та стійкості до утворення колії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

1. Виконати аналіз: умов роботи нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг в процесі експлуатації; сучасних уявлень про вплив складників на структуру та властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів; технологічних способів підвищення властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів.

2. Теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити роль мінерального кістяка щебенево-мастикових асфальтобетонів та органічного в'язучого у забезпеченні стійкості до накопичення пластичних деформацій.

3. Дослідити закономірності процесів колієутворення в щебенево-мастикових асфальтобетонах різних гранулометричних видів за умов прикладання циклічних багаторазових навантажень за різних температур та рівнях навантаження на колесо.

4. Дослідити вплив марочної в'язкості дорожніх бітумів, а також модифікуючих полімерних добавок до бітумів, на властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів, їхні розрахункові характеристики за різних температур та особливості колієутворення.

5. Розробити рекомендації щодо раціонального використання асфальтобетонних сумішей різних типів і видів під час будівництва колієстійких шарів дорожніх одягів, виконати дослідно-виробничу перевірку та впровадження результатів досліджень.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вплив складників асфальтобетону на стійкість до колієутворення

Для розроблення програми експериментальних досліджень виходимо з робочої гіпотези, яка в узагальненому вигляді полягає в тому, що одночасного підвищення колієстійкості та міцності щебенево-мастикових асфальтобетонів в шарах дорожніх одягів автомобільних доріг, можливо досягти шляхом збільшення внутрішнього тертя мінерального кістяка та теплостійкості бітумного в'язучого, використаного для приготування ЦМАС.

Відомо, що здатність асфальтобетону опиратися зсувним напруженням визначається рівнем сформованості просторового кістяка з мінеральних зерен та реологічними властивостями бітумного в'язучого. Основна роль мінерального кістяка полягає в забезпеченні внутрішнього тертя асфальтобетону. Бітумне в'язуче, в залежності від величини його когезійної міцності, більше позначається на показнику зчеплення асфальтобетону. Такий підхід лежить в основі описування закономірностей зсуву в асфальтобетоні рівнянням тертя Кулона. В процесі удосконалення критеріїв міцності дорожніх одягів нежорсткого типу професор М.М. Іванов переглянув теорію зсувостійкості асфальтобетонів за підвищених температур та розділив показник зчеплення в рівнянні Кулона на дві складові:

$$\tau = P \operatorname{tg} \varphi + C_1 + C_2, \quad (2.1)$$

де τ – міцність асфальтобетону при статичному зсуві, МПа;

P – нормальний тиск, МПа;

φ – кут внутрішнього тертя;

C_1 – структурне зчеплення, що не відновлюється зовсім або відновлюється поступово, МПа;

C_2 – миттєве зчеплення що відновлюється, МПа.

Професор М.М. Іванов вважав, що показник зчеплення C_1 , залежить від особливостей деформаційних процесів у бітумному в'язучому, що міститься в асфальтобетоні. Відокремлену з показника зчеплення частину, що миттєво відновлюється C_2 , він вважав такою, яка обумовлена зачепленням мінеральних зерен. При цьому передбачав, що ця складова зчеплення не залежить від швидкості прикладання навантаження, вмісту бітумного в'язучого та температури. Зі збільшенням крупності та гострокутності мінеральних зерен, покращенням їхньої упаковки та ущільнення, зчеплення в асфальтобетоні C_2 повинне збільшуватися. Значення внутрішнього тертя в асфальтобетоні φ є більшим при наявності в ньому мінеральних зерен одного розміру. Введення бітумного в'язучого у склад мінеральної частини асфальтобетону зменшує внутрішнє тертя φ , а збільшення крупності зерен в мінеральній частині збільшує φ .

Якщо кут внутрішнього тертя асфальтобетону залежить від вмісту, форми та розміру мінеральних зерен, що утворюють просторовий кістяк, то його можна визначити для асфальтобетонів різної гранулометрії за формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi = \sum_{i=n}^1 \operatorname{tg} \varphi_i / \gamma; \quad (2.2)$$

де φ – кут внутрішнього тертя мінерального кістяка асфальтобетону;

φ_i – кут внутрішнього тертя i -ї фракції в складі мінерального кістяка асфальтобетону;

γ – вміст i -ї фракції в складі мінерального кістяка асфальтобетону, %;

n – кількість фракцій в складі мінерального кістяка асфальтобетону.

Крім того зчеплення C_2 можна визначити аналогічно за формулою:

$$C_2 = \sum_{i=n}^1 \frac{C_i}{\gamma}; \quad (2.3)$$

де C_2 – зчеплення мінерального кістяка асфальтобетону, МПа;

C_i – зчеплення i -ї фракції в складі мінерального кістяка асфальтобетону, МПа.

У зв'язку з відсутністю експериментальних даних, щодо впливу гранулометричних складів мінеральної частини щебенево-мастикових асфальтобетонів на тангенс кута внутрішнього тертя та показник зчеплення C_2 , припускаємо, що вони змінюються за залежностями зображеними на рис. 2.1 та рис. 2.2.



Рис. 2.1 – Залежність тангенса кута внутрішнього тертя від розміру зерен в мінеральній частині щебенево-мастикового асфальтобетону

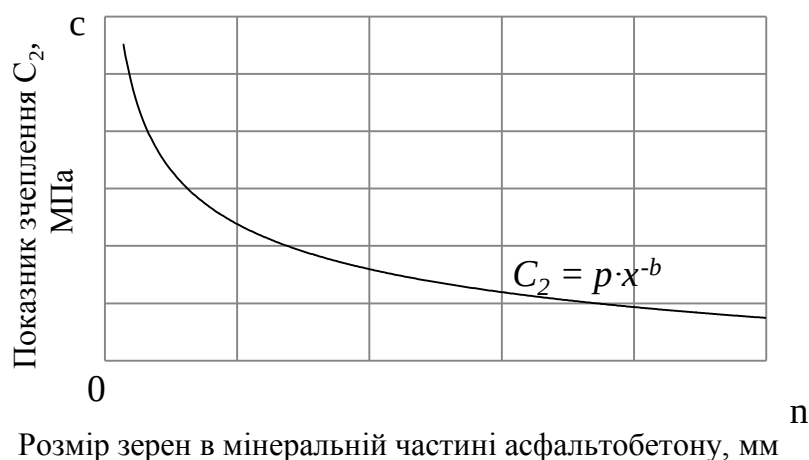


Рис. 2.2 – Залежність показника зчеплення C_2 від розміру зерен в мінеральній частині щебенево-мастикового асфальтобетону

Очевидно, що для отримання стійкої до накопичень пластичних деформацій макроструктури асфальтобетону варто враховувати не лише позитивну роль щебеневого каркасу із зерен щебеню, які забезпечують підвищення внутрішнього тертя самого асфальтобетону, але і вплив на нього властивостей органічного в'язучого та його вмісту. Раніше виконаними дослідженнями було встановлено [107], що внутрішнє тертя в асфальтобетоні не залежить від температури, швидкості деформування асфальтобетонного зразка та зменшується з підвищенням вмісту бітуму, а внутрішнє зчеплення знижується під час підвищення температури, уповільнення швидкості деформування та за збільшення вмісту бітуму. Виходячи з цього стає очевидним, що показник зчеплення C_1 найбільшою мірою залежить від властивостей бітумного в'язучого у складі асфальтобетону. Зміна в'язкості та когезійної міцності вихідного в'язучого, прийнятого для приготування асфальтобетонних сумішей, буде суттєво впливати на абсолютне значення показника зчеплення C_1 . Також можливо зазначити додатковий вплив міцності адгезійних зв'язків, які утворюються на границі розділу фаз бітумне в'язуче – поверхня кам'яного матеріалу, на показник зчеплення C_1 . Збільшення адгезії бітуму до поверхні кам'яних матеріалів позитивно впливатиме на показник зчеплення C_1 .

Відомо, що зі збільшенням теплостійкості бітумних в'язучих за критерієм температури розм'якшення спостерігається зростання їхньої когезійної міцності. Для підвищення теплостійкості бітумних в'язучих набула широкого застосування технологія додавання до їхнього складу модифікуючих добавок різного походження. Відомими модифікаторами бітумів є полімери, латекси, синтетичні воски, природні бітуми, їх комплекси, тощо. Найбільшого поширення для надання підвищеної теплостійкості бітумним в'язучим набувають полімери класу термоеластопластів. У цьому випадку зростання теплостійкості відбувається завдяки тому, що розподілений та розчинений в бітумі термоеластопласт утворює просторову сітку з макромолекул, завдяки чому зміцнює структуру в'язучого. Протягом процесу розчинення полімеру частина дисперсійного середовища бітуму перетворюється в адсорбційно-сольватний стан, у зв'язку з чим

відбувається зростання теплостійкості бітумного в'язучого, яка тісно пов'язана з вмістом використаного термоеластопласту. Наявність просторової полімерної сітки із макромолекул в об'ємі бітумного в'язучого надає йому не тільки більшої теплостійкості але й еластичності. Одним з найбільш розповсюджених представників зазначених полімерів вказаного класу є полімер лінійної структури «Kraton D1101 CM». Також за умови використання водних катіонних латексів, наприклад серії «Butonal», можливо отримати аналогічний ефект під час модифікації дорожніх бітумів. Завдяки присутності катіонних емульгаторів у складі водних латексів, досягатиметься підвищення зчеплення бітумних плівок з поверхнею кам'яних матеріалів (адгезійна міцність) за умови модифікації ними бітумів. Виходячи з вищевикладеного можливо стверджувати, що зазначені властивості бітумних в'язучих сприятимуть підвищенню значень показників зчеплення C_1 та C_2 для асфальтобетонів приготовлених з їх використанням. Підвищення значень показника зчеплення C_1 , завдяки використанню бітумних в'язучих підвищеної теплостійкості, позитивно впливатиме на додаткове підсилення стійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів каркасної структури до колієутворення.

Однак варто зауважити, що доцільно було б враховувати також вплив на значення показника зчеплення C_1 складу асфальтов'язучого та асфальтового розчину які утворюються в процесі приготування асфальтобетонної суміші під час об'єднання бітумного в'язучого, мінерального порошку та піщаного складника (процеси адсорбції молекул бітуму на мінеральній поверхні суттєво впливають на зміну його властивостей). У випадку щебенево-мастикових асфальтобетонів асфальтовим розчином є так названа «мастика», до складу якої входить не тільки бітумне в'язуче, мінеральний порошок, піщаний складник мінеральної частини, але і структуруюча добавка (целюлозні волокна або іншого походження). Тому досить складно визначити індивідуальний вплив всіх цих складників асфальтового розчину на показник зчеплення C_1 ЩМА, окрім того цей показник є термочутливим і за підвищення температури може суттєво зменшуватися.

Виходячи з вищевикладеного перетворимо рівняння (2.1) в рівняння (2.4) та (2.5), з урахуванням (2.2) та (2.3).

$$\tau = P \cdot \sum_{i=n}^1 \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{\gamma} + C_1 + \sum_{i=n}^1 \frac{C_i}{\gamma}, \quad (2.4)$$

$$\tau = P \cdot \sum_{i=n}^1 \frac{k \cdot x_i^a}{\gamma} + C_1 + \sum_{i=n}^1 \frac{p \cdot x_i^{-b}}{\gamma}, \quad (2.5)$$

де x_i – окрема фракція кам'яного матеріалу, який використовується в складі асфальтобетонної суміші;

а, b, k, p – константи, які відповідають умовам зображеним на рисунках 2.1 та 2.2.

Якщо припустити, що за певних умов показник C_1 є константою, то згідно рівняння (2.5), для збільшення здатності асфальтобетонного покриття опиратися зсувним напруженням у складі мінеральної частини асфальтобетону необхідно забезпечити якомога більшу кількість крупних зерен. Це пов'язано з тим, що мінеральній частині з більшими за розміром зернами кам'яному матеріалу властиві більші значення кута внутрішнього тертя, хоча при цьому показник зчеплення C_2 характеризується меншими значеннями та є менше впливовим на зсувостійкість, виходячи з рівняння (2.5). Це свідчить про те, що ЩМА, які мають у складі мінеральної частини зерна щебеню з більшим розміром та більшу їх кількість, мають більшу колієстійкість.

Результати розрахунків підтвердили, що мінеральний каркас з зерен щебеню, відіграє одну з найважливіших ролей в формуванні структури в щебенево-мастикових асфальтобетонах стійкої до колієутворення (додаток А). Збільшення вмісту та розміру зерен щебеню сприяє підвищенню стійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів до впливу зсувних напружень.

Водночас використання бітумних в'язучих підвищеної теплостійкості і, відповідно, когезійної міцності, впливатиме більше всього на формування в

щебенево-мастикових асфальтобетонах мікро- та мезоструктури (мастикова частина, що заповнює порожнечі в кістці, створеному зернами щебеню) з високими показниками міцності.

Отже, одночасно досягти підвищення розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів в шарах дорожнього одягу та їхньої колієстійкості можливо шляхом збільшення вмісту у їхньому складі зерен щебеню з максимальним розміром та їхньої концентрації, спільно з підвищенням теплостійкості і, відповідно, когезійної міцності бітумного в'язучого, що використовується для приготування ЩМАС.

Викладене вище дозволяє стверджувати, що шляхом одночасного збільшення внутрішнього тертя між зернами в мінеральній частині щебенево-мастикового асфальтобетону та надання бітумному в'язучому підвищеної теплостійкості може бути створена структура матеріалу, яка забезпечуватиме асфальтобетонним шарам дорожнього одягу підвищену зсувостійкість та міцнісні характеристики за високих експлуатаційних температур.

2.2 Програма експериментальних досліджень

Для підтвердження сформульованих теоретичних передумов та визначення впливу різних чинників на стійкість до накопичення пластичних деформацій щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів, експериментальної перевірки технологічних способів підвищення колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів в покриттях дорожніх одягів, прийнята наступна програма досліджень:

1. Обґрунтувати об'єкти та методи досліджень щебенево-мастикових асфальтобетонів.

2. Експериментально визначити розрахункові характеристики щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів, приготовлених на основі дорожніх бітумів різних марок та бітумів модифікованих полімерами.

3. Дослідити вплив зернових складів мінеральної частини щебенево-мастикових асфальтобетонів на стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій за циклічних навантажень колесом в широкому діапазоні температур.

4. Виконати експериментальні дослідження впливу марочної в'язкості бітуму на колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонних асфальтобетонів.

5. Дослідити вплив величини навантаження на колесо колієміра на закономірності колієутворення в щебенево-мастикових асфальтобетонах.

6. Дослідити вплив вмісту добавок «Trinidad Epure Z 0/8», «Gilsonite», «Butonal NS 198» та «Kraton D1101 CM» на фізико-механічні властивості та колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів.

7. З урахуванням результатів досліджень розробити рекомендації раціонального використання асфальтобетонних сумішей різних типів і видів при будівництві колієстійких шарів дорожніх одягів автомобільних доріг.

8. Здійснити дослідно-виробничу перевірку та впровадження результатів досліджень в дорожніх організаціях, оцінити економічну ефективність влаштування стійкого до накопичення пластичних деформацій шару покриття дорожніх одягів з ЦМА.

2.3 Висновки по розділу

1. Обгрунтовано можливість створення структури, яка забезпечує одночасно високі показники розрахункових характеристик, зсувостійкість та стійкість до накопичення пластичних деформацій у вигляді колії щебенево-мастиковим асфальтобетонам в шарах дорожніх одягів автомобільних доріг.

2. Показано, що кістяк із зерен щебеню в щебенево-мастиковому асфальтобетоні є головним структурним елементом що забезпечує йому підвищену стійкість до накопичення залишкових деформацій. Визначено, що за збільшення розміру зерен щебеню тангенс кута внутрішнього тертя щебенево-мастикового асфальтобетону збільшується, а показник зчеплення C_2 зменшується.

3. Теоретично обґрунтовано, що одночасного досягнення підвищених розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів в шарах дорожнього одягу та їхньої колієстійкості можливо забезпечити збільшенням вмісту у їхньому складі зерен щебеню з максимальним розміром та їхньої концентрації, спільно з підвищенням теплостійкості бітумного в'язучого, що використовується для приготування ЦМАС. Стверджується, що застосування модифікованих полімерами бітумів для приготування ЦМАС, сприятиме роботі асфальтобетону в пружній стадії з мінімальною залишковою деформацією у шарі покриття, а також підвищенню його розрахункових характеристик, порівняно з ЦМА на основі не модифікованих бітумів.

РОЗДІЛ 3

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Властивості мінеральних матеріалів

Для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей згідно ДСТУ Б В.2.7-127 [98] використовували гранітний щебінь кубовидної форми та відсів подрібнення гірської породи «Гайворонського» спецкар'єру, вапняковий мінеральний порошок.

Для оцінки якості та придатності для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей був прийнятий гранітний щебінь фракцій 5 - 8 мм, 8 - 11 мм, 11 - 16 мм.

Результати експериментально визначених фізико-механічних властивостей мінерального порошку, щебеню та відсіву подрібнення наведені в таблицях 3.1 - 3.6.

Зернові склади вихідних мінеральних матеріалів, що призначені для приготування щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші, були визначені методом ситового аналізу і наведені у таблиці 3.6.

Аналіз наведених результатів показує, що за дослідженими показниками фізико-механічних властивостей мінеральні матеріали відповідають вимогам чинних в Україні нормативних документів [108-110] і можуть бути використані для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей.

Таблиця 3.1 – Фізико-механічні властивості мінерального порошку

Найменування показника	Фактичні значення	Вимоги ДСТУ Б.В.2.7-121 до порошку мінерального, І марки, неактивованого
1	2	3
Вміст часток, % за масою – дрібніше 0,071 мм – дрібніше 0,315 мм – дрібніше 1,25 мм	75 100 100	від 70 до 80 включно не менше 90 не менше 100
Пористість при ущільненні 40 МПа, % за об'ємом	31	не більше 35

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3
Набрякання зразків із суміші порошку з бітумом, % за об'ємом	2,3	не більше 2,5
Число пластичності	1	не більше 1
Структуруюча здатність, ΔT_c , °C	13	від 10 °C до 20 °C

Таблиця 3.2 – Фізико-механічні властивості гранітного щебеню фракції 5-8 мм

№ з/п	Найменування випробувань	Од. вим.	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127, ДСТУ Б В.2.7-75	Результати випробувань
1.	Насипна щільність	кг/м ³	–	1418
2.	Середня щільність	г/см ³	2,0-2,8	2,76
3.	Істинна щільність	г/см ³	–	2,77
4.	Пустотність	%	–	48,60
5.	Пористість	%	–	0,40
6.	Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми	%	не більше 10-15	8
7.	Вміст пилюватих часток	%	не більше 1,0	0
8.	Вміст зерен слабких порід	%	не більше 5,0	0
9.	Вміст глини у грудках	%	не більше 0,25	0
10.	Марка за міцністю: – за дробимістю – за стиранистю у поличному барабані		не менше 1200 не нижче Ст-1	3,1/1400 Ст-1
11.	Вологість	%	–	0,15
12.	Водопоглинання	%	–	0,50

Таблиця 3.3 – Фізико-механічні показники властивостей гранітного щебеню фракції 8-11 мм

№ з/п	Найменування випробувань	Од. вим.	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127, ДСТУ Б В.2.7-75	Результати випробувань
1	2	3	4	5
1.	Насипна щільність	кг/м ³	–	1456
2.	Середня щільність	г/см ³	2,0-2,8	2,72
3.	Істинна щільність	г/см ³	–	2,77
4.	Пустотність	%	–	46,50
5.	Пористість	%	–	1,8
6.	Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми	%	не більше 10-15	12
7.	Вміст пилюватих часток	%	не більше 1,0	0
8.	Вміст зерен слабких порід	%	не більше 5,0	0
9.	Вміст глини у грудках	%	не більше 0,25	0

Закінчення таблиці 3.3

1	2	3	4	5
10.	Марка за міцністю: – за дробимістю – за стираністю у поличному барабані		не менше 1200 не нижче Ст-1	9,2/1400 Ст-1
11.	Вологість	%	–	0,12
12.	Водопоглинання	%	–	0,49

Таблиця 3.4 – Фізико-механічні властивості гранітного щебеню фракції 11-16 мм

№ з/п	Найменування випробувань	Од. вим.	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127, ДСТУ Б В.2.7-75	Результати випробувань
1.	Насипна щільність	кг/м ³	–	1496
2.	Середня щільність	г/см ³	2,0-2,8	2,68
3.	Істинна щільність	г/см ³	–	2,77
4.	Пустотність	%	–	44,50
5.	Пористість	%	–	2,6
6.	Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми	%	не більше 10-15	10
7.	Вміст пилюватих часток	%	не більше 1,0	0
8.	Вміст зерен слабких порід	%	не більше 5,0	0
9.	Вміст глини у грудках	%	не більше 0,25	0
10.	Марка за міцністю: – за дробимістю – за стираністю у поличному барабані		не менше 1200 не нижче Ст-1	9,2/1400 Ст-1
11.	Вологість	%	–	0,11
12.	Водопоглинання	%	–	0,50

Таблиця 3.5 – Показники фізико-механічних властивостей піску з відсівів подрібнення

№ з/п	Найменування випробувань	Од. вим.	Вимоги ДСТУ Б.В.2.7-32, ДСТУ Б В.2.7-127	Результати випробувань
1.	Насипна щільність	кг/м ³	не більше 1650	1537
2.	Істинна щільність	г/см ³	–	2,77
3.	Модуль крупності		більше 2,5 до 3,0 (крупний)	3,18
4.	Вміст пилюватих та глинистих часток (метод відмучування)	%	не більше 7,0	6,11
5.	Вміст глинистих часток при набуханні	%	не більше 0,5	0
6.	Вміст глини в грудках	%	не більше 0,35	0
7.	Вологість	%	–	0,8

Таблиця 3.6 – Гранулометричний склад вихідних мінеральних матеріалів, призначених для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей

Залишки на ситах, %	Вміст зерен, %, більше даного розміру, мм											
	40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
Щебінь фракції 11-16 мм												
Часткові	–	1	35	56	6	2	–	–	–	–	–	–
Повні	–	1	36	92	98	100	100	100	100	100	100	100
Щебінь фракції 8-11 мм												
Часткові	–	–	–	54	46	–	–	–	–	–	–	–
Повні	–	–	–	54	100	100	100	100	100	100	100	100
Щебінь фракції 5-8 мм												
Часткові	–	–	–	–	98	2	–	–	–	–	–	–
Повні	–	–	–	–	98	100	100	100	100	100	100	100
Гранітний відсів 0-5 мм												
Часткові	–	–	–	–	3	27	8	18	25	15	3	1
Повні	–	–	–	–	3	30	38	56	81	96	99	100
Мінеральний порошок												
Часткові	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	98
Повні	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	100

3.2 Властивості органічних в'язучих

В якості органічних в'язучих використовували бітуми нафтові дорожні в'язкі марок БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130 виробництва Мозирського НПЗ, властивості яких наведені в таблиці 3.7-3.9.

Таблиця 3.7 – Властивості бітуму нафтового дорожнього в'язкого марки БНД 40/60, прийнятого для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей

Назва показників властивостей	Вимоги ДСТУ 4044	Бітум БНД 40/60
Глибина проникнення голки, мм^{-1} , за температури 25 °С	40-60	41
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	51-57	53
Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, см	не менше 45	50

Таблиця 3.8 – Властивості бітуму нафтового дорожнього в'язкого марки БНД 60/90, прийнятого для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей

Назва показників властивостей	Вимоги ДСТУ 4044	Бітум БНД 60/90
Глибина проникнення голки, мм^{-1} , за температури 25 °С	61-90	78
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	47-53	49
Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, см	не менше 55	66

В якості стабілізуючої волокнистої домішки використовували Viator-66, яка представляє собою циліндричні гранули коричневого кольору без запаху, в яких кожне целюлозне волокно має бітумне покриття. У відповідності з технічною специфікацією Viator-66 – це гранульована суміш на 66,6 % складається з целюлозних волокон «Arbocel ZZ 8-1» і на 33,3 % з бітуму.

Таблиця 3.9 – Властивості бітуму нафтового дорожнього в'язкого марки БНД 90/130, прийнятого для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей

Назва показників властивостей	Вимоги ДСТУ 4044	Бітум БНД 90/130
Глибина проникнення голки, мм ⁻¹ , за температури 25 °С	91-130	104
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	43-49	46
Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, см	не менше 65	>100

Для модифікації бітуму марки БНД 60/90, призначеного для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, використовували добавки природних бітумів – «Trinidad Epure Z 0/8» та «Gilsonite».

Тринідадський природний бітум «Trinidad Epure Z 0/8» складається (по масі) з 54 % бітуму та дрібнодисперсного мінерального заповнювача - 46 %. Добавку «Trinidad Epuré Z 0/8» поставляють у вигляді подрібнених часток розміром від 0 до 8 мм опудрених тонкодисперсною аморфною кремневою кислотою (розмір зерен менше 0,09 мм) для попередження злипання зерен. Властивості тринідадського бітуму «Trinidad Epure Z 0/8» (за даними виробника) наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Властивості природного бітуму «Trinidad Epure Z 0/8» за даними виробника

Назва показника	Значення показника
Середня щільність, г/см ³	1,40-1,42
Глибина проникнення голки, мм ⁻¹ , за температури 25 °С	1-4
Температура розм'якшення, °С	93-98
Вміст мінерального наповнювача, %	45-47
Вміст асфальтенів, %	30-37

Бітум з родовища Gilsonite є природним вуглеводнем. В дорожньому будівництві такий природний бітум використовують в порошкоподібному вигляді з розміром зерен 0 - 2 мм. Властивості природнього бітуму «Gilsonite» за даними виробника наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Властивості природного бітуму «Gilsonite»

Назва показника	Значення показника
Середня щільність, г/см ³	1,05
Глибина проникнення голки, мм ⁻¹ , за температури 25 °С	0
Температура розм'якшення, °С	160-180
Вміст золи, %	0,6-1
Вміст асфальтенів, %	50-65

Природний бітум «Trinidad Epure Z 0/8» використовували для модифікування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей введенням безпосередньо у суміш у процесі її перемішування. Концентрація природного бітуму «Trinidad Epure Z 0/8» становила 1,5 та 3,0 % від маси мінеральної частини. Природний бітум «Gilsonite» використовували для модифікування бітуму, призначеного для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей.

Показники фізико-механічних властивостей бітуму, модифікованого природним бітумом «Gilsonite» наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Властивості бітуму марки БНД 60/90, модифікованого домішкою природних бітумів «Gilsonite»

Назва показників властивостей	БНД 60/90	БНД 60/90 + 5 % Gilsonite
Глибина проникнення голки, мм ⁻¹ , за температури 25 °С	78	32
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	49	66
Розтяжність (дуктильність), за температури 25 °С, см	66	6

Отримані результати досліджень показують, що додавання в бітум марки БНД 60/90 природного бітуму сприяє збільшенню його марочної в'язкості і температури розм'якшення.

Для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей використовували також бітуми модифіковані полімером класу термоеластопластів «Kraton D-1101 CM» та водним катіонним латексом «Butonal NS 198». Концентрація прийнятих для досліджень полімерних модифікаторів становила 2 та 3 % від маси бітуму. Водний катіонний латекс «Butonal NS 198» додавали до бітуму у перерахунку на «суху» речовину.

Показники фізико-механічних властивостей модифікованих бітумів, прийнятих для досліджень, наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Властивості бітуму марки БНД 60/90, модифікованого полімерами

Назва показників властивостей	БНД 60/90	БНД 60/90 + 2 % Kraton D 1101 CM	БНД 60/90 + 3 % Kraton D 1101 CM	БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198	БНД 60/90 + 3 % Butonal NS 198
Глибина проникнення голки, мм^{-1} , за температури 25 °С	78	53	45	56	56
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	49	61	63	55	60
Розтяжність (дуктильність), за температури 25 °С, см	66	47	40	24	22

Результати досліджень свідчать, що додавання до бітуму полімерів сприяє збільшенню його марочної в'язкості і теплостійкості за показником температури розм'якшення, а також закономірно зменшує розтяжність.

3.3 Методи та обладнання, прийняті для досліджень

Для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, прийнятих для досліджень, використовували методи та обладнання згідно ДСТУ Б В.2.7-89 [113] та ДСТУ Б В.2.7-319 [114].

Для змішування дорожнього бітуму з добавками полімерів та природного бітуму використовували лопатеву лабораторну мішалку [26] (рис. 3.1). Вона обладнана системою масляного обігріву, яка забезпечує рівномірне нагрівання всього об'єму бітуму до необхідної температури і її підтримку протягом періоду, необхідного для приготування модифікованого в'язучого. Кількість обертів валу мішалки в процесі перемішування бітуму складала 1200 об/хв.

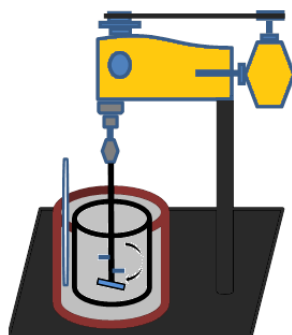


Рис. 3.1 – Схема мішалки для приготування модифікованих бітумів

Поєднання модифікаторів з дорожнім бітумом марки БНД 60/90 виконували за температури 180 – 185 °С протягом однієї години.

Технологія приготування модифікованих бітумів в лабораторній мішалці полягала в наступному:

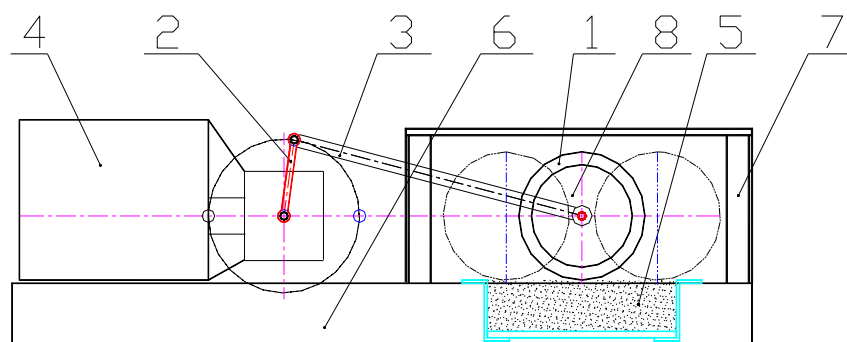
- розігрів бітуму до робочої температури;
- заповнення робочої ємкості мішалки бітумом;
- додавання до бітуму необхідної кількості модифікатору при постійному перемішуванні;
- перемішування при робочій температурі суміші бітуму з добавкою протягом необхідного періоду.

Для модифікованих бітумів визначали глибину проникнення голки за температури 25 °С; температуру розм'якшення за кільцем і кулею; розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С згідно чинних стандартів [115 - 117].

Дослідження колієстійкості асфальтобетонів здійснювали за допомогою приладу-колієміра (рис. 3.2 - 3.3) конструкції кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ.



Рис. 3.2 – Прилад-коліємір конструкції кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ



1 – гума; 2 – водило; 3 – шатун; 4 – мотор; 5 – асфальтобетонний зразок;
6 – рама; 7 – кожух; 8 – металевий диск.

Рис. 3.3 – Схема приладу-колієміру [38]

Прилад має рухоме огумлене колесо, яке за допомогою шатуна і водила приєднано до мотора-редуктора таким чином, що воно може переміщатися з

частотою 36 циклів за хвилину по поверхні асфальтобетонного зразка, поміщеного під кожух та закріпленого на рамі. Підтримання температури випробування здійснюється за допомогою терморегулюючого пристрою, поміщеного під кожух. Навантаження на колесо регульоване.

Дослідження виконували шляхом циклічного прокочування навантаженого огумленого колеса по поверхні асфальтобетонних зразків.

Зразки з дрібнозернистих ЦМА з максимальним розміром зерен щебеню 20 мм мали форму паралелепіпеда з розмірами $30 \times 15 \times 7$ см. Дослідження колієстійкості крупнозернистого ЦМА з максимальним розміром зерен щебеню 40 мм виконували з використанням зразків розміром $30 \times 15 \times 10$ см. Температуру випробування варіювали від плюс 50°C до плюс 65°C .

Дослідження значень короточасних модулів пружності та границі міцності за згину, як розрахункових характеристик ЦМА виконували за методами, прийнятими для оцінки властивостей бетонів на основі органічних в'язучих згідно [98, 114]. Згідно методики випробувань, спочатку визначали границю міцності за згину, після цього переходили до визначення модулів пружності. Границю міцності за згину визначали на випробувальній машині Р-20. Значення модулів пружності визначали на маятниковому приладі конструкції «ДерждорНДІ» який був обладнаний цифровим датчиком вимірювання деформації (рис. 3.4).

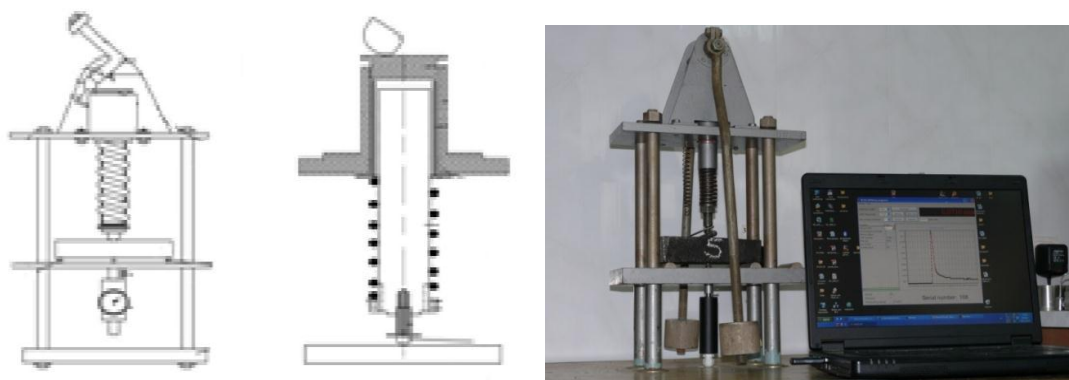


Рис. 3.4 – Устаткування для визначення модуля пружності

Модуль пружності визначали при навантаженні 0,2 – 0,3 від руйнівного. Обчислення виконували за формулою (3.1) при $K_t = 1,0$ і $K_l = 1,0$.

$$E_n = \frac{K_l K_t P l^3}{48 f J}, \quad (3.1)$$

де K_l, K_t – поправки;

P – вертикальне навантаження;

l – розрахунковий проліт балочки (0,14 м);

f – пружний прогин балочки;

J – момент інерції перетину зразка ($J = bh^3/12$, а b, h – ширина і висота балочки).

Границю міцності за згину та значення короточасних модулів пружності обчислювали як середнє арифметичне результатів випробування шести зразків, розбіжність між результатами окремих випробувань не перевищувала 15 %.

3.4 Фізико-механічні властивості дрібнозернистих щебенево-мастикових асфальтобетонів, прийнятих для досліджень

Для визначення показників фізико-механічних властивостей та розрахункових характеристик були прийняті дрібнозернисті щебенево-мастикові асфальтобетони ЩМА-5, ЩМА-10, ЩМА-15, ЩМА-20. Прийняті зернові склади мінеральної частини дрібнозернистих ЩМА різних видів наведені на рис. 3.5 - 3.9.

Результати досліджень фізико-механічних властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів на основі традиційних і модифікованих бітумів приведені в таблицях 3.14 - 3.17.

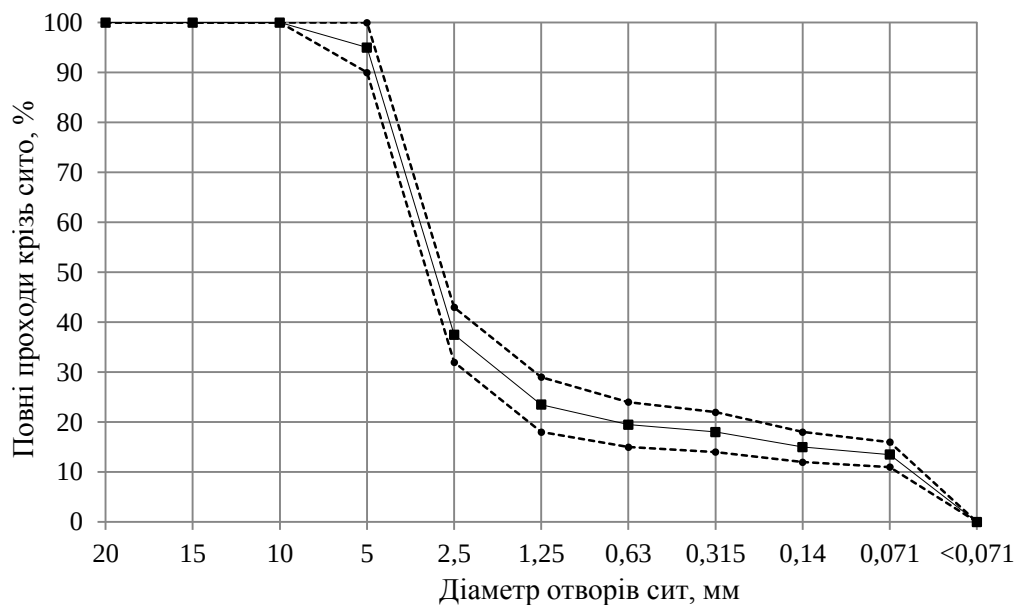


Рис. 3.5 – Зерновий склад мінеральної частини щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші ЦМАС-5

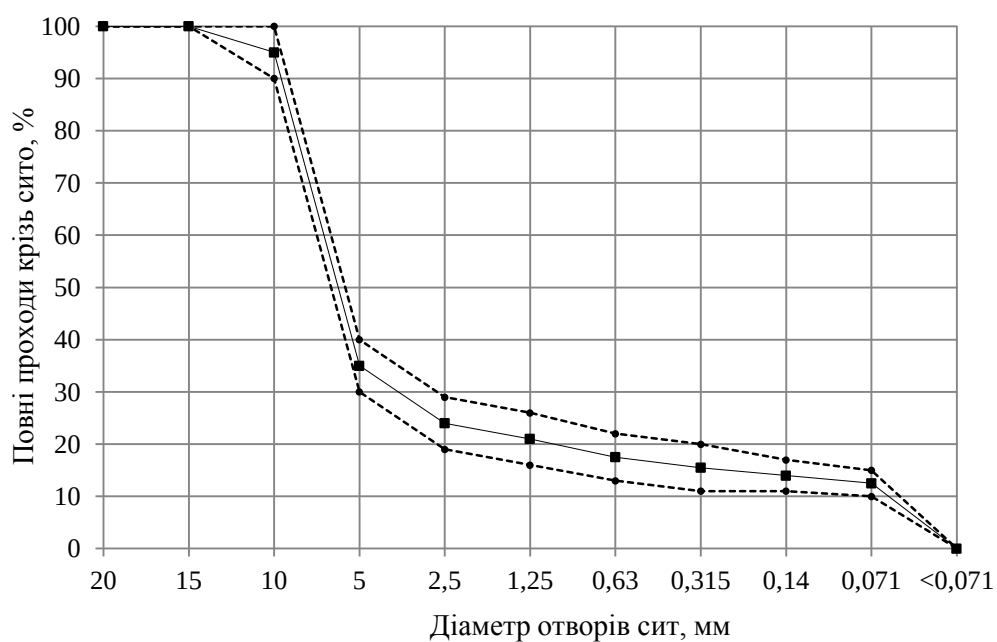


Рис. 3.6 – Зерновий склад мінеральної частини щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші ЦМАС-10

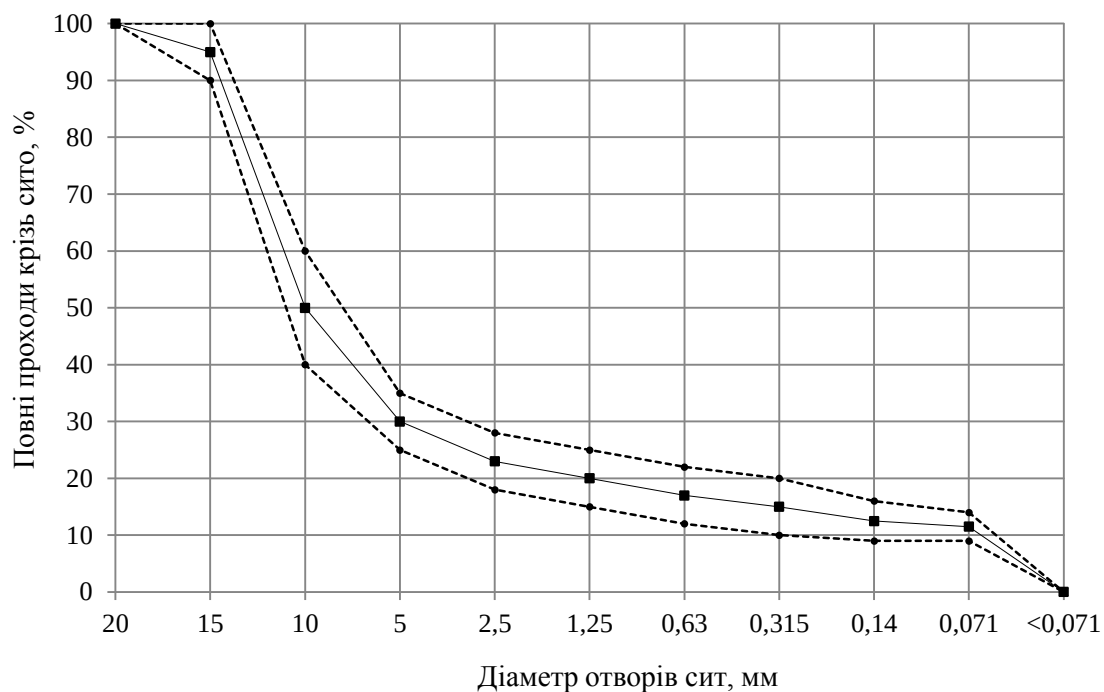


Рис. 3.7 – Зерновий склад мінеральної частини щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші ЦМАС-15

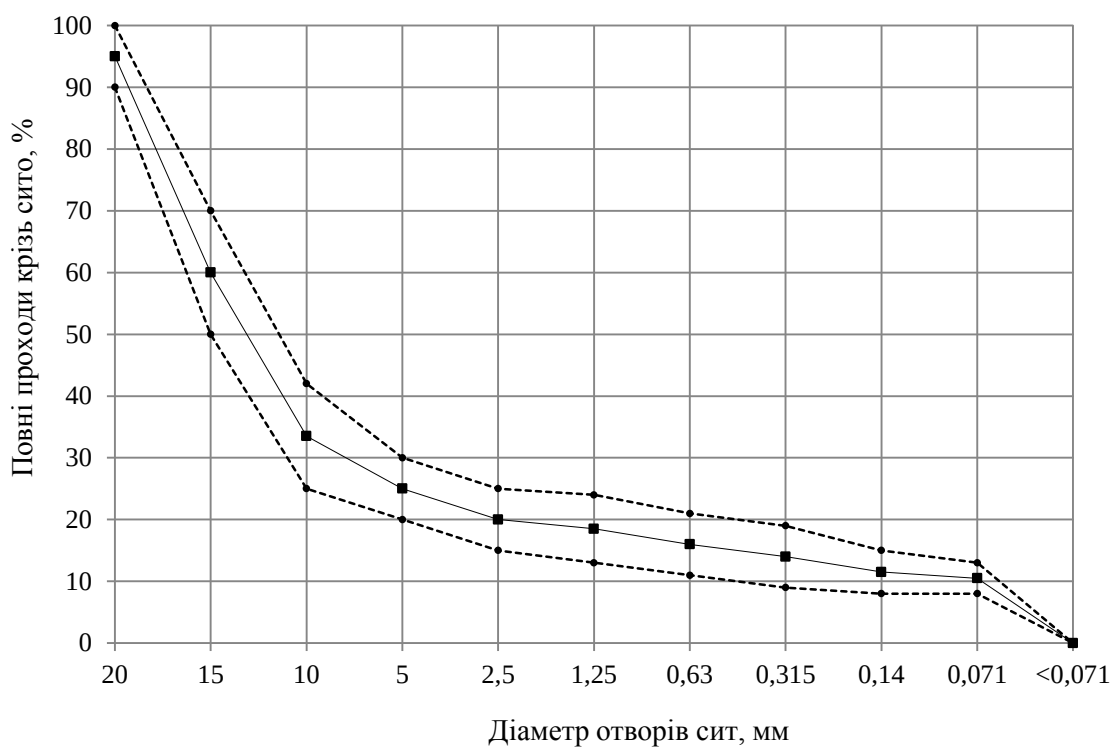


Рис. 3.8 – Зерновий склад мінеральної частини щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші ЦМАС-20

Таблиця 3.14 – Фізико-механічні властивості ЩМА різних видів на бітумі БНД 60/90

Назва показника	ЩМА-5 на бітумі БНД 60/90	ЩМА-10 на бітумі БНД 60/90	ЩМА-15 на бітумі БНД 60/90	ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90
Водонасичення, % за об'ємом	1,4	1,6	1,5	2,4
Границя міцності за стиску, МПа, за температури: 20 °С 50 °С	3,9 1,3	3,5 1,0	3,0 0,9	2,4 0,7
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,85	0,90	0,92	0,93
Коефіцієнт тривалої водостійкості	0,90	0,92	0,92	0,91
Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа,	0,25	0,18	0,17	0,16
Границя міцності за стиску по твірній, за температури 0 °С, МПа	5,1	4,8	4,6	4,2
Вміст в'язучого, %	7,0	6,1	5,5	5,3

Таблиця 3.15 – Фізико-механічні властивості ЩМА-10 та ЩМА-20 на бітумах різних марок

Назва показника	ЩМА-10 на бітумі БНД 40/60	ЩМА-20 на бітумі БНД 40/60	ЩМА-10 на бітумі БНД 90/130	ЩМА-20 на бітумі БНД 90/130
Водонасичення, % за об'ємом	1,7	2,4	1,5	2,5
Границя міцності за стиску, МПа, за температури: 20 °С 50 °С	4,5 1,4	2,4 0,9	3,7 1,1	2,1 0,6
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,91	0,94	0,91	0,95
Коефіцієнт тривалої водостійкості	0,93	0,92	0,92	0,90
Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа,	0,20	0,17	0,18	0,16
Границя міцності за стиску по твірній, за температури 0 °С, МПа	5,4	4,8	4,6	4,2
Вміст в'язучого, %	6,1	5,5	6,1	5,5

Результати досліджень свідчать (табл. 3.14 - 3.15), що за показниками фізико-механічних властивостей ЩМА всіх видів на основі досліджуваних бітумів відповідають вимогам [98]. Щебенево-мастиковим асфальтобетонам з більшим максимальним розміром зерен щебеню властиві менші значення показників границі міцності за стиску за температур 20 °С та 50 °С порівняно з щебенево-мастиковими асфальтобетонами з меншим максимальним розміром зерен щебеню. При цьому збільшення максимального розміру зерен щебеню у щебенево-мастикових асфальтобетонах призводить до збільшення показника кута внутрішнього тертя, що підтверджує теоретичні передумови та свідчить про більшу їхню зсувостійкість.

Зі зростанням марочної в'язкості бітуму, використаного для приготування щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші, показники міцності за одноосьового стиску та показники зчеплення при зсуві за температури 50 °С щебенево-мастикових асфальтобетонів зростають (3.15).

За результатами досліджень (табл. 3.16 - 3.17) встановлено, що щебенево-мастиковим асфальтобетонам, приготуванням з добавками природного бітуму Trinidad Epure Z 0/8, властиве закономірне зростання значень границі міцності за стиску за температури 20 °С та 50 °С, зчеплення при зсуві за температури 50 °С, границі міцності за стиску по твірній за температури 0 °С, коефіцієнта тривалої водостійкості як для ЩМА-10, так і для ЩМА-20, порівняно з щебенево-мастиковими асфальтобетонами на основі вихідного бітуму. Аналогічні закономірності спостерігаються у випадку використання бітуму модифікованого природним бітумом Gilsonite для приготування ЩМА-10.

Щебенево-мастиковим асфальтобетонам приготуванням з використанням бітумів модифікованих полімерами теж характерні більші значення показників міцності за стиску, зчеплення при зсуві за температури 50 °С, тривалої водостійкості, порівняно з щебенево-мастиковими асфальтобетонами на основі не модифікованого бітуму.

Таблиця 3.16 – Фізико-механічні властивості ЦМА-10 на модифікованих бітумах

Назва показника	ЦМА-10 на бітумі БНД 60/90	ЦМА-10 на бітумі БНД 60/90, модифік. 1,5% Trinidad (в суміш)	ЦМА-10 на бітумі БНД 60/90, модифік. 3 % Trinidad (в суміш)	ЦМА-10 на бітумі БНД 60/90, модифік. 5 % Gilsonite	ЦМА-10 на бітумі БНД 60/90, модифік. 2% Kraton D 1101	ЦМА-10 на бітумі БНД 60/90, модифік. 3% Kraton D 1101	ЦМА-10 на бітумі БНД 60/90, модифік. 2% Butonal NS 198	ЦМА-10 на бітумі БНД 60/90, модифік. 3% Butonal NS 198
Водонасичення, % за об'ємом	1,5	1,9	2,3	2,0	1,3	1,2	1,4	1,3
Границя міцності за стиску, МПа, за температури: 20 °С 50 °С	3,8 1,0	5,3 1,4	5,6 1,8	5,0 1,7	4,5 1,4	4,8 1,8	4,4 1,4	4,9 1,6
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,91	0,91	0,92	0,92	0,91	0,92	0,91	0,92
Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа	0,19	0,27	0,30	0,32	0,25	0,28	0,27	0,30
Коефіцієнт тривалої водостійкості	0,90	0,95	0,97	0,97	0,92	0,93	0,92	0,94
Границя міцності за стиску по твірній, за температури 0 °С, МПа	4,7	5,8	6,3	5,7	5,8	5,9	5,7	6,4
Вміст в'язучого, %	6,1	5,3	4,5	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1

Таблиця 3.17 – Фізико-механічні властивості ЩМА-20 на модифікованих бітумах

Назва показника	ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90	ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90, модифік. 1,5% Trinidad (в суміш)	ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90, модифік. 3 % Trinidad (в суміш)	ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90, модифік. 2% Kraton D 1101	ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90, модифік. 3% Kraton D 1101	ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90, модифік. 2% Butonal NS 198	ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90, модифік. 3% Butonal NS 198
Водонасичення, % за об'ємом	2,5	2,7	3,0	2,2	2,1	2,3	2,2
Границя міцності за стиску, МПа, за температури: 20 °С 50 °С	2,2 0,7	3,9 0,8	4,3 1,1	3,0 0,9	3,5 1,0	3,0 0,8	3,6 0,9
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,94	0,94	0,95	0,94	0,94	0,94	0,95
Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа	0,16	0,20	0,24	0,18	0,21	0,20	0,23
Коефіцієнт тривалої водостійкості	0,90	0,95	0,97	0,93	0,94	0,91	0,95
Границя міцності за стиску по твірній, за температури 0 °С, МПа	4,4	4,8	5,2	4,8	5,0	4,7	5,6
Вміст в'язучого, %	5,5	4,7	3,8	5,5	5,5	5,5	5,5

3.5 Висновки по розділу

1. Результатами експериментальних досліджень підтверджено, що вихідні матеріали, як складники щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, відповідають вимогам чинних стандартів та прийняті для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей і зразків з них для проведення випробувань.

2. За результатами експериментальних досліджень підтверджена відповідність фізико-механічних властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів різних гранулометричних видів, прийнятих для досліджень, вимогам чинного ДСТУ Б В.2.7-127. Показано, що зменшення максимального розміру зерен щебеню у складі мінеральної частини щебенево-мастикових асфальтобетонів та зростання марочної в'язкості бітуму, використаного для приготування сумішей, позначається на зростанні показників міцності ЩМА. Підтверджено, що серед досліджених щебенево-мастикових асфальтобетонів більші значення коефіцієнту внутрішнього тертя властиві асфальтобетонам з більшим розміром зерен щебеню.

3. Встановлено, що модифікація природними бітумами сумішей на стадії приготування, а також бітумів полімерами, перед приготуванням ЩМАС, призводить до зростання значень показників міцності за стиску, зчеплення при зсуві за температури 50 °C та тривалої водостійкості, порівняно з щебенево-мастиковими асфальтобетонами на основі не модифікованого бітуму.

4. Результати досліджень, які викладені в третьому розділі, частково опубліковані у наступних публікаціях [121 - 125, 127 - 135].

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Дослідження впливу температури та величини тиску колеса на колієстійкість дрібнозернистих щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів

Для порівняльних досліджень стійкості до накопичення пластичних деформацій у вигляді колії виготовляли зразки із дрібнозернистих щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів ЩМА-5, ЩМА-10, ЩМА-15 та ЩМА-20 на основі нафтового дорожнього бітуму марки БНД 60/90.

Аналіз результатів досліджень, наведених на рис. 4.1, показує, що різні види ЩМА характеризуються достатньо близькими значеннями глибини колії за температури 50 °С. Глибина колії в ЩМА різних видів за 30000 проходів колеса коливається в межах 2,75 – 3,75 мм, тобто різниця в глибині колії для чотирьох досліджених видів ЩМА за температури 50 °С складає всього 1 мм.

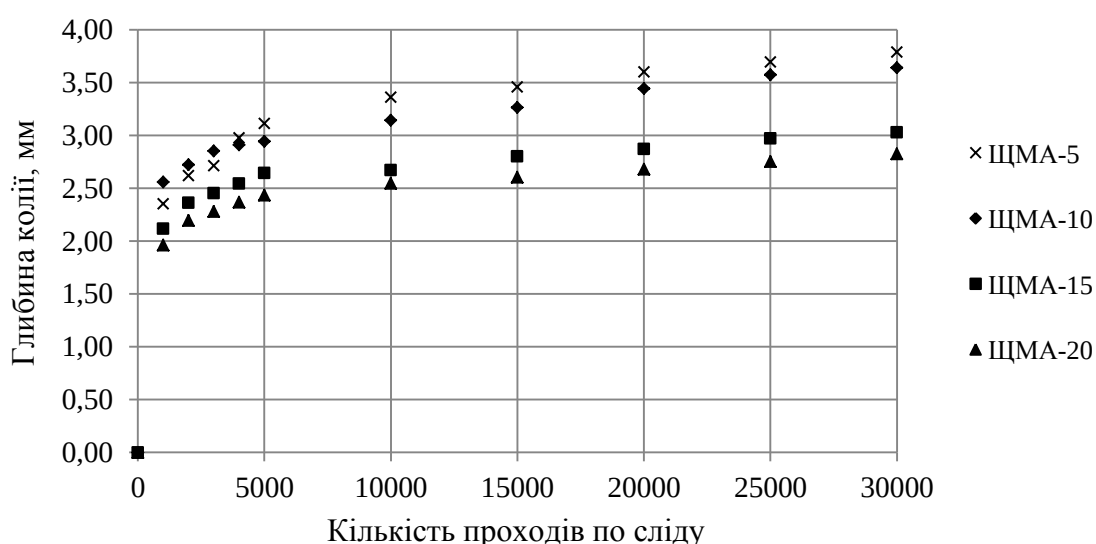


Рис. 4.1 – Глибина колії в ЩМА різних видів на бітумі БНД 60/90 за температури 50 °С та тиску колеса 0,6 МПа

У разі підвищення температури випробування до 60 °С дрібнозернисті ЩМА різних видів стають більш чутливими до кількості проходів колеса і починають суттєво відрізнятися один від одного за абсолютною величиною глибини колії (рис. 4.2).

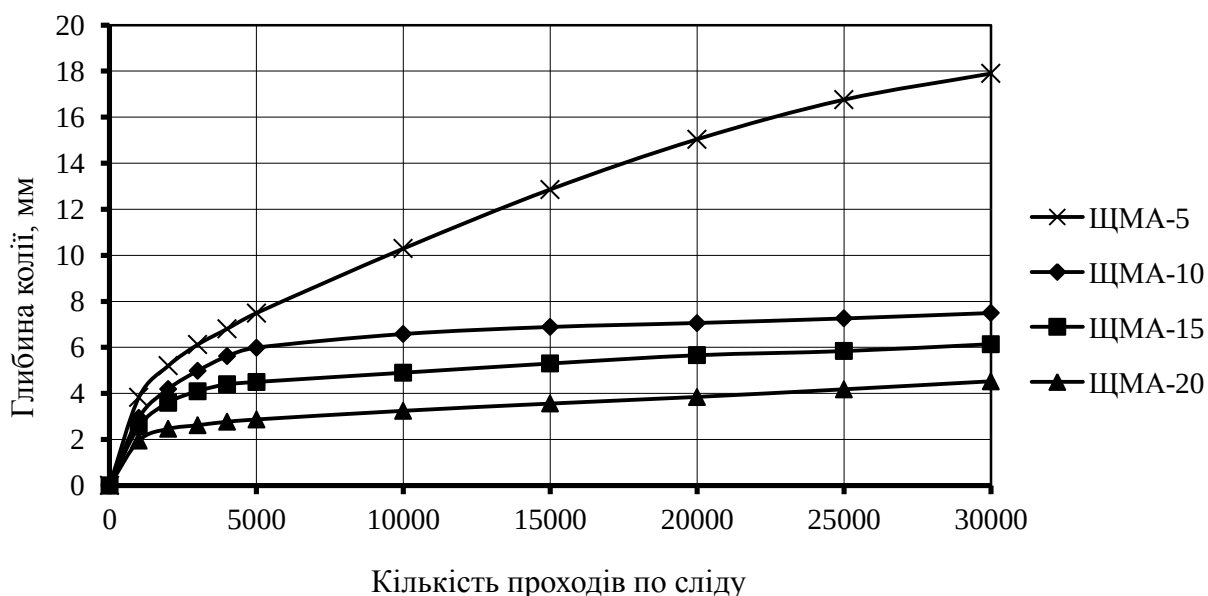


Рис. 4.2 – Глибина колії в ЩМА різних видів на бітумі БНД 60/90 за температури 60 °С та тиску колеса 0,6 МПа

Із залежностей зображених на рисунку 4.2 видно, що глибина колії більш інтенсивно зростає зі збільшенням кількості проходів колеса у щебенево-мастикового асфальтобетону з найменшим розміром зерен щебеню (ЩМА-5). Спостерігається зменшення інтенсивності зростання глибини колії зі збільшенням кількості проходів колеса у разі збільшення максимального розміру зерен щебеню у складі мінеральної частини ЩМАС, що добре узгоджується з викладеним у теоретичних передумовах. З наведених залежностей видно, що зі збільшенням максимального розміру зерен щебеню у складі мінеральної частини ЩМА удвічі, наприклад, від 5 мм до 10 мм (порівнюємо ЩМА-5 та ЩМА-10) глибина колії зменшується у 2,4 рази. Видно також, що зі збільшенням удвічі максимального розміру зерен у складі мінеральної частини ЩМА з зернами щебеню більшої крупності, наприклад, від 10 мм до 20 мм (порівнюємо ЩМА-10 та ЩМА-20)

глибина колії зменшується дещо менше – у 1,66 рази. Ці дані теж підтверджують положення викладених у другому розділі теоретичних передумов дослідження.

Оскільки щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші виду ЩМАС-5 мало застосовуються для влаштування шарів покриття дорожніх одягів автомобільних доріг, для подальших порівняльних досліджень прийняті щебенево-мастикові асфальтобетони з максимальною крупністю розміру зерен щебеню 10 мм та 20 мм (ЩМА-10 та ЩМА-20).

Порівняльні дослідження впливу навантаження на колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів проводили за тиску колеса на зразок 0,8 МПа; 0,6 МПа та 0,5 МПа в діапазоні температур від 50 °С до 65 °С і 30000 проходів колеса.

За результатами проведених експериментальних досліджень отримані залежності глибини колії в ЩМА від кількості проходів колеса за різних температур випробування і тиску на зразок (рис. 4.3 – 4.8).

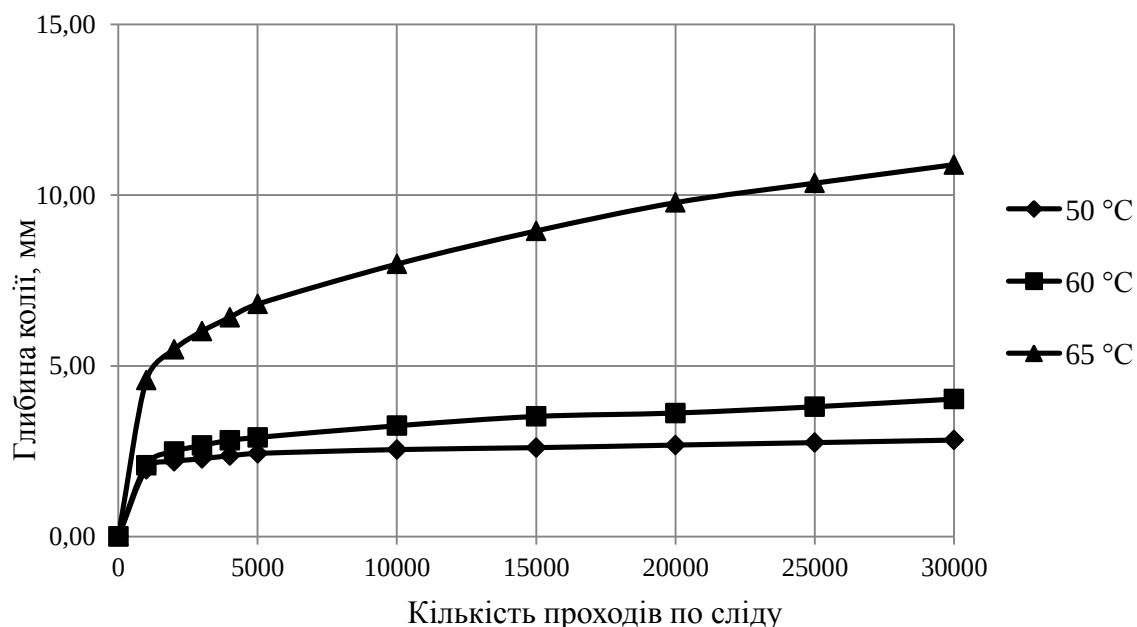


Рис. 4.3 – Залежність глибини колії в ЩМА-20 від кількості проходів колеса за тиску на зразок 0,6 МПа та різних температурах

З отриманих залежностей (рис. 4.4) видно, що в ЩМА-20 накопичення пластичної деформації у вигляді колії найбільш інтенсивно відбувається за температури випробування 65 °С. Після 30000 проходів колеса глибина колії за абсолютною величиною складає 10,89 мм. Зі зниженням температури випробування до 60 °С глибина колії зменшується в 2,7 рази, а до температури 50 °С в 4,14 рази.

Дослідженнями в аналогічних умовах колієстійкості ЩМА-10 (рис. 4.5) встановлено, що за температури 50 °С глибина колії після 30000 проходів колеса становить 2,83 мм. За температури 60 °С за того ж значення тиску та кількості проходів колеса глибина колії зростає до 7,49 мм, що в 2,65 рази більше ніж за температури 50 °С. За температури 65 °С глибина колії зросла до 14,73 мм, що в 5,2 рази більше ніж за температури 50 °С і в 1,97 рази більша ніж за температури 60 °С.

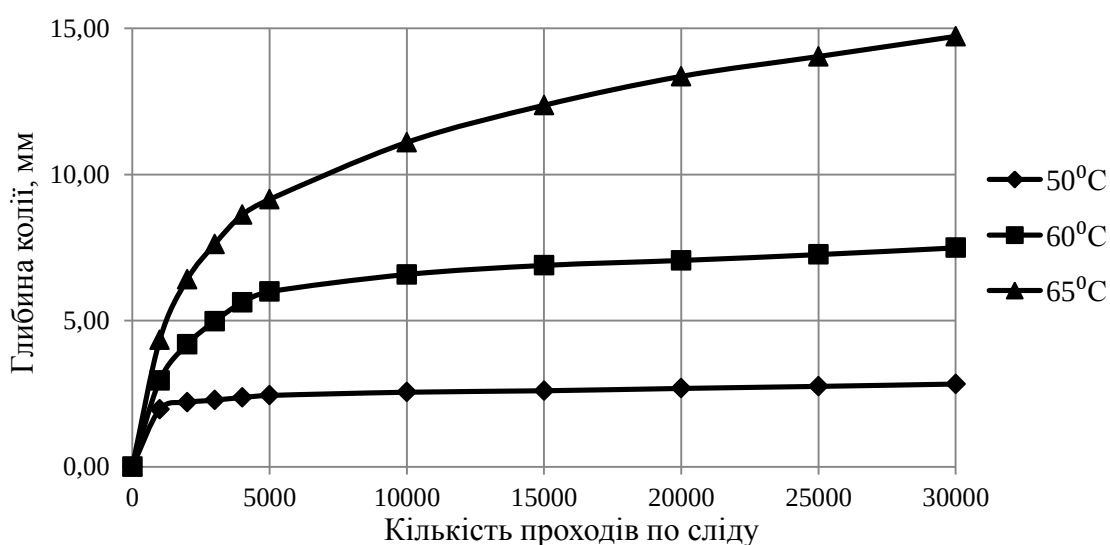


Рис. 4.4 – Залежність глибини колії в ЩМА-10 від кількості проходів колеса за тиску на зразок 0,6 МПа та різних температурах

Порівняння результатів експериментальних досліджень колієстійкості ЩМА-20 і ЩМА-10 (рис. 4.6) вказує на те, що щебенево-мастиковому асфальтобетону з більшим максимальним розміром зерен щебеню властива більша стійкість до колієутворення. За температури 65 °С та 30000 проходів

колеса в ЩМА-20 утворюється глибина колії менша на 25,9 %, ніж в ЩМА-10. За зниження температури до 50 °С глибина колії в досліджуваних ЩМА майже однакова (різниця між ними складає лише 0,2 мм). З наведеної залежності видно, що більш інтенсивне наростання глибини колії за підвищення температури асфальтобетонного покриття від 50 °С до 65 °С властиве щебенево-мастиковому асфальтобетону з меншим розміром зерен щебеню (ЩМА-10).

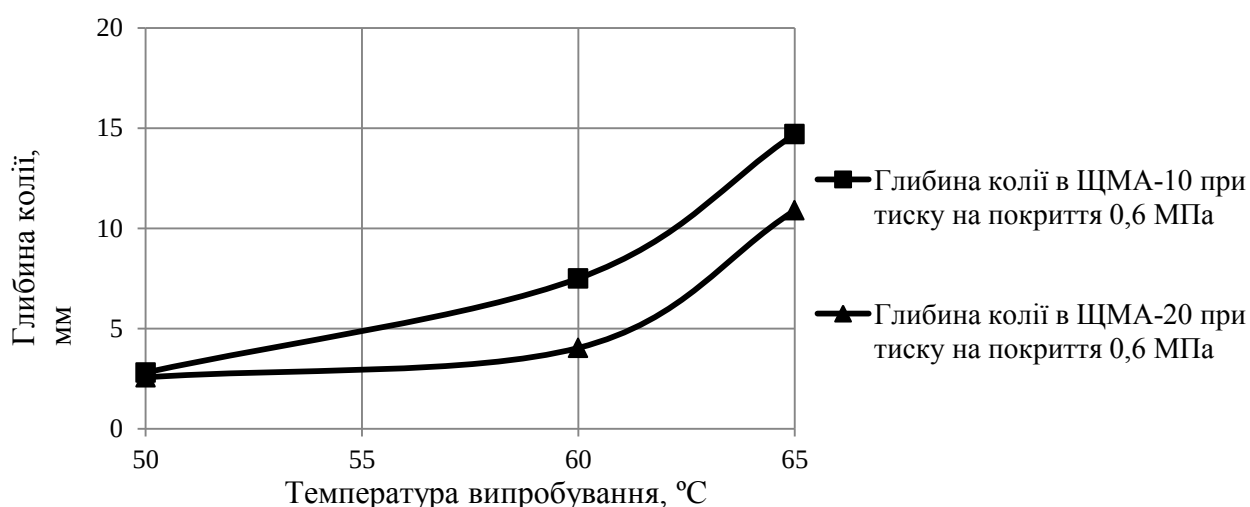


Рис. 4.5 – Залежність глибини колії від температури випробування в ЩМА-10 і ЩМА-20 за 30000 проходів колеса

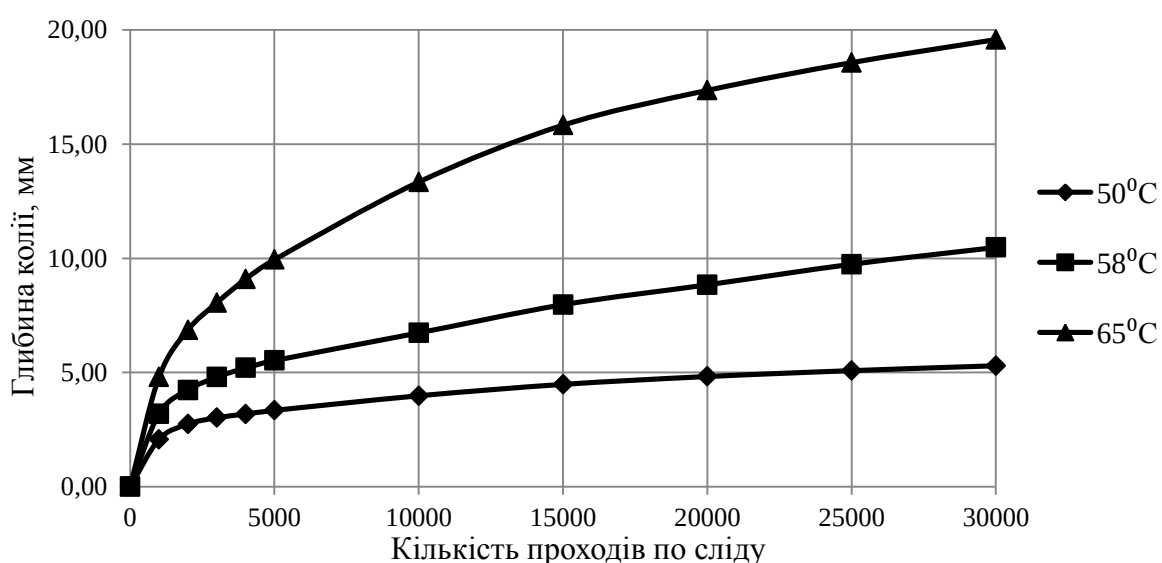


Рис. 4.6 – Залежність глибини колії в ЩМА-10 від кількості проходів колеса за тиску на зразок 0,8 МПа та різних температурах

Зі збільшенням тиску колеса на зразок до 0,8 МПа (рис. 4.7) за температури випробування 50 °С глибина колії в ЩМА-10 після 30000 проходів колеса складає 5,3 мм. За температури 58 °С і за того ж тиску і кількості проходів колеса глибина колії збільшується в 1,98 рази, порівняно з температурою 50 °С. За підвищення температури до 65 °С результати досліджень показують, що глибина колії зросла в 3,69 рази порівняно з температурою 50 °С, і в 1,87 рази порівняно з температурою 58 °С.

При тиску колеса 0,5 МПа на досліджуваний зразок ЩМА-10 (рис. 4.8) за температури 60 °С глибина колії після 30000 проходів колеса складає 5,8 мм. Збільшення температури до 65 °С за аналогічних умов випробування призводить до зростання глибини колії до 11,6 мм, що в 2 рази більше порівняно з результатами дослідженням за температури 60 °С. За зменшення температури до 50 °С глибина колії зменшується до 2,19 мм, що менше в 2,65 рази порівняно з температурою випробування 60 °С, і в 5,29 раз менше за результати, отримані за температури 65 °С.

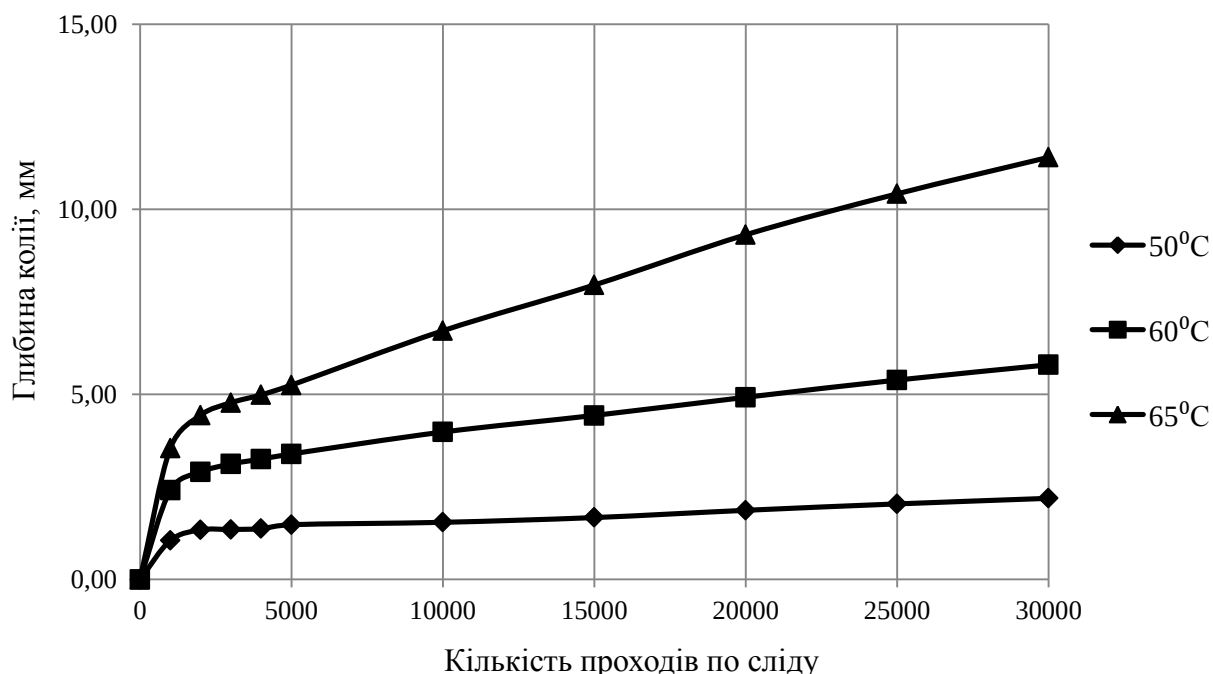


Рис. 4.7 – Залежність глибини колії в ЩМА-10 від кількості проходів колеса за тиску на зразок 0,5 МПа та різних температурах

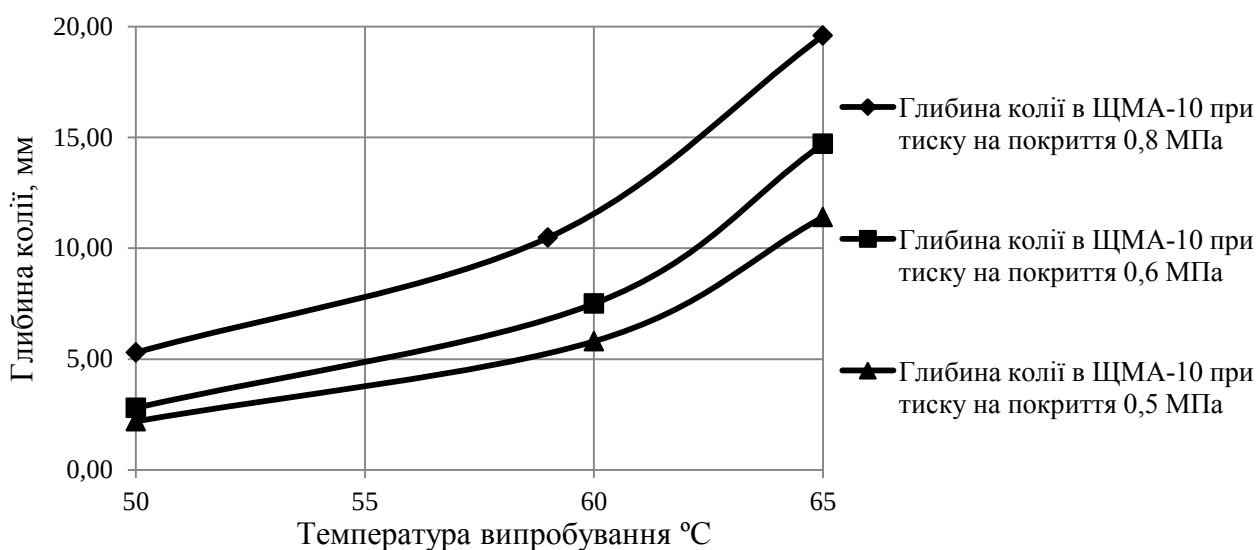


Рис. 4.8 – Температурна залежність глибини колії в ЩМА-10 при різних рівнях навантаження після 30000 проходів колеса

Аналіз результатів досліджень наведених на (рис. 4.9) показує, що за всіх досліджуваних рівнях навантаження при підвищенні температури з 50 °C до 65 °C колієстійкість щебенево-мастикового асфальтобетону зменшується. При цьому інтенсивність зростання глибини колії збільшується зі збільшенням величини тиску колеса на поверхню асфальтобетону.

4.2 Дослідження впливу природних бітумів на колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів

Відомо, що властивості нафтових дорожніх бітумів, як визначального складника асфальтобетону, позначаються на багатьох властивостях асфальтобетонних шарів дорожніх одягів. Для виконання порівняльних досліджень впливу марки нафтових дорожніх бітумів та добавок природних бітумів (у суміш і вихідний бітум) на колієстійкість асфальтобетонного шару покриття прийняті щебенево-мастикові асфальтобетони виду ЩМА-10 та ЩМА-20.

За отриманими результатами експериментальних досліджень (рис. 4.9, 4.10) встановлено, що зі збільшенням температури розм'якшення бітуму, використаного для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, колієстійкість ЩМА зростає, як і у випадку традиційних дрібнозернистих щільних асфальтобетонів.

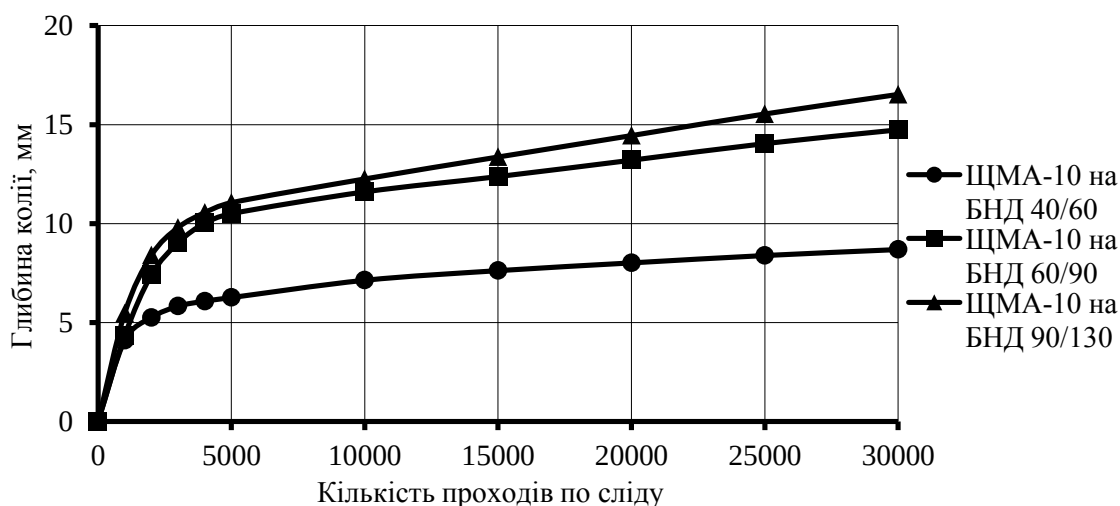


Рис. 4.9 – Залежність глибини колії від кількості проходів колеса в ЩМА-10 на бітумах різних марок за температури 65 °C

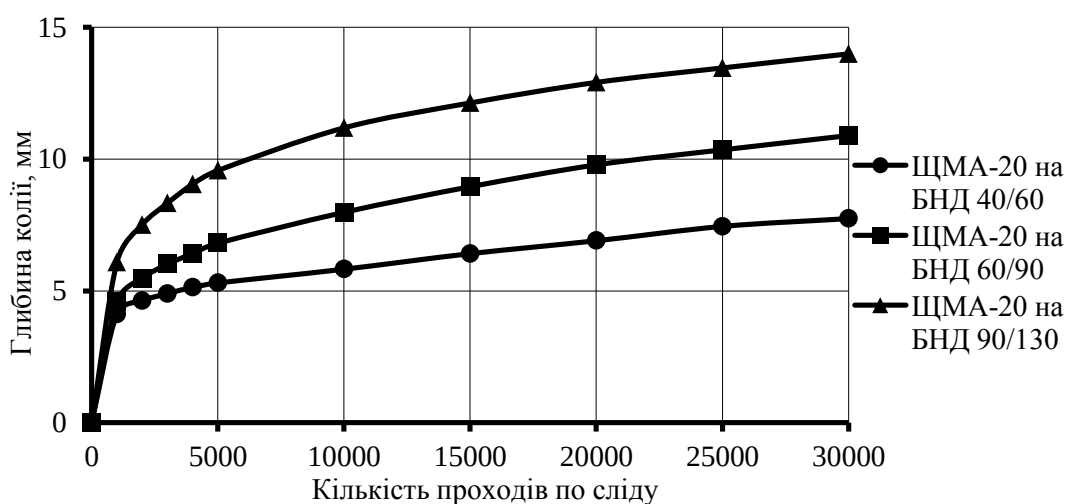


Рис. 4.10 – Залежність глибини колії від кількості проходів колеса в ЩМА-20 на бітумах різних марок за температури 65 °C

Із залежностей наведених на рис. 4.10 видно, що глибина колії в ЩМА-10 на бітумі БНД 90/130 складає 16,52 мм, що більше в 1,9 рази ніж в ЩМА-10 на

бітумі БНД 40/60 (8,69 мм). У той же час, глибина колії в ЩМА-20 на бітумі БНД 90/130 складає 13,99 мм, що більше в 1,8 рази ніж в ЩМА-20 на основі бітуму БНД 40/60 (7,74 мм).

Отримані результати показують, що колієстійкість є достатньо чутливим критерієм до марочної в'язкості дорожнього бітуму, який необхідно враховувати при призначенні марки бітуму для приготування щебенево-мастикових сумішей та забезпечення щебенево-мастиковим асфальтобетонам підвищеної стійкості до колієутворення.

Особливості технології застосування природних бітумів «Trinidad Epuré Z 0/8» та «Gilsonite» для підвищення колієстійкості ЩМА були встановлені у залежності від присутності у їхньому складі дрібнодисперсного мінерального складника. Присутність в «Trinidad Epuré Z 0/8» дрібнодисперсного мінерального складника унеможливорює реалізацію технології модифікації дорожнього бітуму безпосереднім введенням у його склад цієї добавки.

При приготуванні асфальтобетонних сумішей добавку «Trinidad Epuré Z 0/8» вводили безпосередньо на поверхню гарячих мінеральних матеріалів до початку дозування дорожнього бітуму. Концентрація добавки природного бітуму «Trinidad Epuré Z 0/8» становила 1,5 % та 3,0 % від маси мінеральної частини щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші. Добавку природного бітуму «Gilsonite» вводили в бітум у кількості 5 % від його маси, а потім ЩМАС готували за традиційною технологією.

З наведених на рис. 4.11 залежностей видно, що введення добавок природних бітумів безпосередньо до складу асфальтобетонної суміші або бітуму підвищує стійкість ЩМА-10 до утворення колії, порівняно з ЩМА-10 на основі бітуму марки БНД 60/90. Додавання 1,5 % «Trinidad Epuré Z 0/8» в ЩМА-10 від маси мінеральної частини зменшує глибину колії після 30000 проходів колеса на 70 % порівняно з асфальтобетоном без добавки. Аналогічна залежність властива ЩМА-10 на основі бітуму модифікованого 5 % добавки «Gilsonite». При введенні до складу щебенево-мастикового асфальтобетону більшої кількості (3,0 %) добавки «Trinidad Epuré Z 0/8» колієстійкість ЩМА-10 закономірно продовжує

зростати (глибина колії зменшилась на 83,3 %, порівняно з ЩМА-10 на бітумі без добавки).

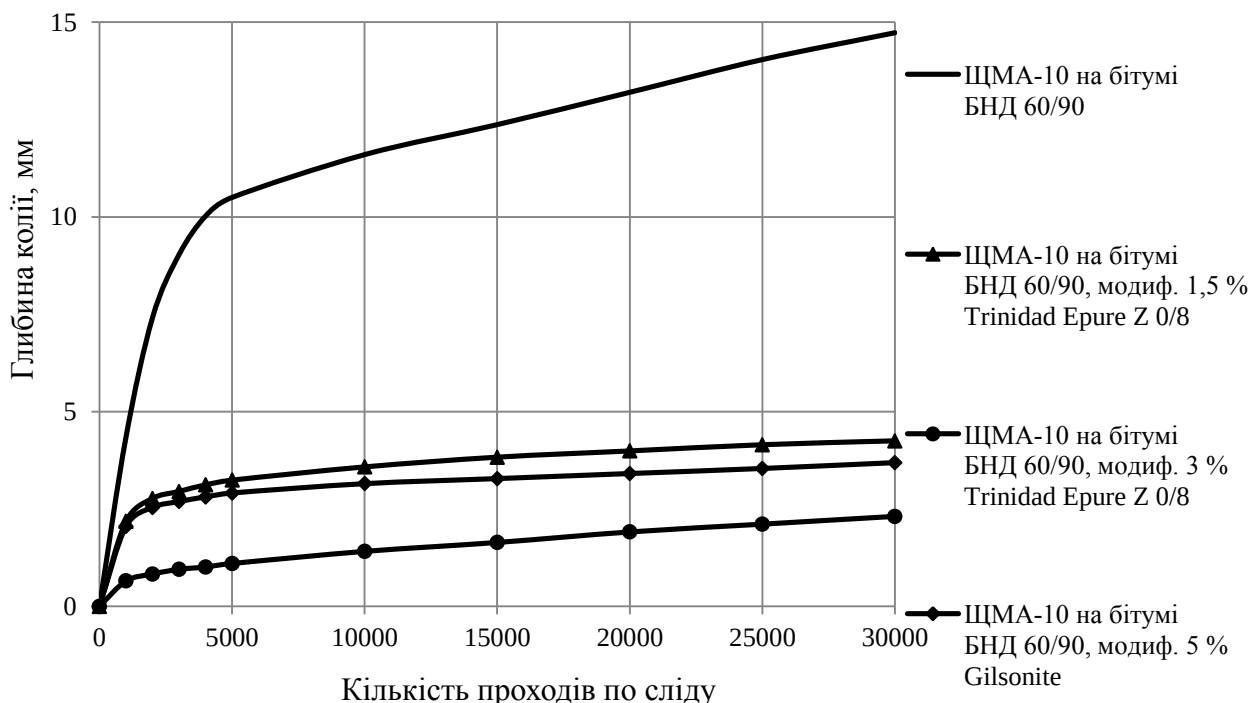


Рис. 4.11 – Залежність глибини колії в щебенево-мастиковому асфальтобетоні ЩМА-10 з добавками природних бітумів від кількості проходів колеса за температури 65 °C

З наведених на рис. 4.12 залежностей видно, що за аналогічних умов випробування ефект від модифікації ЩМА-20 добавкою «Trinidad Epuré Z 0/8» дещо менший, порівняно з ЩМА-10. Так, 1,5 % добавки «Trinidad Epuré Z 0/8» від маси мінеральної частини ЩМА-20 зменшує глибину колії на 65 % порівняно з асфальтобетоном без добавки. Введення до складу щебенево-мастикового асфальтобетону ЩМА-20 3,0 % добавки «Trinidad Epuré Z 0/8» зменшує глибину колії на 80,7 %, порівняно з ЩМА-20 без добавки.

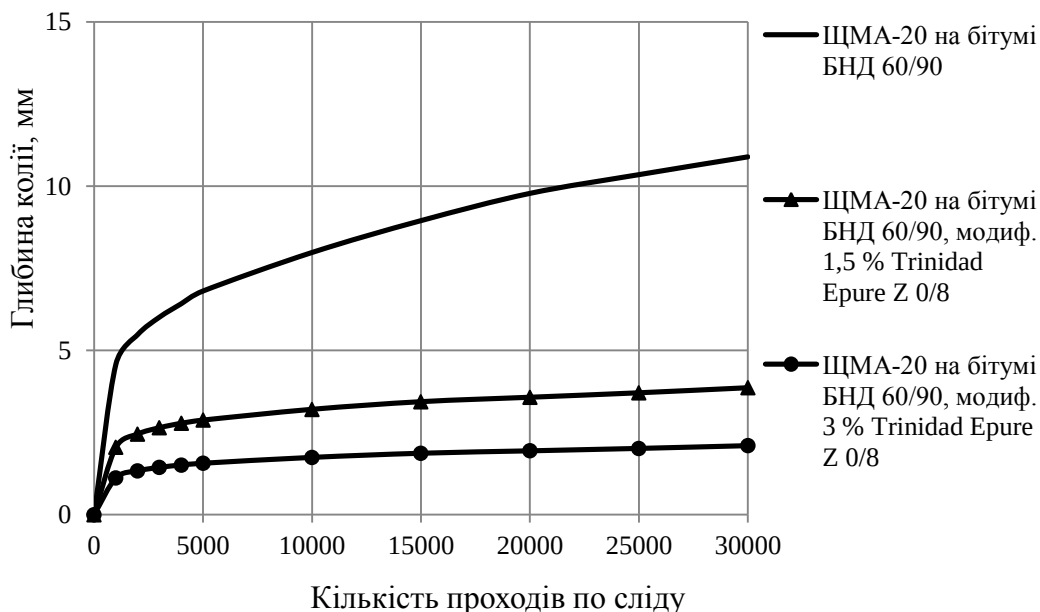


Рис. 4.12 – Залежність глибини колії в щебенево-мастиковому асфальтобетоні ЩМА-20 з добавкою природного бітуму від кількості проходів колеса за температури 65 °С

Аналіз результатів експериментальних досліджень свідчить про достатньо високу ефективність впливу природних бітумів «Trinidad Epuré Z 0/8» та «Gilsonite» на колієстійкість ЩМА, що позитивно впливатиме на підвищення довговічності дорожніх одягів, побудованих з їх використанням.

4.3 Підвищення колієстійкості дрібнозернистих щебенево-мастикових асфальтобетонів модифікацією бітумів полімерами

Для досліджень колієстійкості були використані полімер класу SBS (стирол-бутадієн-стирол) марки Kraton D1101 CM, а також водний катіонний латекс Butonal NS 198. Модифікуючі добавки полімеру Kraton D1101 CM та латексу Butonal NS 198 вводили до бітуму в кількості 2 % та 3 % від маси бітуму. Результати досліджень колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів приготовлених на бітумах модифікованих добавкою полімеру Kraton D1101 CM наведено на рис. 4.13 та 4.14.

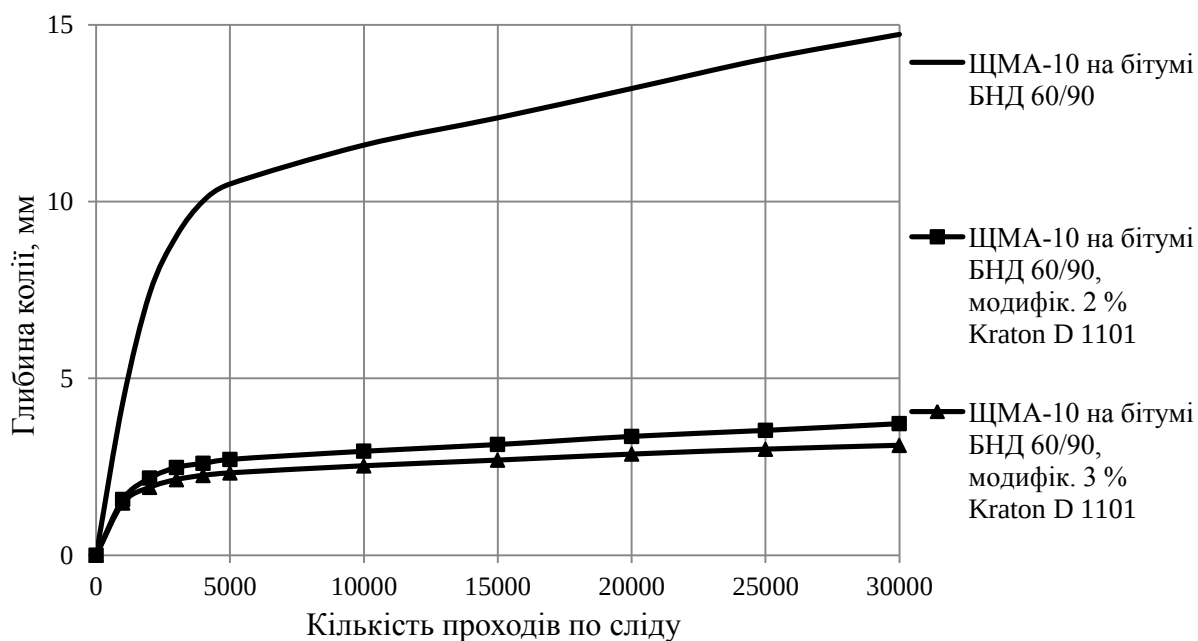


Рис. 4.13 – Залежності глибини колії в ЩМА-10 на бітумі БНД 60/90, модифікованому полімером «Kraton D1101 CM» від кількості проходів колеса за температури 65 °С

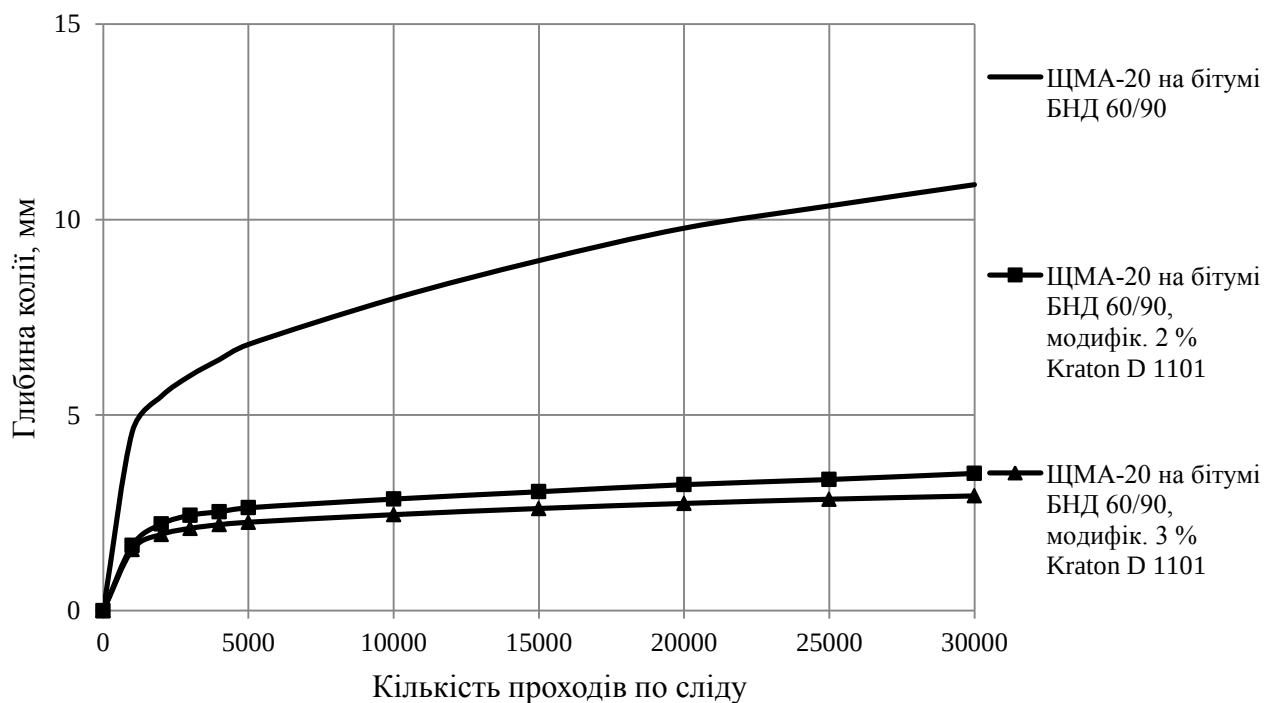


Рис. 4.14 – Залежності глибини колії в ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90, модифікованому полімером «Kraton D1101 CM», від кількості проходів колеса за температури 65 °С

З наведених на рис. 4.14 та 4.15 залежностей видно, що модифікація бітуму 2 % полімеру «Kraton D1101 CM» призводить до зменшення глибини колії в ЩМА-10 в 3,96 рази, а 3 % полімеру – в 4,74 рази, порівняно з ЩМА-10 на бітумі без добавки полімеру. В ЩМА-20 при модифікації бітуму 2 та 3 % полімеру колія зменшується в 3,10 та 3,71 рази відповідно. Видно (рис. 4.15), що ефективність впливу модифікації бітуму полімером на колієстійкість досліджених асфальтобетонів більше проявляється на щебенево-мастиковому асфальтобетоні з меншим максимальним розміром зерен щебеню, як і у випадку модифікації ЩМАС з різною максимальною крупністю зерен щебеню добавками природного бітуму «Trinidad Epuré Z 0/8».

За результатами досліджень (рис. 4.16, 4.17) встановлено також, що модифікування вихідного бітуму катіонним латексом «Butonal NS 198» теж зменшує глибину колії в ЩМА, приготовленому на його основі. Так, 3 % (у перерахунку на масу сухої речовини) латексу «Butonal NS 198» зменшує глибину колії в ЩМА-10 у 3,02 рази, а в ЩМА-20 у 2,42 рази. В цьому випадку ефективність впливу латексу на збільшення колієстійкості ЩМА, порівняно з полімером «Kraton D1101 CM», дещо менша.

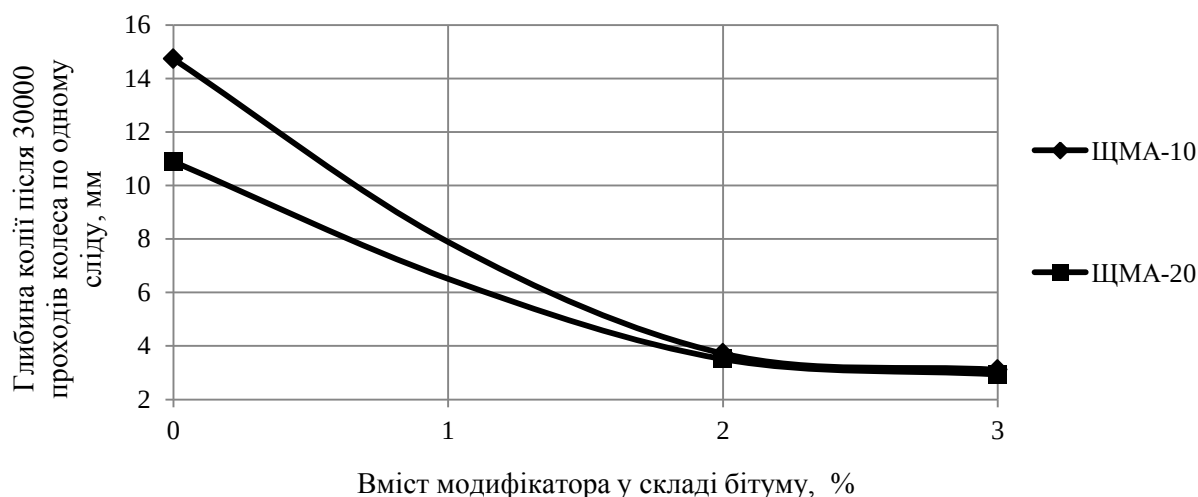


Рис. 4.15 – Залежності глибини колії в ЩМА від концентрації полімера «Kraton D1101 CM» в бітумі БНД 60/90 після 30000 проходів колеса за температури 65 °С

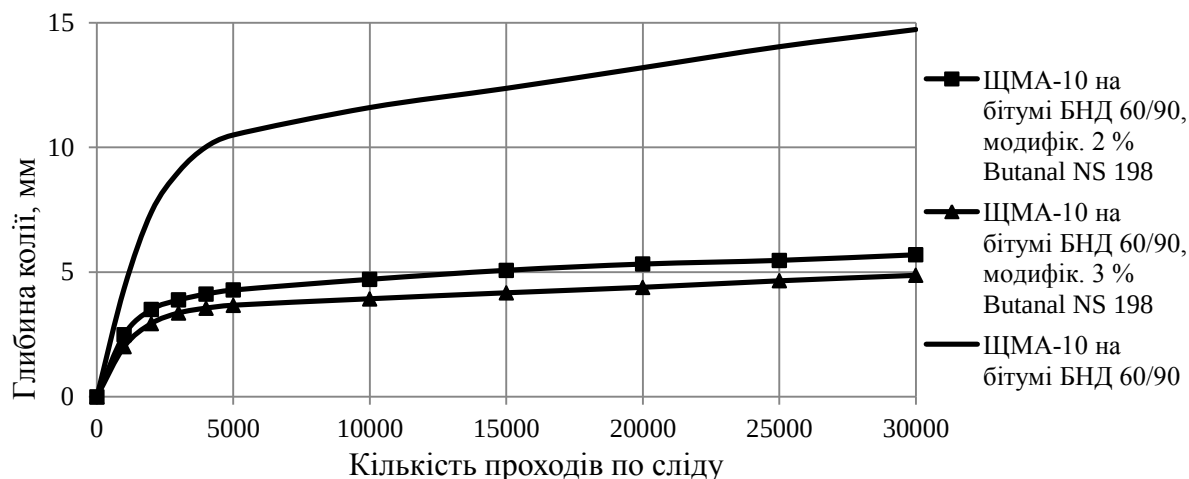


Рис.4.16 – Залежності глибини колії ЩМА-10 на бітумі БНД 60/90, модифікованому полімером «Butonal NS 198», при температурі 65 °С

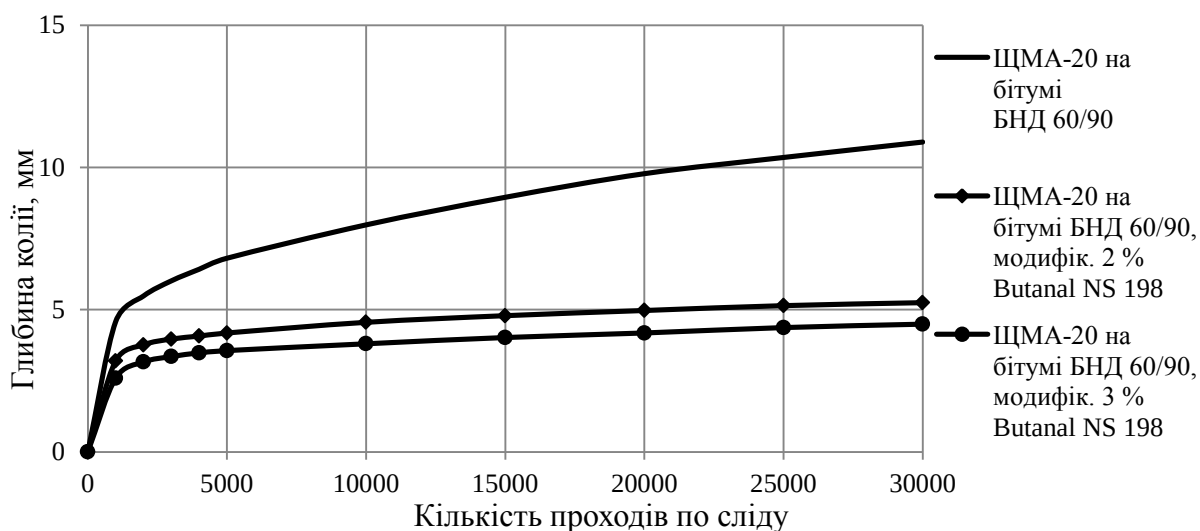


Рис. 4.17 – Залежності глибини колії ЩМА-20 на бітумі БНД 60/90, модифікованому полімером «Butonal NS 198», при температурі 65 °С

Залежності на рис. 4.18 теж свідчать про те, що ефективність впливу модифікації бітуму латексом на підвищення колієстійкості досліджених асфальтобетонів більше проявляється на щебенево-мастиковому асфальтобетоні з меншим максимальним розміром зерен щебеню. Аналогічна закономірність властива ЩМА на основі бітумів, модифікованих полімером «Kraton D1101 CM».

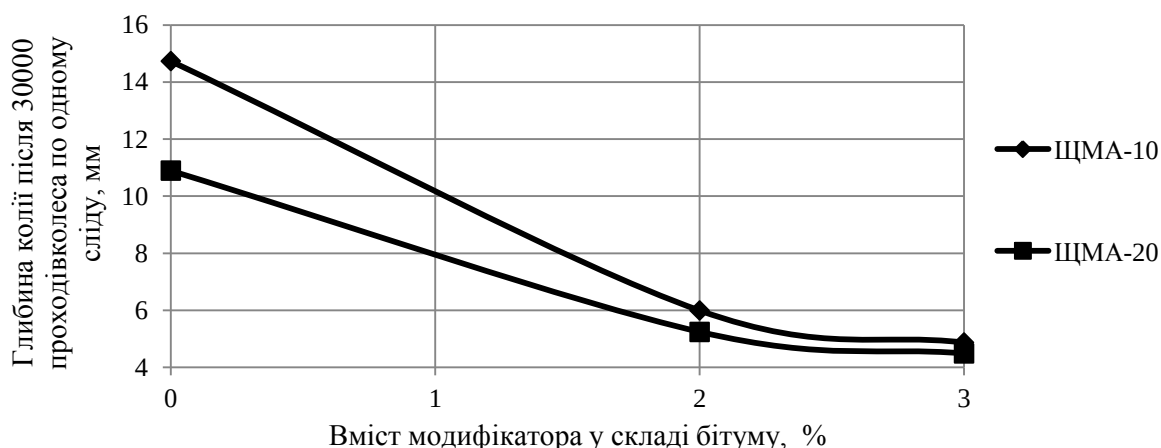


Рис. 4.18 – Залежності глибини колії в ЩМА від концентрації латексу «Butonal NS 198» в бітумі БНД 60/90 після 30000 проходів колеса за температури 65 °С

4.4 Результати визначення розрахункових характеристик дрібнозернистих щебенево-мастикових асфальтобетонів

На сьогодні конструювання та розрахунок дорожніх одягів нежорсткого типу здійснюються згідно [118 - 119]. Для виконання розрахунків за нормованими критеріями, необхідно знати розрахункові характеристики матеріалів, які прийняті в конструкції дорожнього одягу. Розрахунковими характеристиками для асфальтобетонів являються модулі пружності (E), що визначають за різних температурах, та міцність за згину (R_{sz}) за температури 0 °С.

Для досліджень розрахункових характеристик були прийняті чотири види щебенево-мастикових асфальтобетонів (ЩМА-5; ЩМА-10; ЩМА-15 та ЩМА-20) на основі бітумів різних марок, а також на модифікованих бітумах, полімером «Kraton D1101» та водним катіонним латексом «Butonal NS 198».

Міцність на розтяг при згині і модулі пружності в досліджуваному діапазоні температур визначали за результатами випробувань зразків-балочок розміром 4×4×16 см, виготовлених згідно [118] із сумішей, що містили зерна щебеню до 15 мм. Для ЩМАС що містили зерна щебеню крупніше 15 мм виготовляли зразки-призми розміром 7×10×16 см, після чого з них вирізали зразки розміром

4×4×16 см, які надалі піддавали випробуванням. Результати досліджень наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Значення розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів на основі бітумів різних марок

Вид ЦМА	Марка бітуму	Розрахункові значення короточасного модуля пружності E , МПа, при температурі, °С					$R_{зг}$, МПа
		0	+10	+20	+30	+40	
ЩМА-5	БНД 40/60	5000	3600	2200	1250	600	7,3
	БНД 60/90	4500	3300	2100	1100	550	6,6
	БНД 90/130	4050	2970	1890	990	495	5,9
ЩМА-10	БНД 40/60	4100	3000	1900	1100	510	4,6
	БНД 60/90	3900	2800	1800	1000	500	4,2
	БНД 90/130	3500	2520	1620	900	450	3,8
ЩМА-15	БНД 40/60	3800	2700	1700	950	470	4,2
	БНД 60/90	3600	2600	1600	900	460	3,9
	БНД 90/130	3240	2340	1440	810	415	3,5
ЩМА-20	БНД 40/60	3500	2500	1600	800	400	3,2
	БНД 60/90	3300	2400	1500	750	390	2,9
	БНД 90/130	2970	2160	1350	675	350	2,6
ЩМА-5	БНД 60/90+3% Kraton D1101	5200	3900	2700	1700	850	7,5
	БНД 60/90+3% Butonal NS198	5200	3900	2700	1700	850	7,5
ЩМА-10	БНД 60/90+3% Kraton D1101	4500	3500	2300	1500	750	5,6
	БНД 60/90+3% Butonal NS198	4500	3500	2300	1500	750	5,6
ЩМА-15	БНД 60/90+3% Kraton D1101	4100	3100	2000	1250	700	4,3
	БНД 60/90+3% Butonal NS198	4100	3100	2000	1250	700	4,3
ЩМА-20	БНД 60/90+3% Kraton D1101	3700	2700	1800	1100	600	3,4
	БНД 60/90+3% Butonal NS198	3700	2700	1800	1100	600	3,4

Наведені результати експериментальних досліджень вказують на залежність розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів від температури, марочної в'язкості нафтових дорожніх бітумів, використаних для їх приготування, а також гранулометричного складу мінеральної частини. Так, зі зростанням температури випробування та збільшенням максимальної крупності зерен щебеню в мінеральній частині щебенево-мастикового асфальтобетону

модулі пружності та границя міцності за згину зменшуються. Зі збільшенням марочної в'язкості бітуму у складі щебенево-мастикового асфальтобетону його модулі пружності та границя міцності за згину зростають.

Порівняно з традиційними гарячими щільними асфальтобетонами щебенево-мастикові мають менші значення модулів пружності та границі міцності за згину. Введення до складу бітумів полімерів суттєво збільшує значення розрахункових характеристик для всіх видів ЩМА.

4.5 Результати дослідження властивостей крупнозернистого щебенево-мастикового асфальтобетону

Для дослідження фізико-механічних властивостей щебенево-мастикового асфальтобетону з максимальним розміром зерен щебеню 40 мм прийнято зерновий склад мінеральної частини, який відповідає середнім значенням згідно таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Зернові склади для ЩМА-40

Повні проходи	40 мм	20 мм	15 мм	10 мм	5 мм	2,5 мм	1,25 мм	0,63 мм	0,315 мм	0,14 мм	0,071 мм	<0,071 мм
Верхнє граничне значення	90	55	36	22	16	13	11	10	9	8	7	0
Нижнє граничне значення	100	77	57	38	27	24	21	19	17	15	12	0
Середнє значення	95	66	47	30	22	19	16	15	13	12	10	0

Дослідження впливу марочної в'язкості бітуму на фізико-механічних властивостей щебенево-мастикового асфальтобетону з максимальним розміром зерен щебеню 40 мм наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Фізико-механічні властивості ЩМА-40 на бітумах різних марок

Назва показника	ЩМА-40 на бітумі БНД 40/60	ЩМА-40 на бітумі БНД 60/90	ЩМА-40 на бітумі БНД 90/130
Водонасичення, % за об'ємом	2,6	2,8	2,9
Середня щільність, кг/м ³	2388	2385	2383
Границя міцності за стиску, МПа, за температури: 20 °С 50 °С	2,5 0,7	2,3 0,5	2,0 0,4
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,96	0,95	0,95
Зчеплення при зсуві, за температури 50 °С, МПа	0,12	0,09	0,07
Границя міцності за стиску по твірній, за температури 0 °С, МПа	2,8	2,6	2,3
Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,89	0,87	0,86
Показник стікання в'язучого	0,11	0,13	0,16
Вміст бітуму, %	5,1	5,2	5,3

Результати досліджень показують, що марочна в'язкість вихідного бітуму прийнятого для досліджень, суттєво впливає на показники міцності ЩМА-40. Найбільш чутливими виявились показники границі міцності за стиску за температури 50 °С та зчеплення при зсуві за температури 50 °С. З таблиці 4.3 видно, що використання менш в'язкого бітуму знижує значення границі міцності за стиску за температури 50 °С з 0,7 МПа до 0,4 МПа, а зчеплення при зсуві з 0,12 МПа до 0,07 МПа. Зі зменшенням температури розм'якшення бітумного в'язучого закономірно зменшуються також значення границі міцності за стиску за температури 20 °С, границі міцності за стиску по твірній за температури 0 °С, коефіцієнта тривалої водостійкості.

Результати досліджень впливу марочна в'язкість вихідного бітуму на колієстійкість ЩМА-40 (середнє значення за гранулометрією) представлені на рис. 4.19.

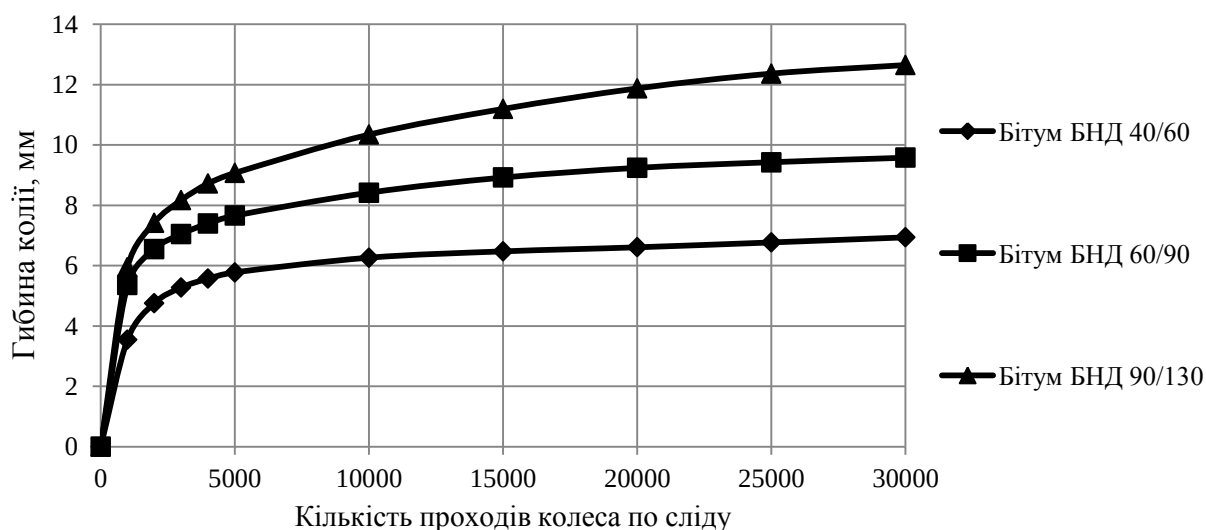


Рис. 4.19 – Залежність глибини колії від кількості проходів колеса за температури 65 °С для ЩМА-40 на бітумах різних марок

Отримані результати вказують на те, що марочна в'язкість вихідного бітуму також суттєво позначається на колієстійкості щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЩМА-40. Так, при збільшенні марочної в'язкості вихідного бітуму глибина колії зменшується. Для щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЩМА-40 (середнє значення за гранулометрією) на основі бітуму БНД 40/60 після 30000 проходів колеса глибина колії за температури 65 °С складає 6,94 мм. В ЩМА-40 на основі бітумів марок БНД 60/90 та БНД 90/130 глибина колії за цієї ж температури збільшується в 1,38 та 1,82 рази відповідно.

Для порівняльних досліджень стійкості до накопичення залишкових пластичних деформацій щебенево-мастикових асфальтобетонів з різною максимальною крупністю зерен щебеню (10 мм, 20 мм та 40 мм) використовували зразки висотою 10 см. Результати виконаних порівняльних досліджень впливу максимальної крупності зерен щебеню в складі мінеральної частини щебенево-

мастикових асфальтобетонів різних видів на їхню колієстійкість за температури випробування 65 °С наведені на рис. 4.20.

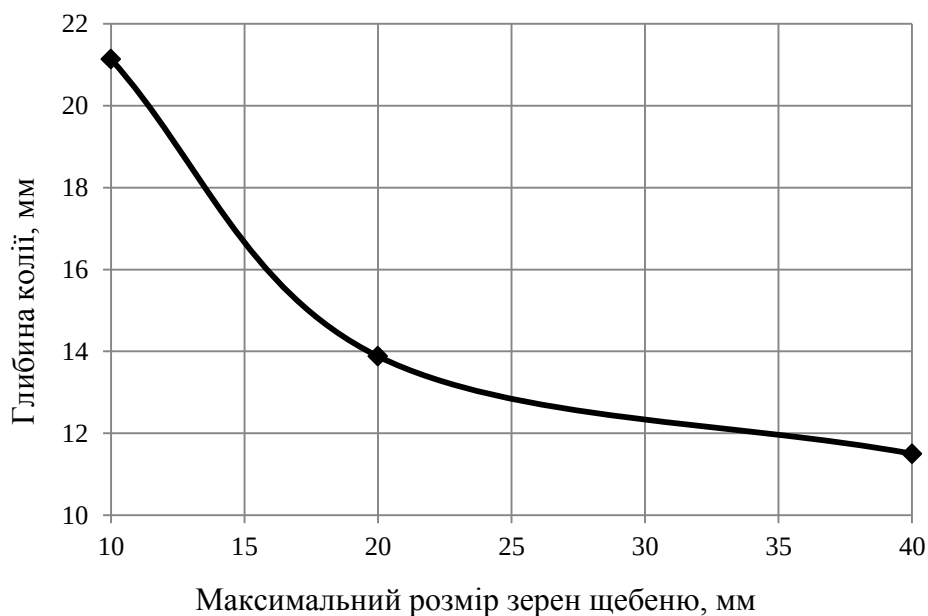


Рис. 4.20 – Залежність глибини колії від максимального розміру щебеню в складі ЩМА на бітумі БНД 60/90

Результати отриманих порівняльних досліджень колієстійкості для щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів (за гранулометриєю середнє значення), показують що зі збільшенням максимального розміру зерен щебеню з 10 мм до 40 мм глибина колії зменшується майже в 2 рази з 21,4 мм до 11,5 мм.

Для дослідження впливу модифікації бітумів полімерами на властивості крупнозернистого щебенево-мастикового асфальтобетону з максимальним розміром зерен щебеню 40 мм, використовували полімер «Kraton D1101» та водний катіонний латекс «Butonal NS 198». Результати досліджень фізико-механічних властивостей ЩМА-40 приготуваних на основі бітумів модифікованих полімером «Kraton D1101» та водним катіонним латексом «Butonal NS 198» наведені в таблицях 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4 – Фізико-механічні властивості ЩМА-40 на основі бітуму, модифікованого полімером «Kraton D1101»

Найменування показника	ЩМА-40 на БНД 60/90	ЩМА-40 на БНД 60/90 + 2 % Kraton D1101	ЩМА-40 на БНД 60/90 + 3 % Kraton D1101
Водонасичення, % по об'єму	2,8	2,5	2,3
Границя міцності за стиску, МПа, за температури:			
20°C	2,3	3,0	3,2
50°C	0,50	0,76	0,87
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,95	0,95	0,96
Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа	0,09	0,14	0,17
Границя міцності за стиску по твірній за температури 0 °С, МПа	2,8	3,9	4,2
Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,89	0,92	0,96
Показник стікання в'язучого	0,13	0,08	0,06
Вміст в'язучого, %	5,2	5,2	5,2

Таблиця 4.5 – Фізико-механічні властивості ЩМА-40 на основі бітуму, модифікованому катіонним латексом «Butonal NS 198»

Найменування показника	ЩМА-40 на БНД 60/90	ЩМА-40 на БНД 60/90 + 2 % Butonal NS 198	ЩМА-40 на БНД 60/90 + 3 % Butonal NS 198
Водонасичення, % по об'єму	2,8	2,3	2,2
Границя міцності за стиску, МПа, за температури:			
20°C	2,3	2,8	3,1
50°C	0,5	0,7	0,8
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,95	0,95	0,95
Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа	0,09	0,13	0,16
Границя міцності за стиску по твірній за температури 0 °С, МПа	2,8	3,7	4,0
Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,89	0,91	0,95
Показник стікання в'язучого	0,13	0,09	0,07
Вміст в'язучого, %	5,2	5,2	5,2

Результати досліджень впливу бітуму, модифікованого полімером «Kraton D1101» на властивості ЩМА-40 свідчать про зростання показників міцності, умовного зчеплення при зсуві та водостійкості за тривалого водонасичення порівняно з ЩМА-40 на вихідному бітумі. Порівняльний аналіз

результатів експериментальних досліджень показує, що ЩМА-40 на основі бітуму марки БНД 60/90 з 3% полімеру «Kraton D1101» характерна в 1,39 рази більше значення границі міцності при стиску за температури 20 °С, та в 1,74 рази за температури 50 °С, порівняно з асфальтобетоном на основі не модифікованого бітуму. При цьому, ЩМА-40 на основі бітуму марки БНД 60/90 з 3% катіонного латексу «Butonal NS 198» перевищує щебенево-мастиковий асфальтобетон приготовлений на основі вихідного бітуму за показником границі міцності при стиску за температури 20 °С в 1,35 рази та в 1,6 рази за температури 50 °С. Використання для приготування щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші бітуму, модифікованого 3 % досліджуваних полімерних добавок, забезпечує зменшення показника стікання в'язучого практично в 2 рази, порівняно з ЩМАС-40 на основі вихідного бітуму марки БНД 60/90.

Експериментальна оцінка колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів, приготовлених на основі модифікованих бітумів (рис. 4.21 та 4.22) показує, що при збільшенні кількості проходів колеса по одному сліду глибина колії закономірно збільшується в усіх досліджуваних асфальтобетонах.

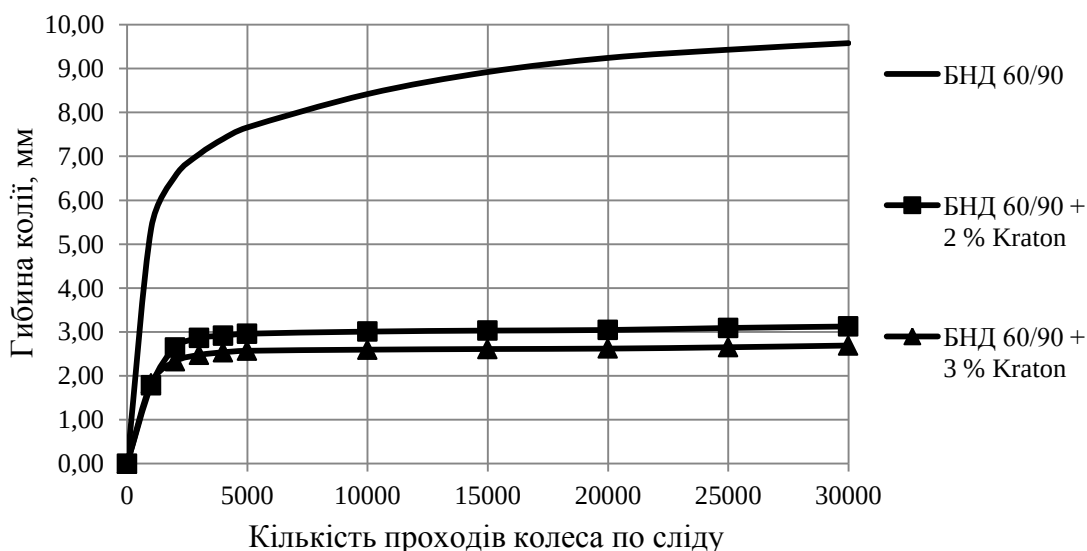


Рис. 4.21 – Залежності глибини колії в ЩМА-40 на бітумі БНД 60/90, модифікованому полімером «Kraton D1101 CM», від кількості проходів колеса за температури 65 °С

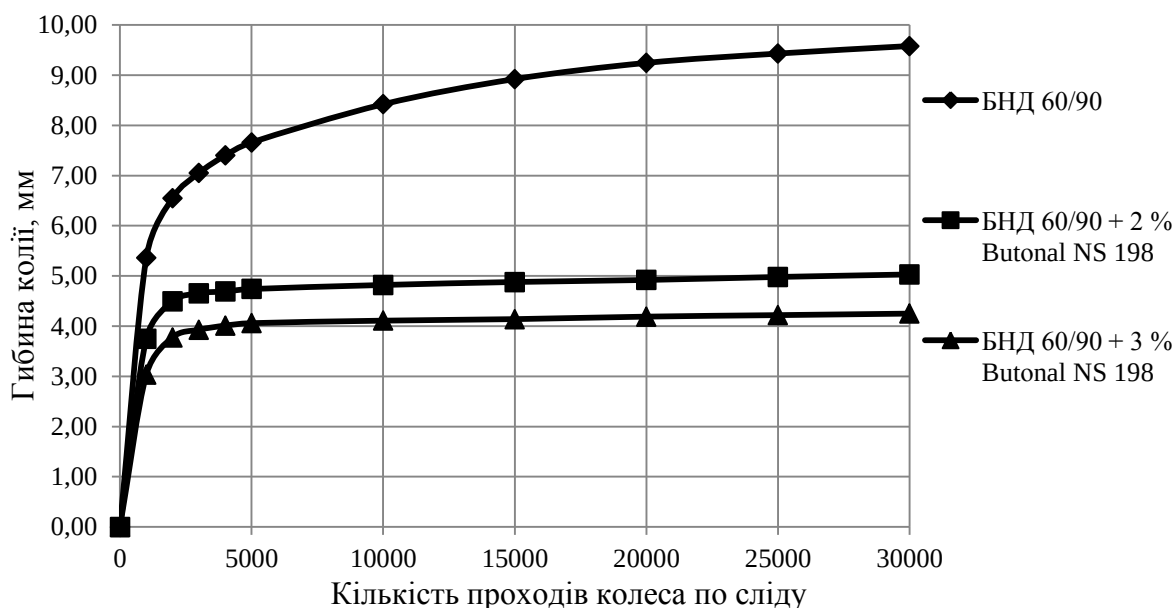


Рис. 4.22 – Залежності глибини колії в ЩМА-40 на бітумі БНД 60/90, модифікованому латексом «Butonal NS 198», від кількості проходів колеса за температури 65 °С

З наведених залежностей видно, що застосування модифікованих бітумів забезпечує зростання колієстійкості ЩМА-40, порівняно з щебеневом-мастиковим асфальтобетоном аналогічної гранулометрії на основі бітуму без полімерних модифікаторів. Глибина колії після 30000 проходів колеса в ЩМА-40, приготовленого на бітумі модифікованому полімером «Kraton D1101», суттєво зменшується, а саме, в 3,07 рази при модифікації бітуму 2 % полімеру та в 3,56 рази при модифікації бітуму 3 % полімеру, порівняно з асфальтобетоном на вихідному бітумі БНД 60/90.

Модифікація бітуму катіонним латексом «Butonal NS 198» дещо менш ефективно впливає на колієстійкість ЩМА-40, порівняно з термоеластопластом «Kraton D1101». Так, глибина колії в ЩМА-40, приготовленому на бітумі, модифікованому латексом «Butonal NS 198», після 30000 проходів колеса зменшується в 1,9 рази при 2 % полімеру та в 2,25 рази при 3 %, порівняно з асфальтобетоном на вихідному не модифікованому бітумі марки БНД 60/90.

Узагальнення отриманих результатів експериментальних досліджень дозволяє стверджувати, що модифікація бітуму полімером «Kraton D1101» або

катионним латексом «Butonal NS 198» забезпечує зростання показників міцності, зчеплення при зсуві та водостійкості за тривалого водонасичення, а також викликає зменшення показника стікання в'язучого в ЦМАС-40, порівняно з ЦМАС аналогічного виду на основі вихідного бітуму. За критерієм стійкості до накопичення залишкових пластичних деформацій ЦМА-40 на модифікованих бітумах суттєво стійкіші ніж ЦМА-40 на основі вихідного бітуму. При збільшенні концентрації полімерних добавок у складі бітуму показники міцності та колієстійкості ЦМА-40 закономірно зростають.

4.6 Висновки по розділу

1. За результатами виконаних досліджень встановлена тенденція зменшення інтенсивності зростання глибини колії зі збільшенням кількості проходів колеса у разі збільшення максимального розміру зерен щебеню у складі мінеральної частини щебенево-мастикових асфальтобетонів різних гранулометричних видів. Серед дрібнозернистих щебенево-мастикових асфальтобетонів найбільша стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій у вигляді колії властива ЦМА з максимальним розміром зерен щебеню 20 мм. Збільшення максимального розміру зерен щебеню у складі мінеральної частини з 5 мм до 20 мм призводить до зменшення глибини колії в ЦМА майже в 4 рази. Дослідженнями встановлено, що крупнозернистому щебенево-мастиковому асфальтобетону властива найбільша стійкість до колієутворення серед усіх видів ЦМА згідно чинного ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови».

2. Встановлено, що зі зменшенням максимального розміру зерен щебеню у складі мінеральної частини ЦМА прослідковується зростання інтенсивності накопичення залишкових деформацій в них за підвищення температури асфальтобетонного покриття від 50 °С до 65 °С. При цьому інтенсивність зростання глибини колії збільшується також зі збільшенням величини тиску колеса на поверхню асфальтобетону.

3. Показано, що менш колієстійкими є щебенево-мастикові асфальтобетони різних гранулометричних видів на основі бітуму марки БНД 90/130 з властивою йому найменшою температурою розм'якшення серед досліджуваних бітумів. Так глибина колії в ЩМА-10 на бітумі БНД 90/130 в 1,9 рази більша, ніж в ЩМА-10 на бітумі БНД 40/60. За аналогічних умов випробування колієстійкість ЩМА-20 на бітумі БНД 90/130 в 1,81 рази менша ніж ЩМА-20 на бітумі БНД 40/60.

4. Встановлено, що введення добавок природних бітумів безпосередньо до складу асфальтобетонної суміші або бітуму підвищує стійкість ЩМА всіх видів до утворення колії, порівняно з асфальтобетонами на основі вихідного бітуму. Показано, що додавання 1,5 % «Trinidad Epuré Z 0/8» в ЩМА-10 від маси мінеральної частини зменшує глибину колії після 30000 проходів колеса на 70 % порівняно з асфальтобетоном без добавки. Аналогічна залежність властива ЩМА-10 на основі бітуму модифікованого 5 % добавки «Gilsonite». При введенні до складу щебенево-мастикового асфальтобетону більшої кількості (3,0 %) «Trinidad Epuré Z 0/8» колієстійкість ЩМА-10 закономірно продовжує зростати (колія зменшилась на 83,3 %). Встановлено, що зі збільшенням максимального розміру зерен щебеню у складі ЩМА ефективність впливу природного бітуму на зростання колієстійкості зменшується.

5. Експериментально встановлено, що модифікація бітуму полімером «Kraton D1101» або катіонним латексом «Butonal NS 198» забезпечує щебенево-мастиковим асфальтобетонам зростання показників міцності, зчеплення при зсуві та водостійкості за тривалого водонасичення, а також викликає зменшення показника стікання в'язучого в ЩМАС, порівняно з ЩМАС на основі вихідного бітуму. За критерієм колієстійкості ЩМА різних видів на модифікованих полімерами бітумах суттєво перевищують свої аналоги на основі вихідного бітуму. Показано, що при збільшенні концентрації полімерних добавок у складі бітуму показники міцності та колієстійкість ЩМА закономірно зростають.

6. Експериментальні дослідження значень розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів вказують на те, що вони залежать від

температури, марочної в'язкості нафтових дорожніх бітумів, використаних для їх приготування, та гранулометричного складу мінеральної частини. Підвищення температури випробування та збільшення в мінеральній частині щебенево-мастикового асфальтобетону максимальної крупності зерен щебеню призводить до зменшення модулів пружності та границі міцності за згину. З підвищенням марочної в'язкості бітуму у складі щебенево-мастикового асфальтобетону його модулі пружності та границя міцності за згину зростають. Модифікація бітумів полімерами суттєво підвищує значення розрахункових характеристик ЩМА. За результатами порівняльного аналізу встановлено, що щебенево-мастиковим асфальтобетонам властиві менші значення модулів пружності та границі міцності за згину, порівняно з традиційними гарячими щільними асфальтобетонами на бітумах аналогічних марок.

7. Результати досліджень, які викладені в третьому розділі, частково опубліковані у наступних публікаціях [122 - 124, 126 - 129, 131 - 132].

РОЗДІЛ 5

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для впровадження отриманих результатів експериментальних досліджень у виробничих умовах розроблені рекомендації щодо раціонального використання асфальтобетонних сумішей різних типів і видів при будівництві колієстійких шарів дорожніх одягів автомобільних доріг. За розробленими рекомендаціями виконано влаштування асфальтобетонного шару покриття підвищеної довговічності з використанням щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей під час виконання робіт з поточного середнього ремонту на автомобільних дорогах державного значення, що пролягають в межах Харківської та Волинської областей, а також на автомобільній дорозі, що проходить територією ТК «Буковель» в Івано-Франківській області (акти впровадження наведено у додатку Б). Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті у лекційних курсах «Технологія будівництва автомобільних доріг» і «Сучасні технології будівництва автомобільних доріг» та у дипломне проектування для студентів, що навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

5.1 Рекомендації щодо раціонального використання асфальтобетонних сумішей різних типів і видів при будівництві колієстійких шарів дорожніх одягів автомобільних доріг

5.1.1 Сфера застосування

5.1.1.1 Ці рекомендації застосовують для забезпечення колієстійкості асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг під впливом великовагових автотранспортних засобів в усіх дорожньо-кліматичних районах України згідно з ДБН В.2.3-4.

5.1.1.2 Ці рекомендації призначені для використання дорожніми підприємствами та організаціями, незалежно від форми їхньої власності, які виконують роботи з проектування, будівництва, реконструкції та ремонту дорожніх одягів автомобільних доріг.

5.1.1.3 Обов'язкові вимоги до якості продукції, які забезпечують безпеку для життя, здоров'я та майна населення, охорони довкілля, викладені в розділі 5.1.7.

5.1.2 Нормативні посилання

У цих рекомендаціях є посилання на такі нормативні документи:

ДБН А.2.2-3:2012 Проектування. Склад та зміст проектної документації на будівництво

ДБН В.1.1-7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва

ДБН В.1.2-5:2007 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів

ДБН В.2.3-4:2015 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво

НПАОП 0.00-4.01-08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту

НПАОП 63.21-1.01-09 Правила охорони праці під час будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг

НПАОП 63.21-3.03-08 Норми безоплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам дорожнього господарства

НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки в Україні

НАПБ В.01.048-95/510 Правила пожежної безпеки для підприємств і організацій дорожнього господарства

ДСТУ 4044-2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови

ДСТУ Б А.3.2-12:2009 Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги

ДСТУ Б В.2.7-119-2011 Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-127:2015 Будівельні матеріали. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-129:2013 Будівельні матеріали. Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-135:2014 Будівельні матеріали. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (ССБП. Пожежна безпека. Загальні вимоги)

ГОСТ 12.1.005-88 ССБ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (ССБ Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони)

ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (ССБП. Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки)

ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности (ССБП. Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки)

ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности (ССБП. Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки)

ГОСТ 17.2.3.02-78 Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями (Охорона природи. Атмосфера. Правила встановлення допустимих викидів шкідливих речовин промисловими підприємствами)

ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу

ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів

ДСанПіН 2.2.7.029-99 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення

СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование (Опалення, вентиляція і кондиціювання)

СОУ 45.2-00018112-006:2006 Безпека дорожнього руху. Порядок огороження та організація дорожнього руху в місцях проведення дорожніх робіт з будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг

СОУ 45.2-00018112-039:2008 Способи оцінки стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії. Методи випробувань

СОУ 45.2-00018112-057:2010 Будівельні матеріали. Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон на основі модифікованих полімерами бітумів.

5.1.3 Загальні положення

5.1.3.1 Швидке зростання перевезень великоваговими транспортними засобами по автомобільних дорогах викликає інтенсивне накопичення залишкових деформацій у вигляді колії у асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів нежорсткого типу в літній період експлуатації.

5.1.3.2 При розробці проектної документації рекомендується, згідно з ДБН А.2.2-3, за узгодженням із замовником, виконувати науково-технічний супровід виконання проектних робіт щодо оцінки ефективності вибору асфальтобетонних сумішей для влаштування шарів дорожніх одягів на основі результатів експериментальних досліджень колієстійкості асфальтобетонів тих чи інших видів та типів згідно з СОУ 45.2-00018112-039. Визначення розрахункових характеристик колієстійких асфальтобетонів з різними модифікуючими добавками необхідно виконувати згідно з чинними нормативними документами.

При розробці проектів будівництва, реконструкції або капітального ремонту дорожніх одягів автомобільних доріг з використанням різних типів та видів асфальтобетонів необхідно також передбачати науково-технічний супровід виконання робіт з влаштування асфальтобетонних шарів підвищеної колієстійкості відповідно до ДБН В.1.2-5.

5.1.3.3 Для забезпечення колієстійкості асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів необхідно на етапі прийняття рішення щодо вибору типу та виду асфальтобетонних сумішей для їх влаштування виконувати оцінку показників колієстримуючої здатності асфальтобетонів та ефективності прийнятого конструкторсько-технологічного рішення. Для визначення вказаних показників в лабораторних умовах експериментально оцінюють глибину колії в запроєктованих складах асфальтобетонів після 30000 проходів колеса колієміра, питомому тиску колеса колієміра на зразок асфальтобетону 0,8 МПа та температурі 65 °С згідно з СОУ 45.2-00018112-039.

5.1.3.4 Якщо глибина колії в асфальтобетоні запроєктованого складу без модифікуючих добавок не перевищує 5 мм, то для такого асфальтобетону показники колієстримуючої здатності та ефективності прийнятого конструкторсько-технологічного рішення не визначаються, а він вважається придатним для влаштування колієстійкого верхнього шару покриття.

5.1.3.5 Якщо глибина колії в асфальтобетоні запроєктованого складу без модифікуючих добавок перевищує 5 мм, рекомендується скорегувати склад його мінеральної частини, змінити марку використаного в'язучого або концентрацію модифікуючих добавок та визначити для нового складу асфальтобетону показники колієстримуючої здатності та ефективності прийнятого конструкторсько-технологічного рішення. З порівнюваних за визначеними показниками асфальтобетонів придатним для влаштування колієстійкого верхнього шару покриття вважається той склад, у якого глибина колії не перевищує 5 мм, а показник ефективності прийнятого конструкторсько-технологічного рішення є максимальним.

5.1.4 Види та типи асфальтобетонних сумішей для будівництва шарів дорожніх одягів нежорсткого типу

5.1.4.1 При проектуванні конструкцій дорожніх одягів нежорсткого типу з метою забезпечення колієстійкості асфальтобетонних шарів дорожніх одягів в процесі експлуатації в різних кліматичних умовах та різних рівнях розрахункових навантажень на вісь рекомендується, з урахуванням закордонного досвіду,

використовувати підхід щодо забезпечення мінімального значення загального модуля пружності на поверхні основи дорожнього одягу не менше ніж 150 МПа для автомобільних доріг I – II категорій і 120 МПа для доріг III – IV категорій (незалежно від виду ґрунту земляного полотна). В конструкції дорожнього одягу загальна товщина шарів з бітумовміщуючими матеріалами повинна бути не менше ніж 30 см.

5.1.4.2 Для автомобільних доріг I та II категорії під навантаження 115 кН робочий шар земляного полотна з піщаних та супіщаних ґрунтів доцільно стабілізувати неорганічними або комплексними в'язучими з одночасним армуванням фіброю (полімерною або мінеральною) загальною товщиною не менше ніж 15 см, що забезпечить стабільність шарів основи дорожнього одягу при можливій зміні водно-теплогового режиму земляного полотна.

5.1.4.3 На автомобільних дорогах I – II категорій необхідно влаштовувати двошарове асфальтобетонне покриття. Товщина кожного з них повинна прийматись не менше двох з половиною максимальних розмірів зерна щебеню у складі мінеральної частини асфальтобетонної суміші. Загальна товщина шару покриття та шарів основи з асфальтобетонів повинна бути не менше ніж 20 см. Для влаштування верхнього шару основи дорожнього одягу рекомендується використовувати щільні гарячі крупнозернисті асфальтобетонні суміші типу А1 марки I з максимально можливим вмістом зерен щебеню та мінерального порошку непереривчастого гранулометричного складу мінеральної частини тільки з подрібненим піском, або пористі гарячі дрібнозернисті або крупнозернисті асфальтобетонні суміші типу А-Б марки I з максимально можливим вмістом щебеню і мінерального порошку непереривчастого гранулометричного складу мінеральної частини тільки з подрібненим піском згідно з ДСТУ Б В.2.7-119 на основі бітумів з температурою розм'якшення не менше ніж 51 °С. Нижній шар покриття рекомендується влаштовувати з використанням щільної гарячої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу А марки I з максимальним розміром зерен щебеню та максимально можливим вмістом щебеню і мінерального порошку непереривчастого гранулометричного складу мінеральної

частини тільки з подрібненим піском згідно з ДСТУ Б В.2.7-119 на основі модифікованих бітумів з температурою розм'якшення не менше ніж 60 °С. Шар покриття товщиною не менше ніж 5 см рекомендується влаштовувати з використанням гарячої щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виду ЩМАС-20 згідно ДСТУ Б В.2.7-127 на основі модифікованих бітумів з добавками ПАР з температурою розм'якшення не менше ніж 65 °С. Асфальтобетонні шари покриття та верхні шари основи з асфальтобетону повинні мати міцне міжшарове зчеплення, яке може бути забезпечене використанням для підгрунтовки бітумів, модифікованих полімерами згідно з ДСТУ Б В.2.7-135, або модифікованих катіонних бітумних емульсій згідно з ДСТУ Б В.2.7-129.

5.1.4.4 При влаштуванні одношарового асфальтобетонного покриття з щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші верхній шар основи доцільно влаштовувати з щільної гарячої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу А марки І з максимальним розміром зерен щебеню та максимально можливим вмістом щебеню і мінерального порошку непереривчастого гранулометричного складу мінеральної частини тільки з подрібненим піском, або з щільної гарячої крупнозернистої асфальтобетонної суміші типу А1 марки І з максимально можливим вмістом зерен щебеню та мінерального порошку непереривчастого гранулометричного складу мінеральної частини тільки з подрібненим піском згідно ДСТУ Б В.2.7-119 на основі модифікованих бітумів з температурою розм'якшення не менше 60 °С.

5.1.5 Вимоги безпеки та охорони навколишнього середовища

5.1.5.1 Вимоги безпеки

5.1.5.1.1 При приготуванні асфальтобетонних сумішей та влаштуванні колієстійких асфальтобетонних шарів дорожніх одягів необхідно вжити заходи щодо забезпечення умов охорони праці робітників та інженерно-технічних працівників, а також охорони навколишнього природного середовища відповідно до вимог НПАОП 63.21-1.01, ДБН В.1-1-7, НАПБ А.01.001, ДСТУ 4044, ДСТУ Б В.2.7-119, ГОСТ 12.1.005 та СОУ 45.2-00018112-006.

5.1.5.1.2 Матеріали для приготування асфальтобетонних сумішей – щебінь, пісок, мінеральний порошок і бітум – за ступенем шкідливої дії на організм людини відносяться до помірно небезпечних та мало небезпечних речовин (III – IV) класів небезпеки згідно з ГОСТ 12.1.007). Роботи з використання асфальтобетонних сумішей можна проводити без додаткових заходів, крім загально прийнятих. Під час завантаження, транспортування та розвантаження необхідно керуватись загальними правилами техніки безпеки при роботі з нетоксичними та малотоксичними речовинами.

5.1.5.1.3 Вихідні бітуми (в тому числі модифіковані) є горючими речовинами з температурою займання (300 – 351) °С. При роботі з ними необхідно дотримуватись вимог безпеки згідно з НАПБ А.01.001, НАПБ В.01.048, ГОСТ 12.1.004 та ДСТУ 4044. При загорянні невеликої кількості бітуму його треба гасити піском або пінним вогнегасником. Розвинуті пожежі бітуму треба гасити пінним струменем, повітряно-механічною піною та сильним струменем від лафетних стволів.

5.1.5.1.4 Приміщення, де проводяться роботи з в'язучим, полімерами та поверхнево-активними речовинами повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією згідно з СНиП 2.04.05, ДСТУ Б А.3.2-12.

5.1.5.1.5 Робітники, які займаються приготуванням і застосуванням асфальтобетонних сумішей для влаштування колієстійких асфальтобетонних покриттів повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту згідно з НПАОП 0.00-4.01. Всі працюючі повинні бути забезпечені спецодягом та іншими засобами індивідуального захисту згідно з НПАОП 63.21-3.03.

5.1.5.1.6 При виконанні робіт, пов'язаних з приготуванням і використанням асфальтобетонних сумішей необхідно дотримуватись правил особистої гігієни, а саме: приймати їжу в спеціальних приміщеннях, користуватися санітарно-побутовими кабінетами, приймати душ після закінчення зміни.

5.1.5.1.7 При потраплянні бітумів або асфальтобетонних сумішей: на шкіру (настільки гарячих, що може з'явитися опік) – її треба швидко охолодити, тоді розчинити бітум нафтовими олівами або провареною соняшниковою олією та

обережно зняти бинтом або ватою; в очі – треба терміново звернутися до лікаря-окуліста. Гостре та хронічне отруєння практично неможливе. При необхідності треба звернутися до медичного закладу за відповідною допомогою.

5.1.5.1.8 До початку робіт необхідно огородити ділянку робіт, спрямувати рух транспортних засобів в об'їзд, позначити безпечну зону для людей, зайнятих при виконанні робіт згідно вимог СОУ 45-2-00018112-006.

5.1.5.1.9 На машинах, що беруть участь у технологічному процесі, повинні бути включені ближнє світло фар і проблісковий маячок оранжевого кольору.

5.1.5.1.10 Під час роботи дорожніх машин забороняється знаходитися у зоні їх дії стороннім особам, а також на площадці керування, рамі, робочих органах, кожухах.

5.1.5.1.11 До робіт, пов'язаних з приготуванням і використанням асфальтобетонних сумішей, допускаються особи, які пройшли інструктаж з техніки безпеки і перевірку знань з питань пожежної безпеки відповідно до вимог НАПБ А.01.001 та НПАОП 63.21-1.01.

5.1.5.2 Вимоги охорони довкілля

5.1.5.2.1 В процесі приготування та укладання асфальтобетонних сумішей при дотриманні технологічних параметрів і вимог охорони праці небезпека додаткових викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище відсутня.

5.1.5.2.2 При зберіганні, транспортуванні і застосуванні асфальтобетонних сумішей, а також їх компонентів стічні води не утворюються. За технологічної температури (120 – 180) °С не передбачається надходження канцерогенних та мутагенних речовин в навколишнє середовище.

5.1.5.2.3 Ефективними засобами захисту довкілля є герметизація та запобігання розливу бітуму та розсипання асфальтобетонних сумішей.

5.1.5.2.4 Обладнання і комунікації виробничих процесів повинні бути герметизовані, викиди в атмосферу (вентвикиди) повинні відповідати ГДВ підприємства, розрахованим згідно з вимогами ГОСТ 17.2.3.02.

5.1.5.2.5 Порядок накопичення, транспортування, знешкодження та поховання розливів бітумів, розсипаних асфальтобетонних сумішей, некондиції та

інших відходів, що утворюються в процесі приготування і використання, повинен відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.7.029.

5.1.5.2.6 Бази по приготуванню модифікованих бітумів, а також асфальтобетонні заводи повинні бути устатковані відповідно до вимог ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.3.002, та ДСП 173.

5.2 Результати будівництва щебенево-мастикових асфальтобетонних покриттів підвищеної колієстійкості

Згідно з розробленими рекомендаціями протягом 2011 – 2020 років в Харківській, Волинській, Івано-Франківській областях різні підрядні організації виконували роботи з влаштування шару покриття дорожніх одягів з використанням щебенево-мастикових сумішей підвищеної якості.

На ділянці виконання поточного середнього ремонту автомобільної дороги М-03 «Київ – Харків – Довжанський» км 493+400 – км 493+900 в Харківській області ТОВ «Дороги України» в 2019 році під час поточного ремонту влаштовувало покриття дорожнього одягу з щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виду ЩМАС-20, приготовленої на основі бітуму комплексно модифікованому полімерною та адгезійною добавками марки БМКП 60/90-65.

Щебенево-мастикову асфальтобетонну суміш виготовляли на асфальтобетонному заводі ТОВ «Гравікон» в асфальтозмішувачі марки ДС-168 (рис. 5.1), розташованому в смт. Буди Харківської області.

Науково-технічний супровід виконання робіт з приготування щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші та влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу виконували фахівці випробувальної лабораторії кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ за безпосередньою участю автора цієї дисертаційної роботи.



Рис. 5.1 – Асфальтозмішувальна установка ДС-168

Для приготування асфальтобетонної суміші використовували гранітні щебінь фракції 10-20 мм, щебінь фракції 5-10 мм та відсів подрібнення фракції 0-5 мм виробництва ТОВ «Малокохнівський кар'єр», мінеральний порошок виробництва ТОВ «АЛСКО» стабілізуюча добавка «Antrocel G». Результати розрахунку складу мінеральної частини щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші наведено в таблиці 5.1 та на рис. 5.2.

Таблиця 5.1 – Розрахунок мінеральної частини асфальтобетонної суміші

Мате-ріал	%	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	0	Σ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
фр.10-20 мм		8	38	43	10	-	-	-	-	-	-	1	100
фр.5-10 мм		-	-	4	83	10	1	-	-	-	-	2	100
відсів 0-5 мм		-	-	1	10	26	13	12	12	12	7	7	100
мін. пор.		-	-	-	-	-	-	-	-	1	26	73	100
фр.10-20 мм	71	5,68	26,98	30,53	7,1	-	-	-	-	-	-	-	71,0
фр.5-10 мм	5	-	-	0,2	4,15	0,5	0,05	-	-	-	-	-	5,0

Закінчення таблиці 5.1

1	2	3	4	5	67	8	9	10	11	12	13	14	15
відсів 0-5 мм	14	-	-	0,14	1,4	3,64	1,82	1,68	1,68	1,68	0,98	0,98	14,0
мін. пор.	10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	2,6	7,3	10,0
	100	5,68	26,98	30,87	12,65	4,14	1,87	1,68	1,68	1,78	3,58	9,09	100
Повні залишки, %		5,68	32,66	63,53	76,18	80,32	82,19	83,87	85,55	87,33	90,91	100	-
Пройшло через сито, %		94,32	67,34	36,47	23,82	19,68	17,81	16,13	14,45	12,67	9,09	0	-
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127		100	70	42	30	25	24	21	19	15	13	0	-
		90	50	25	20	15	13	11	9	8	8	0	-

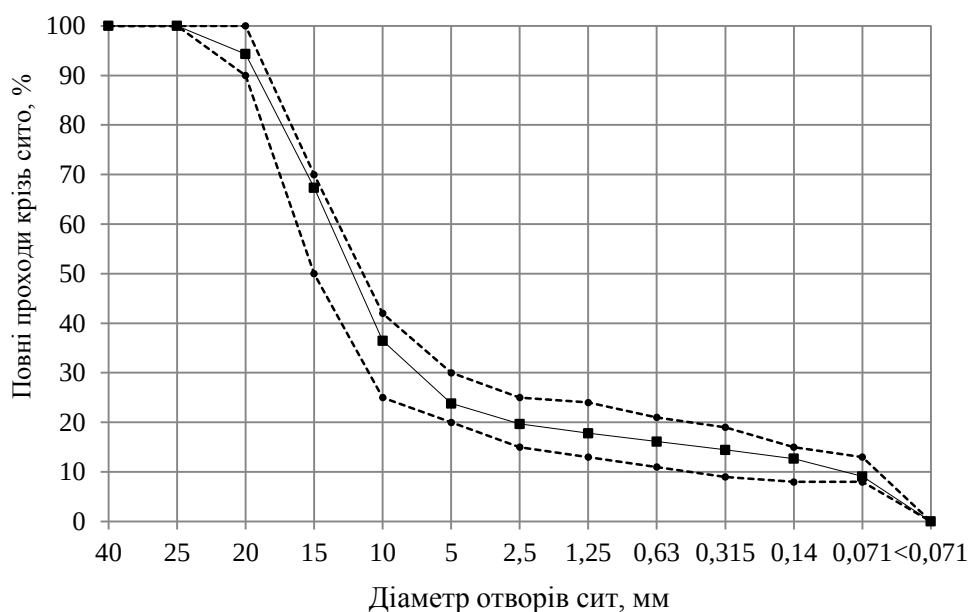


Рис. 5.2 – Гранулометрична крива підбору зернового складу ЦМАС-20

В якості базового в'язучого використовували бітум марки БНД 60/90 виробництва Мозирського НПЗ який було модифіковано полімером типу SBS «Kraton D1101» у кількості 3 % від маси бітуму та адгезійною добавкою «Адбіт-Н» у кількості 0,5 %. Основні характеристики отриманого в'язучого наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Властивості бітуму нафтового дорожнього в'язкого модифікованого полімерами

Найменування показників	Од. вим.	Результати випробувань	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-135:2014 до марки БМП 60/90-53
1. Однорідність		без згустків та частинок полімеру	без згустків та частинок полімеру
2. Глибина проникнення голки (пенетрація) за температури 25 °С	0,1 мм	73	61-90
3. Температура розм'якшення за КіК	°С	68	не нижче 53
4. Розтяжність за температури 25 °С	см	42	не менше 15
5. Еластичність за температури 25 °С	%	89,3	не менше 55
6. Температура спалаху у відкритому тиглі	°С	330	не нижче 230
7. Зчеплення з поверхнею гранітного щебеню/скла	бали/%	5/88	3/20
8. Температура крихкості	°С	мінус 20	не вище мінус 20
9. Зміна властивостей після прогрівання:			
Залишкова пенетрація	%	92	не менше 75
Зміна температури розм'якшення	°С	1,0	не більше 5

Для розрахованого складу ЦМА-20 в лабораторних умовах була виготовлена щебенево-мастикова асфальтобетонна суміш та виготовлені лабораторні зразки. Результати досліджень фізико-механічних властивостей щебенево-мастикового асфальтобетону наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Фізико-механічні властивості щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЦМА-20

Назва показників властивостей	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127:2015 до асфальтобетонів з сумішей ЦМАС-20 для зони А-3	Фактичні значення
1	2	3
1. Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом	15-19	16,3
2. Залишкова пористість, % за об'ємом	1,5 – 3,5	2,4
3. Середня щільність, кг/м ³	-	2413

Закінчення таблиці 5.3

1	2	3
4. Водонасичення, % за об'ємом	1,0 – 3,0	2,2
5. Границя міцності за стиску, МПа, за температури, °С		
20 не менше	2,1	3,4
50 не менше	0,6	1,1
6. Коефіцієнт внутрішнього тертя, не менше	0,91	0,93
7. Границя міцності за стиску по твірній, МПа, за температури 0°С	2,0 – 6,0	5,8
8. Зчеплення при зсуві за температури 50°С, МПа, не менше	0,16	0,21
9. Коефіцієнт тривалої водостійкості, не менше	0,90	0,95
10. Вміст бітуму	-	5,5

Укладання щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виконували двома асфальтоукладачами Vögele Super 2100-2 (рис. 5.3).



Рис. 5.3 – Процес укладання щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші

Ущільнення щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виконували двома катками НАММ HD 110 масою 10,6 т та НАММ HD 130 масою 14,2 т. (рис. 5.4).



Рис. 5.4 – Ущільнення суміші гладковальцевими катками НАММ HD 110 та НАММ HD 130

Під час виконання робіт представники випробувальної лабораторії ХНАДУ відбирали проби щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші та досліджували на відповідність вимогам ДСТУ Б В.2.7-127. Результати досліджень представлені в таблицях 5.4 та 5.5.

Таблиця 5.4 – Зерновий склад мінеральної частини щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виготовленої у виробничих умовах

Залишки на ситах	Вміст зерен менше даного розміру, мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Границі повних залишків за ДСТУ Б В.2.7-127 до ЦМАС-20	100	70	42	30	25	24	21	19	15	13
	90	50	25	20	15	13	11	9	8	8
Фактичні значення	90	62	39	25	20	18	16	14	11	9

Таблиця 5.5 – Фізико-механічні властивості щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЩМА-20

Назва показників властивостей	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127:2015 до асфальтобетонів з сумішей ЩМАС-20 для району А-3	Фактичні значення
1. Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом	15-19	17,5
2. Залишкова пористість, % за об'ємом	1,5 – 3,5	2,8
3. Середня щільність, кг/м ³	-	2395
4. Водонасичення, % за об'ємом	1,0 – 3,0	2,6
5. Границя міцності за стиску, МПа, за температури, °С		
20 не менше	2,1	3,0
50 не менше	0,6	1,0
6. Коефіцієнт внутрішнього тертя, не менше	0,91	0,94
7. Границя міцності за стиску по твірній, МПа, за температури 0°С	2,0 – 6,0	5,5
8. Зчеплення при зсуві за температури 50°С, МПа, не менше	0,16	0,20
9. Коефіцієнт тривалої водостійкості, не менше	0,90	0,94
10. Вміст бітуму	-	5,9

Результати виконаних досліджень свідчать про відповідність випробуваного щебенево-мастикового асфальтобетону за наведеними показниками вимогам ДСТУ Б В.2.7-127 для району А-3.

На другий рік експлуатації зазначена ділянка знаходиться у відмінному стані без наявних деформацій та руйнувань (рис.5.5).



Рис. 5.5 – Загальний вигляд ділянки на другий рік експлуатації

У 2018-2020 роках результати дисертаційного дослідження було впроваджено підрядною організацією ТОВ «Автомагістраль-Південь» в межах Харківської області під час виконання робіт з поточного середнього ремонту ділянок автомобільних доріг Р-46 «Харків – Охтирка», Н-26 «Чугуїв – Мілове». Технічним завданням було передбачено влаштування колієстійкого шару покриття з ЩМАС-20 приготовленої на бітумах модифікованих полімерами.

Технологічний процес влаштування шару з ЩМАС-20 на автомобільній дорозі Н-26 Чугуїв – Мілове представлено на рис. 5.6 – 5.8.



Рис. 5.6 – Вивантаження щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші у приймальний бункер асфальтоукладача



Рис. 5.7 – Процес укладання щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші асфальтоукладачем



Рис. 5.8 – Ущільнення шару з щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші гладковальцевими котками

Технологічний процес влаштування шару з щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виду ЩМАС-20 на автомобільній дорозі Р-46 Харків – Охтирка наведено на рис. 5.9 – 5.10.



Рис. 5.9 – Укладання щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші асфальтоукладачем



Рис. 5.10 – Ущільнення шару з щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші гладковальцевими котками

Результати дослідження властивостей проб щебенево-мастикових асфальтобетонів, відібраних з влаштованого шару покриття дорожнього одягу з автомобільної дороги Н-26 «Чугуїв – Мілове» наведені в таблицях 5.6 та 5.7.

Таблиця 5.6 – Фізико-механічні властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЦМА-20 відібраних з шару покриття на автомобільній дорозі Н-26 «Чугуїв – Мілове» км 5+500

№ з/п	Найменування показників	Од. вим.	Результати випробувань для кернів з індексом					Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127:2015 для щебенево-мастикового асфальтобетону, ЦМА-20 для району А-3, А-6
			Фактичні значення керн №1.1 км 5+500 права смуга	Фактичні значення керн №1.2 км 5+500 права смуга	Фактичні значення керн №1.3 км 5+500 права смуга	Фактичні значення керн №1.4 км 5+500 права смуга	Фактичні значення керн №1.5 км 5+500 права смуга	
1.	Середня густина ущільненого матеріалу	г/см ³	2,405	2,417	2,418	2,411	2,414	не нормується
2.	Дійсна густина суміші	г/см ³	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456	не нормується
3.	Водонасичення	%	0,9	1,7	1,3	2,4	2,0	не більше 3,5
4.	Залишкова пористість	%	2,1	1,6	1,5	1,8	1,7	
5.	Товщина шару	см	5,2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0 (за проектом) Задовільно
6.	Зчеплення з нижнім шаром	-	Задовільно	Задовільно	Задовільно	Задовільно	Задовільно	

Таблиця 5.7 – Гранулометричний склад мінеральної частини ЦМА-20 (об'єднана проба) відібраних на км 5+500 з шару покриття на автомобільній дорозі Н-26 «Чугуїв – Мілове»

Залишки на ситах	Вміст зерен менше даного розміру, мм										Вміст бітуму, %
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,075	
Границі повних залишків за ДСТУ Б В.2.7-127:2015	100	70	42	30	25	24	21	19	15	13	-
	90	50	25	20	15	13	11	9	8	8	-
Об'єднана проба	93	69	39	26	21	19	17	15	13	9	6,2

Результати визначення гранулометричного складу та властивостей проб щебенево-мастикових асфальтобетонів з автомобільної дороги Р-46 «Харків – Охтирка» на км 77+500 наведені в таблицях 5.8 та 5.9.

Таблиця 5.8 – Фізико-механічні властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЦМА-20 відібраних з шару покриття на автомобільній дорозі Р-46 «Харків – Охтирка» км 77+500

№ з/п	Найменування показників	Од. вим.	Результати випробувань для кернів з індексом					Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127:2015 для щебенево-мастикового асфальтобетону, ЦМА-20 для району А-3, А-6
			Фактичні значення керн №2.1 км 77+500 ліва смуга	Фактичні значення керн №2.2 км 77+500 ліва смуга	Фактичні значення керн №2.3 км 77+500 ліва смуга	Фактичні значення керн №2.4 км 77+500 ліва смуга	Фактичні значення керн №2.5 км 77+500 ліва смуга	
1.	Середня густина ущільненого матеріалу	г/см ³	2,364	2,372	2,376	2,365	2,368	не нормується
2.	Дійсна густина суміші	г/см ³	2,449	2,449	2,449	2,449	2,449	не нормується
3.	Водонасичення	%	2,9	2,2	2,5	2,8	2,9	не більше
4.	Залишкова пористість	%	3,5	3,1	3,0	3,4	3,3	3,5
5.	Товщина шару	см	5,7	5,7	5,8	5,9	5,9	1,5 – 3,5
6.	Зчеплення з нижнім шаром	-	Задовільно	Задовільно	Задовільно	Задовільно	Задовільно	5,0 (за проектом) Задовільно

Таблиця 5.9 – Гранулометричний склад мінеральної частини ЦМА-20 (об'єднана проба) відібраних на км 77+500 з шару покриття на автомобільній дорозі Р-46 «Харків – Охтирка»

Залишки на ситах	Вміст зерен менше даного розміру, мм										Вміст бітуму, %
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	
Границі повних залишків за ДСТУ Б В.2.7-127	100	70	42	30	25	24	21	19	15	13	-
Об'єднана проба	91	69	42	27	20	19	17	14	11	9	5,6

Результати досліджень показали, що досліджені проби щебенево-мастикових асфальтобетонів відповідають вимогам чинного стандарту.

Стан влаштованого покриття на вказаних дорогах через один та три роки експлуатації наведено на рис.5.11 і 5.12.



Рис. 5.11 – Загальний вигляд поверхні покриття з ЩМА-20 на ділянці автомобільної дороги Н-26 «Чугуїв – Мілове» після одного року експлуатації



Рис. 5.12 – Загальний вигляд поверхні покриття з ЩМА-20 на ділянці автомобільної дороги Р-46 Харків – Охтирка після трьох років експлуатації

В 2017 році впровадження результатів дослідження було виконано під час виконання ТОВ «ПБС» роботи з влаштування стійкого до накопичення пластичних деформацій асфальтобетонного покриття з щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виду ЩМАС-10 на території ТК «Буковель».

Асфальтобетонну суміш виготовляли на асфальтобетонному заводі ТОВ «Скорзонера» моделі AMMANN ABT 140-180 QUICKBATCH (рис. 5.13), розташованому в м. Надвірна Івано-Франківської області. Супровід робіт виконували фахівці випробувальної лабораторії ХНАДУ.



Рис. 5.13 – Загальний вигляд асфальтозмішувальної установки AMMANN моделі ABT 140-180 QUICKBATCH

Для приготування щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші був використаний гранітний щебінь фракції 5 - 10 мм та відсів подрібнення фракції 0 - 5 мм виробництва ТОВ «Гайворонський кар'єр», мінеральний порошок виробництва ТОВ «Скала-Подільський кар'єр», стабілізуюча добавка «Antrocel G». Результати розрахунку складу мінеральної частини щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші наведено в таблиці 5.10 та на рис. 5.14.

Таблиця 5.10 – Розрахунок мінеральної частини асфальтобетонної суміші

Матеріал	%	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	0	Σ
фр.5-10 мм		6	81	8	1	1	-	1	1	1	100
відсів 0-5 мм		14	2	25	20	14	9	8	4	4	100
мін. пор.		-	-	-	0,2	0,7	2,9	7,4	14,4	74,4	100
фр.5-10 мм	75	4,5	60,75	6	0,75	0,75	-	0,75	0,75	0,75	75,0
відсів 0-5 мм	10	1,4	0,2	2,5	2	1,4	0,9	0,8	0,4	0,4	15,0
мін. пор.	15	-	-	-	0,03	0,11	0,44	1,11	2,16	11,16	10,0
	100	5,9	60,95	8,50	2,78	2,26	1,34	2,66	3,31	12,31	100
Повні залишки, %		5,9	66,85	75,35	78,13	80,39	81,73	84,39	87,69	100	-
Пройшло через сито, %		94,1	33,15	24,65	21,87	19,61	18,27	15,61	12,31	0	-
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127		100	40	29	26	22	20	17	15	0	-
		90	30	19	16	13	11	11	10	0	-

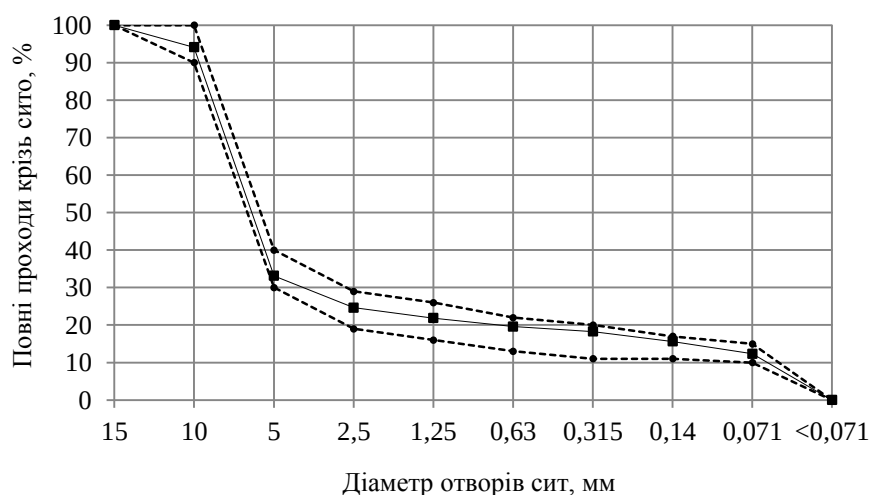


Рис. 5.14 – Графік підбору зернового складу суміші ЦМАС-10

В якості в'язучого використовувався бітум марки БНД 60/90 виробництва Мозирського НПЗ який було модифіковано полімером типу SBS марки «Calprene» у кількості 3 % від маси бітуму та адгезійною добавкою «Wetfix BE» у кількості 0,4 %. Властивості отриманого бітумного в'язучого наведені в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Значення показників бітуму нафтового дорожнього в'язкого модифікованого полімерами

Найменування показників	Од. вим.	Результати випробувань	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-135:2014 до марки БМПА 40/60-57
1. Однорідність		без згустків та частинок полімеру	без згустків та частинок полімеру 40-60
2. Глибина проникнення голки (пенетрація) за температури 25 °С	0,1 мм	53	
3. Температура розм'якшення за КіК	°С		не нижче 57
4. Розтяжність за температури 25 °С	см	69	не менше 12
5. Еластичність за температури 25 °С	%	32	не менше 55
6. Температура спалаху у відкритому тиглі	°С	98,4	не нижче 240
7. Зчеплення з поверхнею гранітного щебеню/скла	бали/%	340 5/97	3/32
8. Температура крихкості	°С	мінус 19	не вище мінус 18
9. Зміна властивостей після прогрівання: Залишкова пенетрація	%	91	не менше 80
Зміна температури розм'якшення	°С	1,0	не більше 5

Для розрахованого складу ЦМА-10 в лабораторних умовах була виготовлена щебенево-мастикова асфальтобетонна суміш та виготовлені лабораторні зразки. Результати досліджень фізико-механічних властивостей щебенево-мастикового асфальтобетону наведені в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Фізико-механічні властивості щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЦМА-10

Назва показників властивостей	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127:2015 до асфальтобетонів з сумішей ЦМАС-10 для зони А-2	Фактичні значення
1	2	3
1. Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом	15-19	16,5
2. Залишкова пористість, % за об'ємом	1,5 – 3,5	2,7
3. Середня щільність, кг/м ³	-	2388
4. Водонасичення, % за об'ємом	1,0 – 3,0	1,8

Закінчення таблиці 5.12

1	2	3
5. Границя міцності за стиску, МПа, за температури, °С 20 не менше 50 не менше	3,2 0,9	3,9 1,4
6. Коефіцієнт внутр. тертя, не менше	0,85	0,90
7. Границя міцності за стиску по твірній, МПа, за температури 0°С	3,0 – 6,5	5,9
8. Зчеплення при зсуві за температури 50°С, МПа, не менше	0,18	0,23
9. Коефіцієнт тривалої водостійкості, не менше	0,90	0,96
10. Вміст бітуму	-	6,2

Укладання шару з ЩМАС-10 виконували за допомогою двох асфальтоукладачів Vogele Super 1800-2 та Vogele Super 1900-3 (рис. 5.15 - 5.17).

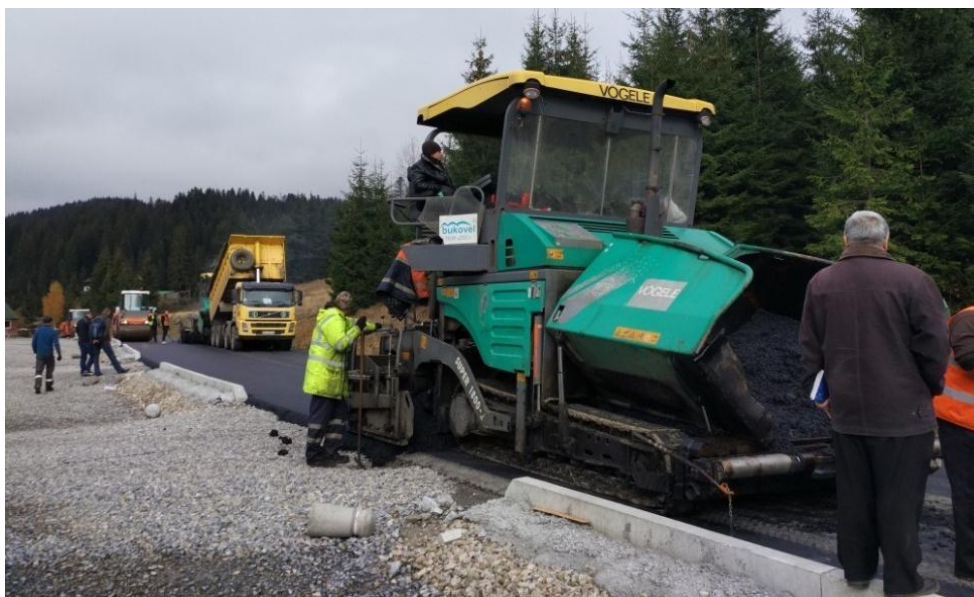


Рис. 5.15 – Влаштування шару з ЩМАС-10 за допомогою двох асфальтоукладачів



Рис. 5.16 – Влаштування поздовжнього шва

Ущільнення виконувалось за допомогою трьох гладковальцевих котків. Використовували два котки НАММ HD 90 та один НАММ HD 120. Починали ущільнення котками НАММ HD 90, закінчували ущільнення котком НАММ HD 120. (рис. 5.17).



Рис. 5.17 – Ущільнення шару котками

Після 3-х років експлуатації автомобільна дорога знаходиться у відмінному стані. Результат фотофіксації стану наведено на рис. 5.18.



Рис. 5.18 – Загальний вигляд ділянки після 3-х років експлуатації

5.3 Розробка нормативно-технічних документів

В ході виконання дисертаційного дослідження результати, що були отримані під час виконання науково-дослідних робіт кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ за темами № 110/35-84-09 (державний реєстраційний № 0112U004739) «Розробити зміну №2 до ВБН В.2.3-218-186-2004 «Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу» стосовно розрахункових характеристик ЩМА», № 35-13-08 (державний реєстраційний № 0108U007432) «За результатами досліджень надати пропозиції до розробки відомчого нормативного документу щодо оцінки стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії», № 130/35-89-09 (державний реєстраційний № 0110U006019) «Дослідити вплив великовагових автотранспортних засобів на дорожні конструкції та розробити рекомендації щодо їх збереження від руйнувань», № 76/35-12-10 (державний реєстраційний № 0110U006019) «Провести наукові дослідження колієстійкості асфальтобетонів різних типів і видів та розробити

рекомендації щодо їх оптимального використання при будівництві асфальтобетонних покриттів», № 35-24-10 (державний реєстраційний № 0110U005851) «Науково-технічний супровід виконання робіт з поточного ремонту об'їзної автомобільної дороги навколо м. Харкова, № 28/35-42-11 (державний реєстраційний № 0111U003851) «Розробити рекомендації щодо підвищення довговічності асфальтобетонних сумішей з врахуванням впливу вмісту та форми зерен щебеню в складі асфальтобетонів на їх колієстійкість», № 35-52-11 (державний реєстраційний № 0111U009020) «Науково-технічний супровід виконання робіт з поточного ремонту автомобільної дороги державного значення М-07 «Київ – Ковель – Ягодин» в межах Волинської області», № 35-41-18 «Науково-технічний супровід. Поточний середній ремонт автомобільної дороги Р-46 «Харків – Охтирка» на ділянці км 8+623 – км 89+304», №35-04-19 «Науково-технічний супровід на стадії виконання робіт з поточного середнього ремонту автомобільної дороги загального користування державного значення М-03 «Київ – Харків – Довжанський» (на м. Ростов-на-Дону) на ділянці км 493+400 – км 493+900, Харківська область» №Н27/20 «Науково-технічний супровід виконання робіт з поточного середнього ремонту автомобільної дороги загального користування державного значення «Чугуїв – Мілове» на ділянці км 2+635 – км 110+735 у Харківській області», були використані під час розроблення наступних нормативних документів:

ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови»;

ДСТУ-Н Б В.2.3-40:2016 «Настанова з влаштування покриття дорожнього одягу з використанням щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей»;

СОУ 45.2-00018112-039:2009 «Способи оцінки стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії. Методи випробувань»;

Р В.2.7-02071168-799:2012 «Рекомендації щодо підвищення довговічності асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів за критерієм колієстійкості»;

Р В.2.7-02071168/03450778-808:2012 «Рекомендації щодо раціонального використання асфальтобетонних сумішей різних типів і видів при будівництві

колієстійких шарів дорожніх одягів автомобільних доріг загального користування», що увійшли у фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор).

Зазначені документи внесені в фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) і використовуються проектними та будівельними організаціями під час виконання робіт з будівництва, реконструкції та ремонтів покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг.

Довідки про впровадження результатів дослідження наведені в додатку Б.

5.4 Оцінка техніко-економічної ефективності використання щебенево-мастикових асфальтобетонів в шарах покриття

Оцінка техніко-економічної ефективності від використання щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей для влаштування шару покриття дорожніх одягів автомобільних доріг виконана за методикою проф. В.А. Веренько [120].

Економічний ефект E від влаштування більш довговічного покриття дорожнього одягу визначаємо на основі вартостей влаштування асфальтобетонного покриття та асфальтобетонних сумішей, а також переваг від використання щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей за формулою:

$$E = [(Z_1 + Z_{\delta 1}) \beta + E_e - (Z_2 + Z_{\delta 2})] \cdot A_2, \quad (5.3)$$

де Z_1 і Z_2 – вартість приготування асфальтобетонних сумішей за варіантами, які порівнюються;

$Z_{1\delta}$ і $Z_{2\delta}$ – вартість влаштування покриття за варіантами, які порівнюються;

E_e – економія за рахунок зниження експлуатаційних витрат на утримання покриття дорожнього одягу за весь його строк служби (приймаємо як нуль, за умови припущення, що покриття дорожнього одягу відпрацює весь строк служби без появи деформацій та руйнувань).

A_2 – річний обсяг ремонтно-будівельних робіт з використанням покриттів дорожніх одягів з щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші в розрахунковому році.

β – коефіцієнт який дозволяє врахувати ефективність від влаштування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття порівняно з покриттям з традиційного асфальтобетону, який визначається за формулою:

$$\beta = (C_1 + E_n)/(C_2 + E_n), \quad (5.4)$$

де C_1 і C_2 – частки від вартості асфальтобетонів у розрахунку на 1 рік їх роботи за варіантами, які порівнюються, залежно від строків служби;

E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

Виходячи з (5.2) можливо отримати залежність для встановлення частки кошторисної вартості покриття дорожнього одягу в розрахунку на 1 рік його роботи з врахуванням нормативного коефіцієнту порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень:

$$P_{en} = C + E_n = f(P), \quad (5.5)$$

де P – загальний рівень надійності асфальтобетону в покритті дорожнього одягу можливо визначити за формулою:

$$P = (P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n)^{1/n}, \quad (5.6)$$

де $P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n$ – часткові рівні надійності, які відповідають коефіцієнтам запасу по міцності за різними критеріями.

Для спрощення виконання подальших розрахунків застосуємо емпіричну формулу для встановлення долі кошторисної вартості покриття дорожнього одягу

у розрахунку на один рік роботи, з врахуванням нормативного коефіцієнту порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень:

$$P_{en}=C+E_n=0,22\cdot I^{-0,75}, \quad (5.7)$$

де I – загальний рівень надійності.

Для виконання подальших розрахунків загальний рівень надійності I може виражатися через показники фізико-механічних властивостей асфальтобетонів та ЩМА [120], які відповідають критеріям довговічності, стійкості до накопичення залишкових пластичних деформацій, тривалої водостійкості та морозостійкості $I_1 \cdot I_2 \cdot \dots \cdot I_n$, за наступною формулою:

$$I=(I_1\cdot I_2\cdot I_3\cdot I_4)^{1/4}, \quad (5.8)$$

де I_1 – співвідношення довговічності ЩМА до довговічності асфальтобетону згідно ДБН В.2.3-4;

I_2 – співвідношення стійкості до утворення залишкових пластичних деформацій (колеєстійкість) ЩМА до традиційного асфальтобетону [26, 122];

I_3 – відношення показника довготривалої водостійкості ЩМА до показника довготривалої водостійкості асфальтобетону;

I_4 – відношення показника морозостійкості ЩМА до показника морозостійкості асфальтобетону [134].

Наступним етапом розраховуємо показник ефективності роботи асфальтобетону в конструкції дорожнього одягу β , що відображає у скільки разів щебенево-мастикова асфальтобетон може бути ефективнішим традиційного щільного асфальтобетону.

$$\beta=P_{en}^1/P_{en}^0, \quad (5.9)$$

де $P_{ен}^0 = 0,15$ – доля кошторисної вартості базового варіанту (асфальтобетону);

$P_{ен}^1$ – доля кошторисної вартості щебенево-мастикового асфальтобетону.

Вартість щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші не може бути більша ніж у β разів з умови забезпечення техніко-економічної ефективності порівняно з традиційним асфальтобетоном. А саме повинна виконуватись наступна умова:

$$\frac{C_1}{C_0} \leq \beta, \quad (5.10)$$

де C_1 – вартість 1 т. щебенево-мастикового асфальтобетону;

C_0 – вартість 1 т. асфальтобетону.

5.4.1 Результати розрахунків

Порівняємо два варіанти, перший – гарячий щільний дрібнозернистий асфальтобетон типу А на модифікованих бітумах, який приймемо за базовий, другий – щебенево-мастиковий асфальтобетон виду ЩМА-20 на модифікованих бітумах. Вартість 1 тони асфальтобетонних сумішей, відповідно до цін на дорожньо-будівельні матеріали на січень 2021 року згідно даних Служби автомобільних доріг у Харківській області для варіантів становить:

- 1-й (дрібнозерниста щільна асфальтобетонна суміш тип «А» на модифікованих бітумах) – 3267,20 грн.;
- 2-й (щебенево-мастикова асфальтобетонна суміш ЩМА-20 на модифікованих бітумах) – 3676,90 грн.

Вартість влаштування 1000 м² асфальтобетонного покриття з дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші типу А на модифікованих бітумах та вартість влаштування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття з щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виду ЩМА-20 на модифікованих бітумах згідно локальних кошторисів (додаток В) становить:

- 1-й (влаштування асфальтобетонного покриття з дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші типу А на модифікованих бітумах) – 13360 грн;

- 2-й (влаштування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття з щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виду ЩМА-20 на модифікованих бітумах) – 9582 грн.

Показники економічної ефективності щебенево-мастикового асфальтобетону, які прийняті для розрахунків, наведено в таблиці 5.13.

Обов'язковою умовою має бути те, що відношення вартості щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші до вартості дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу А повинно бути менше показника β . Це впливає з умови забезпечення поліпшення показників економічної ефективності по зазначеним критеріям.

Таблиця 5.13 – Визначення показників економічної ефективності

Показники властивостей	Значення
I_1	1,18
I_2	1,47
I_3	1,06
I_4	1,05
$I_{\text{заг}}$	1,18
$P_{\text{ен}}$	0,194
β	1,29
C_1/C_0	1,165

Аналіз показників економічної ефективності показує, що за наведеним розрахунком спостерігається ефект від використання щебенево-мастикового асфальтобетону.

Відношення строку служби покриття з щебенево-мастикового асфальтобетону до строку служби покриття з дрібнозернистого асфальтобетону повинно дорівнювати відношенню загального рівня надійності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття до загального рівня надійності покриття з дрібнозернистого асфальтобетону типу А.

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{I_{\text{заг}1}}{I_{\text{заг}0}}, \quad (5.11)$$

де T_1 – строк служби щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття;

T_0 – строк служби покриття з дрібнозернистого асфальтобетону типу А;

I_{zag1} – загальний рівень надійності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття;

I_{zag2} – загальний рівень надійності покриття з дрібнозернистого асфальтобетону типу А.

За прийнятих умов, розрахунковий строк служби покриття дорожнього одягу з щебенево-мастикового асфальтобетону буде більший у 1,18 разів порівняно з дрібнозернистим щільним асфальтобетоном типу А:

$$\frac{T_1}{T_0} = \frac{13}{11} = 1,18 = \frac{I_{zag1}}{I_{zag0}} = \frac{1,18}{1} = 1,18$$

Визначаємо економічний ефект за формулою 5.1.

$$E = [(3267,20 \cdot 121,6 + 13360) \cdot 1,29 + 0 - (3676,90 \cdot 125,1 + 9582)] \cdot 1 = \\ = 60178,27 \text{ грн/1000 м}^2.$$

Таким чином, за умови забезпечення необхідних значень показників властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів та подовження строку служби покриття дорожнього одягу можливо отримати економічний ефект у розмірі 60178 грн. 27 коп. на кожних 1000 м² влаштованого щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття товщиною 5 см.

5.5 Висновки за розділом

1. Результати виконаних досліджень у виробничих умовах дозволяють стверджувати, що використання для будівництва покриттів дорожніх одягів щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей з максимальним розміром та вмістом зерен щебеню (ЩМА-20) забезпечує стабільну їх роботу в умовах багаторазових циклічних навантажень під дією великовагових транспортних засобів за високих літніх температур без накопичення пластичних деформацій та руйнувань.

2. За результатами досліджень розроблено і у виробничих умовах апробовано рекомендації щодо раціонального використання асфальтобетонних сумішей різних типів і видів при будівництві колієстійких шарів дорожніх одягів автомобільних доріг. Запроєктовані склади щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей ЦМАС-20 були використані під час будівництва шарів покриття на ділянках автомобільних доріг загального користування державного значення М-03 «Київ – Харків – Довжанський» та М-07 «Київ – Ковель – Ягодин», при виконанні робіт з поточного середнього ремонту, і пройшли перевірку десятирічним періодом експлуатації.

3. Результати експериментальних досліджень були використані під час перегляду ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови», розробки ДСТУ-Н Б В.2.3-40:2016 «Настанова з влаштування покриття дорожнього одягу з використанням щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей» та СОУ 45.2-00018112-039:2009 «Способи оцінки стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії. Методи випробувань», а також двох рекомендацій, які увійшли до фонду нормативно-технічних документів Державного агентства автомобільних доріг України. Нормативно-технічні документи. Розроблені нормативно-технічні документи використовуються проектними та будівельними організаціями під час проєктування, будівництва, реконструкції та виконання ремонтних робіт покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг.

4. Економічна ефективність влаштування стійких до накопичення пластичних деформацій щебенево-мастикових асфальтобетонних покриттів товщиною 5 см з сумішей приготвлених на основі модифікованих бітумів дозволяє отримати економічний ефект у розмірі 60178 грн. 27 коп. на кожні 1000 м², порівняно з використанням щільної дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу А на основі модифікованого бітуму.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретичними і експериментальними дослідженнями підтверджена можливість створення структури, яка забезпечує одночасно високі показники розрахункових характеристик та стійкість до накопичення пластичних деформацій у вигляді колії щебенево-мастикових асфальтобетонних покриттів. Показано, що зерновий склад мінеральної частини, крупність та кількість зерен щебеню, марка бітумного в'язучого, величина навантаги на колесо, кількість проходів колеса та температура покриття відносяться до основних чинників, які впливають на стійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів до утворення колії.
2. Визначено залежності розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів різних гранулометричних видів від марочної в'язкості бітумів, використаних для їхнього приготування. Експериментально підтверджено зростання значень модуля пружності та границі міцності за згину щебенево-мастикових асфальтобетонів на основі модифікованих полімерами бітумів, які є розрахунковими характеристиками, що необхідні для розрахунку конструкцій нежорстких дорожніх одягів. Встановлено, що зі зменшенням максимального розміру зерен щебеню у складі щебенево-мастикового асфальтобетону та збільшенням марочної в'язкості бітуму, використаного для приготування суміші, значення розрахункових модулів пружності та границі міцності за згину зростають.
3. Експериментально встановлено, що більш інтенсивне наростання глибини колії за підвищення температури асфальтобетонного покриття від 50 °С до 65 °С властиве щебенево-мастиковим асфальтобетонам з меншим розміром зерен щебеню. Отримані результати експериментальних досліджень свідчать про більший опір колієутворенню в експлуатаційному діапазоні температур щебенево-мастикових асфальтобетонів з більшим максимальним розміром зерен щебеню, порівняно з ЦМА з мінімальним розміром зерен щебеню. Порівняльні дослідження колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів різних гранулометричних видів показали, що збільшення у складі мінеральної частини

розміру зерен щебеню з 10 мм до 40 мм викликає зменшення глибини колії у 1,8 рази.

4. Експериментально встановлено, що більш інтенсивному наростанню глибини колії зі збільшенням температури покриття додатково сприяє зростання величини тиску колеса транспортного засобу на поверхню шару щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття дорожньої конструкції. Визначено, що використання для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей бітумів, модифікованих полімерами класу термоеластопластів, більше позначається на підвищенні колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів з меншим розміром щебеню. Показано, що модифікацією ЦМАС природними бітумами «Trinidad Epuré Z 0/8» та «Gilsonite» досягається підвищення колієстійкості ЦМА від 65 % до 83 %.

5. Результати досліджень впроваджені у виробничих умовах при поточному ремонті ділянок автомобільних доріг М-07 «Київ-Ковель-Ягодин», М-03 «Київ-Харків-Довжанський», Р-46 «Харків – Охтирка», Н-26 «Чугуїв – Мілове» в межах Харківської та Волинської областей, а також у навчальний процес Харківського національного автомобільно-дорожнього університету 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Результати дисертаційних досліджень використані під час розроблення двох державних стандартів – ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови», ДСТУ Н Б В.2.7-40:2016 «Настанова з влаштування покриття дорожнього одягу з використанням щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей», а також одного галузевого стандарту та двох рекомендацій – СОУ 45.2-00018112-039:2009 «Способи оцінки стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії. Методи випробувань», а також рекомендацій Р В.2.7-02071168-799:2012 «Рекомендації щодо підвищення довговічності асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів за критерієм колієстійкості», Р В.2.7-02071168/03450778-808:2012 «Рекомендації щодо раціонального використання асфальтобетонних сумішей різних типів і видів при будівництві колієстійких шарів дорожніх одягів автомобільних доріг загального користування», що використовуються

проектними та дорожньо-будівельними організаціями під час проектування, будівництва, реконструкції та ремонтів дорожніх одягів автомобільних доріг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Грушко И.М., Королев И.В., Борщ И.М., Мищенко Г.М. Дорожно-строительные материалы. М.: Транспорт, 1991. 357 с.
- 2 Волков М.И. Некоторые вопросы теории асфальтобетона. *Труды МАДИ*. 1958. № 23. С. 23-27.
- 3 Королев И.В., Золотарев В.А., Ступицев В.А. Асфальтобетонные покрытия. Д. Изд-во Донбасс, 1970. 161 с.
- 4 Золотарев В.А. Исследование свойств асфальтобетонов различной структуры: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / ХАДИ. Х., 1967. 24 с.
- 5 Ладыгин Б.И., Деркаченко И.Л. Принцип направленного структурообразования дорожного асфальтобетона. *Доклады Академии наук БССР*. 1972. Том 16, № 5. С. 424-426.
- 6 Иванов Н.Н., Горелышев Н.В. Пути увеличения долговечности асфальтобетонных покрытий. *Автомобильные дороги*. 1964. № 1. С. 8-10.
- 7 Ганжула Д.И. К вопросу устойчивости асфальтовых бетонов при высоких температурах. *Труды МАДИ*. 1958. № 22. С. 30-37.
- 8 Соколов Ю.В., Губач Л.С. К вопросу оценки сдвигоустойчивости дорожного асфальтобетона. *Труды Тюменского индустриального института*. 1969. № 10. С. 35-40.
- 9 Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Х. Высшая школа, 1977. 116 с.
- 10 Титарь В.С. Закономерности разрушения и долговременной прочности асфальто- и дегтебетонов: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05 / ХАДИ Х., 1982. 252 с.
- 11 Почапский Н.Ф. Исследование прочности асфальтобетона в зависимости от минеральных составляющих. // *Труды Харьковского автомобильно-дорожного института*. 1961. № 26. С. 46-49.
- 12 Лысихина А.И. О стабильности битумов и взаимодействии их с минеральными материалами. М.: Дориздат, 1952. 176 с.

13 Гезенцвей Л.Б., Горелышев Н.В., Богуславский А.М., Королев И.В. Дорожный асфальтобетон. 2 изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1985. 350 с.

14 Рыбьев И.А. Основы улучшения и регулирования свойств асфальтобетона: дис. ... д-ра тех. наук. МАДИ. М. 1958. 35 с.

15 Романенко Н.И. Влияние качества минеральных порошков на свойства асфальтовых систем: автореф. дис. канд. техн. наук. ХАДИ. Х. 1956. 21 с.

16 Сахаров П.В. Способы проектирования асфальтобетонных смесей. *Транспорт и дороги города*. 1935. № 12. С. 22-26.

17 Маляр В.В. Закономерности механических свойств нефтяных дорожных битумов при стекловании: дис. канд. тех. наук. ХГАДТУ. Х. 1993. 217 с.

18 Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны. М.: Высшая школа. 1969. 369 с.

19 Аррамбид Ж., Дюрье М. Органические вяжущие и смеси для дорожного строительства. М. Высшая школа. 1961. 270 с.

20 Зинченко В.Ф., Соломенцев А.Б., Бабаев В.И., Королев И.В. Улучшение качества асфальтобетона введением ПАВ в битум. *Автомобильные дороги*. 1991. №8. С. 17-19.

21 Золотарев В.А. Влияние температуры и группового состава на растяжимость битумов. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2002. № 2. С. 12-13.

22 Чугуенко С.А. Сдвигоустойчивость асфальтобетонов на битумах, модифицированных полимерами: дис. канд. тех. наук. УкрДАЗТ. Х., 2006. 185 с.

23 Ткачук Ю.П. Влияние структурных особенностей асфальтобетона на закономерности его вязкоупругого поведения при статическом нагружении: дис. канд. тех. наук. ХАДИ. Х., 1977. 217 с.

24 Лысихина А.И. Дорожные покрытия и основания с применением битумов и дегтей. М.: Автотрансиздат, 1962. 360 с.

25 Королев И.В. Дорожный теплый асфальтобетон. К.: Вища школа, 1975. 155 с.

26 Воловик О. О. Підвищення стійкості асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг до утворення колії : дис. ... канд. техн. наук. ХНАДУ. Х., 2016. 148 с.

27 Newcomb D., Buncher M., Huddleston I. Concepts of perpetual pavements. *Perpetual bituminous pavements*. 2001. № 503. P. 4-11.

28 Бонченко Г.А. Асфальтобетон. Сдвигоустойчивость и технология модифицирования полимером. М.: Машиностроение. 1994. 176 с.

29 Богуславский А.М, Богуславский Л.А. Основы реологии асфальтобетона. М.: Высшая школа. 1972. 199 с.

30 Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог: в 2 т. – Т. 1: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 320 с.

31 Гоглидзе В.М. Разработка основных положений сдвигоустойчивых и износостойких полужестких дорожных покрытий. дис. д-ра. техн. наук. МАДИ. М. 1980. 375 с.

32 Иванов Н.Н. Устойчивость асфальтобетонных покрытий при высоких температурах. В кн.: *Повышение качества асфальтобетона*. М.: 1975. С. 21-25.

33 Hewitt W. L. High. Res. Ren. 1965. № 104. P. 78-104.

34 Балобнева И.И. Исследование влияния гранулометрического состава на сдвигоустойчивость асфальтобетона. Б. изд. СоюзДорНИИ. 1970. 31 с.

35 Горелышев Н.В. Оптимальная структура минерального остова асфальтобетона. *Материалы работы симпозиума по структуре и структурообразованию в асфальтобетоне*. Б. изд. СоюзДорНИИ, 1968. С. 61-75.

36 Горелышев Н.В. Исследование асфальтобетона каркасной структуры и его эксплуатационных свойств в дорожных одеждах: автореф. дис. д-ра техн. наук. МАДИ. М. 1978. 36 с.

37 Грибков А.Я. Влияние гранулометрического состава щебня на механические свойства асфальтобетонных смесей. *Транспорт и дороги города*. 1934. № 1. С. 14-15.

38 Жданюк В.К., Масюк Ю.А., Чугуенко С.А., Плигун В.И. Об оценке устойчивости асфальтобетонных покрытий к образованию пластических

деформаций в виде колеи. *Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: II междунар. науч.-техн. интернет-конф.* ХНАГХ. Х. 2007. С. 168-171.

39 Жданюк В.К., Даценко В.М., Зражевец Е.М., Чугуенко С.А., Воловик А.А. Устойчивость асфальтобетонных различных гранулометрических типов к накоплению пластических деформаций в виде колеи. *80 лет Белорусской дорожной науке. Юбилейная науч.-техн. конф.* М. 2008. С. 105-111.

40 Жданюк В.К., Даценко В.М. Стійкість асфальтобетонів різних гранулометричних типів до накопичення пластичних деформацій у вигляді колії. *Автошляховик України*. 2009. № 1. С. 31-34.

41 Волков М.И., Королев И.В. Структурообразование и взаимосвязь структур в асфальтобетоне. *Материалы работы симпозиума по структуре и структурообразованию в асфальтобетоне*. Б. изд. СоюзДорНИИ. 1968. С. 38-47.

42 Алиев А.М. Асфальтобетон в условиях жаркого климата. Б. 1980. 112 с.

43 Алиев А.М. Исследование сдвигоустойчивости асфальтобетонов при высоких температурах. В кн.: *Повышение качества асфальтобетона* М. изд. СоюздорНИИ. 1975. С. 119-124.

44 Гезенцвей Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. М.: Стройиздат. 1971. 255 с.

45 Гохман Л.М. Выбор оптимального типа дивинилстирольного термоэластопласта для приготовления битумополимерного вяжущего. *Труды СоюздорНИИ*. Вып. 44. М. 1971. С. 146-159.

46 Гохман Л.М., Гурарий Е.М., Давыдова А.Р., Давыдова К.И. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства. М. Информавтодор, 2002. 113 с.

47 Золотарев В.А. Влияние свойств битумополимерных вяжущих на сдвигоустойчивость асфальтобетонов. *Наука и техника в дорожной отрасли*. № 2. 2004. С. 27-30.

48 Макарьчев О.О., Мозговий В.В., Бесараб О.М., Онищенко А.М. Дослідження впливу полімерного латексу Бутанал NS 104 на властивості асфальтового бетону. *Автошляховик України*. № 4. 2006. С. 36-39.

49 Шевченко В. П., Романенко С.М., Ребенок О.Є., Жданюк В.К., Масюк Ю.А. Властивості асфальтобетонів на основі бітумів, модифікованих полімерами. *Автошляховик України*. № 3. 2002. С. 27-28.

50 Sybilski D., Szczepaniak Z. Beton asfaltowy modyfikowany kopolimerem SBS. *Prace Instytutu Badawczego Drog i Mostow.* – 1992. – №1. – S. 5-28.

51 Соломенцев А.Б., Жданюк В.К., Маляр В.В., Круть В.В. Влияние поверхностно-активных веществ на кинетику окисления гудрона и качество битума. *Химия и технология топлив и масел*. № 5. 1999. С.20-22.

52 Жданюк В.К., Ковальчек М., Шевченко В.П., Масолитин А.В. Об устройстве асфальтобетонных покрытий с применением асфальтобетонных смесей на основе битума, модифицированного термопластичным эластомером «Кратон Д-1101 СМ». *Коммунальное хозяйство городов. Серия: Технические науки*. Вып.42. 2002. С.75-80.

53 Behnood A., Gharehveran, Modiri M. Morphology, rheology, and physical properties of polymer-modified asphalt binders. *European polymer journal* Volume 112. 2019. P. 766-791.

54 Zhu J., Birgisson B., N. Kringos N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *European polymer journal*. Volume 54. 2014. P. 18-38.

55 Никишина М.Ф., Захаров В.Р. Применение полимеров для улучшений свойств битумов и битумоминеральных смесей. М.: Транспорт, 1969. 182 с.

56 Платонов А.П. Полимерные материалы в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1994. 280 с.

57 Макарьчев О.О., Мозговий В.В., Бесараб О.М., Онищенко А. М. Оцінка впливу модифікатора бітуму Бутанал NS 198 на підвищення довговічності асфальтобетонного покриття. *Дороги і мости. Збірник наукових статей. ДерждорНДІ*. Вип. 5. 2006. с. 275-288.

58 Платонов А.П., Шверова Н.Р. Некоторые вопросы теории получения битумополимерных вяжущих для сдвигоустойчивых асфальтобетонов. *Межвузовский сборник трудов*. Л.: ЛИСИ. № 1. 1976. С. 4-8.

59 Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. М.: Транспорт, 1973. 261 с.

60 Печеный Б.Г. Битумы и битумные композиции. М.: Химия. 1990. 255 с.

61 Bonno J., Perez F., Bitume – Actualitis. *Session IV. Materiaux bitumineux speciaux*. 1986. № 31. P. 47-55.

62 Terrel R.T., Walter J.L. Modified asphalt pavement materials – The Europe experience. *The Association of Asphalt Paving Technologists*. 1986. Vol. 55. P. 57-59.

63 Баранже Ж., Ривуар Ж., Самано Ж., Ванискот Ж. Модифицированные дорожные вяжущие. *Практическое руководство по строительству дорог*. 1992. С. 1-17.

64 Erpps J. Asphalt pavement modifiers. *Civil Engineering*. 1986. Vol. 56, №4. P. 57-59.

65 Гурарий Е.М. Регулирование свойств дорожных битумов введением добавок асфальтенов различной природы: автореф. дис. канд. техн. наук. Л. 1977. 20 с.

66 Слепая Б.М., Питецкий Ю.Н., Гезенцевей Л.Б. Исследования некоторых свойств асфальтобетона с добавками резины. *Труды СоюздорНИИ*. Вып. 34. Москва. 1969. С. 83-90.

67 Ахмед Гамал Махмоуд Морси. Исследование свойств асфальтобетона с добавкой измельченной шинной резины: дис. канд. техн. наук. М. МАДИ. 2005. 174 с.

68 Qian C., Fan W. Evaluation and characterization of properties of crumb rubber/SBS modified asphalt. *Materials chemistry and physics*. Volume 253. Number article: 123319. 2020.

69 Львов О.Н., Гезенцевей Л.Б. Асфальтобетон на основе серосодержащих отходов промышленности. *Труды СоюзДорНИИ*. М. 1983. С. 55-61.

70 Степанян И.В. Использование серы как компонента асфальтобетона: автореф. дис. канд. техн. наук. М.: МАДИ 1988. 20 с.

71 Урьев Н.Б., Иваньски М. Применение серы при производстве асфальтобетонных смесей в Польше. *Автомобильные дороги*. № 7 1989. С. 26-27.

72 Fengh. Z., Jianying Y., Jun H. SBS/sulfur-modified asphalts. *Construction and building materials*. Volume: 25. Elase 1. 2011. P. 129-137.

73 Арипов Х.Х. Влияние нафтената кальция на свойства битума и асфальтобетона. М.: МАДИ, 1983. 19 с.

74 Фарберов Е.Я. Регулирование свойств дорожных битумов добавками каменноугольных смол: автореф. дис. канд. техн. наук. М.: МАДИ, 1987. 23 с.

75 Химерик Т.Ю. Исследование свойств асфальтового бетона с использованием гидролизного лигнина: автореф. дис. канд. техн. наук. М.: МАДИ, 1982. 25 с.

76 Кучма М.И. Поверхностно-активные вещества в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1980. 191 с.

77 Золотарев В.А. Битумы, модифицированные полимерами типа СБС: особенности состава, структуры и свойств. *Доклад на Международной научно-технической конференции «Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли»*. М. 2003. 17 с.

78 Migliori F., Durrieux F., Ramond G. Essais de laboratoire applicables aux bitumes-polymeres. *Journees d'etude bitume modifie*. ENPC. P. 1995. 40 p.

79 Золотарев В.А., Беспалова Л. А., Братчун В.И. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве. Пер. с франц. Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (С8). 2003. 229 с.

80 Hameliak I.P., Reneiska S.V. Implementation of stone mastic asphalt with the natural bitumen additive. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник*. Вип. 95. 2016. С.10-25.

81 Гамеляк І.П., Палєшев О.С., Ренейська С.В. Ефективність використання модифікаторів бітуму та асфальтобетону при ремонті магістральних

автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник*. Вип. 108. 2020 С.11-21.

82 Майданова Н.В. Модификация нефтяных битумов природными асфальтитами: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.07 / Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). С., 2010. 202 с.

83 Jahanian H. R., Shafabakhsh Gh., Divandari H. Performance evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) containing bitumen modified with Gilsonite. *Construction and building materials*. 2017. Volume 131. P. 156-164.

84 Zichner G. 40 Jahre Arbeitsgemeinschaft der Bitumen-industrie. *Bitumen*. №8. 1970.

85 Zichner, G. Mastimac und Mastiphalt bituminöse Gemische für hochwertige. *Deckschichten. STRABAG Schriftenreihe* 8. Folge 4. 1972.

86 Florczyk G., Kaczycka J., Grabowski W. Doswiadczenia w zastosowaniu mieszanek mineralno-bitumicznych o zwiekszonej odpornosci na odkształcenia trwałe oraz mieszanek SMA typu «A» i «B». *Modern Technologies in Highway Engineering: I International Conference*. Poznan. 1998. P. 74-81.

87 Verenko V.A. Zankovich V.V. Osobliwosci oceny jakosci mieszanek SMA na Bialorusi. *Durable and Safe road pavements: IX International Conference*. Kielce. 2003. P. 395-403.

88 Iwanski M. Szorstkosc nawierzchni w aspekcie uziarnienia mieszanek matyksowa grysowej SMA. *Durable and Safe road pavements: X International Conference*. Kielce. 2004. P. 51-58.

89 Кирюхин Г.Н. Опыт устройства дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона в России. *Вестник ХНАДУ*. Вип. 34-35. 2006. С. 52-54.

90 Оев А.М., Каримов Б.Б. Щебнемастичный асфальтобетон для тонкослойных покрытий. *Наука и техника в дорожной отрасли*. № 2. 2006. С. 24-25.

91 Вирожемський В.К., Міщенко М.Л., Катукова В.М. Моніторинг покриття ділянок автомобільних доріг, побудованих із щебенево-мастикового асфальтобетону. *Автошляховик України*. № 3. 2008. С. 37-38.

92 Druschner L., Schafer V. Splittmastixasphalt. *Deutscher Asphaltverband*. Bonn. 2000.

93 Лукашевич Ю. Применение щебнемастичного асфальта в дорожной отрасли. *Строительство и недвижимость*. № 26. 2002.

94 Арутюнов В., Кирюхин Г., Юмашев В. Первый опыт строительства покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона в России. *Дороги России XXI века*. 2002. № 3. С. 58-61.

95 Дитер Р. Щебеночно-мастичный асфальт. *Автомобильные дороги*. 2002. № 3. С. 80.

96 Баран С.А., Ольховий Б.Ю., Мозговий В.В. Особливості використання інноваційних технологій для забезпечення довговічності покриття із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей. *Вісник ОДАБА*. Вип. 63. Одеса. 2016. С.167-173.

97 ДСТУ Б В.2.7-127:2006 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови. [Чинний від 2006-07-03]. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України. 2006. – 35 с.

98 ДСТУ Б В.2.7-127:2015 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови. [Чинний від 2016-07-01]. – К.: Мінрегіон України. 2016. – 30 с.

99 Asphalt-StB 07. Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt. TL Ausgabe 2007.

100 Heavy Duty Surfaces. The arguments for SMA. European Asphalt Pavement Association, 1998.

101 ÚT 2-3.302:2008 Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek. Építési feltételek és minőségi követelménye.

102 Finish Asphalt Specification 2000. PANK Finish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki 2000.

103 BCA Specification for Stone Matrix Asphalt. Version 1999. New Zealand. Pavement and Bitumen Contractor's Association.

104 Sarang G., Mehnaz E., Ravi Shankar A. Comparison of Stone Matrix Asphalt Mixtures Prepared in Marshall Compaction and Gyratory Compactor. *International Journal of Civil Engineering Research*. Volume 5, Number 3. 2014. p. 233-240.

105 RVS 8S.01.41 Technical Contract Conditions Materials Asphalt Requirements for bituminous mixtures. Austria 2004.

106 Кирюхин Г.Н., Смирнов Е.А. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона. М.: ООО «Издательство "Элит"», 2009. 176 с.

107 Ганжула Д.И. К вопросу устойчивости асфальтовых бетонов при высоких температурах. *Труды МАДИ*. выпуск 22. 1958. С. 30-37.

108 ДСТУ Б В.2.7-75-98 Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. [Чинний від 1998-08-25] К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. 1999. 12 с.

109 ДСТУ Б В.2.7-32-95 Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. [Чинний від 1996-01-01] К.: Держкоммістобудування України. 1996. 13 с.

110 ДСТУ Б В.2.7-121:2014. Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови. [Чинний від 2015-01-01]. К.: Мінрегіон України. 2014. 24 с.

111 ДСТУ 4044-2001 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний від 2001-07-27]. К.: Держстандарт України. 2001. 14 с.

112 ДСТУ Б В.2.7-135:2014 Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови [Чинний від 2015-04-01]. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2015. 18 с.

113 ДСТУ Б В.2.7-89-99 Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань. [Чинний від 1999-]

10-13]. К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. 2000. 45 с.

114 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. [Чинний від 2017-04-01]. К.: ДП УкрНДНЦ. 2017. 70 с.

115 ГОСТ 11501-78 Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы. [Действующий от 1980-01-01]. М.: Госстандарт СССР, 1980. 4 с.

116 ГОСТ 11505-75 Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости. [Действующий от 1977-01-01]. М.: Госстандарт СССР, 1977. 4 с.

117 ГОСТ 11506-73 Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. [Действующий от 1974-07-01]. М.: Госстандарт СССР. 1974. 5 с.

118 ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. [Чинний від 2019-06-01]. – К.: Галузеві будівельні норми України, 2019. 63 с.

119 ДБН В.2.3-4:2015 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. К.: Державні будівельні норми України, 2015. 91 с.

120 Веренько В.А. Опыт применения модифицированных битумов и асфальтобетонов в республике Беларусь. *Вестник ХНАДУ*. 2017. № 79. С. 84-86.

121 Жданюк В.К., Гнатенко Р.Г., Костін Д.Ю. Впровадження технології влаштування покриттів із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей на модифікованих бітумах *Автошляховик України*. 2009. №2. С.28-31.

122 Жданюк В.К., Чугуєнко С.А., Воловик О.О., Костін Д.Ю. Підвищення колієстійкості асфальтобетонних покриттів нежорстких дорожніх одягів. *Автошляховик України*. 2010. №5. С. 29-32.

123 Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів. *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів: Матеріали міжнародної науково-*

технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету. Харків. 2010. С.98-102.

124 Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Результати порівняльних досліджень властивостей асфальтобетонів з добавкою “TRINIDAD EPURÉ Z0/8”. *Автошляховик України*. 2011. №5. С.38-43.

125 Жданюк В.К., Костін Д.Ю. Дослідження розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів. *Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції за участю молодих вчених «Еколого-правові і економічні аспекти екологічної безпеки регіонів»*. Харків. 2011. С.196-200.

126 Жданюк В.К., Циркунова К.В., Воловик О.О., Костін Д.Ю. Щодо факторів, які впливають на колієутворення в асфальтобетонних шарах дорожніх одягів. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: Материалы X международной научно-технической интернет-конференции*. Харьков. 2011. С.154-156.

127 Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Аринушкіна О.О. Властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів на модифікованих бітумах *Автошляховик України*. 2012. №6. С. 23-27.

128 Жданюк В.К., Макарьев О.А., Костин Д.Ю., Воловик А.А. Исследование свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона на модифицированных битумах. *Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов: Материалы международной научно-практической конференции с участием студентов и молодых ученых*. Харьков. 2012. С.124-129.

129 Жданюк В.К. Костин Д.Ю. Исследование колееустойчивости щебеночно-мастичных асфальтобетонов при разных температурах. *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: Материалы международной научно-практической конференции*. Пермь. 2013. Том 3. С. 197-203.

130 Жданюк В.К., Костин Д.Ю., Воловик А.А., Аринушкіна Е.А. Исследование влияния модифицированных битумов на свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонов. *Молодежь и научно-технический прогресс в*

дорожной отрасли юга России. *Материалы VII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Волгоград. 2013. С.119-124.

131 Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Макачев О.О Дослідження впливу термопласти на властивості щебенево-мастикового асфальтобетону. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: Материалы XI международной научно-технической интернет-конференции*. Харьков. 2014. С.11-15.

132 Жданюк В.К. Костін Д.Ю. Дослідження властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЦМА-40 на основі бітумів різних марок. *Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг»*. Харків. 2016. С. 132-135.

133 Жданюк В.К. Костін Д.Ю. Вплив модифікації бітумів на властивості та колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів. *Науково-технічний збірник, «Автомобільні дороги та дорожнє будівництво»*. 2017. №100. С. 57-67.

134 Жданюк В.К. Костін Д.Ю. Дослідження довговічності щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів за критерієм морозостійкості. *Збірник наукових праць, «Дороги і мости»*. 2017. №17. С.61-66. DOI:10.36100/dorogimosti2017.17.061.

Zhdaniuk V., Volovyk O., Kostin D., Lisovin S. An investigation of the effect of thermoplastic additives in asphalt concrete mixtures on the properties of different types of asphalt concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №2/6 (110). P. 61-70. DOI:1015587/1729-4061.2021.227806

ДОДАТОК А
РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ ТА
МИТТЄВОГО ЗЧЕПЛЕННЯ ДЛЯ ОКРЕМО ВИДІЛЕНИХ ФРАКЦІЙ З
МІНЕРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ЩМА ТА РОЗРАХУНКУ ЗСУВНИХ
НАПРУЖЕНЬ В ЩМА

ДОДАТОК А

РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ ТА МИТТЄВОГО ЗЧЕПЛЕННЯ ДЛЯ ОКРЕМО ВИДІЛЕНИХ ФРАКЦІЙ З МІНЕРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ЩМА ТА РОЗРАХУНКУ ЗСУВНИХ НАПРУЖЕНЬ В ЩМА

А.1 Визначення кута внутрішнього тертя та миттєвого зчеплення для окремих виділених фракцій кам'яного матеріалу

Кут внутрішнього тертя та миттєве зчеплення для кожної i -ї фракції, що входить в склад мінерального остова асфальтобетону можна визначити за методикою визначення показників зсувостійкості для сипучих тіл в сухому стані згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей».

Для визначення розрахунком значень зсувних напружень, які може витримати щебенево-мастиковий асфальтобетон необхідно визначити коефіцієнти (тангенси) кута внутрішнього тертя та миттєве зчеплення C_2 .

Кут внутрішнього тертя та миттєве зчеплення, можуть бути визначені, за допомогою приладу системи Гідропроекту. Згідно паспортних даних приладу показники можуть бути визначені для матеріалів максимальний розмір яких не перевищує 5 мм. Користуючись рекомендаціями виробника, дослідження було виконано в наступній послідовності: пісок із відсіву подрібнення було розсіяне за фракціями 2,5-5 мм, 1,25-2,5 мм, 0,63-1,25 мм, 0,315-0,63 мм, 0,16-0,315 мм, 0,071-0,16 мм. Випробування проводили для кожної підготовленої фракції окремо при тиску на зразок 0,1; 0,2; 0,3 кг/см². Отримані результати досліджень наведені на рисунку А.1.

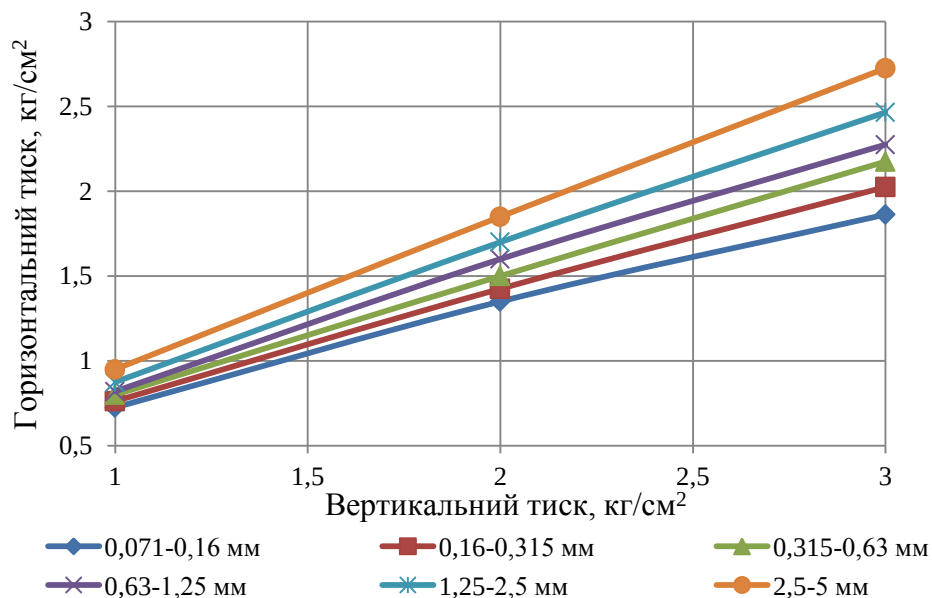


Рисунок А.1 – Залежності горизонтального тиску від вертикального для різних фракцій

За отриманими результатами досліджень (рис. А.1) розраховували тангенси кутів внутрішнього тертя та показники миттєвого зчеплення, які представлені на рис. А.2 та А.3.

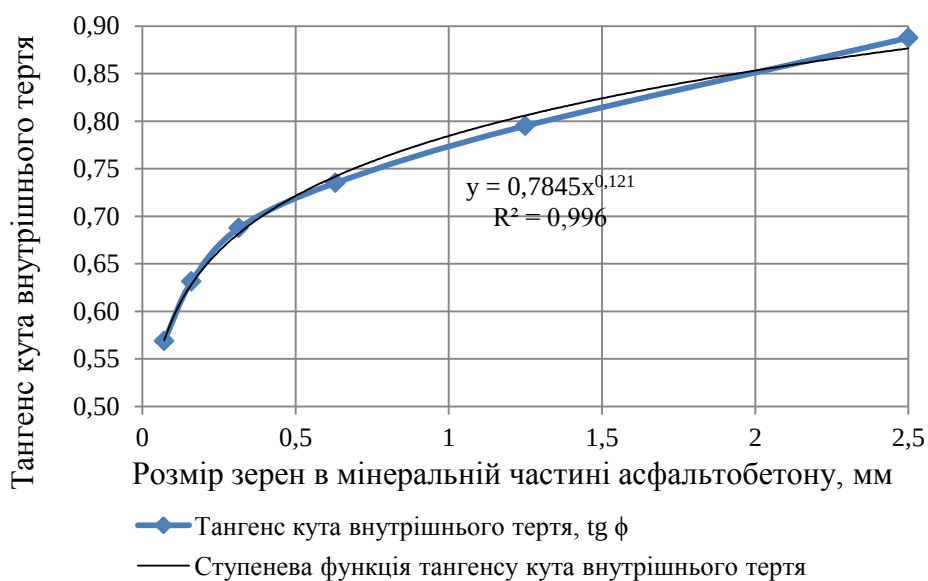


Рисунок А.2 – Залежність тангенсів кута внутрішнього тертя від розміру зерен в мінеральній частині асфальтобетону

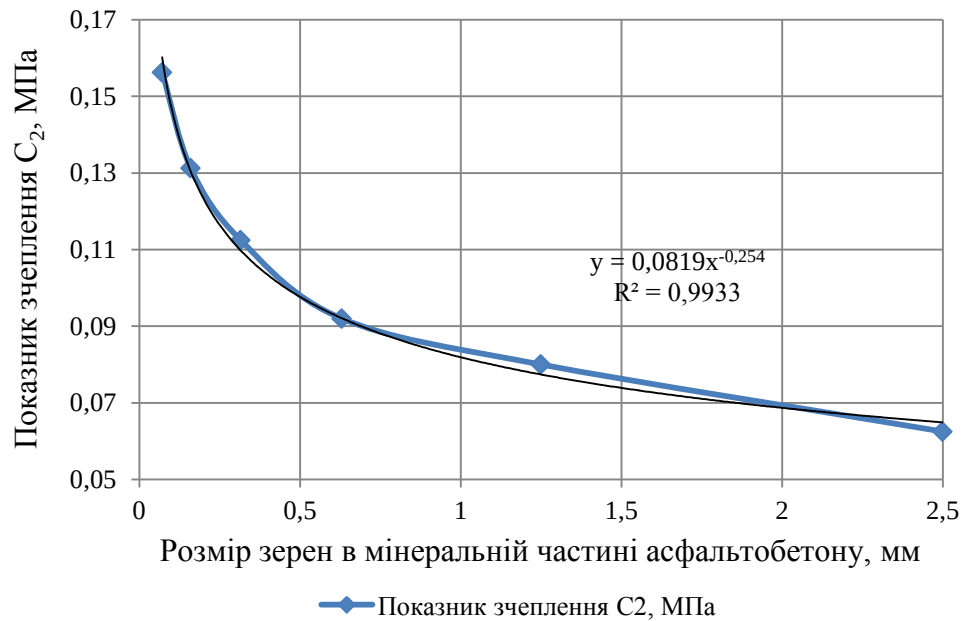


Рисунок А.3 – Залежність показника миттєвого зчеплення від розміру зерен в мінеральній частині асфальтобетону

Апроксимуючи отримані залежності можна зробити висновок, що найбільш наближеними до отриманих значень тангенсів кута внутрішнього тертя та показника миттєвого зчеплення є криві, що описуються ступеневою функцією. Так для отриманих значень кута внутрішнього тертя найбільш приближена ступенева функція. Для визначення тангенсу кута внутрішнього тертя, від розміру зерен мінеральних складових оптимально за коефіцієнтом детермінації підходить рівняння:

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,7845 \cdot x^{0,121}; \quad (\text{A.1})$$

де x – фракція, мм за якою розраховується залишок на ситі.

Визначати показник зчеплення рекомендовано за формулою (А.4):

$$C_2 = 0,0819 \cdot x^{-0,254}. \quad (\text{A.2})$$

У зв'язку зі складністю визначення показників зсувостійкості для матеріалів з максимальним розміром зерен більше 5 мм, значення кутів внутрішнього тертя та показника зчеплення для фракцій 5 - 10 мм, 10 - 15 мм, 15 - 20 мм, 20 - 25 мм та 25 - 40 мм було розраховано за допомогою отриманих функцій. Результати розрахованих значень наведені на рисунках А.4 та А.5.

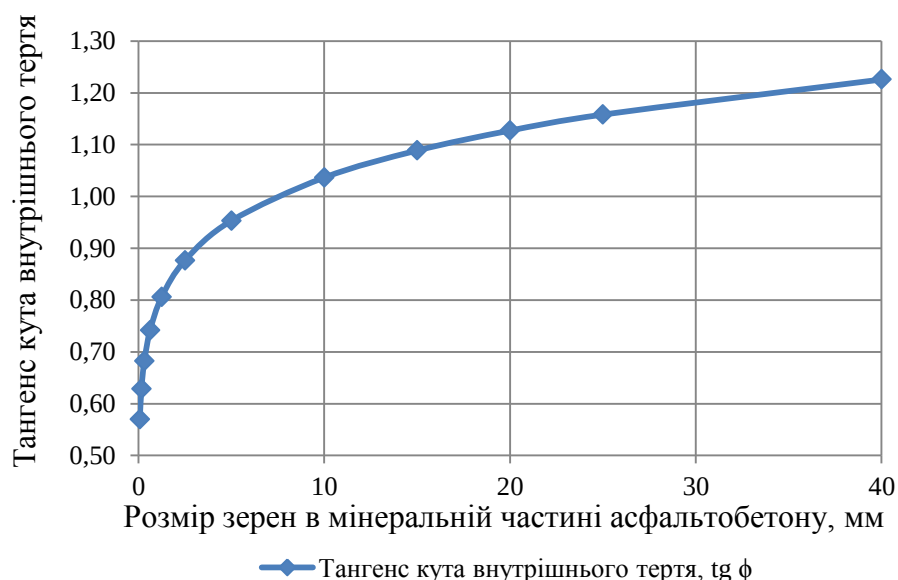


Рисунок А.4 – Залежність розрахованих значень тангенса кута внутрішнього тертя від розміру зерен в мінеральній частині асфальтобетону

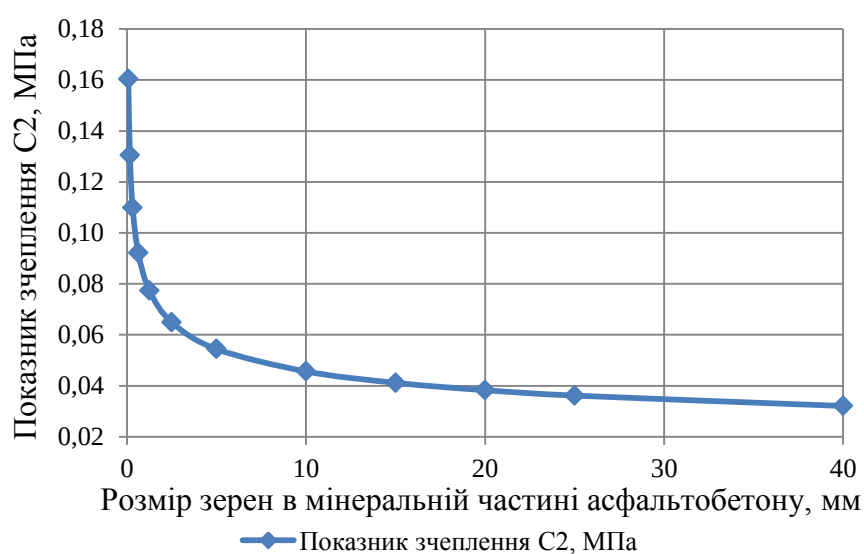


Рисунок А.5 – Залежність розрахованих значень миттєвого зчеплення від розміру зерен в мінеральній частині асфальтобетону

Експериментальні дослідження та розрахунки показали, що при збільшенні розміру зерен кам'яного матеріалу, тангенс кута внутрішнього тертя збільшується від 0,57 до 1,23, а показник зчеплення зменшується від 0,16 до 0,032 МПа.

А.2 Розрахунок зсувних напружень в щебенево-мастикових асфальтобетонах різних видів

Розрахуємо за формулою (2.1) зсувні напруження що виникають в щебенево-мастикових асфальтобетонах при нормальному тиску рівному 0,8 МПа, за температури 20 °С. Для виконання розрахунків робимо припущення, що за умови однакових бітумів у складі щебенево-мастикових асфальтобетонах, значення C_1 є константою, яка дорівнює 0,26 МПа, що відповідає визначеним значенням когезійної міцності для асфальтов'язучого згідно [17]. Результати розрахунків наведено в таблиці А.1.

Таблиця А.1 – Результати розрахунків показників зсувостійкості та зсувних напружень

Вид ЩМА	Нормаль- ний тиск, МПа	Тангенс кута внутрішнього тертя, $tg\varphi$	Показник зчеплення C_1 , МПа	Показник зчеплення C_2 , МПа	Зсувні напруження τ , МПа
ЩМА-5	0,8	0,73	0,26	0,06	0,90
ЩМА-10	0,8	0,80	0,26	0,05	0,95
ЩМА-15	0,8	0,85	0,26	0,05	0,99
ЩМА-20	0,8	0,90	0,26	0,05	1,03
ЩМА-40	0,8	1,00	0,26	0,05	1,11

Результати розрахунків підтвердили, що мінеральний каркас з зерен щебеню, відіграє одну з найважливіших ролей в формуванні структури в щебенево-мастикових асфальтобетонах. Збільшення вмісту та розміру зерен щебеню сприяє підвищенню стійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів до впливу зсувних напружень.

ДОДАТОК Б
ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО
ДОСЛІДЖЕННЯ

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок

Костіна Д.Ю.

Державне агентство автомобільних доріг України підтверджує, що Костін Д.Ю. є співавтором Зміни №2 до відомчих будівельних норм ВБН В.2.3-218-186-2004 «Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу», яка розроблялася на замовлення Державної служби автомобільних доріг України «Укравтодор» згідно з договором №110/35-84-09, затверджена в установленому порядку та являється чинною.

Розробки аспіранта Костіна Д.Ю. знайшли відображення в таблицях Е.1, Е.2 та Е.3 додатку Е “Міцнісні та деформаційні характеристики матеріалів конструктивних шарів дорожнього одягу”, що стосуються розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів.

Розроблена зміна № 2 до ВБН В.2.3-218-186-2004 «Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу» застосовується проектними і будівельними організаціями та підприємствами в галузі дорожнього господарства при проектуванні автомобільних доріг загального користування України.

Начальник відділу інноваційного
розвитку Укравтодору



А.О. Цинка

Акт

про впровадження рекомендацій розроблених в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті при ремонті дорожнього одягу на автомобільній дорозі М-03 «Київ-Харків-Довжанський» у межах Харківської області.

При виконанні поточного ремонту дорожнього одягу на автомобільній дорозі М-03 «Київ-Харків-Довжанський» були використані рекомендації, щодо застосування для влаштування шару покриття з щебенево-мастикових асфальтобетонів з максимальним розміром щебеню 20 мм, згідно ДСТУ Б В.2.7-127-2006 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови» на бітумах модифікованих полімерами як матеріалу, який дозволяє забезпечити необхідну колієстійкість для місцевих кліматичних умов при фактичній інтенсивності руху транспортних засобів.

Рекомендації розроблені на основі результатів експериментальних досліджень, виконаних на кафедрі будівництва та експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за участю аспіранта Костіна Д.Ю.

Начальник служби автомобільних доріг
у Харківській області



К.В. Микуленко

Акт

про впровадження рекомендацій розроблених в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті при ремонті дорожнього одягу на автомобільній дорозі М-07 «Київ-Ковель-Ягодин» у межах Волинської області.

При виконанні поточного ремонту дорожнього одягу на автомобільній дорозі М-07 «Київ-Ковель-Ягодин» були використані рекомендації, щодо застосування для влаштування шару покриття з щебенево-мастикових асфальтобетонів з максимальним розміром щебеню 20 мм, згідно ДСТУ Б В.2.7-127-2006 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови» на бітумах модифікованих полімерами як матеріалу, який дозволяє забезпечити необхідну колієстійкість для місцевих кліматичних умов при фактичній інтенсивності руху транспортних засобів.

Рекомендації розроблені на основі результатів експериментальних досліджень, виконаних на кафедрі будівництва та експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за участю аспіранта Костіна Д.Ю.

Начальник служби автомобільних доріг
у Волинській області



А.Г. Посполітак

**ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ**
Державне підприємство «Центр науково
технічного супроводу дорожніх робіт та
сертифікації дорожньої продукції»
(ДП «Дорцентр»)

02160, м. Київ, вул. Каунаська, 3
Телефон: 292-97-94, факс 292-61-50
E-mail: dp.dntc.dorjakist@gmail.com
код 21476215



THE STATE ROAD AGENCY OF UKRAINE
State Enterprise «Center of science - technical
maintenance of road works, and road products
certification»
(DP «Dortsentr»)

02160, Kyiv, 3 Kaunaska str.,
Tel. 292-97-94, fax 292-61-50
E-mail: dp.dntc.dorjakist@gmail.com
code 21476215

25.11.2013р. № 25/2-541
На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів експериментальних
досліджень аспіранта ХНАДУ Костіна Д.Ю.

Результати експериментальних досліджень аспіранта Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Костіна Д.Ю., що виконані в межах договору № 35-45-11 між Державним підприємством «Центр науково-технічного супроводу дорожніх робіт та сертифікації дорожньої продукції» (ДП «Дорцентр») і Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом (ХНАДУ), були використані при розробці Зміни № 1 до ДСТУ Б В.2.7-127:2006 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебеневово-мастикові» Технічні умови, яка затверджена в установленому порядку та являється чинною.

Розроблена зміна № 1 до ДСТУ Б В.2.7-127:2006 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебеневово-мастикові» Технічні умови, застосовується будівельними організаціями та підприємствами в галузі дорожнього господарства при проектуванні гранулометричних складів щебеневово-мастикових асфальтобетонів, та будівництві автомобільних доріг.

Перший заст. директора



З.В.Крамаренко

000680

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ДОРОГИ УКРАЇНИ»

36191309



**ДОРОГИ
УКРАЇНИ**

08161, Київська область, Кисво-Святошинський район,
с. Тарасівка, вул. Шевченка, буд. 186, офіс 5
тел.: +38 (057) 782 21 20
e-mail: daf.s2017@gmail.com

06.04.2020 р. Вих. № 06/04

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження аспіранта ХНАДУ
Костіна Д.Ю. під час виконання робіт з поточного середнього ремонту
автомобільної дороги М-03 «Київ – Харків – Довжанський» км 493+400 –
км 493+900 в Харківській області

ТОВ «Дороги України» підтверджує, що під час виконання робіт з поточного середнього ремонту автомобільної дороги М-03 «Київ – Харків – Довжанський» км 493+400 – км 493+900 в Харківській області, були використані рекомендації, щодо застосування для влаштування шару покриття з щебенево-мастикових асфальтобетонів з максимальним розміром зерен щебеню 20 мм, згідно ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови» на бітумах модифікованих полімерами, як матеріалу що дозволяє забезпечити необхідну стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій для місцевих кліматичних умов, при фактичній інтенсивності руху транспортних засобів.

Рекомендації надані на основі результатів експериментальних досліджень, виконаних на кафедрі будівництва та експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за участю аспіранта Костіна Д.Ю.

Директор
ТОВ «Дороги України»



Д.С. Назімов



Державне агентство автомобільних доріг України
(УКРАВТОДОР)

Служба автомобільних доріг у Харківській області

61202 м. Харків, вул. Ахсарова, 2

тел. (057) 336-83-28,
факс (057) 336-80-55
E-mail: kh_sad@ukravtodor.gov.ua

“06” 02 2021 р. № 423/06/10

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного
дослідження аспіранта ХНАДУ Костіна Д.Ю.
під час виконання робіт з поточного середнього
ремонту автомобільних доріг загального користування державного значення
в Харківській області

Служба автомобільних доріг в Харківській області підтверджує, що під час виконання робіт з поточного середнього ремонту ділянок автомобільних доріг М-03 «Київ – Харків – Довжанський», Н-26 «Чугуїв – Мілове», Р-46 «Харків – Охтирка», в межах Харківської області, були розроблені рекомендації та використані для влаштування шару покриття з щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей з максимальним розміром зерен щебеню 20 мм, згідно ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови» приготовлені на бітумах модифікованих полімерами, як матеріал, що дозволяє забезпечити необхідну колієстійкість для місцевих кліматичних умов, при фактичній інтенсивності руху транспортних засобів.

Рекомендації надані на основі результатів експериментальних досліджень, виконаних на кафедрі будівництва та експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за участю аспіранта Костіна Д.Ю.

Заступник начальника Служби

Анатолій ДЕМЧЕНКО

м. Івано-Франківськ, вул. Тичини, 8А р/р UA63351005000026007636900800 в АТ "УкрСиббанк" у м. Києві код ЄДРПОУ 32872788	ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ “ПБС”	с. Ivano-Frankivsk, Str. Tychyny 8A Account UA63351005000026007636900800 in JSC "UkrSibbank" in Kyiv USREOU code 32872788
--	--	---

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження аспіранта ХНАДУ Костіна Д.Ю. під час виконання робіт з влаштування покриття на автомобільній дорозі, що проходить територією ТК «Буковель» в Івано-Франківській області

ТОВ «ПБС» підтверджує, що під час виконання робіт з влаштування покриття на автомобільній дорозі, що проходить територією ТК «Буковель» в Івано-Франківській області, були використані рекомендації, щодо застосування для влаштування шару покриття з щебенево-мастикових асфальтобетонів з максимальним розміром зерен щебеню 10 мм, згідно ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови» на бітумах модифікованих полімерами, як матеріалу що дозволяє забезпечити необхідну стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій для місцевих кліматичних умов, при фактичній інтенсивності руху транспортних засобів.

Рекомендацій надані на основі результатів експериментальних досліджень, виконаних на кафедрі будівництва та експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за участю аспіранта Костіна Д.Ю.

Директор
ТОВ «ПБС»



Пастернак О.С.



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, тел. (057) 700-38-66, факс (057) 700-38-65, E-mail: admin@khadi.kharkov.ua

08.02.21р. № 214/35а
На № _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження аспіранта ХНАДУ
Костіна Д.Ю. у навчальний процес

Харківський національний автомобільно-дорожній університет підтверджує, що аспірант Костін Д.Ю. є співавтором державних стандартів: Зміна №1 ДСТУ Б В.2.7-127:2006 «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови», ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови», ДСТУ-Н Б В.2.3-40:2016 «Настанова з влаштування покриття дорожнього одягу з використанням щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей» та галузевих стандартів, що увійшли у фонд нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор): Зміна №2 до ВБН В.2.3-218-186-2004 «Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу», СОУ 45.2-00018112-039:2008 «Способи оцінки стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії. Методи випробувань».

Розроблені нормативні документи застосовуються у навчальному процесі для підготовки фахівців на освітньо-кваліфікаційний рівень «Бакалавр» та «Магістр» за професійним спрямуванням 192 «Будівництво та цивільна інженерія» при викладанні навчальних дисциплін «Експлуатація автомобільних доріг», «Інноваційні напрямки експлуатації автомобільних доріг» та в дипломному проектуванні кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

Ректор ХНАДУ, професор



В.О. Богомолів

ДОДАТОК В
ВІДОМОСТІ РЕСУРСІВ
(ЛОКАЛЬНІ КОШТОРИСИ)

(найменування об'єкта будівництва)

ВІДОМІСТЬ РЕСУРСІВ

до Акта прийняття №
за _____

Ч.ч.	Шифр ресурсу	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Поточна ціна за одиницю, грн.	У тому числі, грн.		
						Відпускна ціна	Транспортна складова	Загот.-склад.
					Всього, грн.	Всього	Всього	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I. Витрати труда								
1	1	Витрати труда робітників-будівельників	люд.год.	24,12	60,28	-	-	-
2		Середній розряд робіт, що виконуються робітниками-будівельниками	розряд	3,3	-	-	-	-
3	3	Витрати труда робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин	люд.год.	18,24	93,2018	-	-	-
4		Середній розряд ланки робітників, які зайняті управлінням і обслуговуванням машин	розряд	6,4	-	-	-	-
5		Витрати труда робітників, заробітна плата яких передбачена в загальновиробничих витратах	люд.год.	5,59	101,61	-	-	-
6		Разом загальна кошторисна трудомісткість у тому числі	люд.год.	47,95	77,6225	-	-	-
		- нормативної трудомісткості	люд.год.	42,36	-	-	-	-
		- розрахункової трудомісткості	люд.год.	5,59	-	-	-	-
		Середній розряд робіт	розряд	3,3	-	-	-	-
II. Будівельні машини і механізми								
1	CH212-102-1ВД	Автогудронатор Mercedes-Benz Actros-2655, місткість 10000 л	маш-год	0,096	1 275,98	-	-	-
					122	-	-	-
2	CH212-2000-24ВД	Асфальтоукладальник на гусеничному ходу VogeLe Super 1800	маш.год	2,724	1 286,80	-	-	-
					3 505	-	-	-
3	CH212-907-ВД	Котки дорожні самохідні вібраційні гладковальцеві, маса 13 т	маш-год	2,58	393,57	-	-	-
					1 015	-	-	-
4	CH212-906-1ВД	Коток дорожній самохідний вібраційний гладковальцевий HAMM HD 110, маса 10,6 т	маш.год	3,06	815,89	-	-	-
					2 497	-	-	-
5	CH212-910-3ВД	Коток дорожній самохідний на пневмоколісному ходу Hamm ND 150 TT, масою 14,33 т	маш.год	3,132	738,90	-	-	-
					2 314	-	-	-
6	CH212-1601-ВД	Машина поливально-мийна, місткість 6000 л	маш.год	0,408	450,14	-	-	-
					184	-	-	-
		Разом	грн.	-	9 638	-	-	-
	Бензин		кг	3,74544	30,1500	112,9262	-	-

Строительные Технологии - Смета™ ред. 7.9.53 - 2 -

12956_вр_

		Дизельне паливо	кг	144,74172	26,1300	3 782,1408		
		Мастильні матеріали	кг	9,41544	(135,4672)	1 275,4836		
		Гідравлічна рідина	кг	1,9236	(161,9470)	311,5213		
III.Будівельні матеріали, вироби та конструкції								
1	C1555-18	Бітуми нафтові дорожні в'язкі [80,0км; 770,96 грн/т * 1,0 т]	т	0,3				
					14 680,48	13 621,67	770,96	287,85
2	C1421-9836	Суміші асфальтобетонні гарячі і теплі [асфальтобетон щільний] (дорожні)(аеродромні), що застосовуються у верхніх шарах покриттів, дрібнозернисті, тип А, марка 1 [80,0км; 388,97 грн/т * 1,0 т]	т	121,6				
					4 404	4 087	231	86
					3 267,20	2 814,17	388,97	64,06
					397 292	342 203	47 299	7 790
		Разом	грн.	-	401 696	346 290	47 530	7 876

Підсумкові показники								
		Кошторисна трудомісткість (I)	люд.год.	47,95	3 722,0	-	-	-
		Будівельні машини і механізми (II)	грн.	-	9 638	-	-	-
		Будівельні матеріали, вироби та конструкції (III)	грн.	-	401 696	-	-	-

Поточні ціни матеріальних ресурсів прийняті станом на 22.01.2021

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

(найменування об'єкта будівництва)

ВІДОМІСТЬ РЕСУРСІВ

до Акта прийняття №
за _____

Ч.ч.	Шифр ресурсу	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Поточна ціна за одиницю, грн.	У тому числі, грн.		
						Відпускна ціна	Транспортна складова	Загот.-склад.
					Всього, грн.	Всього	Всього	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I. Витрати труда								
1	1	Витрати труда робітників-будівельників	люд.год.	24,12	60,28	-	-	-
2		Середній розряд робіт, що виконуються робітниками-будівельниками	розряд	3,3	-	-	-	-
3	3	Витрати труда робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин	люд.год.	11,96	91,3043	-	-	-
4		Середній розряд ланки робітників, які зайняті управлінням і обслуговуванням машин	розряд	6,3	-	-	-	-
5		Витрати труда робітників, заробітна плата яких передбачена в загальновиробничих витратах	люд.год.	4,77	101,4675	-	-	-
6		Разом загальна кошторисна трудомісткість у тому числі	люд.год.	40,85	74,1738	-	-	-
		- нормативної трудомісткості	люд.год.	36,08	-	-	-	-
		- розрахункової трудомісткості	люд.год.	4,77	-	-	-	-
		Середній розряд робіт	розряд	3,3	-	-	-	-
II. Будівельні машини і механізми								
1	CH212-102-1ВД	Автогудронатор Mercedes-Benz Actros-2655, місткість 10000 л	маш.год	0,096	1 275,98	-	-	-
					122	-	-	-
2	CH212-2000-24ВД	Асфальтоукладальник на гусеничному ходу Voegel Super 1800	маш.год	2,724	1 286,80	-	-	-
					3 505	-	-	-
3	CH212-906-1ВД	Коток дорожній самохідний вібраційний гладковальцевий HAMM HD 110. маса 10,6 т	маш.год	2,052	815,89	-	-	-
					1 674	-	-	-
4	CH212-907-12ВД	Коток дорожній самохідний вібраційний гладковальцевий Hamm HD 130, маса 14,2 т	маш.год	1,512	705,27	-	-	-
					1 066	-	-	-
5	CH212-1601-ВД	Машина поливально-мийна, місткість 6000 л	маш.год	0,408	450,14	-	-	-
					184	-	-	-
		Разом	грн.	-	6 552	-	-	-
		Бензин	кг	3,74544	30,1500	112,9262		
		Дизельне паливо	кг	90,85068	26,1300	2 373,9499		
		Масляні матеріали	кг	6,22152	(138,7180)	863,0366		
		Гідравлічна рідина	кг	1,42896	(178,6402)	255,2698		

Строительные Технологии - Смета™ ред. 7.9.53 - 2 -

12950_вр_

III.Будівельні матеріали, вироби та конструкції								
1	C1555-18	Бітуми нафтові дорожні в'язкі [80,0км; 770,96 грн/т * 1,0 т]	т	0,3	14 680,48	13 621,67	770,96	287,85
					4 404	4 087	231	86
2	C1421-9835	Суміші асфальтобетонні щебеневомасикові (ЩМАС-20) [80,0км; 388,97 грн/т * 1,0 т]	т	125,1	3 676,90	3 215,83	388,97	72,10
					459 980	402 300	48 660	9 020
		Разом	грн.	-	464 384	406 387	48 891	9 106

Підсумкові показники								
		Кошторисна трудомісткість (I)	люд.год.	40,85	3 030,0	-	-	-
		Будівельні машини і механізми (II)	грн.	-	6 552	-	-	-
		Будівельні матеріали, вироби та конструкції (III)	грн.	-	464 384	-	-	-

Поточні ціни матеріальних ресурсів прийняті станом на 22.01.2021

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

ДОДАТОК Г
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

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. Zhdaniuk V., Volovyk O., Kostin D., Lisovin S. An investigation of the effect of thermoplastic additives in asphalt concrete mixtures on the properties of different types of asphalt concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №2/6 (110). P. 61-70. DOI:1015587/1729-4061.2021.227806

Статті у фахових виданнях:

2. Жданюк В.К., Гнатенко Р.Г., Костін Д.Ю. Впровадження технології влаштування покриттів із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей на модифікованих бітумах *Автошляховик України*. 2009. №2. С.28-31.

3. Жданюк В.К., Чугуєнко С.А., Воловик О.О., Костін Д.Ю. Підвищення колієстійкості асфальтобетонних покриттів нежорстких дорожніх одягів. *Автошляховик України*. 2010. №5. С. 29-32.

4. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Результати порівняльних досліджень властивостей асфальтобетонів з добавкою “TRINIDAD EPURÉ Z0/8”. *Автошляховик України*. 2011. №5. С.38-43.

5. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Дослідження колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів при різних температурах. *Автошляховик України*. 2012. №2. С.25-29.

6. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Арінушкіна О.О. Властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів на модифікованих бітумах *Автошляховик України*. 2012. №6. С. 23-27.

7. Жданюк В.К. Костін Д.Ю. Вплив модифікації бітумів на властивості та колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів. *Науково-технічний збірник, «Автомобільні дороги та дорожнє будівництво»*. 2017. №100. С. 57-67.

8. Жданюк В.К. Костін Д.Ю. Дослідження довговічності щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів за критерієм морозостійкості. *Збірник*

наукових праць, «Дороги і мости». 2017. №17. С.61-66.
DOI:10.36100/dorogimosti2017.17.061.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Воловик О.О. Колієстійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів. *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету*. Харків. 2010. С.98-102.

10. Жданюк В.К., Костін Д.Ю. Дослідження розрахункових характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів. *Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції за участю молодих вчених «Еколого-правові і економічні аспекти екологічної безпеки регіонів»*. Харків. 2011. С.196-200.

11. Жданюк В.К., Циркунова К.В., Воловик О.О., Костін Д.Ю. Щодо факторів, які впливають на колієутворення в асфальтобетонних шарах дорожніх одягів. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: Материалы X международной научно-технической интернет-конференции*. Харьков. 2011. С.154-156.

12. Жданюк В.К., Макарьев О.А., Костин Д.Ю., Воловик А.А. Исследование свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона на модифицированных битумах. *Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов: Материалы международной научно-практической конференции с участием студентов и молодых ученых*. Харьков. 2012. С.124-129.

13. Жданюк В.К. Костин Д.Ю. Исследование колееустойчивости щебеночно-мастичных асфальтобетонов при разных температурах. *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: Материалы международной научно-практической конференции*. Пермь. 2013. Том 3. С. 197-203.

14. Жданюк В.К., Костин Д.Ю., Воловик А.А., Аринушкина Е.А. Исследование влияния модифицированных битумов на свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонов. *Молодежь и научно-технический прогресс в*

дорожной отрасли юга России. Материалы VII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Волгоград. 2013. С.119-124.

15. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Макарьев О.О Дослідження впливу термопласти на властивості щебенево-мастикового асфальтобетону. *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: Материалы XI международной научно-технической интернет-конференции. Харьков. 2014. С.11-15.*

16. Жданюк В.К. Костін Д.Ю. Дослідження властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЦМА-40 на основі бітумів різних марок. *Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг».* Харків. 2016. С. 132-135.